



**ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ-
ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**А.Т. Дудин
Ф.В. Новиков**

ДВИГАТЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ

*Под общей редакцией
Ф.В. Новикова и А.В. Якимова*

Одесса ОНПУ 2004



ФИЗИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮ- ТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А.Т. Дудин
Ф.В. Новиков

ДВИГАТЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ

Под общей редакцией
Ф.В. Новикова и А.В. Якимова

Допущено Министерством образования и науки
Украины в качестве учебного пособия для сту-
дентов машиностроительных специальностей
(Письмо № 14/18.2–1779 от 13.11.2003 г)

Одесса ОНПУ 2004

УДК 621.963

Дудин А.Т., Новиков Ф.В. Двигатели и технологии: Учеб. пособие / Под общей редакцией Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. – Одесса: ОНПУ, 2004. – 280 с. (Физические и компьютерные технологии).

В учебном пособии рассмотрены проблемы развития автомобилестроения, перспективные конструкции двигателей внутреннего сгорания, эффективные технологии их изготовления и робототехника.

Предложены новые подходы к созданию технологических процессов механической и физико-технической обработки металлов и сплавов, а именно, технологий сварки, резания, абразивно-шлифовальной обработки и т.д. с применением различных физических эффектов, способствующих улучшению основных показателей обработки: производительности, качества, надежности, экономичности.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов вузов машиностроительных специальностей.

Ил. 143 Библиогр. 26 назв.

ISBN 966-549-817-8

Рецензенты: В.П. Ларшин, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Лебедев, д-р техн. наук, проф.
А.Н. Подкорытов, д-р техн. наук, проф.

© Дудин А.Т.
Новиков Ф.В.
2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Этой книгой мы открываем новую серию работ под общим названием “Физические и компьютерные технологии”, подготовленную участниками постоянно действующей Международной научно-технической конференции “Физические и компьютерные технологии”, проходящей в г. Харькове на базе ХНПК “ФЭД” два раза в год. Серия работ выполнена в форме учебных пособий и предназначена для студентов, аспирантов и специалистов, занимающихся проблемами физических и компьютерных технологий. Их цель – приблизить последние достижения науки и техники к студенческой аудитории, сделать их достоянием многих и многих тысяч юношей и девушек, которые решили посвятить себя благородному делу – развитию отечественного машиностроительного комплекса.

Данная серия учебных пособий посвящается 80-летию со дня рождения основателя и научного руководителя конференции, выдающегося ученого-технолога, замечательного педагога, Заслуженного деятеля науки Украины, Лауреата Государственной премии Украины, доктора технических наук, профессора кафедры “Технология машиностроения” Одесского национального политехнического университета Якимова Александра Васильевича, который внес большой вклад в развитие отечественного машиностроения и технологической науки, в подготовку инженеров, кандидатов и докторов наук. Желаем ему долгих лет жизни, крепкого здоровья, счастья и творческих успехов, чтобы он и дальше так же активно занимался научной работой, подготовкой инженерных и научных кадров, проведением научно-технических конференций в Харькове и Одессе, подготовкой и изданием фундаментальных научных трудов по проблемам современной техники и технологии.

Представляя читателям основного автора учебного пособия Дудина Александра Тимофеевича, хочу отметить его высочайший инженерный профессионализм, многоплановость технических разработок, которыми он занимается, – от конструкций двигателей и машин до создания новых технологий машиностроения.

Александр Тимофеевич – автор многих изобретений, его работы постоянно публикуются в сборниках докладов наших конференций и получили всеобщее признание. Всю свою жизнь он посвятил подготовке и воспитанию подрастающего поколения в системе среднего профессионально-технического образования в ставшем ему родным городе Евпатория. Хочу пожелать Александру Тимофеевичу крепкого здоровья и неустанного инженерного поиска, новых открытий и достижений.

*Ф.В. Новиков, доктор технических наук,
сопредседатель Оргкомитета
Международной научно-технической
конференции “Физические и компьютерные
технологии”*

ВВЕДЕНИЕ

Создание более совершенных машин и технологий их изготовления открывает для человечества новые источники жизни и благосостояния. Для того чтобы машины работали, нужны новые более мощные и экономичные двигатели и технические решения по совершенствованию известных конструкций двигателей. Поэтому в настоящей работе основное внимание уделено проблемам развития автомобильного транспорта, двигателестроения и технологии их изготовления, совершенствованию робототехники. Предложены новые перспективные конструкции двигателей внутреннего сгорания, их узлов и систем на основе последних достижений в области двигателестроения. Подробно описаны конструктивные схемы двигателей и принципы их работы.

Большое внимание уделено разработке новых технологий механической и физико-технической обработки металлов и сплавов, а именно, технологий сварки, резания, абразивно-шлифовальной обработки и т.д. с применением различных физических эффектов, способствующих улучшению основных показателей процесса: производительности, качества, надежности, экономичности. Рассмотрены возможности применения электромагнитных полей, ультразвука, магнитострикционного эффекта, пьезоэлектрических элементов для повышения эффективности абразивно-шлифовальной обработки. Предложены новые конструкции абразивных инструментов и виды струйно-абразивной обработки, в том числе с введением в зону резания дополнительной электрической энергии в форме электрических разрядов.

Приведенный в работе обширный материал по вопросам создания новой техники и технологий является наглядным примером неограниченных возможностей технического творчества, появления новых технических решений в таких, казалось бы, достаточно изученных направлениях науки и техники, как двигателестроение, технология металлов и материаловедение. Поэтому настоящее учебное пособие направлено, прежде всего, на то, чтобы развить у студентов и аспирантов творческое отношение к решению технических задач, научить их создавать новые машины и технологии на основе глубоких физико-математических и технических знаний.

Данное учебное пособие может быть полезно как студентам и аспирантам, так и научным работникам и специалистам, специализирующимся в области двигателестроения, технологии машиностроения, материаловедения, резания материалов, металлорежущих станков и инструментов. Изложенный материал может быть использован при выполнении студентами курсовых и дипломных проектов, а также при проведении научно-исследовательских работ по созданию новых конструкций двигателей внутреннего сгорания, технологий обработки металлов, технологического оборудования и инструментов.

РАЗДЕЛ 1

ПРОБЛЕМЫ АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ

Идея создания автомобиля оказала и продолжает оказывать колоссальное влияние на технический прогресс, психологию человека, сделала производство поточным, практически вовлекла в современную индустрию и пользование автомобилем все человечество.

Автомобиль до сегодняшнего дня остается не только средством передвижения, но и средством туризма, экстремальным видом спорта, роскошной и престижной принадлежностью. Поэтому в развитых странах в одной семье имеется по два – три автомобиля.

С развитием автомобилестроения земной шар опоясался сетью автомобильных дорог. Для обслуживания автомобилей повсеместно появились станции технического обслуживания и заправочные пункты, оснащенные компьютерной диагностикой, служба ГАИ, дорожные службы, совершенствуется сервисное обслуживание. Автомобилестроение оказывает колоссальное влияние на экономику страны. Комфортность самого автомобиля улучшается с каждым днем, а оснащение электроникой охватывает практически все узлы и детали.

С увеличением числа автомобилей одной из самых негативных сторон является загрязнение окружающей среды. Пришло время, когда в развитых странах стали вводить контроль на выхлопные газы, которые влияют на увеличение числа заболеваний верхних дыхательных путей у людей. Возникают проблемы с переработкой отслуживших автомобилей.

Потребность в автомобилях увеличивается с каждым годом. Автомобиль завоевывает не только сушу, но и водную стихию. В Великобритании создан автомобиль-амфибия, который по суше движется со скоростью 160 км/час, а по воде – 50 км/час. Входит в воду и выходит без остановок, имеет дизайн и комфорт лучше многих современных автомобилей. Самые передовые компании по производству автомобилей затрачивают большие средства на поиск альтернативного топлива для двигателя, которое бы меньше загрязняло окружающую среду.

Первый автомобиль был оснащен паровым двигателем. Затем появились двигатели, работающие на светильном газе и на бензине. Появился дизель, работающий на керосине и сырой нефти, а в последствии - на дизельном топливе. В последние годы стали все чаще использовать сжиженный природный газ. В качестве топлива опробованы разные спирты, синтезированные газы и жидкости. Были попытки изготавливать бензин из растений.

Однако, кардинально проблему решить пока не удалось: выхлопные газы автомобиля не стали безвредными. Уменьшить воздействие вредных выхлопных газов частично удалось с помощью каталитических нейтрализаторов.

Одним из эффективных направлений в борьбе за экологию в настоящее время является разработка электромобилей. В Японии выпускают гибридные автомобили, в которых успешно сочетается работа двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя от аккумуляторов, например, “Тайота–Приус”. Боль-

шие успехи достигнуты и в создании электромобиля, работающего на никель – гидритных батареях. Такой электромобиль может проехать без подзарядки батарей 300 км со скоростью 160 км/час. Ресурс электромобиля достигает 160 тыс. км. Несмотря на дороговизну, электромобиль имеет большие перспективы в применении, совершенствуется с каждым годом все интенсивнее.

Среди экологов находится много противников электромобиля, которые считают, что он является источником скрытого загрязнения воздуха. Но при выработке электроэнергии загрязнение окружающей среды происходит в одном месте и поэтому с ним легче бороться, чем с выхлопными газами.

Существует еще одно важное направление развития автомобильного транспорта – это автомобили, работающие на сжатом воздухе. Разработками французских инженеров в данном направлении заинтересовались в Мексике, Австралии, Испании, Южной Африке, Швейцарии и других странах.

На современных магистралях в “час–пик” движутся тысячи автомобилей – тысячи моторов, просто поток моторов! В этих условиях экономически целесообразно строить новые магистрали, где автомобили могли бы передвигаться, например, за счет электромагнитной тяги, как поезда на магнитной подушке. Только автомобилю не нужна магнитная подушка, а нужна тяга, так как сама магистраль выполняет роль статора, а автомобиль – роль ротора.

В предлагаемых разработках принципиально новых двигателей для автомобилей появляются вопросы, на которые нет прямого ответа. И это естественно. Многие вопросы пока оставлены как “Ноу хау”. Для сохранения “Ноу хау” схемы и чертежи не всегда содержат все элементы. Возможно, возникнут вопросы, которые придется дорабатывать. Но ведь совершенству нет предела и невозможно новую идею оформить в одной навсегда застывшей форме. Идея должна развиваться, совершенствоваться, тогда она будет жить так же, как развивается и совершенствуется автомобилестроение.

1.1. ПУТИ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА УКРАИНЕ

Украина имеет площадь 603,7 тыс. кв. км, в ней проживает более 48 млн. человек. Она имеет сухопутные границы с Россией, Белоруссией, Польшей, Чехией, Словакией, Венгрией, Румынией, Молдовой, имеет разветвленную сеть автомобильных дорог и при этом – плохо развитую автомобильную промышленность. На Украине, к сожалению, не было и сейчас отсутствует концепция развития автомобильной промышленности и транспорта. И пока такая концепция не будет разработана на государственном уровне, страна будет обречена плестись в конце автомобильного прогресса, все больше превращаясь в свалку старых автомобилей, а существующая автомобильная промышленность будет использовать с 50-летним опозданием чужие идеи и, уродуя их, перерабатывать.

Для того чтобы разорвать этот порочный круг, важно проанализировать, мировые достижения в области автомобилестроения, существующие тенденции

развития и, опережая время, начать выпускать новые автомобили уже сегодня. Пусть они будут очень дорогие, пусть в единичных экземплярах, но автомобили завтрашнего дня и непременно свои, так как такая большая страна с огромными ресурсами и научно – техническим потенциалом не может получить развития без создания современной автомобильной промышленности. От уровня развития автомобильной промышленности, автотранспорта, автосервиса, автоперевозок очень сильно зависит экономика любой страны. Для Украины с ее большой территорией развитие автомобильного транспорта, как ни в какой другой стране, имеет большое влияние на экономику. Развитие автомобильной промышленности и автотранспорта - это десятки тысяч рабочих мест, это укрепление обороноспособности страны, это внедрение новейших технологий, повышение жизненного уровня населения, престиж страны в мире.

Для анализа данной проблемы рассмотрим тенденции развития автомобильного транспорта в мире за последние 15 лет.

Для рекламы автомобилей будущего ведущие страны используют фильмы, а автомобили возвращаются в жизнь в лучах славы. Сегодня затрачиваются огромные средства, как на изготовление автомобилей, так и на их рекламу и показ в автосалонах. При изготовлении автомобилей используются космические технологии.

На Украине появились газеты и журналы, освещающие развитие автомобилестроения за рубежом, а это, значит, сделан первый шаг к пониманию и анализу того пути, на котором мы находимся. К сожалению, большая часть этого материала переписывается из номера в номер, ограничивается расплывчатыми поверхностными характеристиками, содержит недостаточно анализа по недоработкам, узким местам узлов и агрегатов.

Поэтому ниже, на основе анализа газет и журналов за последние 15 лет, представлены некоторые характеристики наиболее престижных легковых автомобилей ведущих стран мира в области автомобилестроения с целью сформировать общее представление о достижениях в развитии автомобилестроения, выбрать наиболее перспективные направления развития и наметить основные вехи концепции развития автомобильного транспорта на Украине на ближайшие 30–50 лет.

Основные требования к автомобилю сегодня – это привлекательность, скоростные и динамические качества, комфорт и удобство, безопасность, экономичность, надежность через электронизацию всех систем, бесшумность и экологичность. Компьютерная система, управляющая всеми агрегатами и предупреждающая о неисправностях, а также принимающая меры к их устранению, выбирает оптимальные условия работы и обеспечивает комфорт и безопасность.

Уже сегодня выставаемые на автосалонах автомобили имеют аэродинамику, доведенную до технического совершенства. Имеют коэффициент 0,137 – а это ниже, чем у американского истребителя, с переменной аэродинамикой, обеспечивающей наилучшую устойчивость и минимальные потери мощности. Автомобили оснащены бортовыми навигационными системами, осуществляющими связь через спутники; радарно – лазерными комплексами, обнаруживаю-

щими препятствия на дороге и обеспечивающими безопасность движения; оснащены телефоном, интернетом, электронной почтой, видеокамерами, исключают мертвую зону при перестраивании и парковке. Имеют камеры наблюдения за дорогой и компьютерной обработки ситуации, системы автоматического изменения давления в шинах, электронную систему курсовой устойчивости, датчики дождя, датчики загрязнения заборного воздуха с автоматическим переходом с системы вентиляции в режим рециркуляции. Имеют систему безопасности, следящую за состоянием водителя, его самочувствием, не позволяющую ему уснуть, а при ухудшении состояния - автоматически останавливающую автомобиль. Имеют климатические установки с прогревом сидений, систему безопасности от отравления угарным газом. Автомобиль оборудован холодильником, термосом, душем, видеокамерой, лазерными проигрывателями, имеет автоматическую систему по подготовке автомобиля к поездке, в установленное время осуществляет прогрев двигателя и салона, очистку стекол, выдает информацию на дисплей о работе всех систем, температуры и прогноз погоды. Автомобиль также оснащают системой выполнения команд голосом, системой автоматического открытия и закрытия дверей, системой активной безопасности рулевой тяги, системой контроля динамической устойчивости, контроля движения на спусках, электронного торможения, распределения тормозного усилия с системой стабилизации и системой противоскольжения. Оснащают автоматическими подушками безопасности спереди и сбоку; активными подголовниками, предохраняющими от травм шеи; стеклами с грязеотталкивающим покрытием и изменением прозрачности; автоматически регулируемые зеркала; с креслами, автоматически регулируемые и запоминающими хозяина; шинами, самоклеящимися ко льду с датчиками и токопроводящим слоем, по которому пропускается слабый ток. При этом обеспечивается компьютерное изменение цвета машины в зависимости от погоды, времени суток. Автомобиль также оснащают дворниками для очистки фар, противоугонными системами и многими другими системами. Изготавливаются автомобили с раздвижным кузовом и с автоматическим изменением развала колес.

Двигатель автомобиля является его “сердцем”, поэтому рассмотрим наиболее перспективные направления его развития:

- двигатели из металлокерамики без систем охлаждения, работающие на газе и жидких горючих - от спирта и до тяжелого дизельного топлива;
- двигатели с двумя системами охлаждения;
- с полным электрическим управлением системой питания и зажигания;
- двигатели с “сухим” картером, сборным коленчатым валом, с отбором мощности в середине коленчатого вала;
- с пневмопружинами клапанов, до пяти клапанов на цилиндр и по две свечи зажигания; с впрыском бензина под давлением в 100 бар на протяжении 120° поворота коленчатого вала во время хода сжатия; с факелом распыления, ориентированным на выпускные клапаны для дополнительного охлаждения;
- топливные форсунки с установкой в верхней мертвой точке и стенках цилиндров, где поршни защищают их от высоких температур вспышек;

- V-образные двигатели и W-образные двигатели;
- с автоматическими коробками передач с электронным управлением, которые позволяют изменить алгоритм переключений в зависимости от силы тяги, возможностью ручного управления;
- двигатели с расходом до 2 литров топлива на 100 км пути.

Спрос на более экономичные и более экологичные дизельные двигатели постоянно растет. В 2000 году в Европе продано 4,76 миллионов автомобилей, а в 2001 году на 12,1% больше. Уже сейчас во Франции, Испании, Австрии, Бельгии продается больше автомобилей с дизельными двигателями.

В современном автомобиле с 1 литра объема двигателя снимается мощность 91,1 л. с., скорость автомобиля составляет не менее 200 км/час, разгон автомобиля до 100 км/час от 5 до 10 секунд, соотношение веса автомобиля и мощности - 3 кг на 1 л.с.

Исходя из анализа существующих моделей автомобилей, концепция развития автомобильного транспорта должна строиться по следующим направлениям:

1. Дизайн и привлекательная внешность – это уже половина успеха.
2. Создание серии разных автомобилей на одной платформе: чем их больше, тем дешевле производство, ремонт и эксплуатация.
3. Серия автомобилей должна создаваться с различным кузовом: универсал, кабриолет, пикап, внедорожник, вседорожник и другими, обязательно должна быть спортивная версия.
4. Обеспечить возможность изменения автомобиля у себя в гараже. Платформа автомобиля должна иметь несколько компоновок, может быть раздвижной.
5. Необходимо предусмотреть в нескольких сериях возможность установки агрегатного кузова, то есть секционного, который покупатель (владелец автомобиля) может изменить по своему усмотрению.
6. Обеспечить возможность установки одного из 10 двигателей по выбору покупателя.
7. Обеспечить универсальный монтаж “бижутерии” автомобиля – осветительных приборов, никелированных решеток, зеркал, эмблем.
8. Обеспечить оснащение и отделку салона кожей, тканью, пластиком, «под дерево» по заказу покупателя.
9. Установить саморегулирующиеся и поворачивающиеся кресла с возможностью превращения их в кровать, а также быстрого демонтажа, складывания и перестановку.
10. Установить кресла на магнитной подвеске.
11. Обеспечить возможность переоборудования автомобиля в холодильник, мини-мастерскую, ванну, баню, сауну.
12. Обеспечить возможность превращения автомобиля в гараже или на стоянке в автомобиль – качалку - тренажер дорожного движения, где стекло превращается в экран, а компьютер и система качания создают ощущение движения и управления автомобилем. При редких выездах – это отличная тренировка, профилактика по вождению. Система качания может быть

предназначена для одного кресла водителя.

13. Обеспечить автоматическое изменение просвета и развала колес.
14. Обеспечить возможность применения колес разного диаметра и ширины для изменения проходимости и просвета.
15. Обеспечить увеличение и уменьшение базы между колесами по ширине.
16. Обеспечить увеличение и уменьшение расстояния между задними и передними колесами.
17. Обеспечить раздвижение колес по сегментам по диаметру, по ширине, а также одновременно по ширине и диаметру.
18. Обеспечить смену колес на лыжи и обеспечить передвижение лентой-транспортером.
19. Установить магнитные амортизаторы на бамперы спереди и сзади.
20. Обеспечить возможность телескопического выведения шипов на колесах.
21. Обеспечить компьютерное выведение (выдвижение) ребер устойчивости, подкрылок, поворотных лонжеронов по боковым плоскостям, на крыше и на капоте в зависимости от скорости движения и поворотов.
22. Обеспечить возможность включения переднего, заднего или обоих приводов.
23. Обеспечить возможность установки двигателя спереди, сзади и в центре.
24. Обеспечить торможение реактивными двигателями, установленными на крыше, по бокам и впереди.
25. Обеспечить возможность открывания дверей в двух направлениях.
26. Обеспечить возможность автоматического катапультирования при аварии.
27. Обеспечить возможность работы двигателя работы на газообразном, жидком и твердом топливе.
28. Разработать и внедрить гибридные автомобили, где двигатель внутреннего сгорания обеспечивает движение автомобиля вне города и вырабатывает электроэнергию для зарядки аккумуляторов, а в городе автомобиль перемещается на электроприводе.
29. Обеспечить работу двигателя на новых видах топлива и новых рабочих телах, а также обеспечить возможность использования накопителей энергии: маховиков, пружинных устройств.
30. Обеспечить использование солнечных батарей, аккумуляторов, конденсаторов.
31. Шире применять искусственные материалы, углепластики, вторичные пластмассы.
32. Обеспечить возможность совмещения функций разных систем и упрощения двигателей и систем, их обслуживающих.
33. Перейти на двигатели без коленчатых валов.
34. Разработать и внедрить двигатели с изменяющимся объёмом.
35. Разработать и внедрить раздвижные кузова.
36. Внедрить трубообразные двигатели.
37. Разработать и внедрить автомобили, работающие на воде.
38. Организовать строительство новых автомагистралей, где обеспечивается закладка в дорожное полотно дорожных знаков, а считывание производит-

ся автоматически автомобилем с соответствующей обработкой информации.

39. Организовать строительство станций вдоль трассы через 20-25 км для раскручивания маховика-ротора, зарядки аккумуляторов, конденсаторов, зарядки баллонов сжатым газом для обеспечения движения автомобиля на 50-100 км.
40. Организовать строительство автодорог, представляющих собой статор электродвигателя, а заложенная обмотка обеспечивает перемещающееся электромагнитное поле вдоль дороги, питающееся от солнечных батарей, установленных по обочине дороги и от ветровых электрогенераторов (ветряков), установленных вдоль дороги. Солнечные батареи могут быть установлены и на полотне дороги.

Электромобиль имеет аккумуляторы и ротор – маховик, который раскручивается электромагнитным полем дороги. Такие автомобили не требуют ремонта, запчастей, просты в изготовлении, экономичны с точки зрения расхода электроэнергии, а при движении на спусках с помощью маховика и генератора могут обеспечивать зарядку аккумуляторов, на которых автомобили будут двигаться вне таких магистралей, а так же отдавать энергию в конденсаторные накопители.

Для того чтобы не остаться на обочине технического прогресса, уже сегодня необходимо строить экспериментальные участки таких дорог, так как в дальнейшем с использованием сверхпроводниковых материалов перспективность таких транспортных средств будет возрастать. Перспективность их применения очевидна и потому, что это транспорт экологически чистый. Автомобиль вместе с дорогой будет электрическим двигателем, а маховик обеспечит запас электроэнергии и эффективное её использование.

Для успешного развития автотранспорта нужна Государственная политика льготного, поощрительного патентования всех разработок, касающихся развития автомобилестроения. Патентование нужно не только для приоритетного развития автомобильного транспорта, но и для дальнейшей продажи лицензий. Патентование разработок должно быть не только внутренним, но и международным, а без помощи Государства это не возможно.

1.2. АВТОМОБИЛЬ, РАБОТАЮЩИЙ НА ВОДЕ, - ЭТО ВОЗМОЖНО УЖЕ СЕГОДНЯ

Известны конструкции автомобильных двигателей, работающих на водороде. Водород поступает в двигатель из специального баллона.

Известно также техническое решение, согласно которому водород окисляется кислородом воздуха на мембране с катализатором, вырабатывая электрический ток.

Недостатком данных решений является то, что водород необходимо получать на специальных предприятиях. Заправленный водород, находящийся в специальном баллоне в жидком состоянии под большим давлением, представ-

ляет собой взрывоопасный сосуд, который требует транспортировки с особой осторожностью. Доставить его к автомобилю (если закончился в баллоне водород) достаточно проблематично. Для того чтобы исключить данные проблемы, предлагается весь цикл работы автомобиля обеспечить на воде.

В настоящее время это становится возможным благодаря тому, что решена проблема выделения водорода из промышленных газов с помощью палладиевого покрытия на тантале и других металлах. Также известно, что алюминиевый порошок при высокой температуре бурно реагирует с водой, выделяя большое количество водорода. Эта реакция дает в четыре раза больше энергии, чем сгорание такого же количества пороха.

Поэтому нами предлагается новое техническое решение, которое заключается в том, что в бак наливается вода, которая поступает в специальную камеру по трубке-змеевику (в котором она нагревается до температуры состояния перегретого пара 600-650°C термитной смесью, а затем водородной горелкой). Перегретый пар с температурой 600-650°C поступает в специальную реторту, в которую помещается легкоплавящаяся упаковка с алюминиевой пудрой, приготовленная в инертных газах или вакууме и смешанная с железным порошком без доступа воздуха. Поступивший в реторту перегретый пар вытесняет из нее весь имеющийся воздух и плавит упаковку, в которой находится алюминиевая пудра с железным порошком. В присутствии железного порошка, создающего свободный контакт, алюминиевая пудра будет интенсивно реагировать (при температуре 600-650°C) с кислородом, выделяющимся из перегретого пара, который, соединяясь с алюминием, образует окись алюминия, освобождая при этом водород.

Зная, что кислород имеет сродство с магнитным полем, на реторту необходимо установить сердечники с катушками, образующими постоянные магниты с возможностью изменения полюсов. Постоянные магниты будут удерживать возле реторты и внутри ее кислород, способствовать разделению перегретого пара на кислород и водород, а при изменении полюсов встряхивать с помощью железного порошка алюминиевую пудру, обеспечивая более свободный доступ перегретого пара к каждой пылинке и более полное участие алюминиевой пудры в реакции окисления.

При разложении перегретого пара на кислород и водород затрачивается тепло, а при реакции алюминиевой пудры с кислородом тепло выделяется. Чтобы регулировать процесс выделения тепла, через стенки реторты проложены трубки теплообменника. Проходя через них, вода нагревается и поступает в бак, из которого идет на образование перегретого пара. С другой стороны, регулировка получения водорода осуществляется количеством поступающего в реторту перегретого пара. Все это осуществляется в автоматическом режиме с помощью термодатчиков, датчиков давления, пружинных клапанов, электроклапанов по принципу обратной связи, с контролем через ЭВМ. Поверхность реторты для выхода газа имеет микроотверстия, которые не могут забиваться алюминиевой пудрой и железными опилками, так как частицы их значительно больше диаметра отверстий. Кроме того, реторта постоянно во время движения автомобиля встряхивается, то есть освобождает внутреннюю поверхность от

алюминиевого и железного порошка, а также изменяющееся магнитное поле на реторте позволяет приводить внутреннюю массу в движение. Перегретый пар в реторте разлагается на кислород и водород, кислород реагирует с алюминием, превращая его в окись алюминия. Освобожденный водород легче, чем водяной пар и кислород. Поэтому он устремляется вверх, проходя через отверстия реторты (отверстия сверху реторты всегда свободны от порошка алюминия и железа) и, поднимаясь в емкость над ретортой, проходит через палладиевые пластины на тантале, что также способствует выделению водорода. Кислород при этом стремится обратно к магнитным полюсам на реторте. Из сборной емкости водород с помощью инжектора подсасывается воздухом и направляется в цилиндр двигателя. Небольшая часть полученного водорода может использоваться для получения перегретого пара, сжигания смеси окиси алюминия с железом, а также подается в топливный элемент, где на мембране с катализатором окисляется кислородом, вырабатывая электрический ток, который обеспечивает работу ЭВМ, электромагнитов, электроклапанов, электронасосов, подзаряжает аккумуляторы.

В данном автомобиле вода превращается в перегретый пар, который реагирует с алюминием (вырабатывая топливо для перегретого пара), и, освобождая водород, который затем с воздухом в дозировке, регулируемой ЭВМ, подается в цилиндры двигателя внутреннего сгорания.

Обратная связь регулирует процесс реакции и количество вырабатываемого водорода, часть которого идет на обслуживание данного процесса. Реторта изготавливается из керамических материалов или из материалов, через которые проходит магнитное поле.

Теплообменник, где вырабатывается перегретый пар, работает как на поступающей воде, так и на поступающем паре.

На рис. 1.1 показана схема работы автомобиля на воде: 1 – бак с водой; 2 – клапан, регулирующий подачу воды в рабочий бак и поддерживающий уровень воды в рабочем баке; 3 – рабочий бак; 4 – камера получения перегретого пара; 5 – емкость, предназначенная для сбора водорода, куда помещается реторта и палладиевые пластины на тантале; 6 – реторта; 7 – электромагнит на реторте; 8 – теплообменник в стенке реторты; 9 – парораспределитель – трубка с отверстиями для выхода пара; 10 – загрузочная дверка с прижимной пружиной для замены реторты; 11 – палладиевые пластины на тантале для окончательного разделения водорода с кислородом; 12 – распределительный узел с насосом для подачи водорода к двигателю и в ресиверную емкость, в камеру получения перегретого пара и на мембрану для получения электроэнергии; 13 – ресиверная емкость для резервного заполнения водородом и для освобождения емкости по сбору водорода при замене реторты; 14 – стыковочные муфты для соединения подводящих трубопроводов с ретортой; 15 – клапаны – краны для регулирования подачи и замены реторты; 16 – распределительный узел для подачи водорода в камеру и перегретого пара и подачи водорода на мембрану для выработки электроэнергии; 17 – мембрана для выработки электроэнергии; 18 – порошковый питатель камеры перегретого пара; 19 – обратный клапан.

Опишем схему в стационаре и в работе.

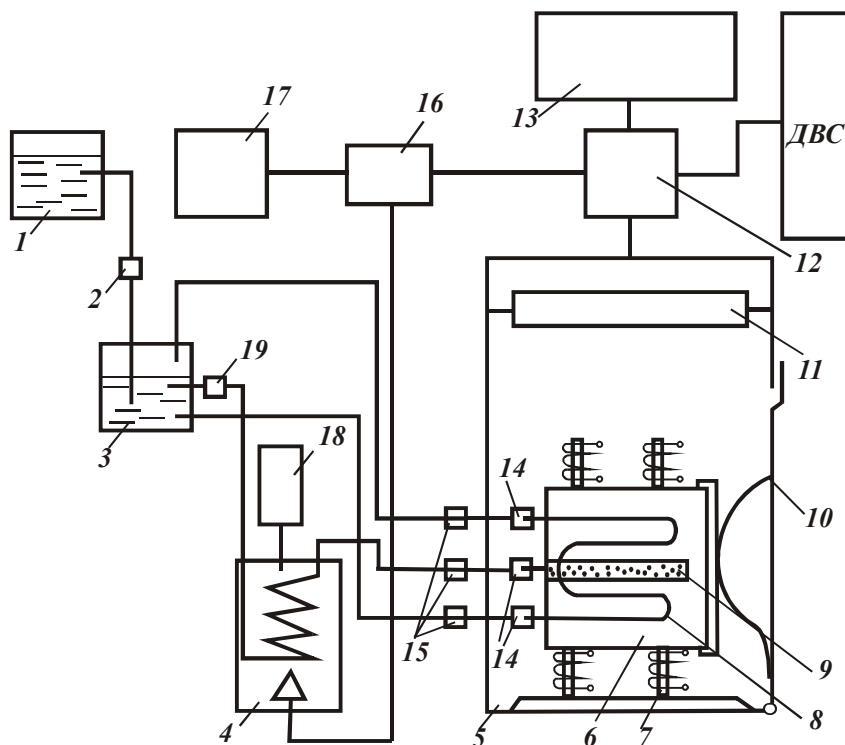


Рис. 1.1. Схема работы автомобиля на воде.

Бак для воды 1 через клапан 2 соединяется с баком для воды 3. Из бака 3 вода или пар (в зависимости от режима работы) подается в камеру получения перегретого пара 4. Камера получения перегретого пара 4 соединена через клапан – кран 15 и соединительную муфту 14 с ретортой 6, которая находится в емкости 5, предназначенной для сбора водорода. Реторта имеет

электромагниты 7 и перераспределительную трубку 9. Через стенки корпуса реторты проходит из бака 3 вода по теплообменнику 8 через клапаны – краны 15 и стыковочную муфту 14 и возвращается в бак 3 через стыковочную муфту 14 и клапан – кран 15 в нагретом виде или в виде пара. Емкость 5 имеет загрузочную дверку с прижимной пружиной 10 для замены реторты, а также пластины с палладиевым покрытием на тантале 11.

Емкость 5 для сбора водорода соединена трубопроводом с распределительным узлом и насосом 12. Распределительный узел соединяется трубопроводом с ресивером 13 и трубопроводом с распределительным узлом 16, от которого идет подача водорода в камеру 4 (для подготовки перегретого пара) и мембрану 17 для выработки электроэнергии.

В камеру 4 вводится порошковый питатель 18. На трубопроводе из бака 3 к камере получения перегретого пара 4 устанавливается обратный клапан 19, обеспечивающий подачу перегретого пара в реторту 6.

Рассмотрим схему в работе. Для этого данную установку надо подготовить к работе. Закрываем клапаны – краны 15 и с помощью распределительного узла 12 с насосом удаляем из камеры 5 оставшийся водород. Запускаем в камеру 5 воздух, открываем загрузочную дверцу 10, заменяем реторту 6, отработанный порошок из реторты 6 высыпав в порошковый питатель 18, а в емкость 5 с помощью соединительных муфт 14 устанавливаем реторту 6, загруженную плавящимися пакетами с рабочим порошком. Герметично закрываем загрузочную дверцу 10 на емкости 5, заливаем бак 1 водой. Через клапан 2 в баке 3 уровень воды выводим выше заборной трубки с камеры 4.

Через обратный клапан 19 вода поступает в камеру 4, где оставшийся водород с ресивера 13 через регулируемый узел 16 и порошковая смесь из питателя 18 прогревают воду до состояния перегретого пара (температура 600-650°C). После этого он через клапан – кран 15 поступает в реторту 6 по паро-

распределительной трубке 9. Водород из рессивера 13 через распределительный узел 16 поступает на мембрану 17, где вырабатывается электрический ток, который поступает на электромагниты 7, образуя постоянное магнитное поле. Пар, заполняя реторту 6, вытесняет из нее воздух и расплавляет упаковку пакетов с алюминиевой пудрой и железными опилками. Алюминий вступает в реакцию с паром, забирая кислород и освобождая водород, который поднимается через пластины с палладиевым покрытием на тантале. А кислород из воздуха и, кислород, вышедший из реторты, опускается к постоянным магнитам. Водород из емкости 5 с помощью распределительного узла и насоса 12 закачивается в рессивер 13, подается на мембрану 17 и в камеру 4. При нагреве реторты 6 до температуры, при которой количество образования водорода начинает бурно возрастать, а рессивер 13 заканчивает свое заполнение, вода из бака 3 через клапан – кран 15 поступает в змеевик 8 в стенке реторты 6 (где она нагревается). Уровень воды в баке 3 опускается и в камеру 4 из бака 3 поступает пар. В это время порошковый питатель 18 прекращает подачу термитной смеси в камеру 4, перегретый пар образуется за счет сгорания водорода, и газ подается с распределительного узла 12 на двигатель внутреннего сгорания. Контроль за работой установки выполняет ЭВМ с помощью термодатчиков, электрических клапанов, датчиков давлений, пружинных клапанов с осуществлением обратной связи.

Работа установки предусматривает после смены реторты 6 вакуумирование камеры 5 с целью освобождения ее от воздуха с помощью насоса в распределительном узле 12 и выброса воздуха в атмосферу. Но в этом случае в камеру 5 попадает некоторое количество пара, так как в реторте еще не расплавилась упаковка пакетов с порошком.

Оба варианта на работу установки отрицательного влияния не оказывают, так как объем камеры 5 небольшой, а объем рессивера 13 значительно больше и водород нагнетается в него под давлением. Весь процесс выработки водорода после заправки реторты 6 и бака 1 происходит в автоматическом режиме.

Возможность осуществления предложенного технического решения, основана на том, что автомобили, работающие на природном газе и водороде, уже известны давно.

1.3. ДВИГАТЕЛЬ ПАВ

В истории развития техники известно изобретение – автомобиль, работающий на жидком азоте. Поршневой двигатель обеспечивает небольшую скорость движения автомобиля - до 35 км/час. Жидкий азот в 3-4 раза дешевле бензина, но менее эффективен, чем бензин. Хотя азот и кипит при температуре -147°C , но с понижением температуры окружающей среды его расход увеличивается. Поэтому стоимость эксплуатации двигателей, работающих на жидком азоте и бензине, примерно равная.

Известно также изобретение Мартина Маршиера на автомобиль, использующий вместо бензина сжатый воздух. Баллон 300 литров под давлением 330

атмосфер обеспечивает 200 километров пути. Недостатками данного двигателя являются относительно низкий коэффициент полезного действия (КПД)– 20% (у дизельного двигателя КПД - 25%) и невозможность до конца использовать воздух из баллона: поршень в двигателе не перемещается при достаточно большом остаточном давлении в баллоне.

Рассмотрим пути повышения КПД двигателя из "азотного автомобиля", уменьшения расхода азота на рабочий ход, более полного использования сжатого воздуха, повышения экологической чистоты двигателя.

Эффект достигается за счет того, что принципы работы двигателя на сжатом воздухе и работающего на жидком азоте совмещаются в одном двигателе. Кроме того, в работу этого двигателя вводится перегретый пар из специального баллона-термоса. Отработанные рабочие тела используются на вращение турбины динамо-машины, вырабатывающей электрический ток. Ток подается на зарядку аккумуляторов, обслуживание компьютера и электромагнитных клапанов, с помощью которых осуществляется управление подачи рабочих тел в цилиндр двигателя. Отработанные рабочие тела также используются на термодвигателях для получения электрического тока, а пар используется для подогрева цилиндра и для подачи воздуха в цилиндр.

Работа предлагаемого поршневого двигателя характеризуется множеством вариантов. Поэтому рассмотрим некоторые из них.

Вариант 1. В двигателе на каждый рабочий ход подается попеременно новое рабочее тело: воздух – азот. К чему это приводит? Подавая в цилиндр сжатый воздух, а на следующий рабочий ход - жидкий азот, а затем снова на рабочий ход – воздух и на следующий рабочий ход – азот, достигается уменьшение расхода азота в два раза (учитывая, что сжатый воздух дешевле жидкого азота).

Вариант 2. В двигателе на каждый рабочий ход подается одновременно сжатый воздух и жидкий азот, что так же значительно сокращает расход азота и воздуха.

Вариант 3. Рабочий ход состоит из двух фаз: первоначально в цилиндр подается сжатый воздух и, когда поршень проходит часть пути, в цилиндр впрыскивается жидкий азот, который начинает кипеть, увеличивая мощность, передаваемую поршнем коленчатому валу. При одновременном использовании сжатого воздуха и жидкого азота происходит их более экономное расходование.

Вариант 4. Двигатель работает в зависимости от нагрузки и оптимального режима расхода рабочего тела или только на сжатом воздухе, или на жидком азоте, чередуя такую последовательность.

Эффективно ввести в работу двигателя третье рабочее тело – перегретый пар из специального баллона-термоса.

Вариант 5. В двигатель на рабочий ход подается перегретый пар, который совершает рабочий ход, прогревает двигатель и поршень. После рабочего хода пар направляется на прогрев цилиндра с внешней стороны и на прогрев трубопровода со сжатым воздухом. На следующий рабочий ход в цилиндр подается сжатый воздух, который перед подачей в цилиндр нагревается отработанным

паром. При этом расход сжатого воздуха на рабочий ход значительно меньше, так как он подогревается перед поступлением в цилиндр.

Цилиндр прогреет с внутренней и наружной стороны и в него на следующий рабочий ход подается жидкий азот. В результате попадания жидкого азота в “горячий” цилиндр происходит его интенсивное кипение, при этом расход жидкого азота уменьшается. При рабочем ходе от жидкого азота происходит охлаждение цилиндра, а при следующем рабочем ходе цилиндр нагревается от перегретого пара, и таким образом цикл повторяется.

Вариант 6. В цилиндр одновременно подается сжатый воздух, перегретый пар и жидкий азот.

Вариант 7. Рабочий ход состоит из двух последовательных фаз: в первой фазе в цилиндр подается сжатый воздух, под действием которого поршень проходит часть пути. Во второй фазе в цилиндр подается жидкий азот. На следующий рабочий ход в первой фазе в цилиндр подается перегретый пар, а во второй фазе – жидкий азот. Такой цикл работы двигателя повторяется.

Вариант 8. Перегретый пар используется исключительно для нагрева сжатого воздуха на подводе к цилиндру, а двигатель работает на сжатом воздухе и жидком азоте аналогично приведенным выше вариантам.

Вариант 9. Двигатель работает в зависимости от нагрузки и оптимального режима или от сжатого воздуха, или от жидкого азота, или от перегретого пара.

Варианты работы двигателя могут быть и другие. Оптимальный режим работы двигателя в каждом конкретном случае выбирает компьютер.

Вариант 10. Рабочий ход состоит из трех фаз. В цилиндр последовательно подаются рабочие тела: перегретый пар, сжатый воздух и жидкий азот.

Вариант 11. Рабочий ход осуществляется сжатым воздухом, подогреваемым перегретым паром из специального баллона-термоса (с регулировкой температуры нагрева на оптимальный режим термостатом), и последующей подачей жидкого азота. Режимом подачи в цилиндр рабочих тел управляет компьютер через электромагнитные клапаны. Отработанные тела в цилиндре также с помощью компьютера и электромагнитных клапанов направляются на повторное использование: на вращение турбины генератора (динамо-машины), на термопары, на обогрев цилиндра и подаваемого рабочего тела, обеспечивая оптимальный режим работы на требуемую нагрузку.

Таким образом, эффект от применения предлагаемого двигателя, работающего на жидком азоте, состоит в том, что при его работе используются новые рабочие тела (сжатый воздух и перегретый пар, которые подаются в рабочий цилиндр в разных комбинациях или в определенной последовательности, а так же по отдельности). При этом можно использовать перегретый пар одновременно как рабочее тело, так и для обогрева цилиндра снаружи и подаваемого сжатого воздуха отработанным перегретым паром. Можно использовать перегретый пар исключительно для подогрева подаваемого сжатого воздуха, регулируя его температуру термостатом (терморегулятором). Оптимальный режим работы двигателя выбирает компьютер. Он же осуществляет подачу рабочих тел в цилиндр через электромагнитные клапаны. Отработанные тела в цилиндре двигателя также с помощью компьютера и электромагнитных клапанов

направляются на турбину-генератор (динамо-машину), которая вырабатывает электрический ток. Ток обеспечивает зарядку аккумуляторов и термопар, подогрев цилиндра и прогрев подаваемого рабочего тела.

На предлагаемых рабочих телах могут использоваться разные двигатели: воздушные, паровые, двигатели внутреннего сгорания.

1.4. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ

Известно изобретение - электрогидравлический двигатель, который имеет обмотку – катушку и сердечник – поршень. По обмотке – катушке пропускается постоянный электрический ток, катушка втягивает сердечник – поршень, а поршень создает давление в цилиндре на жидкость. Недостатками данного двигателя являются: наличие обмотки – катушки, наличие сердечника, необходимость преобразования электрического тока в магнитное поле, взаимодействие электрического тока с гидравлической жидкостью через магнитное поле посредством обмотки – сердечника – поршня, зависимость частоты передвижения поршня от времени перемагничивания, большой объем двигателя, неиспользование обратимости электрогидравлического двигателя, сложность двигателя в изготовлении, обслуживании, эксплуатации и ремонте.

Развитием данного направления двигателестроения является разработанная нами и приведенная ниже конструкция пьезоэлектрогидравлического двигателя. Он состоит из цилиндра, клапанов (всасывающих и нагнетающих), поршней, в каждом из которых имеются две пьезопластины (пьезокристаллы). При подаче на пьезопластину минусового потенциала пластина сжимается, а при подаче на пьезопластину плюсового потенциала пластина увеличивается. Две такие пластины, соединенные вместе, при подаче разных потенциалов прогибаются в одну сторону, а при смене потенциалов прогибаются в обратную сторону.

На рис. 1.2 показан принцип работы и устройство пьезокристаллического двигателя.

На позиции 1 показаны пьезопластины (пьезокристаллы), на которые поданы разные потенциалы. Поршень принимает выпуклость влево в сторону положительного потенциала.

На позиции 2 показаны пьезопластины, на которые поданы разные потенциалы, противоположные позиции 1. Поршень принимает выпуклость вправо – в сторону положительного потенциала.

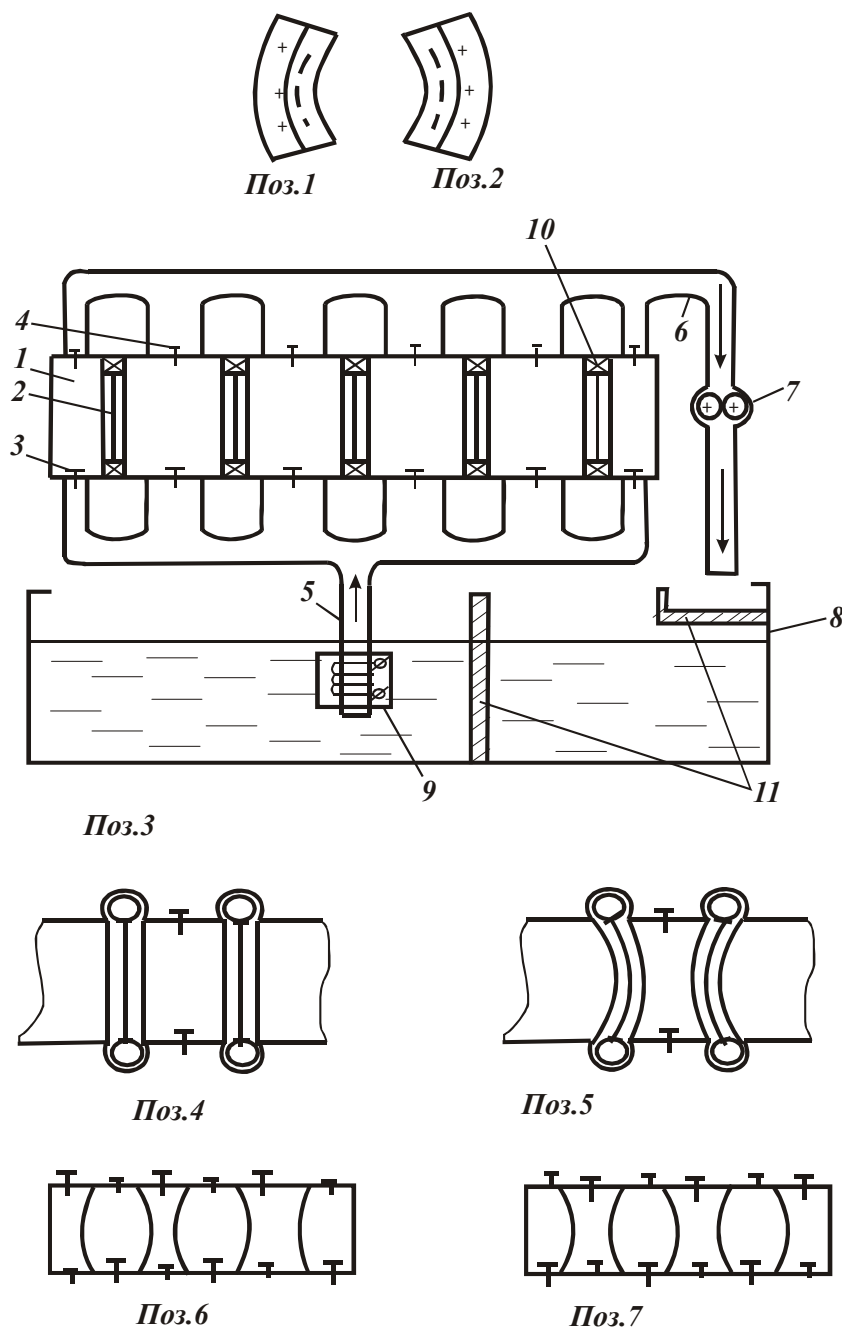
На позиции 3 представлена общая схема пьезоэлектрогидравлического двигателя: 1 – цилиндр; 2 – поршень из пьезопластин; 3 – всасывающие клапаны; 4 – нагнетательные клапаны; 5 – всасывающий трубопровод; 6 – нагнетательный трубопровод; 7 – шестеренчатый гидропривод; 8 – бак с гидравлической жидкостью; 9 – проточный электронагреватель на всасывающем трубопроводе; 10 – эластичные элементы, соединяющие пьезопластины с цилиндром; 11 – сетка-фильтр.

На позиции 4 показаны пьезопластины в шарнирном соединении с

цилиндром без потенциалов на них.

На позиции 5 показаны пьезопластины в шарнирном соединении (в работе выталкивают жидкость из цилиндра, всасывающий клапан закрыт, а нагнетательный – открыт).

На позициях 6 и 7 показаны схемы работы поршней и клапанов.



Работа двигателя состоит в следующем. При подаче на две пьезопластины поршня разных потенциалов, поршень становится выпуклым в сторону положительного потенциала и вогнутым в сторону отрицательного потенциала. Поэтому между поршнем и стенкой цилиндра или между двумя поршнями при смене потенциалов на пьезокристаллических пластинах изменяется объём цилиндра. При увеличении объёма цилиндра происходит всасывание в цилиндр жидкости из бака. Всасывающий клапан открывается, а нагнетательный клапан закрывается. Жидкость заполняет цилиндр. При смене потенциалов на пластинах поршней объём в цилиндре уменьшается, всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный клапан открывается, жидкость из цилиндра перегоняется в нагнетательный трубопровод и по нему направляется через шестеренчатый привод и сливается в бак. Через сетку-фильтр масло поступает на всасывающую трубу. Цикл повторяется.

Рис. 1.2. Пьезоэлектрический двигатель.

Для оптимальной работы и поддержания вязкости на одинаковом уровне на всасывающем трубопроводе установлен проточный электронагреватель, который получает обратную связь от пьезопластин во время всасывания и через

микропроцессор или компьютер включается и выключается. Гидравлический привод обеспечивает работу механизма. Гидравлический привод у данного двигателя может быть шестеренчатым разных конструкций (поршневым, винтовым, турбинным – в зависимости от назначения двигателя), а также может отсутствовать. Для перекачивания жидкости может применяться насос.

Пьезопластины крепятся к цилиндру двигателя через эластичные элементы или через шарнирные соединения, что обеспечивает им работу в поршне. Во всасывающую полость гидравлическая жидкость попадает через сетку-фильтр. Электронагревательные элементы автоматически включаются и выключаются для поддержания одинаковой вязкости. Клапаны автоматически открываются и закрываются от разницы давлений в трубопроводах и цилиндре. Частота движений (сокращений) поршня поддерживается автоматически через датчик от скорости вращения гидропривода. Скорость вращения гидропривода зависит от нагрузки.

Двигатель работает полностью в автоматическом режиме. Питание двигателя осуществляется от солнечных батарей, аккумуляторов, конденсаторов и других источников через электронную схему управления микропроцессора или компьютера.

Несмотря на малую поверхность поршней, двигатель достигает большой мощности благодаря высокой частоте движений поршней (мембран) и большому их количеству.

Пьезоэлектрогидравлический двигатель не имеет катушек-обмоток, не имеет сердечников. В двигателе не происходит преобразование электрического тока в магнитное поле, электрические потенциалы приводят в движение поршни непосредственно: поршень сразу соприкасается с гидравлической жидкостью. Поэтому КПД такого двигателя будет выше, на нагрев используется меньше энергии, отсутствуют потери в электромагнитных полях. Частота перемещения поршней не зависит от времени перемагничивания, а зависит лишь от смены потенциалов. Поэтому она в сотни раз выше.

Так как в двигателе отсутствуют обмотки и сердечники, а мощность зависит от частоты движений поршней, то объём данного двигателя на единицу мощности будет меньше.

Данный двигатель обратим. При вращении гидропривода (без подачи на пьезопоршневые пластины потенциалов) шестеренчатый гидропривод, продолжая вращаться от инерции машины, переходит в режим насоса, клапаны открываются под действием всасывания насоса, а поршни не совершают движений. Если при этом нижние всасывающие поршни или трубопроводы к ним через один закрывать и открывать, то, в такт закрытию и открытию, поршни будут прогибаться в объёме закрытого цилиндра, а на пластинах появятся потенциалы, которые используются для подзарядки аккумуляторов и конденсаторов.

Для этого необходимо ввести пластинчатые клапаны во всасывающие трубопроводы перед всасывающими клапанами. Этот клапан представляет собой пластину с отверстиями, которая проходит через всасывающие патрубки трубопровода по специальным направляющим и совершает возвратно-поступательное движение от коленчатого вала через шатун. Коленчатый вал приводится в движение от гидропривода через ременную передачу. Передача

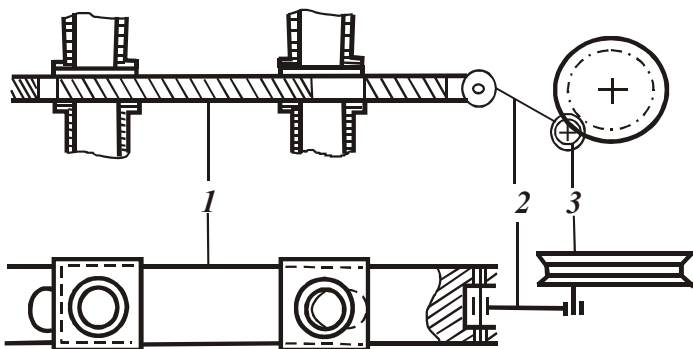


Рис. 1.3. Клапанная система пьезоэлектрического двигателя.

может быть и другой. При прекращении подачи потенциалов на пьезопластины поршня, через микропроцессор или компьютер включается привод на пластинчатые клапаны всасывающих патрубков и пьезодвигатель превращается в пьезогенератор. При использовании обратимых пьезодвигателей их КПД значительно возрастает.

Для увеличения обратимости, то есть перехода от режима двигателя в режим генератора, необходимо ввести пластинчатые клапаны и на нагнетательный трубопровод, которые закрываются и открываются в противоположность на всасывающем трубопроводе.

Возможен и другой вариант с использованием пьезоэлектрических клапанов (рис. 1.3).

Подводя итоги, следует отметить, что двигатель работает в автоматическом режиме, микропроцессор или компьютер следит за источниками питания и автоматически подключает их на работу или зарядку, а так же переводит с одного источника питания на другой. Двигатель очень прост в устройстве. За ним большое будущее в автомобилестроении, так как он может работать от солнечных батарей, переходить на аккумуляторные или конденсаторные батареи, заряжать их при торможении и движении с горы, подключаться к внешней электросети.

РАЗДЕЛ 2

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

2.1. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И РАБОТА ДВИГАТЕЛЯ

Двигатели внутреннего сгорания делятся на карбюраторные и дизельные. Карбюраторный и дизельный двигатели состоят из кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, системы питания, смазки и охлаждения. Карбюраторный двигатель имеет систему зажигания. В карбюраторных двигателях рабочая смесь из паров бензина и воздуха готовится в карбюраторе и засасывается в цилиндры двигателя, где воспламеняется электрической искрой. В двигателях, работающих на газе, рабочая смесь готовится также вне цилиндра, в смесителях. В дизелях рабочая смесь готовится внутри цилиндров, путем впрыска в них дизельного топлива, самовоспламеняющегося благодаря высокой температуре сжатого в цилиндре воздуха.

Наибольшее распространение получили четырехтактные двигатели. Рабочий цикл такого двигателя состоит из следующих тактов: впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск.

Кривошипно-шатунный механизм преобразует поступательное движение поршня во вращательное движение коленчатого вала.

Газораспределительный механизм своевременно открывает и закрывает клапаны.

Система питания обеспечивает подачу топлива и воздуха, приготовление рабочей смеси и отвод газов.

Система смазки обеспечивает смазку трущихся частей, охлаждение деталей двигателя: поршней, кривошипно-шатунного механизма, подшипников, удаляет продукты износа.

Система охлаждения - водяная или воздушная - отводит теплоту от деталей двигателя и обеспечивает наиболее выгодный тепловой режим его работы.

Система зажигания в карбюраторных двигателях обеспечивает своевременное воспламенение рабочей смеси электрической искрой.

Современные двигатели многоцилиндровые. Цилиндры располагаются в один ряд или под углом V-образно.

Схема и порядок работы четырехтактного восьмицилиндрового V-образного двигателя изображена на рис. 2.1.

Рядные двигатели при большом числе цилиндров становятся громоздкими. V-образные двигатели занимают меньший объем. Это позволяет увеличить их литраж, а, следовательно, и мощность. В последнее время появились W-образные двигатели. Для увеличения мощности используют систему турбонаддува.

Проследим историю развития двигателя. Первый двигатель французского инженера Лебона и сейчас продолжает восхищать и будоражить умы изобретателей. Лебон в 1801 году предложил конструкцию двигателя на светильном га-

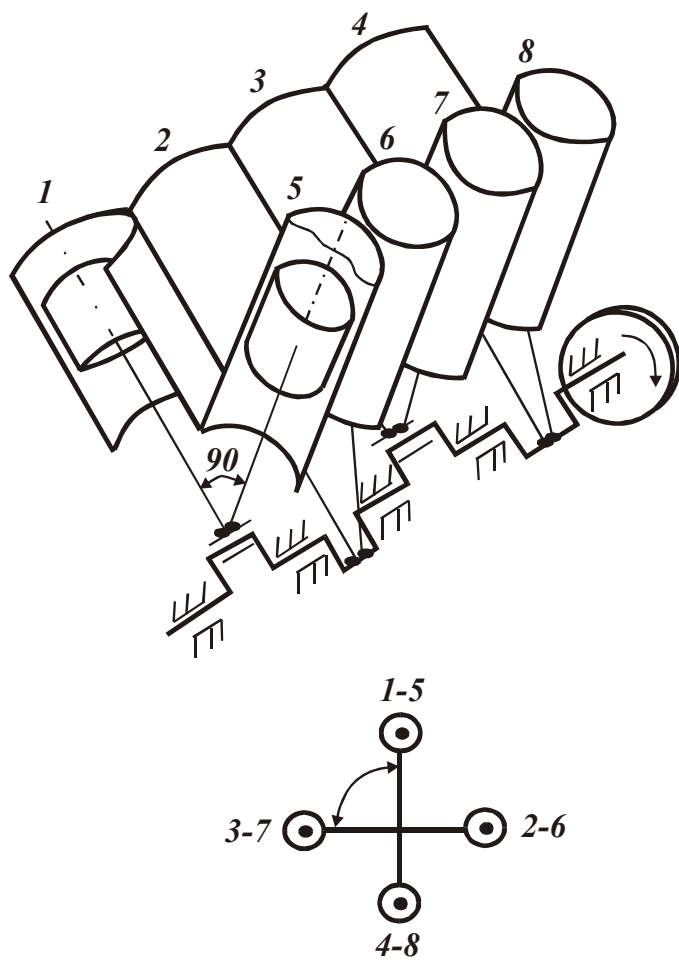


Рис. 2.1. Схема и порядок работы четырехтактного восьмицилиндрового V-образного двигателя.

зе, полученном от сухой перегонки древесины.

Бельгийский инженер Лемуар в 1860 году построил двигатель, где газовая смесь зажигалась электрической искрой. У Лебона и у Лемуара двигатели были двойного действия, т.е. камеры находились по обе стороны поршня и попеременно работали. КПД двигателя Лемуара достигал всего 4%, но тем не менее уже в 1864 году было выпущено 300 таких двигателей. Немецкий изобретатель Отто в 1864 году получил патент на газовый двигатель, КПД которого был 15%.

В 1870-х годах французский инженер Бо де Рош описал принцип работы четырехтактного двигателя. В 1877 году Отто получил патент на двигатель с четырехтактным циклом и освоил их выпуск. Этот цикл остается до настоящего времени основным в работе большинства современных двигателей. В 1872

году американец Брайтон изобрел карбюратор и предложил использовать в двигателе бензин. В 1892 году немецкий инженер Рудольф Дизель получил патент на двигатель, работающий по циклу Карно, КПД которого составил 73%. В 1893 году был изготовлен одноцилиндровый двигатель, работа которого первоначально планировалась на угольной пыли, но при испытании решили применить бензин, что привело к взрыву. В 1894 году для второго двигателя Дизель изобрел форсунку для впрыска керосина.

Не будем дальше перечислять все изобретения по двигателям внутреннего сгорания, но если взять изобретения за последние 100 лет, то мы не так далеко ушли от идей столетней давности. Конструкция двигателя внутреннего сгорания, разработанная Рудольфом Дизелем, остается лучшей на сегодняшний день.

Проанализировав двигатели внутреннего сгорания производства СССР: Д-37М; Д-37В; Д-30; Д-21; Д-16; Д-20; Д-50; Д-40; Д-48; Д-54А; Д-75; СМД-14 и его модификации: СМД-14А, СМД-14Б, АСМД-7В; АМ-01 и его модификации: КДМ-100, Д-108, Д-130, 6КДМ-50, Д-180; Д-200; ЯМЗ-238НБ; В-30, и рассмотрев следующие устройства патент Великобритании № 556297, кл. F02 В 75/18, опубл. 1943 г., патент Франции № 801965, кл. F02 В 75/18, опубл.

1936г., патент Франции № 508340, кл. F 02 В 75/18, опубл. 1920 г., заявка ФРГ № 3240130, кл. F 02 В 71/00, 1982 г., А.С. СССР № 84292, кл. F 02 В 75/28, 1959 г., патент России № 2123124, кл. 6F 02 В 75/18, 75/28 опубл. 10.12.98 г., Бюл. № 34, а так же двигатели, установленные на автомобилях “Нисан-Микра” и “Опель-Корса”, и приняв их за основу, ниже описаны следующие разработки:

1. Двигатель внутреннего сгорания с последовательно расположенными цилиндрами, между которыми расположена камера для размещения клапанов.
2. Двигатель внутреннего сгорания с соединением поршней на оппозиционные штоки, которые имеют связь с общим коленчатым валом через оппозиционные шейки.
3. Двигатель внутреннего сгорания с газораспределительным механизмом – шаровой вал; с системой пьезозажигания и очистителем выхлопных газов.
4. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на газообразном, жидком и твердом топливе.
5. Клапанная система для двигателя внутреннего сгорания.
6. Двигатель внутреннего сгорания с пьезоэлектрическими клапанами.
7. Двигатель внутреннего сгорания с пневмоклапанами.

2.2. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО РАСПОЛОЖЕННЫМИ ЦИЛИНДРАМИ, МЕЖДУ КОТОРЫМИ РАСПОЛОЖЕНА КАМЕРА ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ КЛАПАНОВ

Анализируя известные двигатели, находим, что есть двигатель внутреннего сгорания с последовательно расположенными цилиндрами и общим штоком, который жестко соединен с поршнями и с традиционными клапанами, размещенными на боковой поверхности.

Такой двигатель имеет существенные недостатки. Так как клапаны располагаются на боковой поверхности, то затруднен их привод, требуется специальная надстройка управления клапанами, подвода воздуха и отвода газов, что значительно увеличивает поперечное сечение двигателя. Двигатель может работать только на один коленчатый вал, а это усложняет трансмиссию машины, снижает ее надежность и КПД. При работе двигателя на один коленчатый вал, последний приходится изготавливать более массивным с необоснованно завышенным запасом прочности. При этом возникает односторонняя вибрация, двигатель получается не симметричным, увеличивается износ деталей.

Для улучшения эксплуатационных показателей двигателя и расширения его технологических возможностей, между цилиндрами целесообразно поместить камеру, предназначенную для размещения клапанов, а шток выполнить с выходом на две противоположные стороны вдоль оси цилиндров. Это позволит упростить управление клапанами, обеспечит работу двигателя на два коленчатых вала, упростит трансмиссию машины, равномерно распределит нагрузку на все узлы двигателя, уменьшит вибрацию двигателя, улучшит компоновку и повысит надежность двигателя.

Рабочий цикл двигателя внутреннего сгорания показан на рис. 2.2.

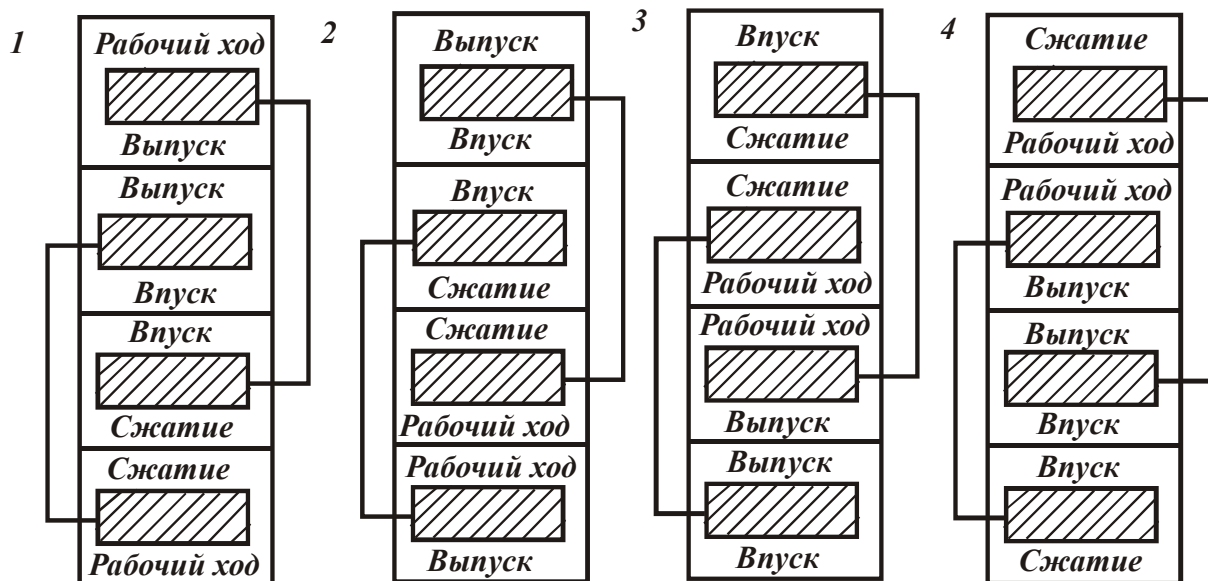


Рис. 2.2. Рабочий цикл двигателя внутреннего сгорания.

1	Поршни 1	Рабочий ход	3	Поршни 3	Рабочий ход
2	–	Выпуск	4	–	Выпуск
3	–	Впуск	2	–	Сжатие
4	–	Сжатие	1	–	Впуск
2	Поршни 4	Рабочий ход	4	Поршни 2	Рабочий ход
3	–	Сжатие	1	–	Сжатие
2	–	Впуск	3	–	Выпуск
1	–	Выпуск	4	–	Впуск

2.3. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С СОЕДИНЕНИЕМ ПОРШНЕЙ НА ОППОЗИЦИОННЫЕ ШТОКИ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ СВЯЗЬ С ОБЩИМ КОЛЕНЧАТЫМ ВАЛОМ ЧЕРЕЗ ОППОЗИЦИОННЫЕ ШЕЙКИ

В качестве двигателя внутреннего сгорания в ФРГ был предложен двигатель, состоящий из двух цилиндрических блоков, где все поршни в одном блоке связаны жёстко боковыми штоками. Два цилиндрических блока были соединены в один двигатель через общий коленчатый вал. Недостатки двигателя: работает только по четырехтактному циклу; для уменьшения ударов и вибраций, передаваемых на коленчатый вал, устанавливаются два цилиндрических блока; поршни в одном цилиндрическом блоке связаны жёстко боковыми штоками и работают как одно целое; взаимосвязь боковых подвижных штоков с другими цилиндрическими блоками осуществляется напрямую, а не через коленчатый вал; блоки занимают большой объём; большая материалоёмкость; нет турбонаддува.

Для расширения функциональных возможностей двигателя внутреннего сгорания, нами предложено в одном цилиндрическом блоке располагать попар-

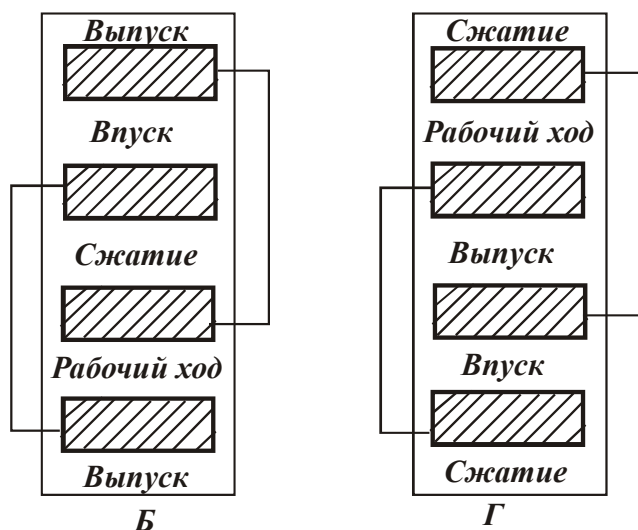
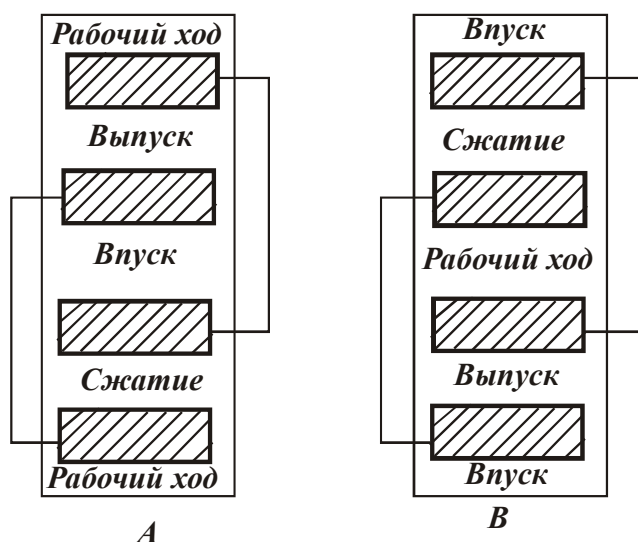


Рис. 2.3. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

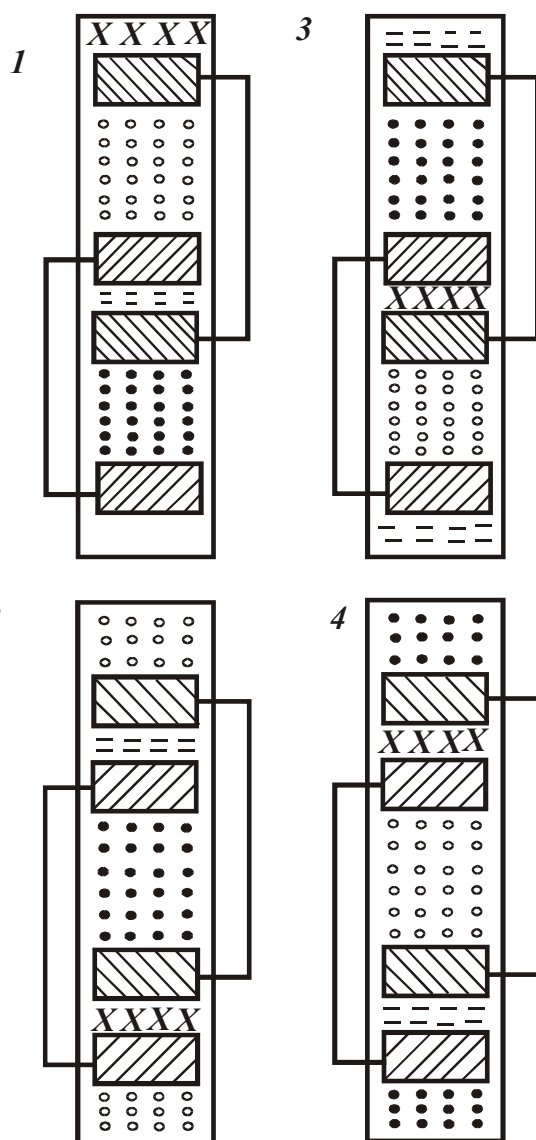


Рис. 2.4. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

но через один два ряда поршней с выходом каждого ряда на общий коленчатый вал самостоятельно на шейки коленчатого вала. Это обеспечивает уменьшение вибрации и передачу ударных нагрузок, а также значительно упрощает конструкцию двигателя и уменьшает материалоемкость.

Соединение поршней может быть и попарно или в любом количестве по одной линии на разных уровнях в параллельных рядах цилиндров с выходом на общий коленчатый вал на противоположные шейки. Полностью работа двигателя показана на рис. 2.2...рис. 2.11 и описания не требует.

На рис. 2.2 показан двигатель, состоящий из цилиндрического блока, в котором в последовательно расположенных соосных цилиндрах располагаются поршни с двухсторонней рабочей поверхностью (или поршни, размещенные попарно). При этом торцы цилиндров образуют с поршнями камеры сгорания двигателя. Поршни соединяются двумя отдельными подвижными штоками через один и выходят на оппозиционно противоположные шейки общего коленчатого вала.

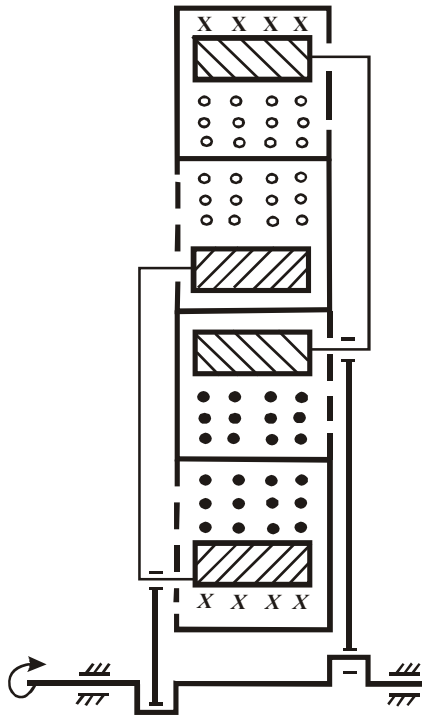


Рис. 2.5. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

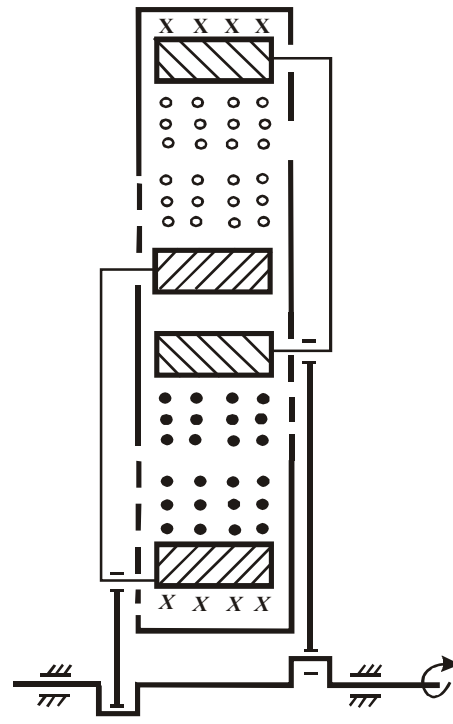


Рис. 2.6. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

На рис. 2.3 показан двигатель, в котором поршни работают также на один общий коленчатый вал, но двигатель имеет один общий цилиндр без перегородок, а камеры сгорания образуются между оппозитивными поршнями. На рис. 2.2 и рис. 2.3 показана работа четырехтактного двигателя по тактам согласно последовательности позиций 1, 2, 3, 4.

На рис. 2.4 работа двигателя изображена условными знаками: рабочий ход – xxx; впуск – (— — —); выпуск – 000; сжатие -

На рис. 2.5 и рис. 2.6 показан выход подвижных штоков на один общий коленчатый вал. На рис. 2.7 и рис. 2.8 показаны многоблочные двигатели в одном цилиндре с перегородками и без перегородок. На рис. 2.9 показана работа двигателя при параллельном расположении цилиндров и связи поршней подвижными боковыми штоками на одной линии со связью между поршнями через один общий коленчатый вал и через оппозитивные шейки коленчатого вала.

На рис. 2.10 показана работа двигателя при параллельном расположении цилиндров и оппозитивной связью поршней через один общий коленчатый вал через оппозитивные шейки.

На рис. 2.11 показана работа турбонаддува с регулируемым клапаном на разность давлений, что позволяет совместить такт выпуск – впуск – сжатие.

Позиция 1 - клапан турбонаддува закрыт давлением рабочего хода.

Позиция 2 – открывается выпускной клапан, а при падении давления открывается клапан турбонаддува, происходит продувка цилиндра, затем закрывается выпускной клапан и цилиндр заполняется воздухом или другой газовой смесью через турбонаддув.

Позиция 3 - при дальнейшем движении поршня от разницы давлений

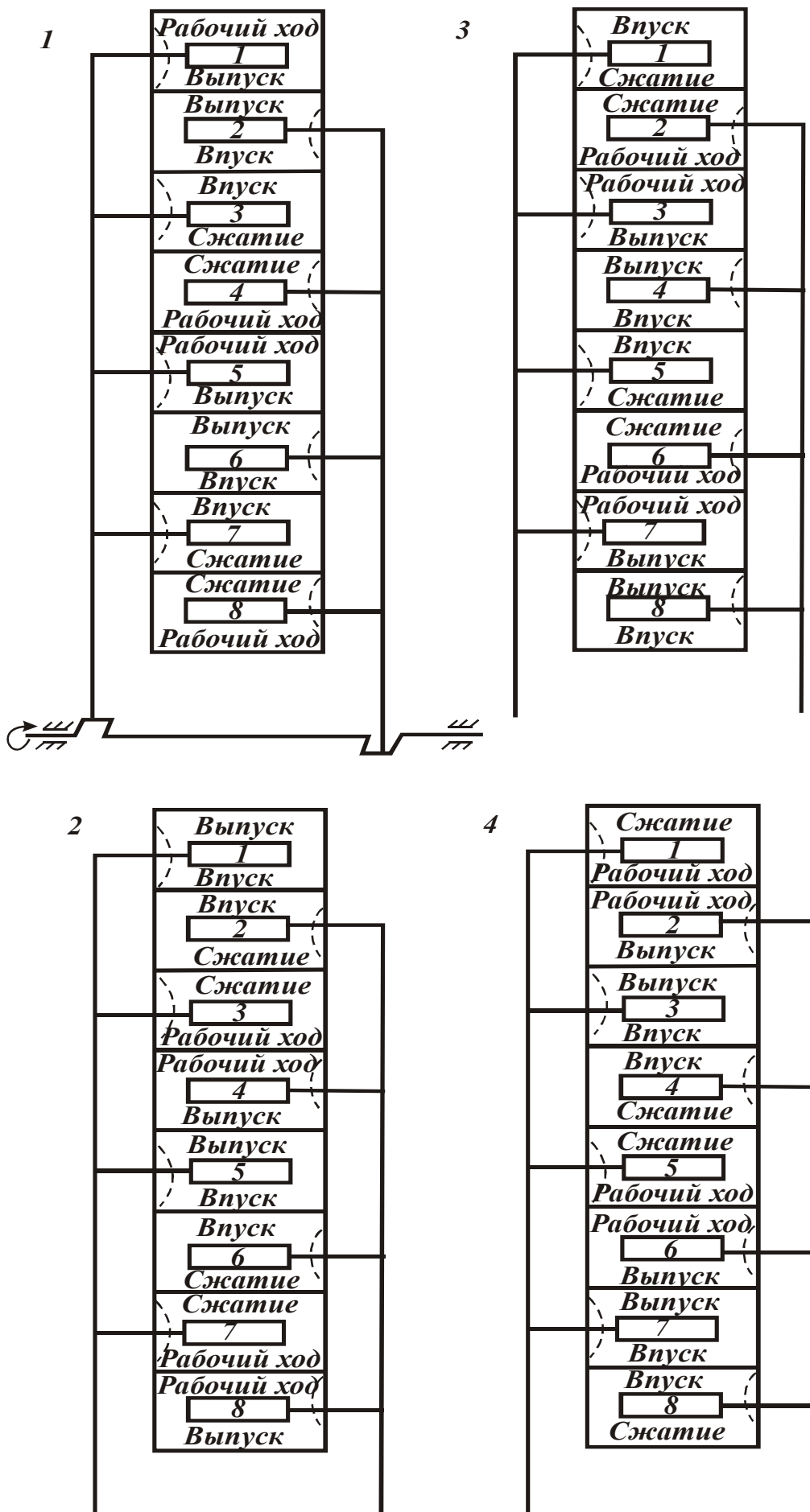


Рис. 2.7. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

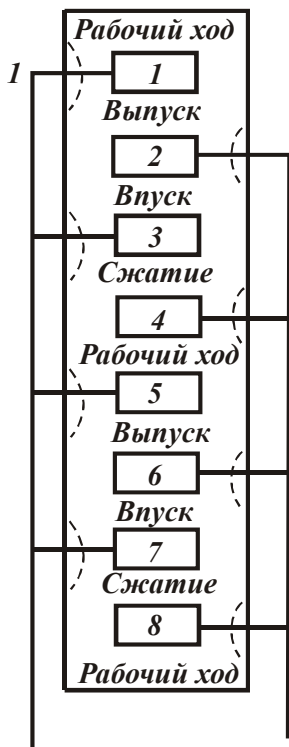


Рис. 2.8. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

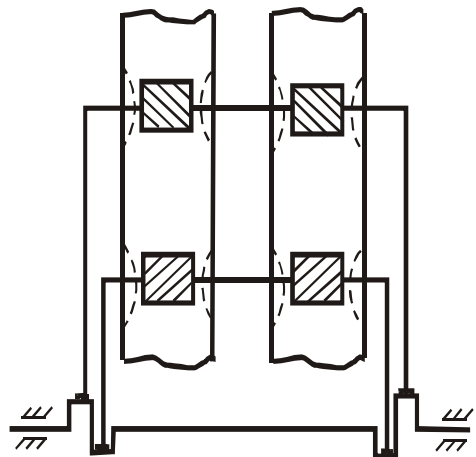


Рис. 2.9. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

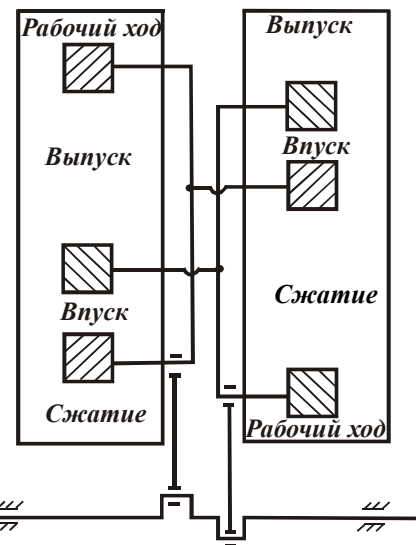


Рис. 2.10. Схема работы двигателя внутреннего сгорания.

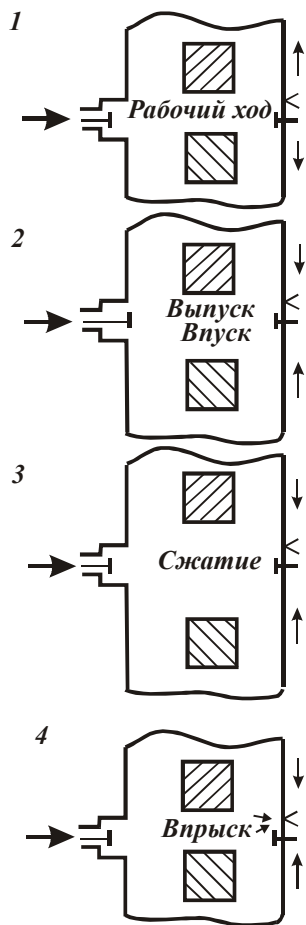


Рис. 2.11. Схема работы турбонаддува.

поршень турбонаддува закрывается и происходит такт сжатия.

Позиция 4 – в конце такта сжатия происходит впрыск топлива. Затем следует рабочий ход – позиция 1.

На рис. 2.11 показана работа турбонаддува с регулируемым клапаном на разность давлений, что позволяет совместить такт выпуск – впуск – сжатие.

Позиция 1 - клапан турбонаддува закрыт давлением рабочего хода.

Позиция 2 – открывается выпускной клапан, а при падении давления открывается клапан турбонаддува, происходит продувка цилиндра, затем закрывается выпускной клапан и цилиндр заполняется воздухом или другой газовой смесью через турбонаддув.

Позиция 3 - при дальнейшем движении поршня от разницы давлений поршень турбонаддува закрывается и происходит такт сжатия.

Позиция 4 – в конце такта сжатия происходит впрыск топлива. Затем следует рабочий ход – позиция 1.

Работа двигателя по двухтактному циклу может быть обеспечена и другими известными способами.

Таким образом, соединяя поршни через один на два разных подвижных штока, которые выходят на оп-

позиционные шейки одного коленчатого вала, появляется возможность устранить перегородки в цилиндрическом блоке. В этом случае камеры сгорания образуются между оппозиционными поршнями. Система турбонаддува с регулируемым клапаном или с клапаном принудительного открывания и закрывания позволяет перевести двигатель с четырехтактного на двухтактный за счет совмещения тактов выпуска – впуска – сжатия. При применении клапанов с принудительным открыванием и закрыванием на турбонаддуве можно совместить такты и по другой схеме. Такие двигатели могут соединяться в параллельные блоки, работать на один или несколько коленчатых валов.

Для повышения жесткости в соединенных поршнях могут применяться три жестких параллельных штока, расположенных под углом 120° по торцу поршней. Один из них должен выходить на коленчатый вал, а два других – повышать жесткость конструкции.

2.4. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ – ШАРОВОЙ ВАЛ, С СИСТЕМОЙ ПЬЕЗОЗАЖИГАНИЯ И ОЧИСТИТЕЛЕМ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ

В мировой практике двигателестроения разработаны конструкции двигателей с последовательно расположенными цилиндрами и клапанами, расположенными на боковой поверхности цилиндров. Так, в Канаде создан двигатель, работающий на перекисном соединении бутилового спирта, сгорающего в азоте. В Великобритании предложено зажигание, состоящее из пьезокристалла, работающего при сжатии. Однако эти двигатели имеют ряд недостатков:

- клапанный газораспределительный механизм содержит большое количество деталей, занимает значительный объём, увеличивает вес двигателя, вызывает повышенный шум, требует высококвалифицированного обслуживания;
- имеют традиционную систему зажигания, не учитывающую давления в блоке цилиндра; не содержит двойной системы зажигания с использованием пьезокристаллов;
- используют традиционные виды горючих тел: дизельное топливо, бензин, горючий газ. Однако газораспределительный механизм не может обеспечить одновременное использование этих рабочих тел: используется лишь одно;
- во время торможения двигателем не используется инерция движущегося механизма;
- не используются выхлопные газы для испарения и подогрева рабочих тел;
- двигатель не переводится из режима “внутреннего сгорания” в другие режимы;
- компоновка двигателя предусматривает работу на один или несколько коленчатых валов, но является однорядной;
- не обеспечивается достаточно плавный переход коленчатого вала в связи

- со сменой направления движения поршня;
- двигатель может работать как карбюраторный или как дизельный, одновременная работа не предусмотрена;
 - используемые продукты сгорания рабочего тела не очищаются;
 - газораспределительный механизм работает всегда в одном режиме, не имеет возможности изменять количество оборотов по отношению к коленчатому валу;
 - не применяется компьютер при выборе оптимальных режимов работы и рабочих тел.

Для расширения функциональных возможностей данной конструкции двигателя внутреннего сгорания нами предложено новое решение. Его суть состоит в том, что изменяем компоновку двигателя, заменяем клапанный газораспределительный механизм на шаровой газораспределительный механизм с переключением его на разное количество оборотов по отношению к коленчатому валу. Это обеспечивает при одном шаровом коленчатом вале работу двигателя с одним, двумя и более цилиндрическими блоками одновременно. А также обеспечивает через один шар подачу и вывод газов и использование разных рабочих тел в одном цилиндре, введение в систему зажигания пьезокристаллического регулируемого от давления зажигания, введение системы подогрева подаваемого рабочего тела и системы очистки выхлопных газов, последовательное использование системы дизельного и карбюраторного двигателя, использование очистительной системы выхлопных газов. Все это позволяет применить последовательно несколько рабочих тел, а так же применить за один рабочий ход несколько рабочих тел, подачу которых осуществить как методом впрыскивания, так и подачей через клапан турбонаддува. Этот метод реализуется работой в автоматическом режиме как от разницы давления клапанного типа, так и через шаровой ввод. Это обеспечивает перевод двигателя с режима “внутреннего сгорания” в режим “испарения - расширения” без сгорания топлива, “вакуумирования”, а при торможении - в режим “компрессора”. При этом выбор оптимального варианта работы производится компьютером, который получает информацию о режиме работы от пьезокристаллов из цилиндра, от терморегулятора подаваемых рабочих тел, а также информацию по температуре поверхности цилиндра, по температуре выхлопных газов и их состава, скорости вращения коленчатого вала.

Рассмотрим принцип работы двигателя.

На рис. 2.12 изображен двигатель внутреннего сгорания с шаровым газораспределительным валом и с регулируемым прижимом газораспределительного вала с помощью пружин к блоку цилиндров. Данный шаровой газораспределительный механизм обеспечивает через один шар впуск и выпуск газов. Продолжительность впуска и выпуска газа зависит от количества отверстий в шаре, продолжительности сегментных канавок, давления подводимого и отводимого газа, скорости вращения шарового клапана относительно коленчатого вала, диаметра отверстий, диаметра шаров клапана, толщины стенки цилиндра, температуры газа и степени расширения или сжатия в цилиндре и вне его. Впускной и выпускной газ подводятся к шаровому вращающемуся клапану с помо-

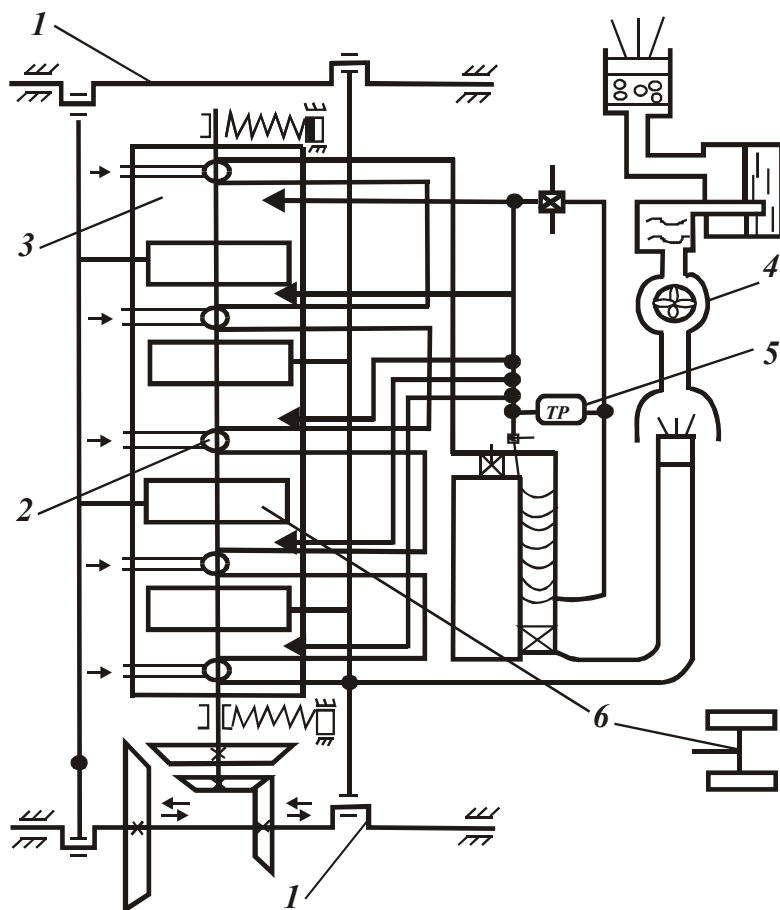


Рис. 2.12. Принцип работы двигателя внутреннего сгорания.

щью трубок, поэтому количество видов впускного газа зависит от количества подводимых трубок и от подачи в них газа. Под словом “газ” здесь надо понимать и подачу воздуха, и подачу смеси воздуха и рабочего тела, и паров рабочего тела, а также подачу паров инертных газов и других газов, не вредных для окружающей среды. Вращение шарового газораспределительного вала изменяется переключением шестерен с разным диаметром и разным количеством зубьев, что обеспечивает получение разной скорости вращения шарового газораспределительного вала относительно вращения коленчатого вала и в сочетании с регулируемой подачей

газов и рабочего тела в цилиндр. При использовании нескольких тел имеет место большое количество вариантов работы двигателя в одном цикле. Выбрать оптимальный вариант в данных условиях может только компьютер.

Рабочее тело нагревается выхлопными газами, температура нагрева регулируется терморегулятором. Выхлопные газы без сопротивления выходят из выхлопной трубы и сразу же улавливаются очистителем выхлопных газов, турбина которого вращается от сжатого воздуха, накаченного в специальный баллон во время торможения двигателя (работающего в режиме “компрессор” или от электродвигателя, или от коленчатого вала). Двигатель может работать на один или несколько коленчатых валов, цилиндрические блоки располагаются однорядно и многорядно под любыми углами. В двигателе пьезоэлектрическая система зажигания может применяться самостоятельно или как контрольная совместно с электронной. Эти же пьезокристаллы используются для получения информации на компьютер, т.е. для обратной связи.

Режим работы двигателя может выбираться в зависимости от исходных данных видов рабочих тел также и с помощью компьютера. Данный двигатель работает при наличии шарового газораспределительного механизма или клапанного механического, или электромагнитного клапанного, или пневмоклапанного, или совмещенных шарового и клапанного, шарового и электромагнитного, шарового и пневмоклапанного, или совместно шарового, клапанного,

электромагнитного клапанного, пневмоклапанного.

Основываясь на вышесказанном, данный двигатель может работать при двухтактном цикле с двумя рабочими ходами.

Некоторые варианты работы двигателя будут приведены ниже после описания отдельных устройств.

На рис. 2.12 показан двигатель внутреннего сгорания: 1 – коленчатый вал; 2 – газораспределительный механизм, шаровой вал; 3 – цилиндр; 4 – очиститель выхлопных газов; 5 – терморегулятор топлива; 6 – поршень.

Для обеспечения более плавного вращения коленчатого вала при прохождении нижней и верхней мертвой точки двигатель компоуется из цилиндрических блоков V-образной, *-образной или круговой схеме под углами расположения цилиндрических блоков в рядах друг относительно друга под углами 30° , 45° , 60° , 90° , 120° или под любыми другими углами. Двигатель может состоять из двух, трех, четырех и более рядов; работать на один, два, три, четыре и более коленчатых валов. Такое большое количество коленчатых валов обеспечивает работу сложных механизмов с индивидуальным приводом и общим приводом. Это позволяет производить малогабаритные компактные двигатели с большой мощностью и малым весом.

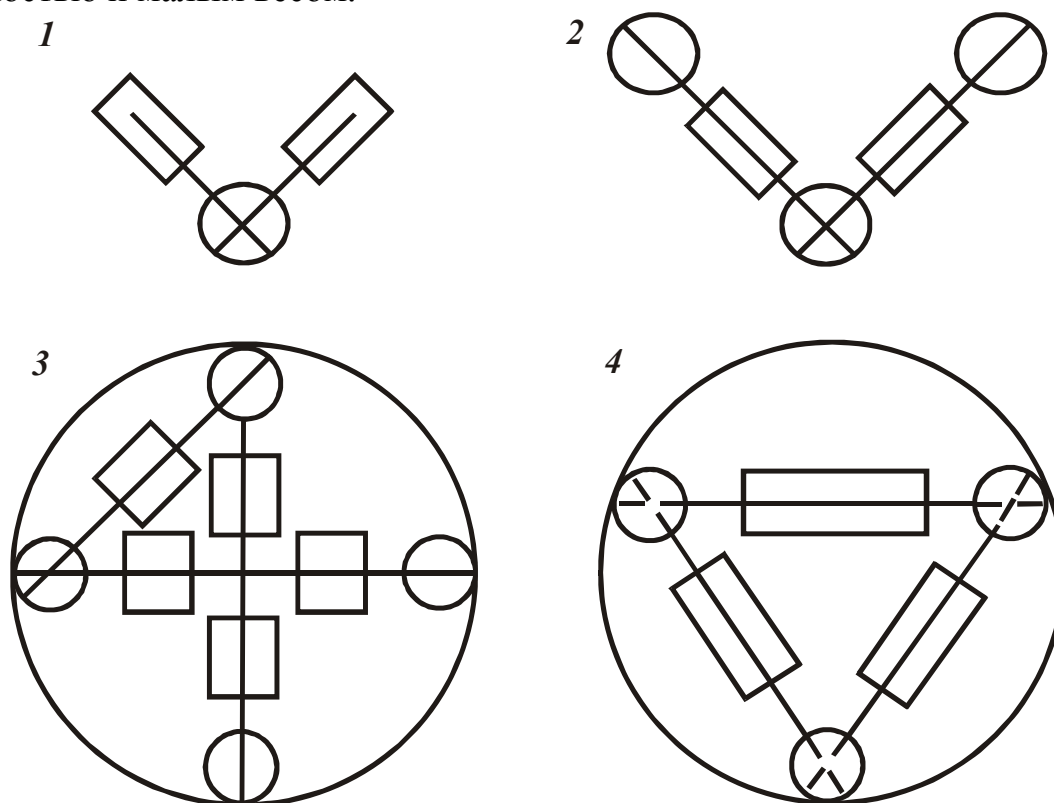


Рис. 2.13. Схема компоновки двигателя.

На рис. 2.13 показана схема компоновки двигателя: 1 – двухрядная на один коленчатый вал; 2 – двухрядная на три коленчатых вала; 3 – многорядная с двумя общими приводами; 4 – трехрядная с одним общим приводом.

Схема компоновки может иметь и другие варианты в зависимости от назначения двигателя и количества требуемых индивидуальных или общих приводов. Сложные схемы компоновки стали возможными благодаря односто-

ронному или двухстороннему выходу из цилиндрического блока на один или два коленчатых вала, а так же за счет применения совершенно нового газораспределительного механизма.

Новый газораспределительный механизм состоит из шарового вала, который с помощью пружин прижимается к блоку с определенной силой, концы вала закреплены в подшипники.

Шары вала имеют отверстия с сегментными канавками или без них. Шары вала помещаются в углубления блока цилиндра, которые находятся на наружной стороне цилиндра и из этих углублений во внутреннюю полость цилиндра проходят отверстия. При вращении шарового вала отверстия в шарах или сегментные канавки в определенное время совпадают с отверстиями в углублениях в цилиндре и через совмещенные отверстия обеспечивается подвод или отвод газов, подвод и отвод через один шар, подвод разных газов в определенной последовательности. Шаровой газораспределительный вал приводится во вращение коленчатым валом через шестерни с возможностью переключения количества оборотов в следующей последовательности: 1:1; 1:1,25; 1:1,5; 1:1,75; 1:2; 1:0,5; 2:1; 2:1,25; 2:1,5; 2:1,75 – относительно коленчатого вала. Один вал шарового газораспределительного механизма может обслуживать один блок цилиндров или два блока цилиндров.

На рис. 2.14 показан газораспределительный механизм: 1 – шары с отверстиями газораспределительного механизма; 2 - вал газораспределительного механизма; 3 – прижимная пружина; 4 – стенка цилиндрического блока.

На рис. 2.14,а показаны возможные варианты отверстий в шаровом газораспределительном механизме и блоке цилиндров при работе шарового газораспределительного механизма на один блок цилиндров.

На рис. 2.14,б показана работа шарового газораспределительного механизма на два цилиндрических блока одновременно (возможна работа на 3 или 4 блока одновременно). Здесь же показана регулировка прижима шарового вала к цилиндрическим блокам.

На рис. 2.14, в показана возможность установки вместо шара цилиндрического шарового сегмента, который обеспечивает центровку и прост в изготовлении. Здесь же показаны возможные варианты расположения отверстий и сегментных канавок. Шаровой газораспределительный механизм при необходимости может вращаться в одну или другую сторону.

В чем его преимущества перед клапанным механизмом?

Вал не имеет эллипсных кулачков, через которые на вал передается ударная нагрузка с пружин через толкатели. Сам шаровой газораспределительный механизм не имеет толкателей, оси коромысла, коромысла, пружин и клапанов. При работе не возникают ударные и вибрационные нагрузки, а также нагрузки от смещения центра тяжести, ниже уровень шума и т.д. При этом в кулачковом механизме необходимо предусмотреть время сжатия пружины, т.е. инерцию работы механизма, поскольку в шаровом газораспределительном механизме инерция работы почти отсутствует. Этот механизм прост и надежен в обслуживании и эксплуатации.

При работе данного двигателя используется система пьезозажигания, ко-

торая отличается от существующих тем, что состоит не из одного пьезокристалла, а из двух пьезокристаллов, один из которых работает на растяжение, а другой – на сжатие. Электрическая искра возникает не между кристаллом и массой цилиндра, а между кристаллами, что дает возможность обеспечивать зажигание в керамических цилиндрических блоках. Кроме того, предложенная схема пьезозажигания регулируется на определенное давление и при наличии нескольких таких систем приходим к двигателю, в котором за один рабочий ход производится несколько впрысков и зажиганий горючей смеси.

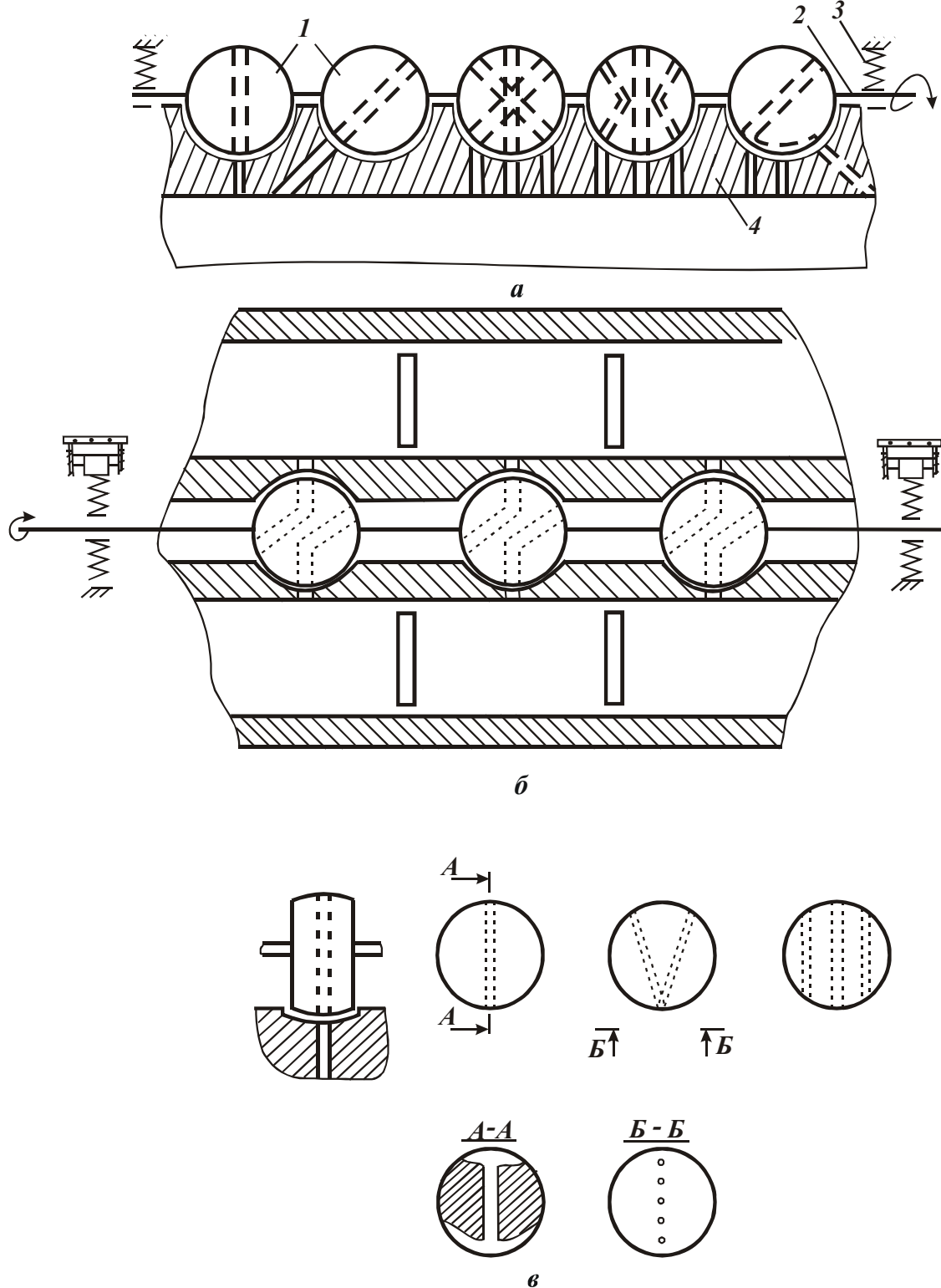


Рис. 2.14. Газораспределительный механизм.

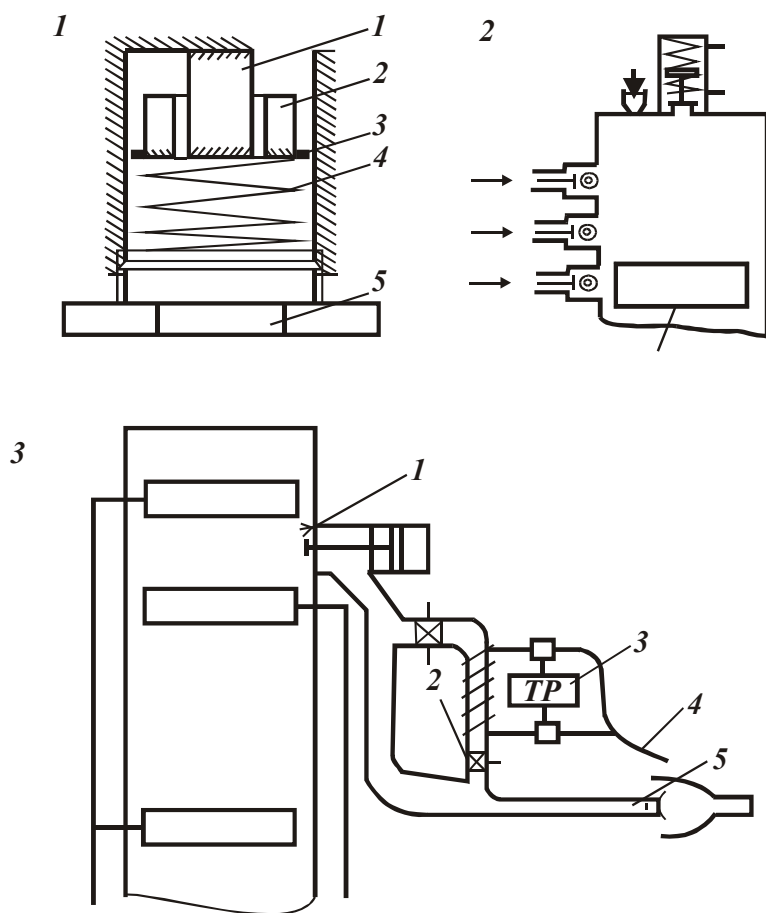


Рис. 2.15. Система пьезозажигания и схема подогрева рабочего тела.

сталами возникает разряд. Система зажигания из пьезокристаллов может работать как самостоятельно (или как контрольная), так и совместно с электронной или электромеханической. Данная система производит зажигание в рабочем цилиндре при понижающемся давлении.

На рис. 2.15 (позиция 2) показана схема такой системы. При подходе поршня к верхней мертвой точке происходит впрыск рабочего тела. В результате срабатывает верхняя система зажигания, повышается давление и начинается рабочий ход. Однако, в связи с удалением поршня из верхней точки и уменьшении давления до значения, меньшего первоначального при сжатии, производится впрыск рабочего тела и срабатывает средняя система зажигания, повышается давление и продолжается рабочий ход. При движении поршня к нижней мертвой точке давление становится еще ниже и вновь делается впрыск рабочего тела и срабатывает нижняя система зажигания.

Пьезокристаллическое зажигание выполняет в двигателе несколько функций: обеспечивает информацию компьютеру о давлении и обеспечивает своевременный впрыск рабочего тела.

На рис. 2.15 (позиция 3) показана схема подогрева рабочего тела: 1 – подвод рабочего тела в цилиндр через форсунку; 2 – клапанная подача выхлопных газов на теплообменник работает от терморегулятора; 3 – терморегулятор с переключением клапанов по направлению рабочего тела на теплообменник или сразу на форсунку; 4 – трубопровод рабочего тела; 5 – выхлопная труба.

На рис. 2.15 показана система пьезозажигания и схема подогрева рабочего тела. Пьезозажигание (позиция 1) включает: 1 – пруток - пьезокристалл растяжения; 2 – цилиндр - пьезокристалл сжатия; 3 – шайба – подложка – поршень; 4 – пружина; 5 – регулировочный винт.

Цилиндрический пьезокристалл крепится к подложке – поршню. Прутковый кристалл крепится одной стороной в центре цилиндрического кристалла к подложке – поршню, а второй стороной – к корпусу. С помощью пружины 4 и винта 5 регулируется давление, при котором между кри-

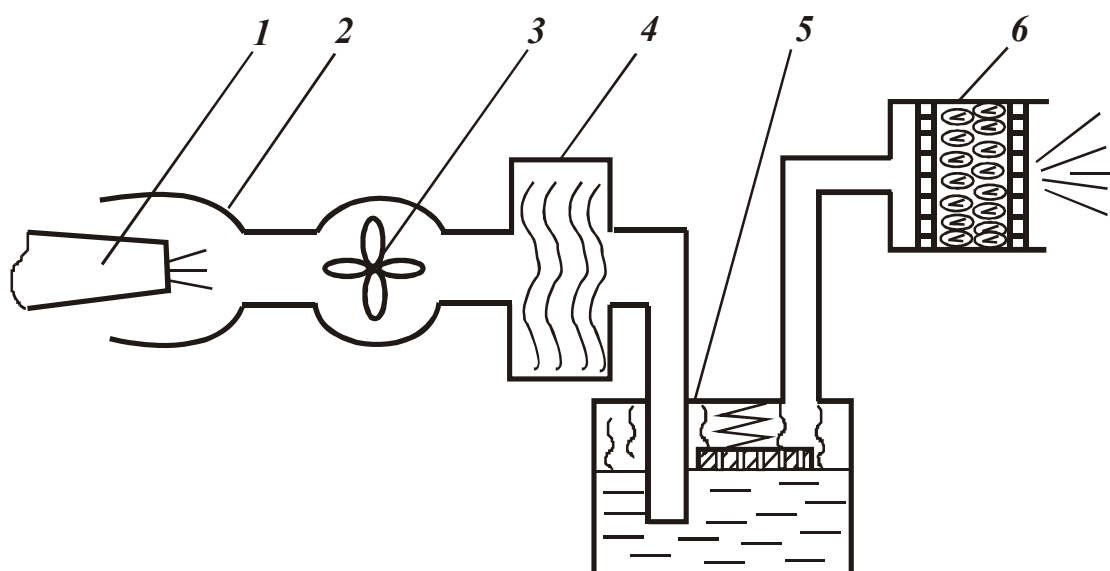


Рис. 2.16. Очиститель выхлопных газов.

На рис. 2.16 показан очиститель выхлопных газов: 1 – выхлопная труба; 2 – улавливатель газов; 3 – турбина; 4 – катализатор; 5 – водяной очиститель; 6 – угольный фильтр.

Как ни парадоксально, но в применяемых двигателях воздух и рабочее тело поступают в цилиндры двигателя через различные фильтры: отстойники, фильтры грубой очистки, фильтры тонкой очистки, а выхлопные газы в атмосферу выбрасываются без всякой очистки и без всяких фильтров.

Поэтому предлагаемый двигатель обеспечивает очистку отработанных газов, что делает его значительно экологически чище всех существующих. Очистка газа происходит таким образом, что не требует отбора мощности двигателя. Она выполняется за счет энергии торможения двигателя, накапливаемой в специальном цилиндре в виде сжатого воздуха, который вращает турбину. А также от электродвигателя, который питается от аккумуляторных батарей.

Используя современный автомобиль, приходится очень часто тормозить. При торможении теряется много энергии инерции, а также расходуется топливо, так как двигатель в это время работает на холостом ходу. Предлагаемый двигатель при торможении автомобиля не отключается, а переводится в режим компрессора и работает по следующей схеме. Турбонаддувом постоянно подается воздух, который во время расширения заполняет цилиндры, а во время сжатия - турбонаддув закрывается. В это время открывается выпускной клапан и сжатый воздух подается в специальный баллон, который используется для вращения турбины очистителя выхлопных газов, вращения динамо-машины и при “трогании” автомобиля с места.

Рассмотрим работу очистителя газов.

Через улавливатель газов с выхлопной трубы отработанные газы турбиной подаются в катализатор. В связи с тем, что они находятся в горячем состоянии, они быстрее очищаются от вредных примесей и разлагаются на более безопасные. Чтобы вещества, вышедшие из катализатора, вновь не соединились, их необходимо охладить в водяном фильтре. Водяной фильтр устроен так,

что трубка с катализатора проводит газ и выпускает его возле дна, откуда он пузырьками поднимается, а на поверхности воды находится успокоитель с мелкими отверстиями, который соединяется с крышкой бака пружиной. С крышки бака опускаются тканевые ленточки на поверхность воды и успокоитель. Газ охлаждается и освобождается в воде от тяжёлых частиц, компонентов масла. Затем проходит через мелкие отверстия успокоителя и рядом с тканевыми мокрыми лентами (где так же осуществляется его очищение от частиц и запахов) и охлажденный газ попадает в фильтр из активированного угля. Водяной фильтр необходим еще и для того, чтобы не выгорал активированный уголь. Пройдя через такой фильтр, газ практически полностью очищается и выходит в атмосферу. Если таким устройством будет очищаться хотя бы 50% выхлопных газов, то это следует считать большим достижением в очистке атмосферы.

Очиститель газов необходим на данном двигателе еще и потому, что в его работе используются разные рабочие тела.

Все устройства, которые предложены для данного двигателя, предельно просты и могут найти применение для других двигателей.

Рассмотрим некоторые варианты режимов работы двигателя.

Вариант 1. Двигатель работает с применением двух рабочих тел по двухтактной схеме, в которой каждый такт содержит рабочий ход от своего рабочего тела.

1-й такт. Рабочий ход двигателя внутреннего сгорания (дизельного или карбюраторного). В конце рабочего хода открывается выпускной клапан и давление газа становится равно атмосферному. Поршень находится в нижней точке. В это время выпускной клапан закрывается, а в цилиндр впрыскивается сжиженный инертный или другой (не вредный для окружающей среды и человека) газ. Так как после первого рабочего хода в цилиндре находится горячий газ под атмосферным давлением, то, охлаждая его (впрыскивая в цилиндр, например, жидкий азот), в цилиндре происходит охлаждение газа при закрытых клапанах, т.е. резкое вакуумирование. Это обеспечивает рабочий ход поршня в цилиндре до момента начала сжатия газа. Затем открывается выпускной клапан, открывается клапан турбонаддува, происходит продув цилиндра, закрывается выпускной клапан, наполняется цилиндр воздухом и происходит сжатие и впрыск.

Цикл работы двигателя совершается за два совмещенных такта. В каждом такте есть рабочий ход.

1-й такт: рабочий ход – выпуск – впрыск.

2-й такт: рабочий ход от вакуума - выпуск – продувка – впуск – сжатие – впрыск.

Двигатель может работать как дизельный или как карбюраторный, или как дизельный и карбюраторный последовательно. Расширяя арсенал традиционных рабочих тел, можно получить новые возможности двигателя: экономию горючих материалов, повышение КПД двигателя, улучшение экологии окружающей среды и т.д.

Вариант 2. Используем два рабочих тела: одно – бензин, горючий газ или дизельное топливо, другое – вода, нагретая выхлопными газами от этого

топлива, проходящими через коллектор. Вода нагревается в теплообменнике – змеевике, окружающем коллектор, до температуры 98-100°С.

Работа двигателя производится по четырехтактному циклу.

Первый такт. Рабочее тело: дизельное топливо, бензин или горючий газ.

Рабочий ход – выпуск, т.е. рабочий ход совмещен с выпуском.

Второй такт. Оставшийся горячий газ сжимается в горячем цилиндре. По окончании сжатия в цилиндр впрыскивается вода с температурой 98-100°С.

Третий такт. В цилиндре горячий газ сжат, стенки цилиндра, поршень также имеют температуру нагрева выше температуры воды. Впрыснутая вода моментально переходит в пар и обеспечивает рабочий ход поршня.

Рабочий ход – выпуск.

Четвертый такт. Впуск воздуха – сжатие – впрыск дизельного топлива.

За четыре такта два рабочих хода. Цикл повторяется. При этом при переходе воды в пар отбирается тепло, т.е. происходит внутреннее охлаждение. Для лучшей работы двигателя рабочее тело (дизельное топливо, бензин или горючий газ) перед подачей в цилиндр нагревается отработанными газами с регулировкой терморегулятором до оптимального значения. Двигатель работает по вышеописанному циклу если вторым рабочим телом будет сжиженный газ (любой инертный или другой не вредный для окружающей среды, или же который может пройти обезвреживание при выбросе в атмосферу). При этом сжиженный газ не проходит или проходит предварительный нагрев на коллекторе, сохраняя жидкую фазу.

Впрыск сжиженных газов должен быть строго дозированным (при максимальном давлении и температуре, когда эти газы находятся в жидком состоянии) и доза впрыска должна соответствовать объёму цилиндра, давлению и температуре, чтобы получить оптимальное расширяющее действие газов. По окончании расширяющего действия необходимо вовремя открыть впускной и выпускной клапаны. Информацию об этом получаем с пьезокристаллов системы зажигания.

Рабочее тело 1 – дизельное топливо, бензин или горючий газ (в дальнейшем просто рабочее тело 1).

Рабочее тело 2 – перекисное соединение бутилового спирта (во всех последующих вариантах просто рабочее тело 2).

Вариант 3. Общий цикл.

Первый такт. Рабочий ход от рабочего тела 1. Как только догорает рабочее тело 1, сразу производится впрыск рабочего тела 2 и рабочий ход усиливается сгоранием рабочего тела 2, т.к. оно горит в азоте, а азота в воздухе около 70%. Зажигание рабочего тела 2 осуществляется большой температурой сгорания рабочего тела 1, дополнительной системой зажигания или контрольной системой зажигания, которая работает на пьезокристаллах и срабатывает в тот момент, когда от сгорания рабочего тела 1 возникает наибольшее давление. Заканчивается первый такт выпуском.

Второй такт. Продувка – впуск – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

Цикл повторяется. В этом варианте при работе по двухтактной схеме работают два рабочих тела. По такому варианту работают 3 и 4 рабочих тела.

Кроме того, рабочие тела в цилиндр вводятся одновременно, например, впрыск дизельного топлива и перекисного соединения бутилового спирта или впрыск дизельного топлива, жидкого азота и перекисного соединения бутилового спирта, или впрыск дизельного топлива и жидкого азота.

Вариант 4. Участвуют рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – сниженный азот.

Общий цикл.

1-й такт. Рабочее тело 1. Рабочий ход – выпуск – впрыск рабочего тела 3.

2-й такт. Рабочее тело 3. Рабочий ход вакуумированием – сжатие – впрыск рабочего тела 2.

3-й такт. Рабочее тело 2. Рабочий ход – выпуск.

4-й такт. Продувка – впуск воздуха – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

Цикл повторяется. За четыре такта имеем три рабочих хода.

Вариант 5. Рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – азот.

Цикл.

1-й такт. Рабочее тело 1. Рабочий ход – выпуск – впрыск рабочего тела 3.

2-й такт. Рабочее тело 3. Рабочий ход вакуумированием – сжатие – впрыск рабочего тела 2.

3-й такт. Рабочее тело 2. Рабочий ход – выпуск – впрыск рабочего тела 3.

4-й такт. Рабочее тело 3. Рабочий ход вакуумированием – продувка воздухом – впуск воздуха – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

Цикл повторяется. За четыре совмещенных такта получаем четыре рабочих хода, т.е. применяя разные рабочие тела, за любое количество совмещенных тактов можно получить столько же рабочих ходов.

Вариант 6. Работа двигателя по двухтактному циклу с тремя рабочими телами. Рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – вода, жидкий азот или другой газ, не вредный для окружающей среды.

Цикл работы.

1-й такт. Рабочий ход – рабочее тело 1 – впрыск рабочего тела 2 – рабочий ход продолжается – впрыск рабочего тела 3 – рабочий ход продолжается – выпуск.

2-й такт. Продувка – выпуск – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

Вариант 7. Работа двигателя по восьмитактному циклу с тремя рабочими телами. Рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – азот.

Цикл работы.

1-й такт. Рабочий ход – рабочее тело 1 – выпуск.

2-й такт. Сжатие оставшихся газов от рабочего тела 1 – впрыск азота.

3-й такт. Рабочий ход от рабочего тела 3 (азота) – выпуск.

4-й такт. Сжатие оставшегося азота – впрыск рабочего тела 2.

5-й такт. Рабочий ход от рабочего тела 2 – выпуск.

6-й такт. Сжатие оставшихся горючих газов от рабочего тела 2 – впрыск рабочего тела 3 – азота.

7-й такт. Рабочий ход от рабочего тела 3 (испарение – расширение) – выпуск.

8-й такт. Впуск воздуха – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

За восемь тактов один раз расходуется воздух.

Вариант 8. Рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – азот.

1-й такт. Рабочий ход – выпуск – рабочее тело 1.

2-й такт. Сжатие оставшихся газов – впрыск рабочего тела 2.

3-й такт. Рабочий ход – выпуск – рабочее тело 2.

4-й такт. Сжатие оставшихся газов – впрыск рабочего тела 3- азота.

5-й такт. Рабочий ход – выпуск – рабочее тело 3.

6-й такт. Сжатие оставшегося азота – впрыск рабочего тела 2.

7-й такт. Рабочий ход – выпуск – рабочее тело 2.

8-й такт. Сжатие оставшихся газов от рабочего тела 2 – впрыск азота.

9-й такт. Рабочий ход – выпуск – рабочее тело 3.

10-й такт. Впуск воздуха – сжатие – впрыск рабочего тела 1.

За десять тактов всего один раз расходуется рабочее тело 1 и один раз – воздух. Впрыск рабочего тела 2 может вестись в струе азота.

Вариант 9. Рабочее тело 1, рабочее тело 2, рабочее тело 3 – жидкий азот, рабочее тело – перегретый пар.

1-й такт. В холодный цилиндр подается перегретый пар, который, прогревая цилиндр, сжимается и производит вакуумирование, т.е. рабочий ход. В конце рабочего хода производится впрыск жидкого азота, который увеличивает степень вакуумирования, т.е. продлевает рабочий ход. Происходит второе вакуумирование. Во время рабочего хода при ликвидации вакуумирования открывается турбонаддув и выпускной клапан, продувается цилиндр, закрываются клапаны, сжимается воздух и впрыскивается рабочее тело 1.

2-й такт. Рабочий ход от рабочего тела 1 – выпуск.

3-й такт. Сжатие горячих газов – впрыск азота.

4-й такт. Рабочий ход от азота – выпуск. Цилиндр остыл.

Цикл повторяется.

Таким образом, в двигателе клапанный газораспределительный механизм заменяется на шаровой газораспределительный механизм. Он переключается по количеству оборотов относительно коленчатого вала. Имеет два направления вращения. Это дает огромные возможности применения в работе двигателя нескольких рабочих тел. Позволяет увеличить количество рабочих ходов в цикле и довести их до количества тактов. Для этого заменяется традиционная система зажигания или дополняется пьезокристаллической системой зажигания на разные давления.

В работе двигателя применяются разные рабочие тела. Используются рабочие тела, сгорающие в разных средах, а также испарение и внутреннее охлаждение цилиндров. Появляется возможность получения при совмещении тактов за один цикл от двух до десяти тактов и более, а также появляется возможность в работе двигателя чередовать такты “внутреннего сгорания” – “испарения - расширения”, “внутреннего сгорания” – “вакуумирования”.

При торможении автомобиля можно переводить двигатель в режим “компрессора” и использовать энергию сжатых газов, полученную при торможении двигателя, для очистки отработанных газов, не снижая мощности двигателя. В предложенном двигателе обеспечивается качественная очистка отработанных

газов за счет того, что они проходят через катализатор, водяной фильтр, активированный уголь. Температура отработанных газов предварительно используется для подогрева рабочих тел.

Для снижения нагрузок на коленчатый вал при изменении направления движения поршней используется компоновка цилиндрических блоков вокруг одного коленчатого вала под углами 30, 45, 60, 90, 120 градусов или любыми другими. Такой компоновке способствует замена газораспределительного механизма, внутреннее охлаждение двигателя, использование газов для подогрева рабочих тел и очистка выхлопных газов.

Предлагаемый двигатель может работать на один или несколько коленчатых валов, на один или несколько общих приводов. Применение пьезокристаллов в системе зажигания расширяет обратную связь с компьютером, который обеспечивает выбор оптимального режима работы двигателя. Системы данного двигателя просты в изготовлении, обслуживании, универсальны, надежны в эксплуатации, и могут применяться для других известных двигателей внутреннего сгорания.

2.5. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, РАБОТАЮЩИЙ НА ГАЗООБРАЗНОМ, ЖИДКОМ И ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

В современных двигателях внутреннего сгорания следует еще один ряд недостатков: они работают по четырехтактному циклу; имеют клапаны; могут работать только на жидком или газообразном топливе.

Для расширения функциональных возможностей двигателя внутреннего сгорания, наряду с жидким и газообразным топливом, целесообразно использовать твердое топливо. С этой целью необходимо отказаться от традиционных клапанов, для разгрузки цилиндры выполнять открывающимися, а для лучшего удаления продуктов сгорания в цилиндр ввести пружину.

Как отмечалось, известные двигатели внутреннего сгорания работают на жидком и газообразном топливе. Однако, запасы этого топлива ограничены, поэтому в настоящее время чрезвычайно актуально двигатели внутреннего сгорания переводить на твердое топливо.

Рассмотрим работу двигателя. Предлагаемый двигатель универсален, он может работать как на газообразном, жидком, так и на твердом топливе. Для этого необходимо обеспечить выгрузку продуктов сгорания из цилиндра. Это обеспечивается открытием цилиндров через специальные вырезы, введением в цилиндр пружин и подвижностью самих цилиндров, где открытие и закрытие цилиндра осуществляет поршень. Отпадает необходимость в клапанной системе.

Твердым топливом может служить древесная мука, древесный порошок, антрацитовый порошок, сухой порошок спирта, пробковая мука, ацетат целлюлозы и многие другие продукты, которые в виде суспензии с потоком воздуха или кислорода, или воздуха и кислорода, или другого газа вдуваются в цилиндр через форсунку. Температура самовоспламенения этих смесей

около 500°C.

Применяя традиционные системы зажигания, легко получить взрывчатые смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. В качестве системы зажигания можно использовать впрыск масла и кислорода. Твердое топливо можно использовать и как дополнительное рабочее тело при впрыске во время сгорания жидкого или газообразного рабочего тела.

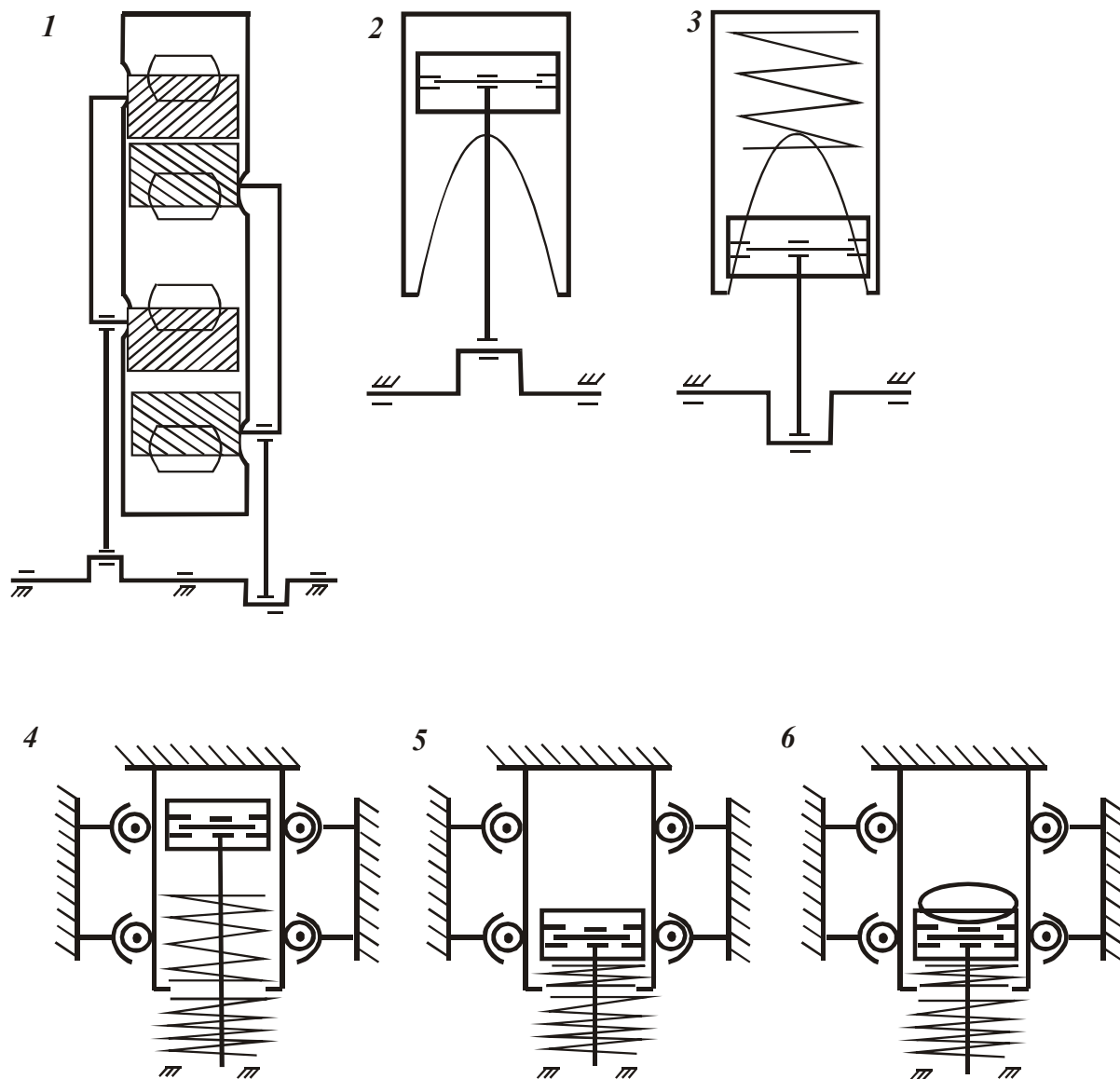


Рис. 2.17. Двигатель внутреннего сгорания.

На рис. 2.17 (поз.1) показан двигатель внутреннего сгорания с оппозитивными поршнями и специальными вырезами. Оппозитивные поршни удаляются друг от друга и в крайнем положении открывают цилиндр. Через эти вырезы цилиндр продувается, из него удаляются продукты сгорания (зола и отработанный газ), которые направляются на циклон для сбора золы и на фильтр – очиститель для газа. После этого газ выводится в атмосферу, а зола собирается в специальном контейнере.

Для лучшего удаления золы на одном из поршней в цилиндре устанавли-

вается пружина. Одна пружина может крепиться посередине цилиндра средним витком к цилиндру так, чтобы оба поршня во время сжатия равномерно её сжимали.

Цикл работы.

Рабочее тело твердое, жидкое или газообразное.

1-й такт. Рабочий ход – очистка цилиндра.

2-й такт. Продувка цилиндра – сжатие – подача топлива.

Цикл повторяется.

На рис. 2.17 (поз.2) показан однопоршневой цилиндр со специальным вырезом.

На рис.2.17 (поз.3) показан однопоршневой цилиндр с пружиной, закрепленной на торце цилиндра для удаления золы. Пружина может быть закреплена на поршне или одновременно на цилиндре и поршне.

На рис. 2.17 (поз.4) показан подвижный открывающийся цилиндр. В цилиндре за поршнем установлена одна пружина, цилиндр опирается на пружину. Цилиндр может свободно передвигаться по шаровым опорам. Шаровые опоры могут быть подпружинными. Когда поршень идет в верхнее положение, цилиндр нижней пружиной прижимается к основанию (крышке) и закрывается.

На рис. 2.17 (поз.5) показан поршень, перемещающийся в крайнее нижнее положение. Вначале он мягко “ложится” на пружину внутри цилиндра, а затем сжимает нижнюю пружину и открывает цилиндр. Эти две пружины обеспечивают “мягкую” посадку цилиндра на основание (крышку) и так же “мягко” его открывает поршень. Внутри цилиндра так же может устанавливаться пружина на поршень и основание, или на основание, или на поршень. Двигатель работает по той же схеме.

На рис. 2.17 (поз.6) показан подвижный цилиндр со специальной прорезью, которую поршень открывает при подходе к нижней мертвой точке. Это облегчает выгрузку – очищение цилиндра. Цилиндр так же может иметь очистительную пружину.

Таким образом, в предлагаемом двигателе, наряду с жидким и газообразным топливом, используется твердое порошкообразное топливо, которое вводится в цилиндр с воздухом или кислородом через форсунку.

Это позволяет снизить зависимость от экономических кризисов, связанных с сырьевыми ресурсами, использовать отходы производства, сделать работу двигателя экономически выгодной.

2.6. КЛАПАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В настоящее время на двигателях внутреннего сгорания применяются газораспределительные системы, состоящие из распределительных шестерен, распределительного вала, толкателей, штанг, коромысел с деталями крепления клапанов, пружин с деталями крепления и направляющих втулок.

Ведущие зарубежные фирмы все больше выпускают автомобили с двигателями, имеющими два газораспределительных вала, например, автомобили “Нисан–Микра”, “Опель–Корса”.

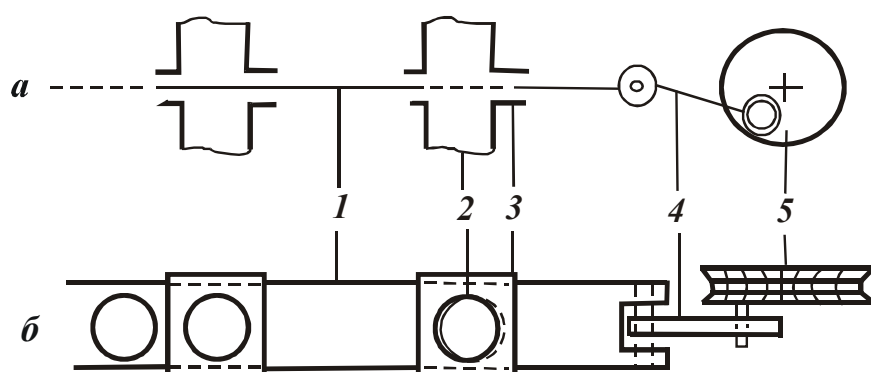
Основным недостатком газораспределительной системы, состоящей из газораспределительных валов, является то, что распределительный вал - очень сложное и дорогое изделие. Если изнашивалась опорная шейка или кулачок, то распределительный вал заменяется новым. Причем, распределительный вал заменяется только на такой же, и поэтому перевести двигатель на другой режим работы невозможно. Переход на работу с одного вала на два или с двух на один не предусмотрен. Газораспределительный механизм очень сложен, содержит большое количество пружин, устройство для поворота клапанов, индивидуальную регулировку каждого клапана. Клапаны и седла в цилиндре требуют тщательной притирки. Газораспределительная система сложна в изготовлении, содержит большое количество деталей, сложна в эксплуатации и ремонте, то есть оказалась очень дорогой и металлоёмкой.

Можно ли расширить функциональные возможности газораспределительной системы, сделать ее более гибкой, перестраивать на другой цикл работы двигателя? Упростить конструктивно и технологически, сделать ее более простой в эксплуатации и дешёвой?

Поэтому нами предложено новое более простое техническое решение, исключая использование в системе распределительных валов, толкателей, штанг, коромысла, пружины, седл в цилиндрах и т.д. Вместо них в системе предлагается устанавливать пластину, ленту или вал с отверстиями, которые совершают возвратно-поступательное движение в направляющих, проходящих через подводящие и отводящие трубки из цилиндра двигателя. Пластина, вал, лента совершают возвратно-поступательное движение через шатун от специального коленчатого вала, который приводится в движение через шестерёнчатую передачу от основного коленчатого вала или зубчатый ремень, или цепную передачу, а в цилиндрах с оппозитионными поршнями газораспределительная пластина или вал приводятся в движение сразу же подвижными штоками.

Рассмотрим схему устройства и работу клапанной системы:

На рис. 2.18,а показан вид сбоку (а) и вид сверху (б) клапанной системы: 1 – клапанная пластина; 2 – подводящие и отводящие трубы к цилиндру двигателя; 3 – направляющие для пластины (они сделаны такого размера, что не



позволяют газу выходить наружу через отверстие в пластине); 4 – шатун; 5 – коленчатый вал со шкивом.

На рис. 2.19 показан газораспределительный механизм, состоящий из трех отдельных пла-

Рис. 2.18. Устройство и работа клапанной системы.

стин.

На рис. 2.20 показан газораспределительный механизм, состоящий из одной пластины с несколькими рядами отверстий и возможностью регулировки длины шатуна: 1 – регулировочное устройство длины шатуна.

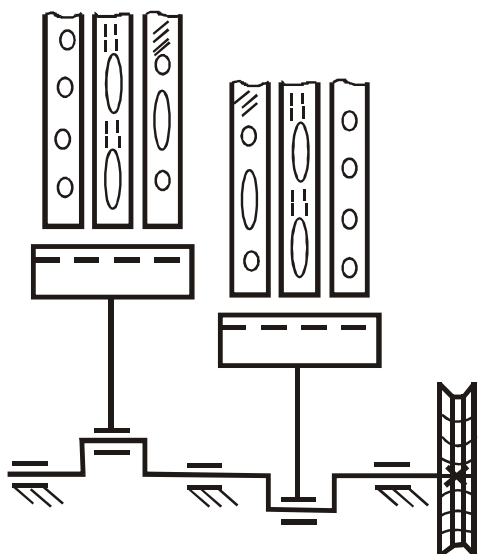


Рис. 2.19. Газораспределительный механизм.

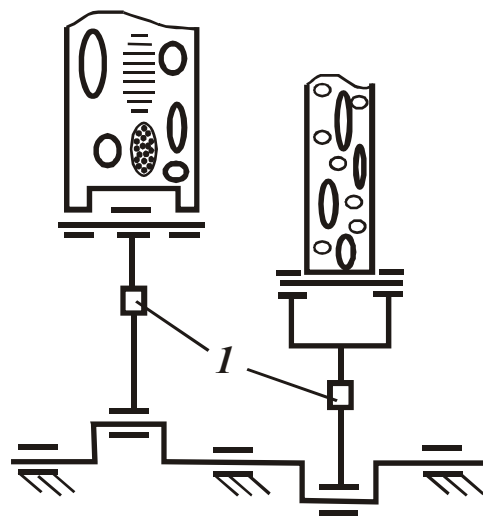


Рис. 2.20. Газораспределительный механизм.

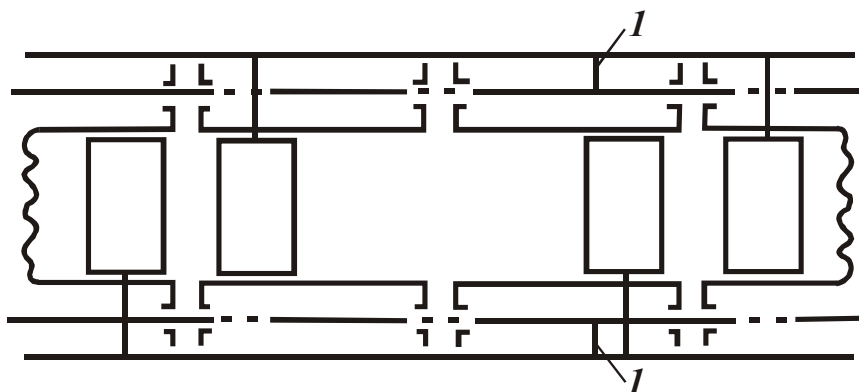


Рис. 2.21. Двигатель с оппозитными поршнями и пластинчатыми клапанами.

На рис. 2.21 показан двигатель с оппозитными поршнями и пластинчатыми клапанами: 1 – передвижение пластин – клапанов подвижными штоками напрямую с возможностью регулировки.

Пластинчатые клапаны устанавливаются на любой двигатель внутреннего сгорания: однорядный, V-образный, с последовательно расположенными цилиндрами, оппозитными поршнями и т.д., так как клапаны устанавливаются на трубопроводах и трубопроводах к цилиндру. Пластины приводятся в движение с одной или двух сторон, или с боковой стороны с нескольких точек. Пластина может иметь ребра жесткости, или в качестве пластины может работать вал круглой или эллипсной формы, квадратного или прямоугольного сечения с отверстиями или углублениями снаружи. Вместо клапанной пластины или вала применяется лента, которая изготавливается в виде пружинной ленты и сматывается одним концом, как рулетка. Тогда шатун только вытягивает ленту, а об-

ратно она поступает за счет пружины, шатун перемещается в направляющих. На одном цилиндре газораспределительный механизм может состоять из одной, двух, трех и более пластин или одной пластины, но с одним или двумя, тремя и более рядами отверстий. Отверстия на клапанной пластине могут быть круглыми, эллипсными, но всегда соизмеримы с направляющими пластины на трубке. Направляющие должны перекрывать отверстие полностью на всю длину, чтобы исключить выход газов через отверстие из цилиндра в атмосферу. Если необходимо открывать цилиндр на длительное время, а направляющие при этом короткие, следует использовать отверстия небольших размеров, но расположенных на небольшом удалении друг от друга, образующих, по сути, сито, или отверстия в виде щелей, образующих решетку, рис. 2.20.

Щелевые отверстия могут располагаться наклонно или продольно короткими отверстиями и рядами, рис. 2.19. Круглые, эллипсные и щелевые отверстия (расположенные перпендикулярно возвратно-поступательному движению пластины), а также мелкие отверстия, образующие сито, и отверстия другой формы могут чередоваться на пластине. Пластины приводятся в движение через шатун от шкива или шестерни с кривошипом, или коленчатый вал, а на двигателях с последовательно расположенными цилиндрами – от подвижных штоков. Пластины газораспределительного механизма легко заменяются и могут иметь другой рисунок для перевода двигателя на другие рабочие тела и другие циклы работы.

Во время работы газораспределительного механизма при переходе на другой цикл работы достаточно исключить работу одного из рядов. Для этого перекрывается заслонка на подводящем трубопроводе и двигатель переводится на другой цикл работы, что не возможно выполнить на газораспределительных механизмах, состоящих из распределительных валов. Заслонки на трубопроводах позволяют одну клапанную пластину использовать с огромным количеством вариантов работы, с разными циклами и разными рабочими телами, не прибегая к замене пластин. Кроме того, клапанные пластины с отверстиями могут иметь специальную зенковку с углублениями, с помощью которой отверстия закрываются крышечками, что способствует перенастройке работы двигателя на другой режим.

Трубки трубопроводов от цилиндра до клапанов и далее могут иметь гибкие элементы и сдвигаться относительно пластины с фиксацией. Так как клапанные пластины устанавливаются на трубопроводах от цилиндра, то их конструктивно легче установить в наиболее оптимальном месте (дистанционно) с учетом объема двигателя, его назначения, оптимальных путей подвода и вывода газов и использования их для других целей, например, теплообмена.

Пластина совершает возвратно-поступательное движение от шатуна через специальный коленчатый вал или кривошип, расположенный на шкиве, или шестерне, или на подвижных штоках с выбором (регулировкой) места крепления. Специальный коленчатый вал приводится в движение от основного коленчатого вала через шестеренчатую (ременную, зубчатую, цепную) передачу.

Клапанная пластина проходит в направляющих через трубопроводы, отводящие и подводящие газ к цилиндрам двигателя. На трубопроводах могут

размещаться заслонки, которые открываются и закрываются, вводя данный трубопровод в работу или закрывая его. Клапанные пластины меняются, на шатуне устанавливается регулировочное устройство, изменяющее его длину.

Таким образом, предложенная клапанная система проще в устройстве, изготовлении и эксплуатации. Она позволяет получить технический результат, который нельзя получить на газораспределительной системе с распределительными валами, содержит меньше деталей, экономически выгодна.

2.7. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ КЛАПАНАМИ

Двигатели внутреннего сгорания работают на горючем газе, дизельном топливе, бензине, керосине. В Канаде сделан двигатель, использующий в качестве топлива перекисное соединение бутилового спирта, подаваемое в потоке азота.

Основными недостатками двигателей внутреннего сгорания являются: система охлаждения двигателя используется с низким коэффициентом полезного действия; рабочий ход используется только от сгорания рабочего тела; газораспределительная клапанная механическая система приводится в работу распределительными валами; поршни, изменяя направление движения, передают ударную нагрузку на пальцы и коленчатый вал.

Для расширения функциональных возможностей двигателя внутреннего сгорания нами предложено механическую клапанную систему, приводимую в работу распределительными валами, заменить на пьезоэлектрическую клапанную систему. Для этого в работу двигателя вводим новые рабочие тела, за счет которых получаем дополнительные рабочие хода двигателя. Отработанный газ вторично используем в рабочих цилиндрах двигателя. Вводя компенсирующую пружину за поршнем в цилиндр двигателя, исключаем передачу ударной нагрузки на пальцы и коленчатый вал.

Механическую клапанную систему газораспределения заменяем на пьезоэлектрическую, которая работает от пьезоэлектрических датчиков, расположенных в цилиндре двигателя через усилитель – преобразователь сигналов или от компьютера, или совместно от датчиков и компьютера. Для этого совмещаем два пьезокристалла, на один из которых подается отрицательный потенциал, а на другой – положительный потенциал. Кристалл, получивший отрицательный потенциал, сжимается, а кристалл, получивший положительный потенциал, расширяется. Затем потенциалы меняем на обратные. Это явление пьезокристаллов используется в полиграфии.

На рис. 2.22 приведены схемы работы пьезоэлектрических клапанов.

Описание работы двигателя.

На рис. 2.22,а показан принцип работы пьезокристаллических клапанов.

На рис. 2.22,б показаны пьезокристаллические клапаны снаружи цилиндра.

На рис. 2.22,в показаны пьезокристаллические клапаны внутри цилиндра.

Пьезокристаллы внутри цилиндра работают одновременно и как датчики, вы-

1-й такт. Рабочий ход от сгорания рабочего тела, в конце рабочего хода открывается клапан и газ выпускается из цилиндра, нагнетается с помощью насоса в специальный теплоизолированный баллон. В рабочем цилиндре остается отработанный горячий газ с давлением около атмосферного или равного атмосферному. Клапан закрывается, поршень находится в нижнем положении (НМТ), в цилиндр производится дозированный впрыск (хладоагента) сжиженного газа.

2-й такт. В цилиндре происходит вакуумирование, поршень под действием вакуумирования перемещается из нижней мертвой точки к верхней и, как только давление достигнет атмосферного, открывается впускной и выпускной клапаны, подается горячий газ из теплоизолированного баллона, а из выпускного клапана он выводится на подогрев цилиндра снаружи и через очистительные устройства - в атмосферу. В цилиндре газ нагревает цилиндр и поршень с внутренней стороны, и клапан закрывается.

Производится вторичный дозированный впрыск хладоагента и идет еще одно вакуумирование цилиндра, в конце которого впускной и выпускной клапаны открываются и из цилиндров происходит удаление газа на очистительное устройство и в атмосферу. Поршень пришел в крайнее верхнее положение. Второй такт закончился.

3-й такт. Впуск воздуха.

4-й такт. Сжатие – дозированный впрыск рабочего тела сгорания. Цикл повторяется.

Вариант второй. Цикл работы ДВС можно увеличить за счет еще дополнительного использования отработанных газов и введения двух тактов. Двигатель работает как в первом варианте, но после второго такта впускной и выпускной клапаны остаются открытыми на весь третий такт. Поршень идет из верхнего положения (ВМТ) к нижнему (НМТ), через цилиндр прогоняется отработанный газ, а выйдя из цилиндра, он обогревает цилиндр снаружи и идет на очистку в атмосферу. В конце третьего такта цилиндр закрывается и четвертый такт полностью повторяет второй такт, описанный в первом варианте. Третий и четвертый такт из варианта 1 становятся 5 и 6 тактами варианта 2.

Цикл работы.

1-й такт. Рабочий ход – расширение от сгорания рабочего тела – выпуск – впрыск хладоагента.

2-й такт. Рабочий ход от вакуумирования – прогон по цилиндру горячих газов и прогрев цилиндра снаружи – впрыск хладоагента – рабочий ход от вакуумирования – выпуск.

3-й такт. Прогон горячего газа через цилиндр и снаружи – впрыск хладоагента.

4-й такт. Рабочий ход от вакуумирования – прогон по цилиндру горячих газов и прогрев цилиндра снаружи – впрыск хладоагента – рабочий ход от вакуумирования – выпуск.

5-й такт. Впуск воздуха.

6-й такт. Сжатие – впрыск рабочего тела сгорания.

Цикл повторяется.

Многоцилиндровый двигатель работает со специальным баллоном и без него, подавая отработанный газ в другие цилиндры непосредственно из рабочего цилиндра.

Для уменьшения ударных нагрузок на коленчатый вал и пальцы, в цилиндр двигателя вводим пружину, на которую поршень опирается, подходя к нижней мертвой точке, сжимая эту пружину, что уменьшает эллипсный износ цилиндра, ликвидируя нагрузку от окружной тяги шатуна, выравнивая поршень по отношению к цилиндру, уменьшая вибрацию двигателя во время работы, рис. 2.23.

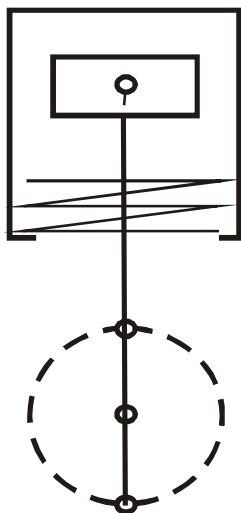


Рис. 2.23. Цилиндр с пружиной.

В вариантах 1 и 2 циклы заканчиваются тактом впуска воздуха и тактом сжатия. Так как в работе двигателя используется хладагент (сжиженный газ), то, пропуская через хладагент горючий газ и введя его в цилиндр двигателя в начале такта сжатия, получаем разрежение цилиндра, которое облегчает такт сжатия, а при оптимальном подборе температур и объемов, получим хорошее вакуумирование цилиндра, то есть дополнительный рабочий ход. При нагреве поступающего воздуха в цилиндр, надо учитывать потерю — на сколько будет меньше кислорода в цилиндре после сжатия и как это отразится на рабочем ходе. При определенных объемах, температурах и разных рабочих телах возможен вариант нагрева подаваемого воздуха и ввод в цилиндр охлажденного рабочего тела.

Сжиженный газ, применяемый для вакуумирования, называемый хладагентом, используется из специальных баллонов, и применяется как для обеспечения оптимальной работы двигателя, так и для охлаждения цилиндров снаружи. Двигатель может работать как двигатель внутреннего сгорания без вакуумирования, собирая горячий газ в специальный баллон, и переходить на работу от вакуумирования на рабочие хода, заполняя цилиндр горячим газом или охлаждая цилиндр снаружи. Этот вариант можно выполнять на отдельном цилиндре с отдельным приводом, используя горячий газ из рабочих цилиндров и хладагент.

Двигатель может работать с газораспределительной системой от распределительных валов. Пьезоэлектрическая газораспределительная система устанавливается на цилиндры и трубопроводы, работает на несколько рабочих тел, поэтому количество клапанов при обслуживании одного цилиндра может быть от 1 до 7 и более.

Пьезоэлектрическая газовая система распределения совмещается с другими газораспределительными системами.

Пьезоэлектрические клапаны используются в качестве датчиков для обратной связи с компьютером для выбора оптимального режима работы. Кроме того, они используются в качестве системы зажигания. Введенные новшества и изобретенные элементы просты в устройстве и могут применяться на всех конструкциях известных двигателей внутреннего сгорания. С введением этих систем количество вариантов работы двигателей внутреннего сгорания суще-

ственно увеличивается.

Все эти новшества позволяют упростить конструкцию двигателя, снизить его себестоимость, повысить КПД, экономнее расходовать горючее, продлить срок службы двигателя, уменьшить вес и количество трущихся и вращающихся деталей, повысить надежность, добавить рабочие хода при вакуумировании, повысить эффективность использования систем охлаждения, увеличить мощность двигателя.

2.8. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПНЕВМОКЛАПАНАМИ

Анализируя уровень развития техники и обращая внимание на газораспределительные механизмы двигателей внутреннего сгорания, приходим к выводу, что существующие двигатели имеют следующие недостатки:

- механический газораспределительный механизм;
- от разницы давлений в цилиндре открывается и закрывается автоматически только (один) клапан турбонаддува;
- поршень и цилиндр жестко взаимодействуют, вызывая повышенный износ;
- не регулируется степень сжатия в цилиндре двигателя;
- не совершенство клапанов.

Из-за жесткости требований к токсичности и экономичности распределительный впрыск стал обязательным, поэтому многоклапанные головки цилиндров с двумя распределительными валами установлены даже на таких автомобилях: “Нисан - Микра” – 4 цилиндра, “Опель - Корса” – 3 цилиндра.

Если двигатель совершенствовать в этом направлении, то в ближайшем будущем число газораспределительных валов будет больше количества цилиндров. Здесь явно просматривается несовершенство клапанов, так как один шток клапана открывает или закрывает только один клапан, а с другой стороны, механическая надстройка по управлению клапанами громоздка, сложна.

На рис. 2.24 показана схема двигателя внутреннего сгорания, описание работы которого будет приведено ниже.

С целью расширения функциональных возможностей двигателя внутреннего сгорания, клапанный газораспределительный механизм, который имеет большое количество деталей, заменяем пневмоклапанным. Заменяем клапанную систему, которая одним подвижным штоком обеспечивала только закрытие или открытие одного клапана (выхода или входа), на более совершенную, где одним штоком открываются и закрываются сразу несколько выходов, входов. Это обеспечит работу пневмоклапанного механизма с наименьшим количеством пневмоцилиндров, а так же обеспечит работу двигателя, не увеличивая количества распределительных валов, а применяя всего один вал.

Клапан турбонаддува и выпускные клапаны обеспечиваются работой в автоматическом режиме от разницы давлений в смежных цилиндрах или с разных цилиндрических блоков. Используя золотниковые механизмы, усовершен-

ствовав поршень, введя связь между шатуном и поршнем через пружины, обеспечим автоматическое регулирование степени сжатия при рабочем ходе и сжатие на большем участке движения поршня. Обеспечиваем равномерное прижатие поршня к цилиндру на всем пути, уменьшаем износ цилиндра, снимаем ударные нагрузки на поршневой палец и подвижный шток, выравниваем, распределяем нагрузки по продолжительности рабочего хода.

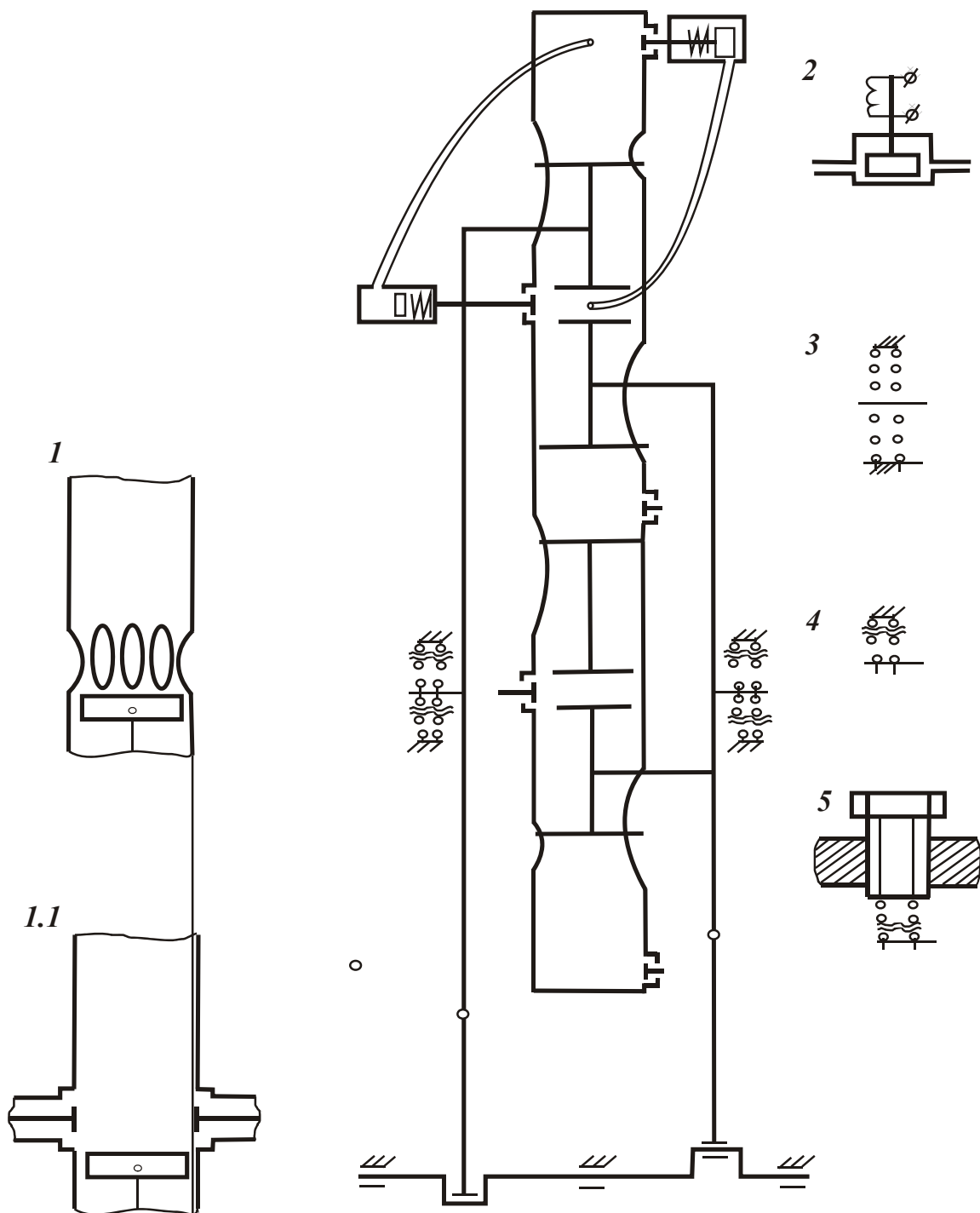


Рис. 2.24. Двигатель внутреннего сгорания.

Введение пружин под поршень и в поршень используем для автоматического открытия пневмоклапанов.

При введении в устройство двигателя вместо механического газораспре-

делительного механизма пневмоклапанный газораспределительный механизм, требуется новый подход к устройству клапанов. При этом одним подвижным штоком открываются и закрываются не один клапан, а несколько, обеспечивая их последовательное открытие и закрытие по времени с помощью компенсационных пружин на клапанах, которые не дают жесткой посадки клапанов на седла, но и обеспечивают временные интервалы как по ходу штока, так и по изменению давления в пневмоцилиндре. Кроме того, в новых двигателях с пневмоклапанной системой газораспределения, важную роль играет время одинакового давления в цилиндре. Это обеспечивается компенсационными пружинами за поршнем в однопоршневых цилиндрах, а также компенсационными пружинами в самом поршне в однопоршневых цилиндрах и в многопоршневых цилиндрических блоках двигателей с последовательно расположенными цилиндрами и оппозиционными поршнями, а также регулируемых пружин на краях таких цилиндров. Все это безгранично расширяет функциональные возможности двигателей внутреннего сгорания.

Из этого универсального изобретения отдельно могут применяться на двигателях разных конструкций: поршневой газораспределительный механизм, многоклапанные штоки, компенсационные пружины за поршнем и в поршнях, обеспечивающие меньший износ цилиндров и распределение более равномерной нагрузки во всем цикле работы.

Поршневой газораспределительный механизм может устанавливаться на всех известных двигателях внутреннего сгорания или вне их, обеспечивая работу цилиндров с помощью соединительных трубок.

Работу механизмов и двигателя опишем поэтапно.

У всех известных двигателей существует газораспределительный механизм с нижним или верхним расположением клапанов, который приводится от коленчатого вала с помощью шестерен, цепи или зубчатого ремня. Газораспределительный механизм конструктивно очень сложен, содержит вращающиеся и трущиеся части, а шток открывает только один клапан.

В данном двигателе убирается традиционный газораспределительный механизм вращающегося действия и заменяется на устройство автоматического открывания клапанов за счет разницы давлений между цилиндрами, как с верхним, так и с нижним расположением клапанов.

Замена одной системы газораспределения на другую значительно упрощает конструкцию двигателя и уменьшает его вес.

Опишем работу двигателя, изображенного на рис. 2.25 с газораспределительным механизмом, работающим от смежных оппозиционных цилиндров.

Поз 1 - Верхний цилиндр. Поршни произвели сжатие. Все клапаны закрыты пружинами и давлением внутри цилиндра. Начался рабочий ход. В смежном цилиндре рабочий ход закончился и клапан открывается за счет того, что давление в конце рабочего хода ниже, чем в начале и за счет высокого давления рабочего хода верхнего цилиндра.

Давление в нижнем цилиндре падает с рабочего давления в конце рабочего хода до атмосферного, идет выпуск газа из нижнего цилиндра.

Открывается турбонаддув и продувается нижний цилиндр.

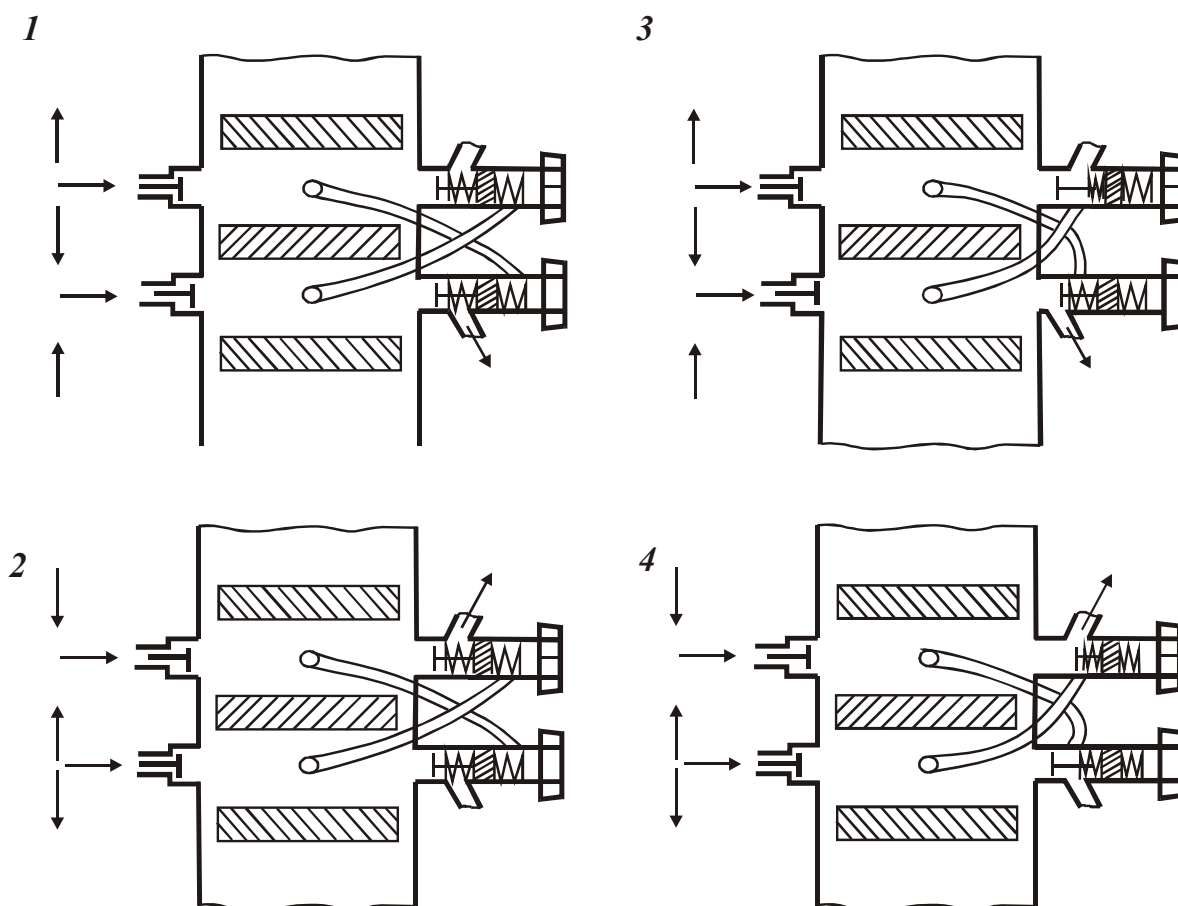


Рис. 2.25. Газораспределительный механизм: поз. 1 и 2 – с нижним расположением клапанов; поз. 3 и 4 – с верхним расположением клапанов.

Выпускной клапан, открытый пневмоцилиндром, закрывается с движением поршней и давлением с турбонаддува, а также за счет действия пружины пневмоцилиндра и за счет того, что наивысшее давление в верхнем цилиндре снижается, закрывается выпускной клапан пневмоцилиндром, а потом клапан турбонаддува – от разницы давлений.

Клапан в нижнем цилиндре закрыт, идет процесс сжатия. В верхнем цилиндре клапаны остаются закрытыми до начала рабочего хода в нижнем цилиндре. То есть открываются пневмоклапаны в смежном цилиндре только от наивысшего давления в начале рабочего хода и этого достаточно, чтобы произвести выпуск – продув – впуск. Клапаны с помощью регулировочного винта и пружин легко регулируются на любое топливо и продолжительность времени их открытия.

На поз. 2 все происходит противоположно поз 1. Опишем кратко работу одного цилиндра по двухтактной схеме.

Рис. 2.25. Такт 1 (поз 1). Рабочий ход. Выпускной клапан пневмоцилиндра закрыт, клапан турбонаддува закрыт от разницы давлений.

Такт 2. Поз. 2 - поз. 1. Выпуск – продув – впуск – сжатие – впрыск.

Открывается выпускной клапан пневмоцилиндром от наивысшего давления в начале рабочего хода смежного (оппозиционного) цилиндра. Идет выпуск с падением давления, открывается клапан турбонаддува и идет продув, но в это время поршень в смежном (оппозиционном) цилиндре от рабочего хода прошел

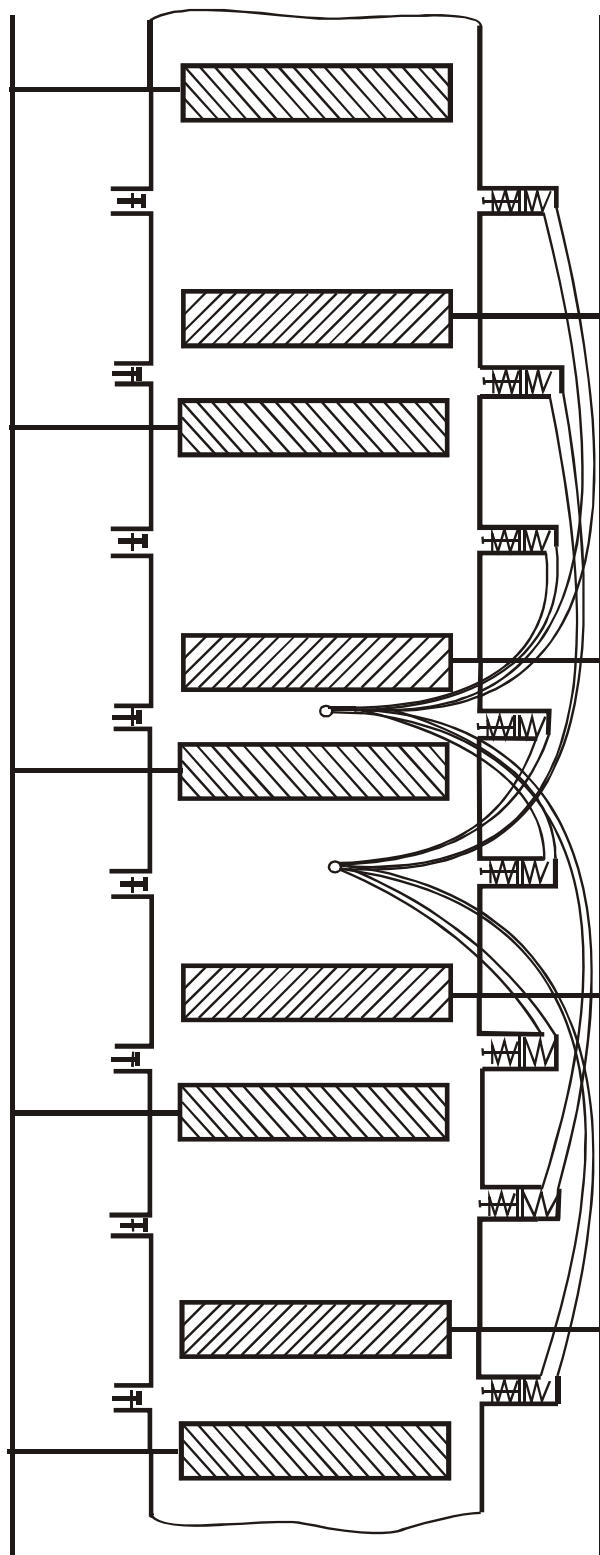


Рис. 2.26. схема работы газораспределительного механизма от двух оппозиционных цилиндров.

На рис. 2.28 показан газораспределительный механизм и варианты его исполнения. Позиция 1. В двигателе к оппозиционным цилиндрам от одного специального цилиндра подводятся трубки так, что в оппозиционных цилиндрах один клапан открыт, а другой закрыт. Продолжительность открытия и за-

часть пути и давление упало, поэтому пневмоцилиндр закрывает выпускной клапан, а турбонаддув закрывается с возрастанием давления, когда давление турбонаддува становится меньше, чем в цилиндре.

Клапаны закрыты, начинается сжатие и в конце сжатия производим впрыск рабочего тела.

Цикл закончен, все повторяется с поз. 1.

Весь смысл в работе пневмоклапанов на рис. 2.25 в том, что они открываются наивысшим давлением в смежном (оппозиционном) цилиндре в начале рабочего хода и, как только поршень пройдет часть пути, закрываются. Начало открытия – рабочий ход в смежном (оппозиционном) цилиндре, конец закрытия определяется регулировкой пружины.

На рис. 2.26 изображена работа всех цилиндров двигателя от двух оппозиционных цилиндров. Принцип работы точно такой же, как и на рис. 2.25. Выпускные клапаны открываются наивысшим давлением рабочего цилиндра.

На рис. 2.27 показано устройство пневмоцилиндров газораспределительного механизма: 1, 2 – не регулируемые; 3, 4 – регулируемые. На поз. 4: 1 – корпус; 2 – соединительные трубки; 3 – регулировочный винт; 4 – пружины; 5 – поршень; 6 – перегородка; 7 – шток; 8 – патрубок; 9 – клапан.

С помощью таких клапанов и пневмоцилиндров обеспечивается работа двигателей, показанных на рис. 2.25 и рис. 2.26.

крытия регулируется пружинами. Один специальный цилиндр в блоке обеспечивает открытие и закрытие всех клапанов в двигателе (впускных и выпускных). При необходимости можно сделать так, чтобы впускной клапан открывался чуть позднее выпускного.

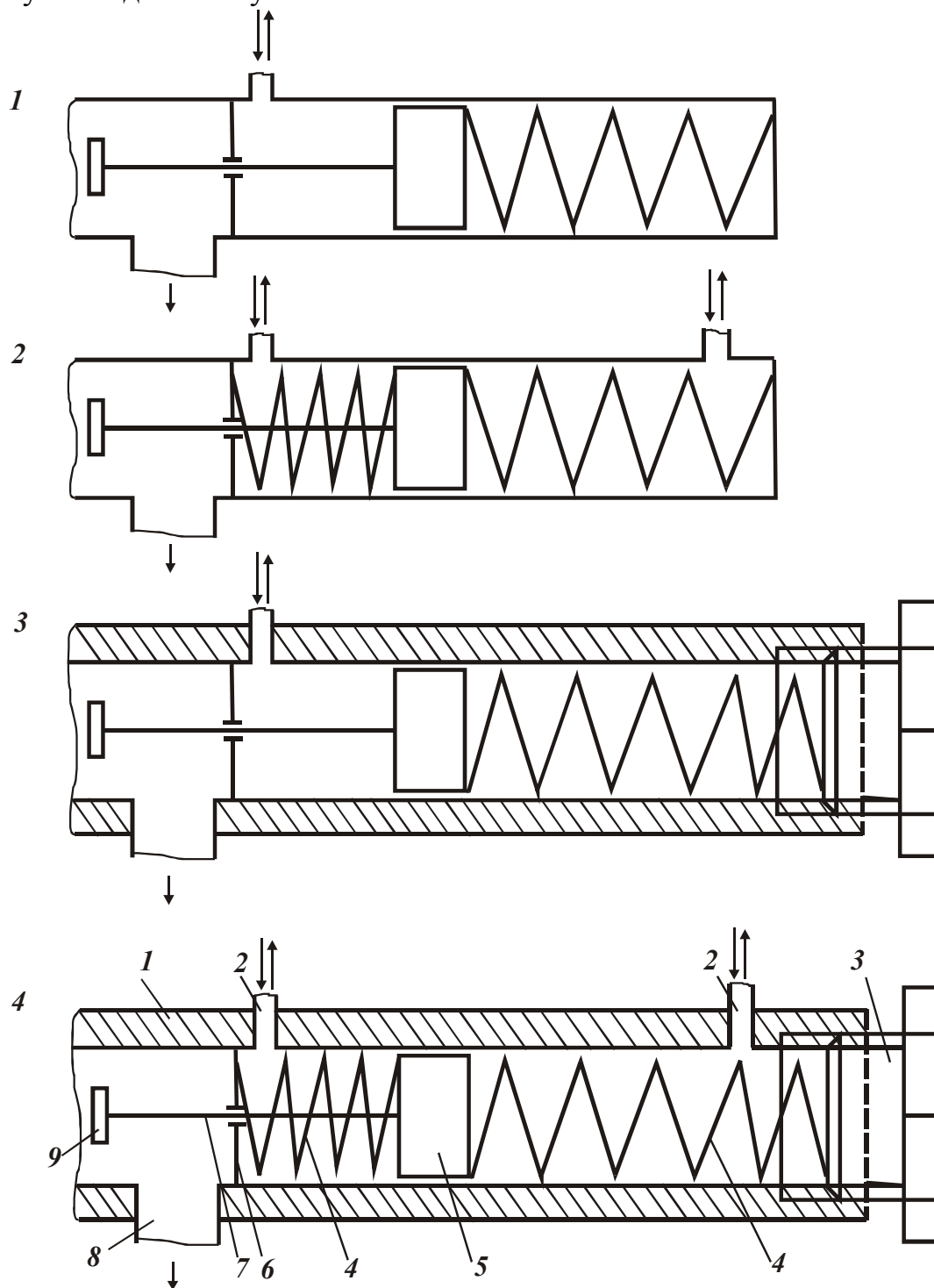


Рис. 2.27. Устройство пневмоцилиндров газораспределительного механизма: 1, 2 – не регулируемые; 3, 4 – регулируемые.

Есть два варианта решения этой задачи: 1 – регулировкой с помощью пружины; 2 – путь к впускному клапану должен быть больше, то есть трубка к впускному клапану может быть накручена спиралью, тогда он будет позднее открываться и закрываться.

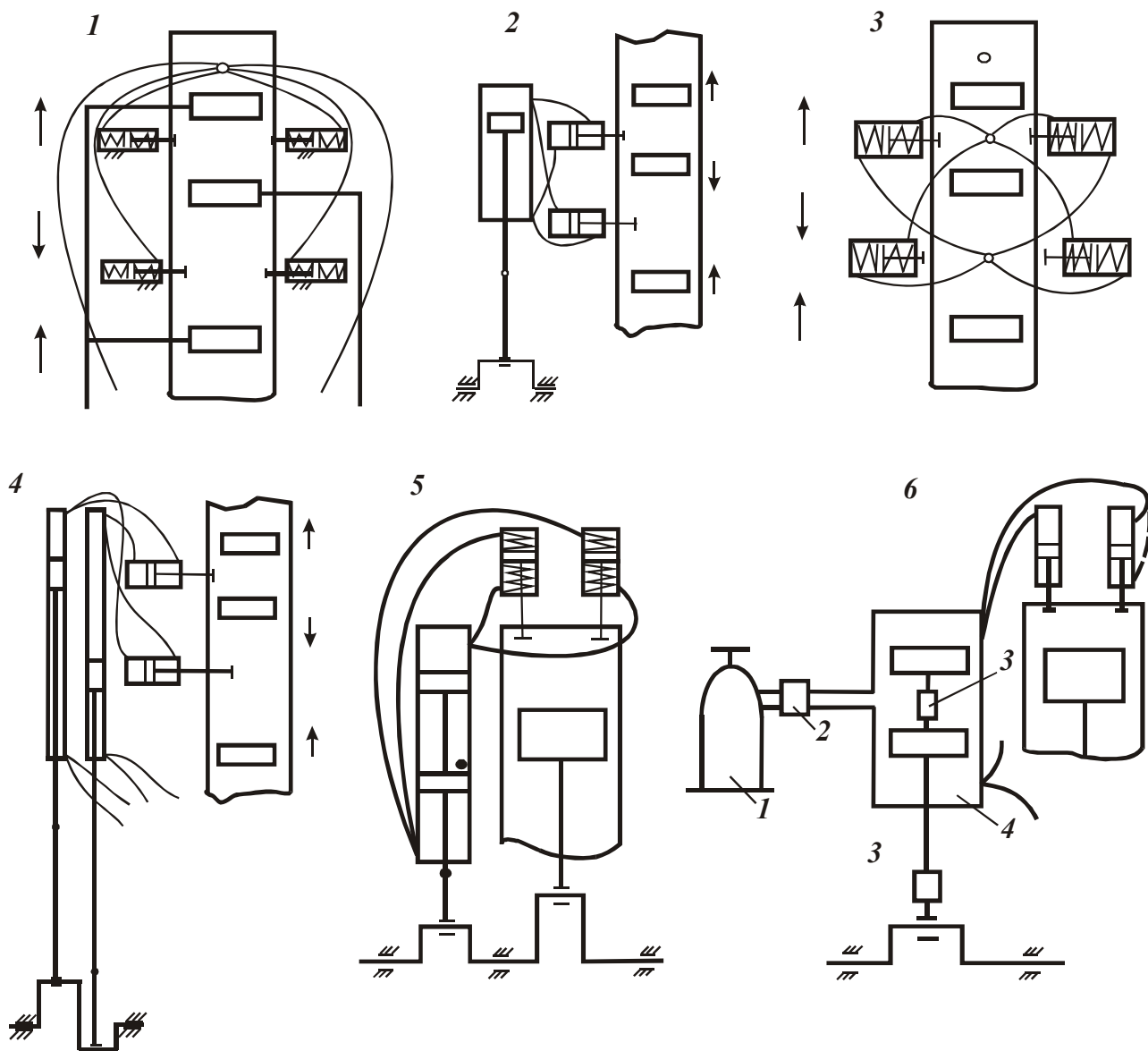


Рис. 2.28. Газораспределительный механизм.

Принцип работы двигателя такой же, как и описанных выше двигателей (рис. 2.25 и рис. 2.26).

Рис. 2.28, поз. 2. Работа газораспределительного механизма на двигателе обеспечивается от специального пневмоцилиндра, поршень которого приводится в движение от коленчатого вала этого же двигателя.

Работа этого варианта двигателя может совершенно не отличаться от работы вышеописанных двигателей, но может и значительно отличаться, если плоскость коленчатого вала приводящего пневмоцилиндра смещена на какой-то угол относительно плоскости коленчатого вала двигателя. В этом случае клапаны двигателя открываются с опережением или отставанием в соответствии с тем, в отставании или опережении находится плоскость коленчатого вала пневмоцилиндра и в соответствии с выбором режима работы двигателя.

Рис. 2.28, поз. 3. В этом двигателе работа газораспределительного механизма еще больше зависит от разницы давлений в оппозиционных цилиндрах и более надежна. Пневмоцилиндры могут иметь регулировку заводскую или регулироваться на месте.

На рис. 2.28, поз. 4 показана работа пневмоцилиндров от одного коленчатого вала с двигателем, но два пневмоцилиндра могут иметь большее количество плоскостей коленчатых валов относительно плоскостей коленчатых валов двигателя и относительно друг друга, а так же разные схемы подключения, поэтому обеспечат решение практически любой задачи по выбору циклов работы двигателя.

На рис. 2.28, поз. 5 показана работа клапанов от пневмоцилиндра, который приводится в работу от одного коленчатого вала, но работа данного газораспределительного механизма зависит от схемы подключения, регулировки пружин, а так же от расположения отверстия на пневмоцилиндре. Подбирать работу, то есть время открытия и закрытия клапанов, возможно, закрывая (закручивая) одно отверстие на пневмоцилиндре и открывая (откручивая) другое, а так же открытием двух отверстий, через которые проходит поршень пневмоцилиндра.

На рис. 2.28, поз. 6 показан простейший золотниковый механизм, с помощью которого обеспечиваем работу пневмоцилиндров: 1 – баллон со сжатым инертным газом или воздухом; 2 – редуктор, отрегулированный на определенное давление; 3 – регулировочное устройство, с помощью которого увеличивается или уменьшается длина шатуна и расстояние поршней в золотниковом механизме; 4 – цилиндр золотникового механизма.

Схемы подключения пневмоклапанов, в зависимости от заданного режима, разные. Плоскость коленчатого вала может быть одна или сдвинута на угол.

Регулировки газовым редуктором, пружинами пневмоцилиндров, регулировочными устройствами показаны на рис. 2.28, поз. 6, п. 3.

Подвод на поз. 5 и поз. 6 (рис. 2.28) зависит от того, где какая пружина в пневмоцилиндре и как расположены клапаны.

Возможности пневмоклапанов не ограничены. С их помощью можно решать любую поставленную задачу, если распределительный вал на двигателе нельзя заменить, то пневмоцилиндры всегда можно заменить на другие с другой системой работы или переключить на работу по другой схеме. Кроме того, впервые появляется возможность газораспределительный механизм вынести на расстояние от цилиндров и только связывать его с цилиндрами трубками. То есть к цилиндрам подводятся и отводятся трубки, а газораспределительный механизм их открывает и перекрывает. Клапаны находятся в подводящих и отводящих трубках или специальных клапанных переходниках, а не в цилиндре или на цилиндре.

А еще один пневмоцилиндр обеспечивает работу пневмоклапанов на несколько цилиндров сразу, что обеспечивает лучшую компоновку блоков цилиндров. Допустим, надо открыть клапан и его же мгновенно закрыть. Клапан закрывается пружиной. Подводим от цилиндра с рабочим ходом к пневмоцилиндру на открытие клапана газ по трубке, а на закрытие – по трубке со спиралью от этого же рабочего цилиндра, то есть трубка будет длиннее. И так как через некоторое время в оппозиционных цилиндрах пневмоклапана давление будет стремиться выравниваться, то пружина пневмоцилиндра обеспечит закрытие клапана.

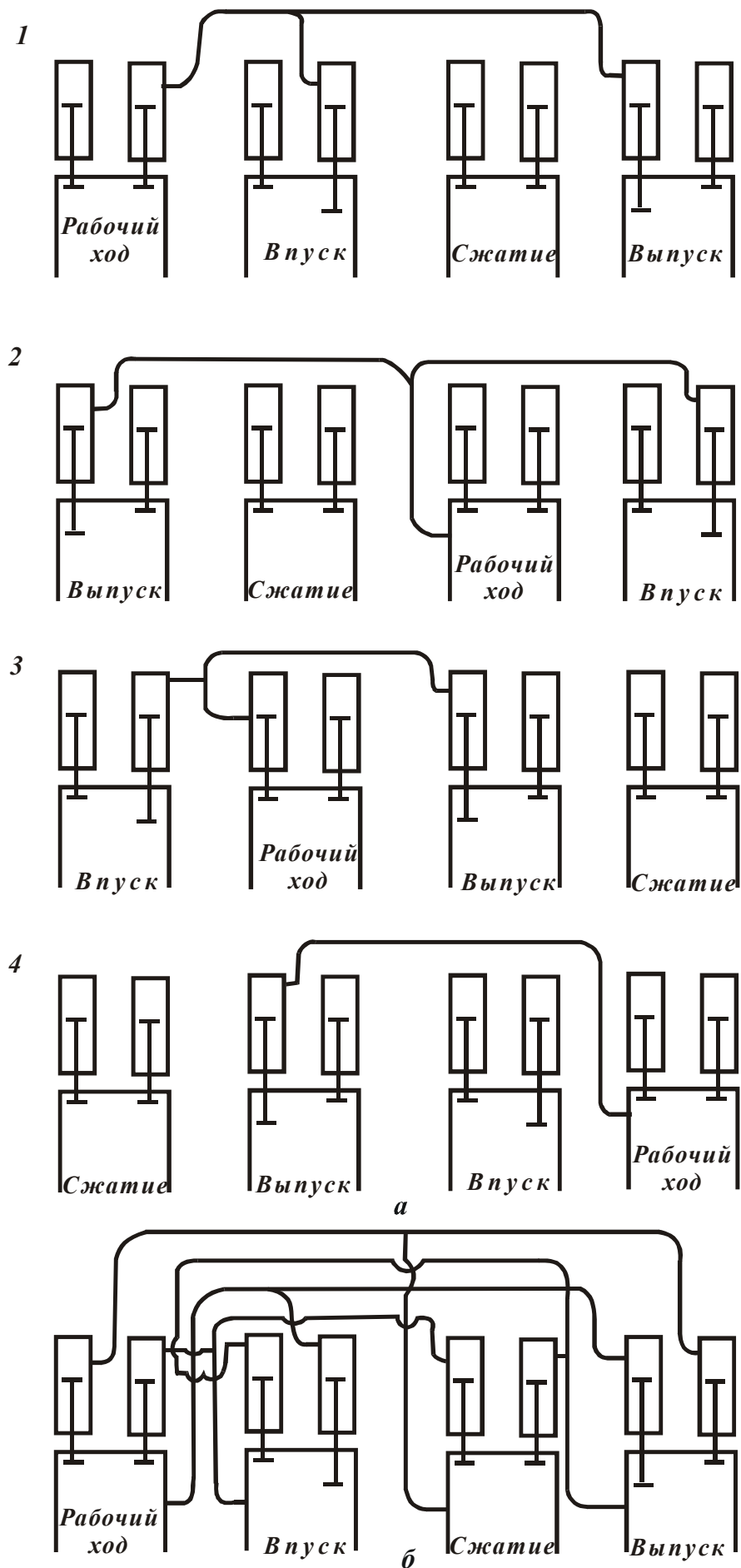


Рис. 2.29. Схема работы пневмоцилиндров.

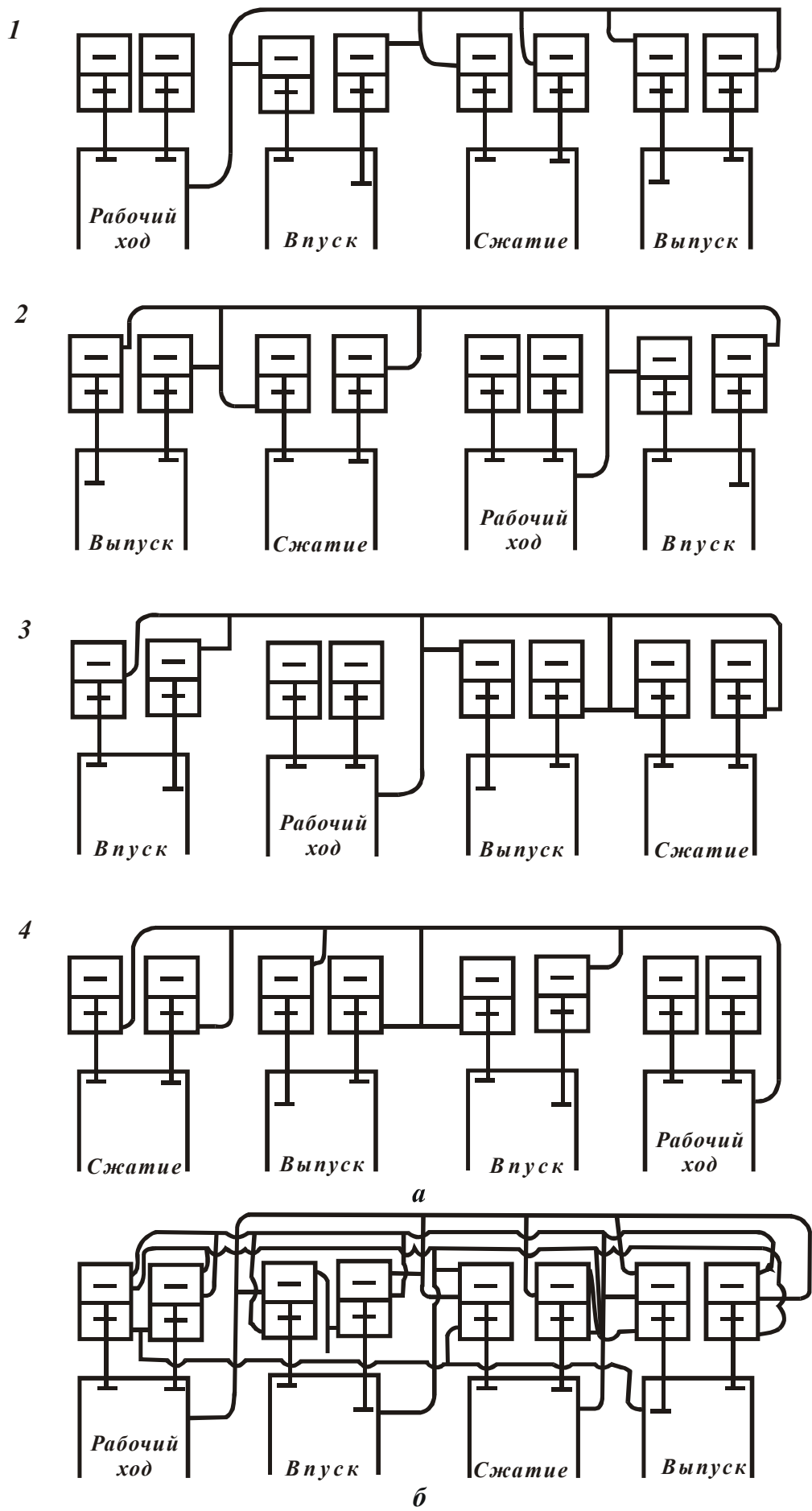


Рис. 2.30. Схема работы пневмоцилиндров по тактам.

С пневмоклапанами может работать любой двигатель с любым количеством цилиндров и по любому циклу: двухтактному, трехтактному, четырехтактному ... и другим. На каждый конкретный случай схемы составить не возможно. Принцип работы раскрыт и для специалиста нет проблем.

На рис. 2.29 изображена схема четырехцилиндрового четырехтактного двигателя, в котором пружины обеспечивают закрытие клапанов.

На рис. 2.30 показана работа четырехцилиндрового двигателя по четырехтактному циклу с пневмоклапанным газораспределительным механизмом, в котором пружины в клапанном пневмоцилиндре обеспечивают только успокоительное действие клапана, а открытие и закрытие обеспечивается рабочим ходом другого цилиндра, а своего рабочего хода – давлением на клапаны в цилиндре после такта сжатия.

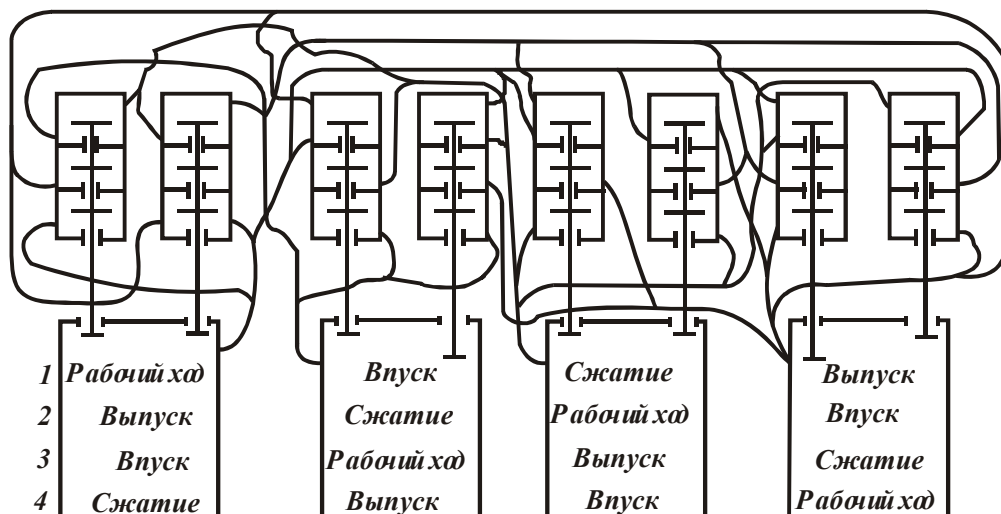


Рис. 2.31. Общая схема работы четырехцилиндрового (V-образного) двигателя с пневмоклапанным газораспределительным механизмом. Клапаны показаны по положению первого такта.

Пневмоклапанное устройство, показанное на рис. 2.31, состоит из трех пневмоцилиндров, в каждом из которых имеется свой поршень. Поршни соединены одним подвижным штоком с одним клапаном. Схема работы двигателя с закрытием клапанов на цилиндре во время рабочего хода не давлением рабочего хода изнутри на поршни, а через пневмоцилиндр, куда пружины в пневмоцилиндрах не имеют значения для открытия и закрытия клапанов. Клапаны показаны по положению первого такта. Из рабочих цилиндров для управления пневмоцилиндрами выводится по одной трубке, а на каждый клапан в цилиндры подводится четыре трубки. Схемы работы клапанов, изображенных на рис. 2.30 и рис. 2.31, имеют больше теоретическое значение, они готовят к составлению схем работы двигателя по любому циклу, с любым количеством тактов, с любым количеством открытий и закрытий пневмоклапанов за один такт в зависимости от поставленной задачи и применяемых рабочих тел. В этих схемах показано, какую роль имеет всего лишь одна пружина. Для этого достаточно сравнить схему работы пневмоклапанов на рис. 2.29 и рис. 2.31. На рис. 2.29, рис. 2.30 и рис. 2.31 от расположения цилиндров по одной прямой или V-образно работа пневмоклапанов значения не имеет, если данные двигатели работают по 4-тактному циклу и имеют 4 цилиндра,

где такты в одном цилиндре не переходные по отношению к другим тактам, то есть не накладываются. Точно так же составляется схема и для V-образных 8-цилиндровых двигателей. Например, в восьми цилиндровом двигателе шейки коленчатого вала находятся в одной плоскости у цилиндров 1-5 — 4-8 и в одной плоскости у цилиндров 3-7 — 2-6; между плоскостями шеек угол 90° (двигатели ЗМЗ-53, ЗИЛ-130). По таким схемам работают две группы по четыре цилиндра: группа №1 – цилиндры 1-4-6-7, группа №2 – цилиндры 2-3-5-8.

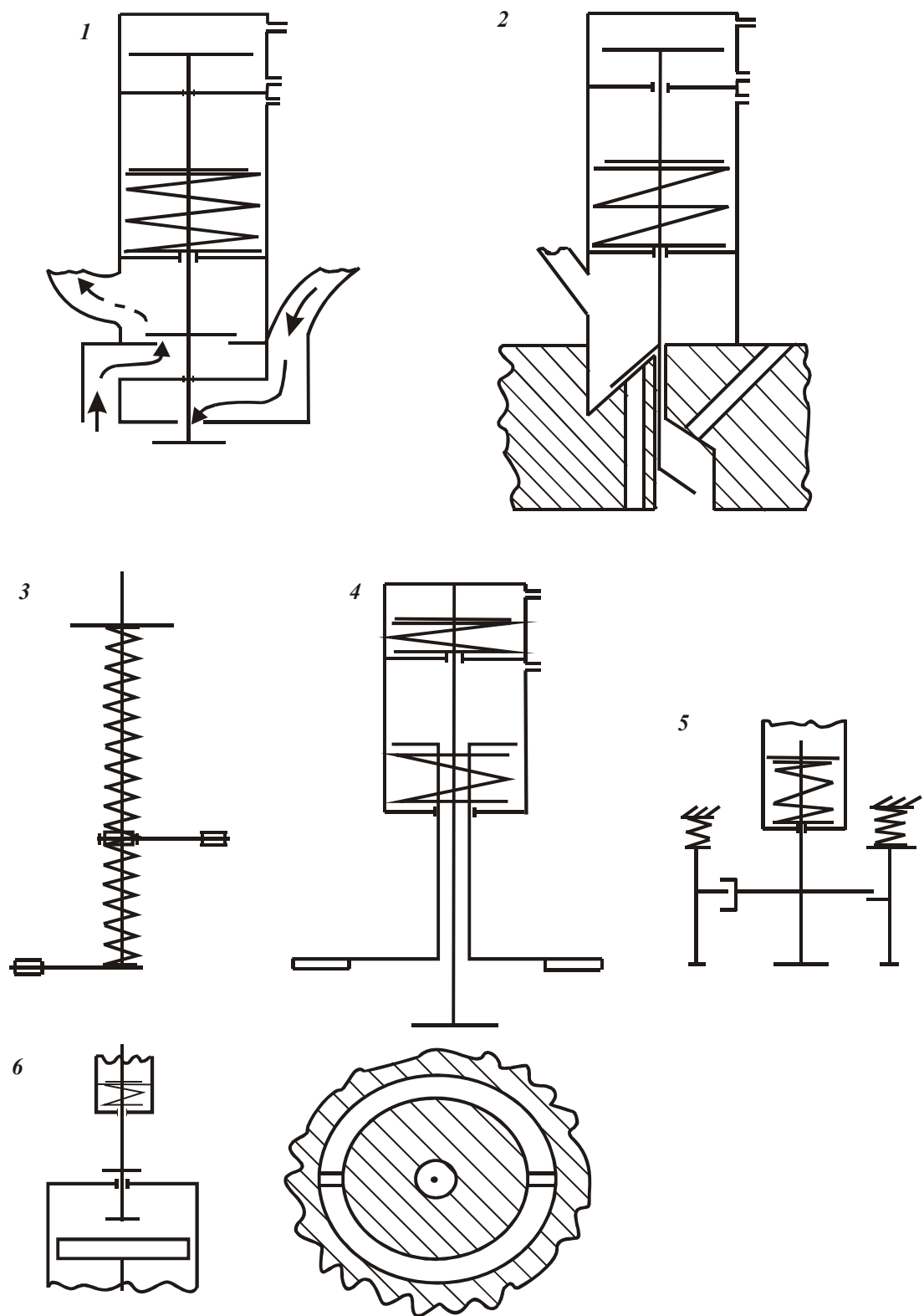


Рис. 2.32. Пневмоцилиндры и пневмоклапаны.

Из вышеприведенных примеров видно, что простейшие пневмоклапанные устройства обеспечивают работу двигателей по 2-тактному циклу и 4-тактному циклу. Для обеспечения работы двигателя с 2-3-мя дозированными впрысками рабочего тела, совмещенными тактами, вынос пневмоклапанов на дистанционное управление, обеспечения работы двигателя по любому заданному циклу расширим набор устройств пневмоцилиндров и пневмоклапанов. На рис. 2.32 (поз. 1) показан пневмоцилиндр, который управляет одним штоком, на котором располагаются два клапана (один из которых работает на впуск, а другой – на выпуск). Такой пневмоцилиндр заменит два пневмоцилиндра, указанных выше. Рис. 2.32, поз. 2 – конструктивное отличие от поз. 1 состоит в том, что клапаны располагаются под углом.

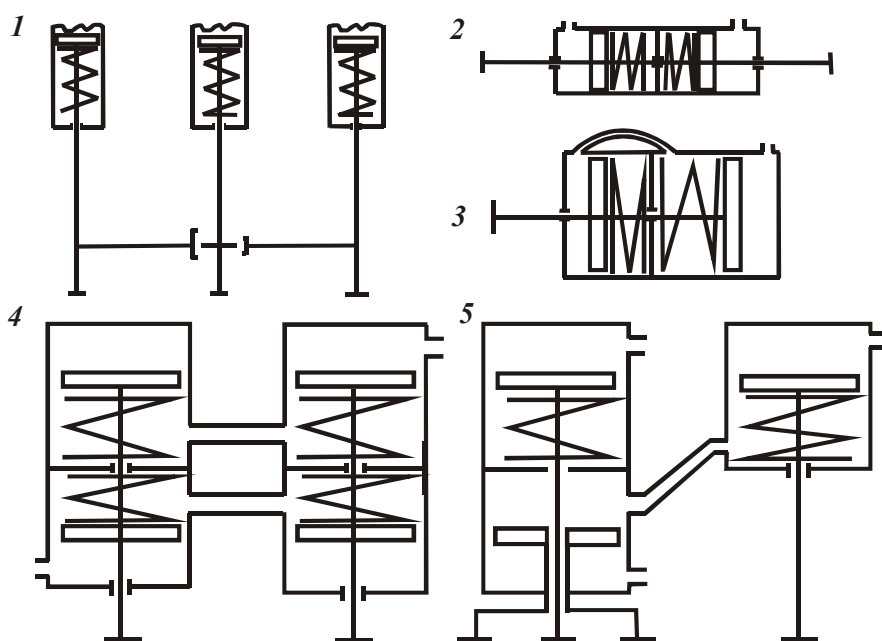
Рис. 2.32, поз. 3 – показаны два двухсторонних клапана на одном штоке. Нижний клапан неподвижен по отношению к штоку, верхний клапан перемещается по штоку и находится между пружин, что обеспечивает мягкую посадку на седло, открытие и закрытие выхода, входа из цилиндра через определенный промежуток времени.

Рис. 2.32, поз. 4 – два клапана: центральный на отверстие и кольцевой – сегментный, сёдла которых располагаются на одном уровне или на разных уровнях, каждый клапан приводится в движение своим поршнем, шток кольцевого – сегментного клапана скользит по центральному стержневому клапанному штоку. Вместо кольцевого клапана по окружности или на одной прямой могут располагаться цилиндрические – точечные клапаны.

На рис. 2.32, поз. 5 показано, как одним поршнем в пневмоцилиндре приводятся в работу три клапана, каждый из которых поднимается или опускается в разное время. От одного поршня могут сколько угодно клапанов.

На рис. 2.32, поз. 6 – на одном штоке два жестких клапана, оба закрывают и открывают цилиндр.

На рис. 2.33, поз. 1 показано взаимодействие трех пневмоцилиндров че-



рез подвижные штоки в разное время. Цилиндры могут работать поочередно или совместно.

На рис. 2.33, поз. 2 – пневмоцилиндр с двухсторонним выходом штоков.

На рис. 2.33, поз. 3 – последовательные пневмоцилиндры соединены с золотниковым механизмом, то есть имеют перепускную

Рис. 2.33. Пневмоцилиндры, клапаны, поршень, рабочий цилиндр.

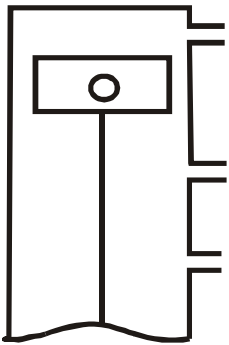


Рис. 2.34. Выходы из рабочего цилиндра.

трубку.

На рис. 2.33, поз. 4 – параллельные пневмоцилиндры совмещены с золотниковым механизмом – перепускной трубкой.

На рис. 2.33, поз. 5 параллельные цилиндры, совмещенные с золотниковым механизмом, соединены между собой. Один цилиндр с одним поршнем и одним подвижным штоком. Второй цилиндр – с двумя поршнями и двумя подвижными штоками, один из которых независимо от другого перемещается по нему.

На рис. 2.34 показаны выходы из рабочего цилиндра, которые соединяются трубками с пневмоцилиндром. Одновременно один из выходов, два любых или все три могут быть подключены к одному или разным пневмоцилиндрам. От этого по времени зависит открытие или закрытие клапанов.

На рис. 2.35 показано устройство поршня, которое обеспечивает плавную безударную нагрузку на пальцы, штоки, шатуны и коленчатый вал при смене направлений движения при прохождении верхней и нижней мертвых точек. Кроме того, эти пружины выравнивают давление в цилиндре на большом участке пути, что очень важно при работе с пневмоклапанами. Так же такая конструкция поршня уменьшает износ цилиндра, а наличие трех пружин не позволяет пружинам прийти в резонанс, что снижает вибрацию двигателя. Пружины аккумулируют энергию вместе с маховиком и отдают ее при каждом такте.

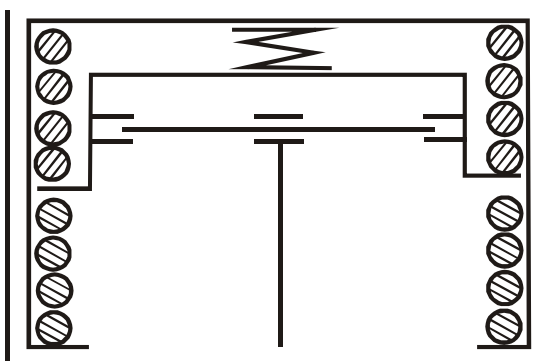


Рис. 2.35. Устройство поршня.

С помощью вышеуказанных клапанов на любом двигателе, работающем по любому циклу и с применением любых рабочих тел легко перейти к одному газораспределительному валу.

В любой отдельно взятой газораспределительной системе есть свои достоинства и недостатки. Поэтому, для расширения функциональных возможностей двигателей газораспределительные системы совмещаем:

механическую, пневматическую, электрическую (электромагнитную) с переходом на бесклапанное газораспределение. Это позволяет достичь уменьшения габаритов двигателя, наименьшего расхода топлива, выбора самого оптимального режима работы двигателя в данных условиях, применения на одном двигателе нескольких рабочих тел, увеличить количество рабочих ходов, используя расширение и вакуумирование в рабочих цилиндрах, использования двигателя в режиме компрессора при торможении – все это делает двигатель экологически наиболее чистым. Применяя совмещённые газораспределительные системы и одновременно на двигателе несколько рабочих тел, для обеспечения работ в оптимальном режиме без применения компьютера не обойтись. Все это продлит срок службы двигателя, обеспечит экологическую чистоту, экономию расхода материалов и энергетических ресурсов.

Совершенство конструкции цилиндров и совмещая их работу с пневмогазораспределительными механизмами, обеспечиваем наибольшую простоту, надежность работы и перевод двигателя в режим наименьшего использования клапанов и на бесклапанную систему, в настоящее время – это в основном при использовании традиционных рабочих тел: дизтопливо, бензин, горючий газ, но особенно перспективны эти системы будут при переходе на новые виды рабочих тел.

Опишем работу двигателя, показанного на рис. 2.24. Для этого рассматривалась конструкция двигателя, в котором поршень не выходил на прорезь подвижного штока, то есть в конце рабочего хода не открывал цилиндр. Вводя элемент такой конструкции цилиндров двигателя и применяя пневмоклапаны, получаем новые возможности двигателя и переход его режима работы с клапанной системой на бесклапанную и обратно, применяя совмещенные системы газораспределения или просто клапаны, работающие от разницы давлений.

Вариант 1. Последовательно расположенные цилиндры с поршнями, соединенные через подвижные штоки с оппозиционными шейками коленчатого вала имеют по одному пневмоцилиндру, который соединяется со смежным (оппозиционным) цилиндром трубкой. При перемещении поршней в крайнее нижнее положение (нижняя мертвая точка) поршень выходит на вырез, по которому перемещается шток или на специальные вырезы, как, например, на поз. 1 пневмоклапан закрыт пружиной и открывается только в начале рабочего хода в оппозиционном цилиндре.

При рабочем ходе поршень перемещается от верхней мертвой точки к нижней, клапан закрыт пружиной. Возле нижней мертвой точки поршень открывает цилиндр, происходит выпуск газов. В это время поршень в оппозиционном цилиндре находится в верхней мертвой точке и происходит рабочий ход, который открывает клапан в цилиндре. Через этот клапан подается воздух для продува цилиндра. Поршень начинает перемещаться из нижней мертвой точки в верхнюю мертвую точку и закрывает прорези в цилиндре. В это время в оппозиционном цилиндре поршень перемещается из верхней мертвой точки к нижней, давление уменьшается, и клапан в верхнем описываемом цилиндре закрывается. При приближении поршня к верхней мертвой точке в цилиндр производится дозированный впрыск рабочего тела. При проходе поршнем верхней мертвой точки происходит рабочий ход, который открывает клапан в нижнем оппозиционном цилиндре. Цикл повторяется.

Цикл работы.

1-й такт: рабочий ход – выпуск.

2-й такт: продув – сжатие – впрыск.

Вариант 2. Управление открытия и закрытия пневмоклапанов осуществляется с помощью электромагнитного клапана, который ставится на трубопровод, соединяющий рабочий цилиндр и пневмоцилиндр. Работа электромагнитного клапана по управлению пневмоклапанами осуществляется по программе через компьютер или от пьезокристаллических датчиков, расположенных на самом поршне электромагнитного клапана или в цилиндрах двигателя (рис. 2.24, рис. 2.25). Это дает возможность открывать клапан с задержкой на опре-

деленное время, использовать для подачи рабочие тела в цилиндр несколько раз во время одного такта, управлять пневмоклапанами на двигателе по любому циклу, расходуя на это минимальное количество энергии и используя простейшие устройства пневмогазораспределительных механизмов с очень большой точностью (по времени) открытия и закрытия клапанов.

Вариант 3. Цилиндр открывается поршнем (когда поршень подходит к нижней мертвой точке) На цилиндре установлен клапан, который регулируется разницей давлений. Здесь больше не нужен никакой газораспределительный механизм.

Цикл работы цилиндра.

1-й такт. Рабочий ход. Клапан закрыт давлением рабочего хода. В нижней мертвой точке поршень открывает прорези в цилиндре и давление в цилиндре становится равным атмосферному. Открывается клапан от разницы давлений в цилиндре и турбонаддуве и цилиндр продувается. В этом случае продувка цилиндра начинается на 1-м такте. На 2-м такте поршень перемещается из нижней мертвой точки в верхнюю мертвую точку и, пройдя вырезы в цилиндре, закрывает цилиндр. В цилиндре давление увеличивается и становится больше, чем на турбонаддуве. Закрывается клапан и происходит процесс сжатия. В конце сжатия – впрыск. Цикл повторяется.

1-й такт: рабочий ход – выпуск – продув.

2-й такт: продув – сжатие – впрыск.

И, наконец, работа двигателя в бесклапанном режиме. Цилиндр двигателя не имеет клапанов или имеет систему пневмоклапанную, которая управляется электромагнитным клапаном.

Вариант 1. Пневмоцилиндрическая клапанная система закрыта электромагнитным клапаном. Пневмоклапан в работе не участвует, или же двигатель вообще не имеет клапанов.

Цикл работы.

Рабочий ход. Поршень перемещается из верхней мертвой точки в нижнюю и при подходе к нижней мертвой точке открывает прорези в цилиндре. Происходит выпуск отработанных газов и их отвод с помощью обдува цилиндра снаружи. При перемещении поршня из нижней мертвой точки к верхней, поршень захватывает подаваемый воздух в цилиндр через прорези и нагнетает внутрь цилиндра, чем обеспечивает дополнительный выход газов через прорези. Поршень прошел прорези в цилиндре, закрыл цилиндр, началось сжатие воздуха. В конце сжатия производится дозированный впрыск и цикл повторяется.

1-й такт: рабочий ход – выпуск.

2-й такт: выпуск – вентиляция цилиндра – сжатие – впрыск.

Вариант 2 отличается от варианта 1 бесклапанной работы двигателя тем, что к прорезьям цилиндра с одной стороны подводится воздух под давлением, а с другой отводится, что позволяет сделать продув цилиндра более качественно.

1-й такт: рабочий ход – выпуск – продув.

2-й такт: продув – сжатие – впрыск.

При подаче охлажденного воздуха на цилиндр и в цилиндр двигателя не требуется водяного охлаждения.

Вариант 3. Двигатель имеет пневмоцилиндрическую клапанную систему, которая управляется электромагнитным клапаном и находится в закрытом состоянии, но при этом клапан работает от разницы давлений в цилиндре и турбонадуве.

Вариант 4. Электромагнитный клапан открывает пневмоцилиндрическую газораспределительную систему и она работает от разницы давлений в рабочих цилиндрах.

Вариант 5. Пневмоцилиндрическая клапанная система во время работы от разницы давлений в цилиндрах двигателя дополнительно управляется электромагнитными клапанами, для этого может использоваться электромагнитный клапан на перепускной трубке пневмоцилиндра.

Вариант 6. Специальные вырезы в цилиндре (рис. 2.24, поз 1.1) в нижней части цилиндра закрываются пневмоклапанами или электромагнитными клапанами, то есть цилиндр закрыт во время всей работы. Это дает возможность переходить от работы двигателя с бесклапанной системы на любую газораспределительную систему: механическую, пневматическую, электромагнитную или смешанную, или наоборот, от какой-то системы к бесклапанной системе – все это в автоматическом режиме на одном двигателе по выбору оптимального режима через компьютер или механически вручную. Для закрытия специальных вырезов на двигателе лучше применять электромагнитные приводы клапанов, с помощью которых вырезы открываются или закрываются и фиксируются так на определенный период работы. Клапаны на вырезах ставятся с внутренней стороны цилиндра, поэтому во время работы в закрытом состоянии они только сильнее прижимаются и обеспечивают полную герметизацию цилиндра. Форма вырезов может быть цилиндрической, кольцевой, эллипсной, сегментной.

Для смягчения ударов на шейках коленчатого вала, в шатуне и более плавной передачи движений на поршне, подвижные штоки, соединяющие шатун с поршнем, обеспечиваются компенсационными пружинами, которые вместе с маховиком коленчатого вала аккумулируют часть энергии.

Рис. 2.24. Общий вид. Шток жестко закреплен между двумя пружинами.

Рис. 2.24, поз 3. Шток свободно переходит от одной пружины к другой.

Рис. 2.24, поз. 4. Шток работает жестко с одной пружиной.

Рис. 2.24, поз 5. Пружина, с которой шток жестко закреплен, регулируется с помощью регулировочного приспособления.

Новизна двигателя заключается в том, что:

- за счет использования разницы давлений в цилиндрах двигателя при разных процессах или разных тактах в определенное время открываются и закрываются клапаны газораспределительного механизма для получения оптимальной работы двигателя;
- заменив систему газораспределительных валов на систему пневмогазораспределения, а так же совместив ее с механической, электромагнитной и бесклапанной системой, в управление которых подключается компьютер, что достигается за счет введения новой конструкции клапанов, которые содержат на одном подвижном штоке один, два и более клапанов;
- клапаны жесткие и клапаны скользящие по штоку с ограничением пере-

- движения пружинами, управляемые несколькими поршнями из пневмоцилиндров, в том числе, и независимо от других клапанов;
- применением особых пневмоцилиндров не регулируемых и регулируемых на определенное давление;
 - цилиндров, приводящих в движение одним штоком еще несколько клапанов с работой в разное время;
 - цилиндров, связанных между собой штоками с дифференциальной зависимостью в разное время;
 - последовательных и параллельных цилиндров, совмещенных с золотниковым устройством, то есть имеющих перепускные трубки;
 - пневмоцилиндров, имеющих двухсторонний выход;
 - пневмоцилиндров, приводимых в работу от коленчатого вала;
 - пневмоцилиндров, приводимых в работу от специального баллона через золотниковый механизм, который приводится в действие коленчатым валом;
 - вводится дополнительная форма клапанов: сегментная, кольцевая, эллипсная с установкой клапанов на цилиндры или на трубопроводы, соединяющие эти цилиндры или на цилиндры и трубопроводы;
 - применением регулировки золотниковых механизмов;
 - использование одного и более пневмоцилиндров и золотниковых механизмов;
 - использование одного пневмоцилиндра на несколько рабочих цилиндров;
 - использование одного или двух, или всех рабочих цилиндров для обеспечения работы пневмоцилиндров;
 - использование выводов с рабочего цилиндра на пневмоцилиндры одного или двух, или трех как последовательно, так и одновременно;
 - для управления пневмоцилиндрами применяем электромагнитные клапаны, а так же используем пьезокристаллические датчики для управления компьютером;
 - вводим в устройство поршня и на подвижные штоки компенсирующие пружины, выравнивающие давление и снижающие ударную нагрузку;
 - в корпусе цилиндров вводим специальные вырезы, которые обеспечивают бесклапанную работу двигателя, работу с одним клапаном или любыми системами газораспределения;
 - вырезы закрываются клапанами, обеспечивая переход двигателя к работе по любому циклу и с любыми рабочими телами, при выборе компьютером оптимального режима и обеспечивая экологическую чистоту, экономию материалов и энергоресурсов, при увеличении срока службы двигателя.

Предусматривается совместная работа различных газораспределительных систем. Все элементы предельно просты и могут применяться на любых известных двигателях внутреннего сгорания. Элементы и узлы рассчитаны на перспективу использования в двигателях внутреннего сгорания нескольких рабочих тел, их последовательного и одновременного применения, и работу двигателя по меняющемуся циклу, универсальность двигателя, что не противоречит работе данных узлов и механизмов на традиционных рабочих телах и по традиционным циклам работы.

РАЗДЕЛ 3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ

3.1. СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ

За счет взаимодействия металлов и сплавов с электромагнитным и магнитным силовыми полями можно получить заданные свойства металла, используя разные поля по направленности и продолжительности в сочетании со скоростями охлаждения в разных температурных границах (от жидкого металла до полного остывания). Взаимодействие магнитного и электромагнитного полей с рядом металлов и сплавов проявляется в преодолении сил поверхностного натяжения, гравитации, а также оказывает влияние на прохождение химических реакций в жидком металле или сплаве, способствуя выводу газов из металла и уменьшению образования трещин при охлаждении, оказывая влияние на рост кристаллов (а в некоторых случаях их дробление), усиливая или уменьшая внутренние напряжения в металлах и сплавах. Магнитные и электромагнитные поля при длительном действии на металлы и сплавы способны изменять структуру при нормальной температуре окружающей среды, а также при любой температуре с начала кристаллизации.

Это обусловлено тем, что при охлаждении металла во время образования кристаллов и роста зерен образуются внутренние напряжения и силы, которые с помощью внешних сил магнитного и электромагнитного полей длительного действия могут изменять форму кристаллов и зерен, т.е. изменять структуру металлов и сплавов.

Формирование внутренней структуры металлов и сплавов под действием магнитного и электромагнитного полей существенно зависит от скорости охлаждения. Чем меньше скорость охлаждения, тем больше можно изменять структуру металла с помощью магнитных и электромагнитных полей. Формирование структуры зависит не только от температуры металла и сплава, но и от интенсивности магнитного или электромагнитного полей, их направленности, движения относительно поверхности металла и сплава, постоянства или частоты импульсов.

Частота импульсов может колебаться от десятков минут до частот, реализуемых при ультразвуке. Движение магнита или электромагнита со скоростью ультразвуковых колебаний создает “эффект” ультразвука, что еще в большей мере способствует изменениям структуры металлов и сплавов.

Магнитное и электромагнитное поля приводят к изменению структуры металла при любой постоянной температуре, начиная с момента перехода металлов и сплавов из жидкого в пластичное и твердое состояние, а также с момента образования кристаллов до полного охлаждения и температур ниже нуля. Обработка металлов магнитным и электромагнитным полями позволяет получить из одного и того же по химическому составу материала большой диапазон

свойств металлов и сплавов. При горячей обработке металла можно увеличивать или уменьшать текучесть металла.

Этот способ дает возможность получать пористую рыхлую поверхность, которую можно использовать как поверхность скольжения, а также для получения покрытий из других металлов, сплавов и неметаллических покрытий. Способ позволяет производить сварку разных и даже неоднородных материалов в расплавленном виде, изменять структуру сварочного шва во время сварки, производить обработку свариваемых металлов и сплавов до сварки, во время сварки и после сварки, выравнивать структуру свариваемого металла с основным, уменьшать влияние скорости охлаждения, производить сварку внутри магнитных колец.

Способ позволяет увеличить насыщение поверхности металлов и сплавов газами или уменьшить их содержание в зависимости от поставленной задачи, заменить или дополнить термическую и термохимическую обработку металлов и сплавов. Дает возможность получать сплавы с новыми поверхностными качествами, физико-химическими свойствами, увеличивает срок службы металлов. С помощью этого способа можно получить разную структуру на одном и том же изделии. Эффективным техническим решением, реализующим этот способ, может быть следующее.

Обработка производится от температуры кристаллизации жидкого металла (сплава) при охлаждении до комнатной температуры $+18...+20^{\circ}\text{C}$ одновременно электрическим и электромагнитными полями, образуемыми одинаковой полярности электрическими зарядами на обрабатываемом металле и электроде и одинаковыми магнитными полюсами на обрабатываемой поверхности металла и того же электрода. Электрод совершает возвратно-поступательное движение по направлению к обрабатываемой поверхности не задевая ее, уплотняя металл и образуя твердую структуру.

С помощью совместной обработки электрическим и электромагнитными полями, получаем твердую структуру металла, расширяем пределы обработки металла от начала кристаллизации жидкого металла до комнатной температуры $+18...+20^{\circ}\text{C}$; увеличиваем скорость протекания химических реакций, обеспечиваем удаление газов, производим вибрацию кристаллов (образуя более однородную структуру металла), получаем однородную направленность кристаллизации к поверхности металла. При обработке металла в твердом состоянии внешние силы складываются с внутренними силами в кристаллических решетках, что способствует снятию внутренних напряжений, образованию направленных диполей, перераспределению связанных силовых полей, которые обеспечивают увеличение долговечности металла (сплава), и расширению пределов режимов его работы.

3.2. ДИФФУЗИЯ В МЕТАЛЛАХ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Известно, что диффузия атомов в металлах и сплавах зависит от температуры. С повышением температуры скорость диффузии очень быстро возрастает.

Известно, что существует диффузия замещения, внедрения и межзерновая диффузия.

Диффузия замещения происходит в том случае, когда два разных металла имеют размеры атомов одного и того же порядка, а при наличии вакансий в кристаллических решетках происходит диффузия атомов.

Диффузия внедрения происходит в том случае, когда атомы одного элемента намного меньше атомов другого элемента, и они могут проникнуть между атомами в кристаллическую решетку.

Диффузия по границе зерна происходит независимо от размера атомов. Здесь скорость диффузии зависит от угла “несовпадения” зерен. Если угол между зернами 20° , то скорость диффузии атомов равна скорости диффузии по зерну. При угле “несовпадения” зерен 45° межзерновая скорость диффузии будет наибольшей.

Диффузия атомов в чистом металле называется самодиффузией. Ее можно проследить с помощью меченых атомов.

Диффузия атомов разных металлов нашла практическое применение в диффузионной сварке, термической и химико-термической обработке металлов, диффузионной металлзации. На этом практически ограничивается применение диффузии. Однако, разные виды диффузии позволяют значительно расширить ее практическое применение.

Если рассмотреть диффузию внедрения, например, железа и углерода, то углерод может внедриться в кристаллическую решетку железа, тогда как железо в графит внедриться не может. Такую диффузию надо использовать для очищения металлов и сплавов от вредных примесей. Межзерновая диффузия позволяет изменять характер взаимодействия зерен, изменять активность их поверхностей. Она изменяет механические свойства материалов в целом. Диффузия замещения позволяет получить изменение свойств материала на уровне кристалла. Скорость диффузии внедрения быстрее, чем скорость диффузии замещения.

Межзерновая диффузия в мелкозернистом металле проходит быстрее, чем в крупнозернистом. Известен так же “эффект Киркендайла”. Установлено, что в латуни атомы цинка диффундируют быстрее, чем атомы меди. При проведении опыта по подтверждению этого явления были использованы стержни латуни и меди, границу соединения которых обозначили молибденовой проволокой. После нагрева и выдержки оказалось, что латунный стержень стал короче, а структура его стала пористой. К сожалению, и это явление до сих пор не нашло практического применения.

Опираясь на эти фундаментальные открытия, а с другой стороны, зная, что каждый элемент изменяет свойства сплава, рассмотрим влияние некоторых легирующих добавок на свойства стали. Свойства легированных сталей зависят от содержания в них легирующих элементов. Хром и никель повышают коррозионную стойкость сталей, жаростойкость, механические свойства. Кремний и титан повышают кислотостойкость стали. Марганец и кобальт повышают сопротивление ударным нагрузкам. Никель и медь улучшают свариваемость. Ванадий измельчает микроструктуру и т.д.

А теперь рассмотрим практическое применение диффузии металлов в настоящее время. Диффузионные процессы широко используются в полупроводниковых приборах, но здесь мы их рассматривать не будем.

Диффузионная сварка – это сварка давлением, осуществляемая взаимной диффузией атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

Химико-термическая обработка стали – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя детали на небольшую глубину различными элементами (углеродом, азотом, хромом и другими) при нагревании.

Насыщение поверхностного слоя детали углеродом называют цементацией. Цель цементации – повышение твердости и износостойкости поверхности детали. Твердость цементированного слоя сохраняется до температуры 200-220°C.

Насыщение поверхностного слоя азотом называют азотированием. При азотировании образовавшийся атомарный азот проникает в поверхностный слой детали и образует с железом и другими элементами твердые соединения – нитриды: Fe₄N, Fe₃N, Cr₂N, AlN и другие. Азотированию подвергают детали, изготовленные из среднеуглеродистых легированных сталей, которые приобретают особо высокую твердость и износостойкость. Твердость азотированного слоя сохраняется до температуры 600-650°C.

Цианирование или нитроцементация – это одновременное насыщение поверхностного слоя углеродом и азотом. В результате цианирования повышается твердость и износостойкость.

Диффузионная металлизация – насыщение поверхностного слоя деталей металлами (легирующими элементами) – хромом, алюминием, кремнием, бором и другими. Цель диффузионной металлизации – повышение жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости и твердости.

При цементировании, азотировании, цианировании, диффузионной металлизации насыщение поверхностного слоя детали происходит за время от 6 до 12 часов на глубину 1...3 мм при температурах от 500 до 1150°C. Как видим, за довольно короткое время (по сравнению со временем эксплуатации детали), диффузия в стальное изделие происходит на довольно значительную глубину.

Химико-термическая обработка имеет следующие недостатки: наилучшие механические свойства деталь имеет в начале эксплуатации, но по мере эксплуатации диффузия легирующих свойств продолжается и поверхность трения, теряя эти вещества, получает низкие механические свойства и увеличивающийся износ деталей.

Расширим практическое применение диффузии металла, с учетом указанных выше открытий. “Эффект Киркендайла” используем для изготовления вращающихся валов, работающих в режиме самовосстановления. Для этого подберем соответствующие материалы для каждого конкретного режима работы, условий среды и т.д.

Например, рассмотрим изготовление цилиндрического вала, сердцевина которого выполнена из цинка, а поверхность – из меди (или сердцевина выпол-

нена из латуни, а поверхность – из меди), т.е. в цилиндрическую трубу установлен стержень из цинка или латуни. Так как цинк и латунь диффундируют в медь быстрее, чем медь в цинк и латунь, то при вращении вала в соответствующем материале процесс истирания меди компенсируется диффузией цинка или латуни в медь. Чем больше температура трения, тем интенсивнее протекает процесс диффузии цинка или латуни.

Этот принцип справедлив при изготовлении валов любой формы, а так же трущихся поверхностей, которые в процессе работы будут выполнять роль самовосстанавливающихся размеров в процессе износа. Кроме того, если взять стержень (вал) и трубу из одного и того же материала и одного наружного размера при определенной толщине стенки трубы, то прочность трубы оказывается выше, чем прочность стержня (вала). Точно такой же эффект можно получить в процессе эксплуатации вала, изготовленного из материалов с разной степенью диффундирующих друг в друга при соответствующих размерах. Остановимся на том же самом примере: вал, состоящий из медной трубы с цинковым стержнем. В процессе эксплуатации цинк становится пористым, а механическая прочность вала не уменьшается, а увеличивается. Кроме того, по мере эксплуатации изменяются поверхностные свойства металла – медь постепенно переходит в латунь, то есть происходит диффузионное насыщение изнутри в отличие от химико-термической обработки металла. И эти эксплуатационные свойства могут быть рассчитаны и заложены так, что будет продлеваться срок службы деталей.

Пористость диффузионной металлизации может быть заложена в деталь (изделие) для предотвращения аварийного разрушения от роста трещин. Например, вал выполнен тремя слоями: латунь – цинк – латунь. В процессе диффузии в цинке образуются поры, которые будут улавливать трещины и не допускать их дальнейший рост.

Во время эксплуатации ответственных конструкций диффузионная металлизация может выполнять функции контроля, сигнализации о происходящих в металле (сплаве) процессах. Известно, что скорость диффузии зависит от температуры, при которой она происходит. Во время эксплуатации различных конструкций температура в разных частях может быть не одинаковой в результате лучевых воздействий, вибрационных нагрузок, трения, ультразвука, воздействия электрических и магнитных полей. Она может превышать предельные значения, о чем человеку не всегда известно. Или воздействие разных факторов на один и тот же участок конструкции продолжительное время приводит к изменению структуры металла на этом участке.

В этих случаях незаменима протекторная диффузия, когда к конструкции в разных ее частях привариваются пластинки контролируемого или контролирующего металла, диффузия от которого проходит через основной металл (через конструкцию) с определенной скоростью.

Кроме того, в эту пластинку проникает металл основной конструкции и (или) с другой пластинки, и она до начала диффузии и во время контроля после эксплуатации имеет разную пористость, удельную электропроводность, химический состав и т.д. Это дает огромную информацию для заключения о состоя-

нии эксплуатируемой конструкции.

Диффузионная обработка рабочих поверхностей деталей изнутри имеет большое перспективное значение, так как разные вещества имеют разную скорость диффузии, а это проектирование деталей с изменением заданных свойств по времени эксплуатации и (или) по температурным режимам. Получение поверхностей конструкций с пятнистыми механическими свойствами и возможностью перемен этих свойств по пятнам на другие (по прошествию определенного промежутка времени). Учитывая, что диффузионная обработка детали, например, вала может проводиться изнутри разными диффундирующими материалами из разных мест, стало возможным получение разных участков вала (детали) с разными свойствами, которые поддерживаются в течение всего срока эксплуатации (5-10 лет и более).

Диффузионную обработку детали можно производить с сердцевины вала (детали) и с наружной поверхности вала (детали) с помощью засверливания деталей и заполнения засверленного отверстия диффундирующим материалом, а к наружным поверхностям приваривая специальные пластины диффузионной сваркой.

Направленность диффузионной обработки всегда можно регулировать с помощью местных и (или) общих нагревов или охлаждений. Таким способом можно получать любые заданные свойства в любой части детали и поддерживать их в течении заданного времени, контролируя качество детали без ее разрушения.

Зная, что при старении металла зерно растет, диффундированием можно проверить качество детали и оценить, на сколько металл постарел (по скорости диффундирования контрольного вещества, так как чем меньше зерно, тем выше скорость диффундирования). Для контролируемой партии деталей необходимо иметь специально разработанную методику контроля на эталонных образцах при определенной температуре и иметь тщательно проверенный результат, с которым можно сравнить результаты обследуемых деталей (если обследования проведены при тех же условиях). Этот метод позволяет контролировать одновременно большую партию деталей без их разрушения с достаточно высокой точностью.

С помощью диффундирования можно частично исправлять дефекты механической обработки (ковки, штамповки, литья, прокатки), если вводить в места, в зависимости от требуемого результата, диффундируемые материалы, в которые больше будет диффундировать основной металл и тем самым разупрочнять свою структуру (делать ее трубчатой). Диффундируемые материалы будут упрочнять основной материал.

Таким способом можно с основного металла в диффундируемый материал собирать вредные примеси, выводя их в определенный участок с помощью направленного температурного воздействия или, собирая как в саркофаг, оставлять их в основном металле или извлекать методом вскрытия.

Существуют легирующие металлы (вещества), способные изменять структуру металла. Структура металла изменяется очень медленно в течение всего срока эксплуатации изделия (конструкции), но вместе с тем, все больше и

больше приводит изделие (конструкцию) к аварийному выходу из строя. Диффузия металлов в этом случае на протяжении всего срока эксплуатации может сохранить структуру металла или даже улучшить ее, продлевая этим срок службы детали (конструкции) и предотвращая аварию. С помощью диффузии металлов и сплавов, получая различные твердые растворы внедрения и замещения с программируемыми свойствами с помощью ЭВМ, можно проектировать самовосстанавливающиеся детали на десятки лет, как по размерам, структуре, механическим свойствам, химическому составу, так и по эксплуатационным свойствам и качеству, улучшая их на длительном промежутке времени, а также предусмотреть и предотвратить аварию из-за непредвиденного нарушения режимов эксплуатации.

Таким образом, обосновано направление практического применения диффузии металлов. Данное направление располагает огромными возможностями для машиностроения и расширяет наши знания о диффузии металлов и путях их практического применения на новом уровне.

3.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЖЗЕРНОВОЙ ДИФФУЗИИ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В металлургии широко применяется диффузия замещения и диффузия внедрения, но вместе с этими видами диффузии существует еще один вид диффузии – это межзерновая диффузия, которая на сегодняшний день осталась в тени и осознанно очень редко применяется.

Рассмотрим некоторые вопросы, связанные с применением межзерновой диффузии в металлургическом производстве и машиностроении.

Почему так происходит, что гвоздь начинает ржаветь в месте изгиба и всего лишь после одного изгибания?

Это явление происходит в связи с тем, что при деформации изгиба изменяется положение зерен друг относительно друга, то есть поверхности контакта зерен изменяют угол на “угол несовпадения”, наиболее благоприятный для диффузии кислорода, который находится в воздухе.

Кислород проникает по межзерновым поверхностям глубоко в металл, окружая зерна со всех сторон, что и вызывает интенсивную коррозию металла. Такое явление “злопамятства” можно обратить в положительное и широко использовать в машиностроении. Если изогнуть стальной гвоздь не на воздухе, а в среде углерода или азота, или в жидких растворах определенных элементов, и подержать его там некоторое время, то произойдет интенсивная диффузия атомов этих элементов в межзерновые “углы несовпадения”. После такой обработки поверхность гвоздя будет корродировать равномерно, исключая коррозию в месте изгиба. То есть этот способ позволяет производить науглераживание или азотирование, или цианирование, или другую диффузионную обработку при температурах 18-20°C, а также при температурах эксплуатации. Зная, что все детали во время эксплуатации находятся в состоянии различных деформаций: растяжения, сжатия, изгиба, кручения или более сложных деформаций, тем не

менее, это не учитывается в полной мере при их изготовлении и подготовке к эксплуатации. А это значит, что на этой стадии неосознанно в деталь закладывается механика разрушения, что впоследствии приводит к авариям и катастрофам.

Рассмотрим процесс точения вала на токарном станке. Вал при точении испытывает много различных деформаций: кручения, изгиба, кручения и торможения – многие из которых повторяются циклически. Кроме того, во время процесса резания нагревается место обработки материала, что усиливает диффузию кислорода в межзерновых пространствах. Даже если в дальнейшем такую деталь подвергнуть антикоррозийной обработке, то это не спасет положение, так как кислород в межкристаллических плоскостях уже успел сделать свое “дело”. Коррозия, заложенная между кристаллами, обладает совершенно другим коэффициентом линейного расширения, чем кристаллы, а это, следовательно, ведет к постоянному разрушению межкристаллических связей при любом изменении температуры. Подвергая вал термической или химико-термической обработке после точения, также обеспечиваем сначала межкристаллическую коррозию при нагревании, а затем обработку, которая будет предотвращать коррозию.

Из этого можно сделать вывод: изготовление ответственных деталей резанием необходимо производить в специальных средах, способствующих улучшению требуемых качеств изделия.

После изготовления ответственных деталей и изделий, часто их подвергают испытаниям на повышенных оборотах, режимах, нагрузках. Это, к сожалению, не только не дает никакой гарантии от дальнейшего разрушения, а наоборот, способствует этому все по той же причине межзерновой диффузии кислорода. Чтобы уменьшить влияние этих процессов, испытания должны проводиться в специальной среде, которая будет упрочнять изделие, а не способствовать развитию очагов разрушения на первоначальной стадии. Например, винтовые лопасти при испытании увеличенными нагрузками вибрируют, что способствует диффузии кислорода в межзерновое пространство. Как правило, после испытания, кроме контроля, никаких мер не применяется.

Из этого вытекает следующее. Чтобы предотвратить зарождение дефектов в межкристаллическом пространстве во время вибрационных нагрузок на предельных режимах, испытания необходимо проводить в специальных средах, а после испытаний немедленно покрасить все изделие заново, так как во время испытаний при усиленных режимах антикоррозийный слой может значительно разрушиться.

Это только одна сторона межкристаллизационной диффузии, на что указывает изогнутый гвоздь.

Изготовление деталей в вакууме и их эксплуатация в вакуумной среде продлевает жизнь деталей на незначительное время. Почему? В данном случае при различных деформациях грани зерен изменяют свои углы по отношению друг к другу, происходит межзерновая диффузия некоторых элементов в вакуум. В одних случаях это нарушает связь между зернами, но в основном способствует укреплению зерен, а, соответственно, и изменению механических

свойств изделия, что не будет соответствовать эксплуатационным нагрузкам.

Таким образом, лучше всего изготовление деталей, их испытание и эксплуатацию проводить в специальных средах. Если это невозможно, то надо сделать все возможное для безопасной эксплуатации изделий.

Для продления жизни изделий, их надо на определенное количество часов (если это возможно) поместить в вакуум с режимом эксплуатации для вывода из межкристаллизационных полостей вредных элементов. Затем вакуум заменить средой, которая продлит существование изделий за счет межзерновой диффузии. После этого изделие необходимо подвергнуть антикоррозийной обработке.

Здесь рассмотрены вопросы межзерновой диффузии на стадии изготовления, испытания и эксплуатации изделий при низких температурах.

Теперь можно представить, что происходит при металлургических процессах, когда металл разливается, кристаллизуется, прокатывается, куется, штампуется, подвергается волочению и т.п. Поэтому, лучший вариант проведения металлургических процессов - в среде инертных газов.

Рассмотрим условия, при которых “отрицательный” эффект межзерновой диффузии кислорода можно превратить в “положительный” эффект при обработке металлов (сплавов) резанием, на обдирочных операциях и черновом шлифовании.

Обработку металла (сплава) резанием осуществляем по следующей технологии: перед резцом поверхность металла нагревается роликовым электродом, через который пропускается электрический ток, а за электродом пропускаем тонкую струю кислорода. Что это дает?

1. Кислород, соприкасаясь с горячей поверхностью, образует на ней микротрещинки.
2. Кислород, соприкасаясь с горячей поверхностью, образует окислы, при этом продолжает нагревать металл, который подвергается резанию и разрушается в процессе резания значительно быстрее.
3. Уменьшается механическое сопротивление поверхностного слоя металла. На обрабатываемую поверхность и работу резца это не влияет, так как резец производит резание металла над слоем окислов.

Чтобы предохранить обрабатываемую поверхность от диффузии кислорода в межзерновой плоскости, под резец тонкой струйкой подается защитный газ. При многопроходном шлифовании и обдирочной обработке до последнего прохода под абразивный круг так же целесообразно подавать кислород.

При механической обработке резанием применяются смазочно-охлаждающие жидкости, которые обеспечивают повышенные режимы резания, увеличивают стойкость инструмента, уменьшают шероховатость обрабатываемой поверхности. Но как они влияют, или что они вносят в межзерновые плоскости поверхности и как все это в дальнейшем влияет на механическую прочность детали, срок ее службы, коррозионную стойкость, практически осталось без внимания.

Из вышесказанного следует, что металлургические процессы лучше всего проводить в инертных газах. Обработку деталей, их испытание и, если возмож-

но, эксплуатацию лучше проводить в специальных средах. Через определенное число часов работы ответственные детали для профилактики необходимо помещать в специальные среды, при этом прикладывая к ним определенную циклическую нагрузку: сжатие, изгиб, кручение.

Зная, что кислород имеет сродство с магнитным полем, для вывода кислорода из межзернового пространства обработку необходимо проводить в магнитном поле.

При обработке детали в специальной среде, при воздействии переменным магнитным полем, изменяются “углы несовпадения” зерен. Это способствует межзерновой диффузии нужных элементов на большую глубину или выводу ненужных элементов с большой глубины, создавая при этом вокруг обрабатываемой детали вакуум.

Обработка детали на всех стадиях в специальных средах с применением циклических нагрузок и переменных магнитных полей способствует продлению срока службы детали и снижает возможность аварийного выхода ее из строя.

Наиболее эффективная обработка детали в специализированной среде возможна при совпадении цикличности перемагничивания с цикличностью упругих изгибающих, растягивающих, сжимающих, скручивающих или сложных деформирующих нагрузок. Это позволяет при низких температурах в короткий срок проводить нужные элементы по всему объему межзерновых плоскостей. Затем эти элементы будут участвовать в диффузии замещения или внедрения, или замещения и внедрения одновременно, улучшая свойства сплава на протяжении определенного периода эксплуатации. Это происходит потому, что, как только нужные диффузионные элементы освобождают межзерновое пространство, их место занимает кислород и другие разрушающие элементы. Кроме того, во время деформации при эксплуатации изделия между зернами “углы несовпадения” постоянно изменяются и межзерновые поверхности подвергаются трению, что приводит к росту зерна и скоплению межкристаллической коррозии и вредных элементов. Поэтому, периодически устраивая деталям межзерновую диффузионную подпитку определенными элементами, можно продлить срок службы этих деталей. На практике не всегда возможно осуществить циклическое изменение нагрузки детали в специальной среде и в перемещенном магнитном поле, поэтому циклическую нагрузку следует заменить на постоянно действующую, лишь периодически ее изменяя. В некоторых случаях, когда невозможно выполнить циклическую нагрузку механически, можно заменить ее ультразвуком, который вызывает вибрацию изделия или его поверхности. При обработке некоторых деталей и изделий в специальных средах в качестве нагрузки можно создать местную вибрационную нагрузку.

Для ускорения межзерновой диффузии нужных элементов в переменном магнитном поле в специальной среде, надо найти оптимальную частоту перемагничивания для данного сплава, согласуя ее с частотой циклических нагрузок и увеличивая давление среды.

Идеальный вариант – это совпадение циклической нагрузки переменного магнитного поля на деталь и циклического изменения давления на среду.

Предварительную обработку металлов и сплавов можно вести в средах с повышенным давлением (которые продлевают им жизнь) при многократных пластических деформациях.

Практическое использование межзерновой диффузии облегчит получение композиционных материалов. В порошковой металлургии на границе между твердыми спекаемыми веществами образуется продукт, приостанавливающий реакцию. Здесь нужна вибрация порошковых частиц и зерен, изоляция кислорода от диффундирования по межзерновым плоскостям и диффундирование нужных элементов с дальнейшим их диффундированием методом внедрения и замещения по кристаллу.

Отсюда можно сделать вывод: получение спекаемых порошковых материалов надо проводить в среде защитного газа в переменном магнитном поле.

Управление межзерновой диффузией вносит новое направление в развитие металлургии, получение сплавов с новыми свойствами, композиционных сплавов с направленными структурами по слоям. С момента возникновения “зародышей” в жидком составе появляется возможность управлять направлением роста кристаллов с помощью переменного магнитного поля, подводить к ним определенные диффундирующие элементы, выводить газы и вредные примеси из расплава. С помощью переменного магнитного поля возможно регулирование продвижения разных веществ по межзерновым плоскостям в определенном направлении, а затем получение определенного количества кристаллов с атомами внедрения и атомами замещения, получение улучшенных условий графитизации в сталях и чугунах от разных материалов.

3.4. НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

С развитием техники и машиностроения все больше возникает необходимость в создании новых материалов, обладающих повышенной износостойкостью и ударной вязкостью, имеющих одновременно мягкую и твердую поверхности, а также поверхности соприкосновения с заданными свойствами и определенными активными участками.

Разработка новых материалов занимает много времени и средств, экономически не всегда оправдана. Эти и многие другие вопросы можно решить с помощью новых направлений термической и химико-термической обработки металлов. Изменить активность поверхности, продлить срок службы, изменить механические, технологические и эксплуатационные характеристики деталей возможно уже сегодня без существенных затрат.

Кристаллы металлов имеют не одинаковые свойства в разных направлениях. Кристалл меди на сжатие дает разные показатели, кристаллы железа и кобальта в разных направлениях намагничиваются по-разному, цинк по-разному проводит тепло. Направленность зерен в металле определенным образом изменяет его механические свойства.

В научно-технической литературе уделено большое внимание текстуре

металлов и сплавов, условиям их получения. Однако в процессе эксплуатации деталей текстура изменяется. Это влияет на износ и срок эксплуатации деталей, приводит к аварийному выходу их из строя. Поэтому возникает необходимость изменять текстуру металла на заготовке направленно (в отдельных местах) перед изготовлением детали, а после ее изготовления – изменять текстуру металла в сторону улучшения эксплуатационных характеристик.

На качество магнитных свойств металла влияет не только его текстура, сформированная во время технологического способа получения, но и температурные изменения во время намагничивания. При нагревании и направленных магнитных воздействиях можно изменять направления зерен, а, следовательно, структуру металла и его характеристики.

Исходя из вышесказанного, рассмотрим новые методы формирования структур и текстур металлов и сплавов, как по положению зерен, так и по изменению их размеров при термической и химико-термической обработке металлов и сплавов.

В начале рассмотрим методы получения пятнистых структур при термической обработке.

Поверхностная закалка электроконтактным способом медными электродами с последующим охлаждением струей воздуха, водой, маслом. Форма электрода может быть различной: прямоугольной, изогнутыми пластинками, кольцами, круглыми стержнями. Расположение электродов рядами или в шахматном порядке, размеры электродов, диаметр и расстояние между ними рассчитываются в каждом конкретном случае. Электроды с изделием находятся в непосредственном контакте. Через электроды и изделие пропускается электрический ток, который разогревает поверхность металла до температуры закаливания, после чего изделие подвергается быстрому охлаждению. В результате получается пятнистая, плавно переходящая структура с разным размером зерен по всей поверхности “твердая - мягкая”.

Выполняя термическую обработку сталей и других магнитных сплавов в сильном внешнем магнитном поле, кроме изменения размера зерен в местах большего нагрева, ориентируем их в определенном направлении. Получается пятнистая структура и по размеру зерна, и по его ориентации.

При нагревании металла электродами и его медленном охлаждении во внешнем магнитном поле, получается ровная структура зерна, но с пятнистой ориентацией.

Применяя пятнистую термическую обработку электродами в переменном магнитном поле, производим дезориентацию зерен, например, после прокатки, волочения, штамповки и т.д.

Уплотнение и разуплотнение поверхности при термической обработке можно дополнительно производить электрическим полем.

Следующий метод обработки – **поверхностная закалка лазерными лучами**. Лазерные лучи располагаются узкими пучками, рядами или в шахматном порядке. Расстояние между лучами выбирается в соответствии с требованиями к эксплуатационным характеристикам. Охлаждение проводится жидким азотом, водой, маслом или на воздухе. Обработка может осуществляться с приме-

нением постоянного или переменного магнитного поля.

Следующий метод обработки – **поверхностная закалка с помощью световых лучей**. Технология закалки такая же, как и при закалке с помощью лазерных лучей. Закалка лазерными лучами и световыми лучами с применением жидкого азота может применяться не только для улучшения эксплуатационных свойств материала, но и для покрытия материала микротрещинами перед обработкой резанием или шлифованием, то есть здесь имеет место механика разрушения.

Термомагнитная обработка применяется в настоящее время только для производства магнитов, при этом применяется сильное постоянное магнитное поле.

Переменное магнитное поле при термической и химико-термической обработке позволяет получить новые текстуры, новые свойства, новые эксплуатационные качества.

При нагреве металла в вакууме до закалочных температур в переменном магнитном поле происходит вибрация зерен в структуре, что способствует выводу из металла газов и вредных примесей.

Если применять переменное магнитное поле при химико-термической обработке (цементации, цианировании, нитроцементации и азотировании), то воздействие переменного магнитного поля на зерна металла приводит их в движение, способствует насыщению металла при соответствующей температуре химико-термической обработки азотом, углеродом или азотом и углеродом одновременно. Нагрев изделия может быть полным с воздействием на всё изделие переменного магнитного поля или с воздействием на изделие переменным магнитным полем на отдельных участках (пятнами), возможно воздействие переменными магнитными полями пятнами с разными частотами. После насыщения поверхности изделия азотом, углеродом или азотом и углеродом одновременно при охлаждении возможна обработка изделия в постоянном магнитном поле с целью формирования текстуры с одинаково повернутыми зернами. Для упрочнения поверхности изделия при остывании применяется электрическое поле, образованное одинаковыми потенциалами на изделии и окружающем изделие электроде. Для получения пятнистой структуры потенциалы могут подаваться на отдельные электроды.

Для получения более выраженной пятнистой текстуры потенциалы на изделие и электроды можно подавать как одинаковыми, так и разными. При разных потенциалах на изделии и электроде происходит разупрочнение структуры.

Такую же обработку электрическими и магнитными полями можно проводить при диффузионной металлизации. Кроме того, уплотнение зерен и разуплотнение их на поверхности детали можно получить разными полюсами магнитных электродов, намагнитив поверхность детали и превратив ее в один из полюсов.

Термическая обработка в инертных газах может вестись с применением переменных магнитных полей, электрических полей, электромагнитных постоянных и переменных полей. Применяя разные варианты воздействия на всё изделие и на его участки, можно получать любые заданные текстуры поверхности

сплавов для требуемых эксплуатационных условий, а так же их изменять после определенного срока эксплуатации.

Термическая обработка с нагревом изделия электрическим током набором электродов с подачей в зону нагрева инертных газов может вестись непосредственно на местах эксплуатации изделия. Здесь же могут применяться и разные электромагнитные поля.

Рассмотрим еще некоторые возможности термической и химико – термической обработки металлов и сплавов. Можно на одной поверхности металла или сплава получить пятнистую текстуру с разной направленностью зерен, ориентированных магнитными полями и тепловыми отводами; уплотненную и разуплотненную магнитными и электрическими полюсами и потенциалами; сформированную разным размером зерен, диффузионной металлизацией, силицированием.

Возможности такой технологии раскроем на некоторых простых примерах. Для получения пятнистой поверхности с помощью термической и химико-термической обработки для формирования размера зерен по определенной форме пятна и по тепловой направленности, используем трубчатый электрод. Нагревая электрическим током поверхность металла (сплава) до определенной температуры, выключаем ток и в трубку электрода подаем жидкий азот. Производим закалку пятна с частичным насыщением азотом. Так можно проводить охлаждение и обработку жидким воздухом или другими жидкими и охлажденными газовыми средствами.

Усложним конструкцию электрода. Применим стержневой электрод, помещенный в трубку с внутренним диаметром, большим диаметра стержня. По стержню подводится ток для нагрева поверхности металла пятном. После нагрева по трубке подается охлаждающая среда, которая меняет зерно, а направленность теплоотвода формирует расположение зерен текстуры. Здесь электрод в начале служит для подвода тепла, а затем - для отвода тепла от поверхности. Стержневой электрод из трубки может удаляться на время обработки пятна холодом, текстура без электрода будет другая.

Можно применять трубчатые электроды, состоящие из нескольких трубок, вставленных одна в другую. Между трубками можно подавать разные насыщающие или охлаждающие газы или жидкости. Таким способом можно проводить кольцевое азотирование, цианирование и силицирование одновременно. В одну трубку по температуре насыщения при охлаждении можно подавать разные вещества. Способ позволяет проводить сеточное борирование и силицирование поверхности. Электроды могут быть разной конфигурации, кроме того, при такой термической обработке могут использоваться разные электромагнитные поля. Вариантов получения разнородных текстур так много, что их расписывать просто не имеет смысла. Здесь практически не касались методов совмещения.

Рассмотрим новые направления электромагнитной обработки, термической, химико-термической обработки с применением невысоких температур, а также при обработке холодом.

Новые свойства материалов можно получить, выполняя их обработку по-

стоянным магнитным полем, переменным магнитным полем, постоянным электрическим полем, переменным электрическим полем, а также разными сочетаниями полей при обработке материалов в состоянии различных деформаций: изгиба, растяжения, скручивания, сжатия, а также сложных деформаций. Такая обработка проводится при комнатной температуре или с повышением ее, практически не изменяя упругие свойства металла. Эти виды обработки проводятся в вакууме, в инертных газах, на воздухе и в средах, насыщающих сплавы, и при диффузионной металлизации.

И, наконец, весьма эффективна обработка холодом углеродистых и легированных сталей, быстрорежущих сталей, высокохромистых сталей для уменьшения количества остаточного аустенита и увеличения количества мартенсита. Цель обработки – повышение твердости, стабилизации размеров, износостойкости и усталостной прочности; повышение деформационных характеристик и увеличение режущих свойств инструмента после закалки, выполненной с применением обработки вышеизложенными способами, а также при выполнении термической обработки холодом, продолжая воздействие магнитными, электрическими, электромагнитными полями; применяя тот или иной вариант в зависимости от требуемых характеристик.

Далее можно предложить новый вид обработки металла холодом в состоянии упругих деформаций.

Особое место занимает химико-термическая обработка при нагревании в газовых средах лазерными и световыми лучами.

В получении новых текстур имеет смысл наряду с вышеописанными методами применение ультразвука. Это поверхностный нагрев ультразвуком и поверхностное упрочнение и вибрация зерен в материале, вибрация самого изделия в электромагнитных полях. Все это открывает большие перспективы развития термической, химико-термической обработки, развития металлургии и машиностроения, направления поисков новых свойств материалов и областей их применения. Такие методы термической и химико-термической обработки – это начало для получения новых композиционных материалов по методу получения булатной стали, а так и по совершенно новым методам.

3.5. НЕКОТОРЫЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. Термодинамика твердых растворов – это металлургия новой эпохи.

Металлургия новой эпохи ставит цель поиска таких веществ, которые растворяют в себе металлы, а в дальнейшем, выводя эти вещества из раствора, позволяют получать чистые металлы.

Французский ученый Гитеи в 1790 году не имел возможности расплавить платину. Тогда он получил соединение платины с мышьяком и, удалив мышьяк, получил ковкую платину. Температура плавления платины 2043 К. Никель и железо с повышением температуры интенсивно растворяют вольфрам. Никель активно растворяет вольфрам при температуре 1000-1200 К до концентрации в

32%, при этом никель почти не растворяется в вольфраме. Ртуть при нормальной комнатной температуре растворяет (амальгамирует) золото, серебро, олово, свинец. Расплавленная сурьма растворяет золото. Хлор и бром разъедают золото. Царская водка (концентрация соляной и азотной кислоты в пропорции 3:1) растворяет золото и платину. На этом перечень взаимодействия металлов далеко не закончен, а наоборот, только начинается. Добавляя те или иные добавки в растворитель, можно уменьшить или увеличить растворение обрабатываемого металла.

Ставится задача привлечь внимание специалистов к активизации поиска новых растворителей с целью изменения металлургического процесса, процессов обработки металлов резанием, шлифованием, получения новых способов неразъемных соединений.

Зная свойства растворителей обрабатываемого металла (сплава), в дальнейшем их можно применять до механической обработки с целью уменьшения снимаемого припуска при резании, т.е. при механической обработке, облегчая процесс, а также после механической обработки, устраняя поверхностные дефекты деталей. Кроме того, при соответствующей конкретной разработке технологии изготовления деталей возможно их изготовление без применения механической обработки.

Изучая термодинамику твердых растворов, можно получить новый вид сварки, который позволит получать требуемые механические характеристики при невысоких температурах нагрева соединяемых изделий. Кроме того, с помощью таких растворителей можно обрабатывать металлы и сплавы резанием. При обдирочных и шлифовальных работах растворители могут вводиться под шлифовальный круг или быть в составе шлифовального круга, а также деталь может обрабатываться (натираться) непосредственно растворителем.

Применение таких растворителей позволит создать новейшие технологии самовосстановления деталей при эксплуатации и новые возможности при ремонтно – восстановительных работах. После механической обработки, обрабатывая поверхность деталей с помощью таких растворителей, появится возможность продлить срок службы деталей и снизить вероятность появления трещин на поверхности.

Применение термодинамики твердых растворов позволит избежать аварий, которые происходят на предельных режимах в результате повышения температуры и заклинивания.

2. Механика разрушения на службе обработки титана и его сплавов.

Технический титан имеет твердость HB 180-280, плохо обрабатывается резанием, плохо сваривается. С целью изыскания путей снижения энергетических затрат на процессы резания титана и его сплавов, проведем анализ механики разрушения титана.

Титан имеет высокое химическое сродство с кислородом, азотом и водородом. Интенсивное насыщение его водородом начинается уже при температуре 250⁰С. Водород образует с титаном твердые растворы и гидрид титана, который выделяется при охлаждении титана ниже температуры 100-150⁰С. Выделение гидрида титана зависит от скорости охлаждения. При медленном охла-

ждении гидрид титана выделяется в виде тонких пластинок, а при быстром охлаждении - в виде высокодисперсных частиц. Это явление является причиной образования холодных трещин при сварке.

С целью использования этого явления для уменьшения энергетических затрат при обработке резанием титана и его сплавов, получения тонких мелких пластинок гидрида титана, разделяющих поверхность титана и его сплавов на мелкие участки и облегчающие процесс обработки, проведем следующую подготовку изделий к механической обработке.

Изделие из титана или его сплавов перед обработкой резанием поместим в чистую водородную среду, затем его нагреваем до температуры в пределах 250-800°C и выдерживаем в этой среде определенное время при фиксированной температуре. В зависимости от температуры нагрева, времени выдержки, процентного содержания титана в сплаве и содержания других элементов, влияющих на образование твердого раствора водорода в титане, рассчитываем проникновение водорода на определенную глубину с учетом медленного охлаждения. Затем проводим медленное охлаждение. Таким способом обрабатываемое изделие готовится для дальнейшей механической обработки, в процессе которой поверхностный слой легко снимается за счет пластинчатого разделения титана, а припуск на чистовую обработку - минимальный.

Механику разрушения титана и его сплавов можно использовать и непосредственно при обработке металлов резанием, например, при проведении обдирочных и шлифовальных работ с применением электроискровых методов обработки. Эти операции необходимо проводить в чистой водородной среде, чтобы не допустить взрыва.

3. Обоснование обработки металлов и сплавов в новых условиях.

Анализируя разные методы обработки металлов и сплавов резанием, становится очевидным, что механика разрушения при обработке металлов и сплавов используется не достаточно, что открывает возможности поиска новых более экономичных методов обработки, характеризующихся меньшими энергозатратами. Поэтому проведем анализ механики разрушения металлов и сплавов применительно к обработке резанием, с целью определения и обоснования новых условий обработки металлов и сплавов резанием.

Анализ обработки металлов резанием с применением механики разрушения проведем для различных методов электрохимической обработки (ЭХО). Автором идеи и технического воплощения электрохимической обработки (ЭХО) является инженер Гусев В.Н (1904-1956г.г.). Размерная анодно-механическая обработка металлов и сплавов – это явление анодного растворения при электролизе. В качестве электролита используется водный раствор солей, кислот и щелочей. На поверхности обрабатываемого металла, являющегося анодом, происходят химические реакции, в результате обрабатываемый металл растворяется в электролите, продукты растворения удаляются обновлением электролита в рабочей зоне.

Из множества видов электрохимической обработки металлов рассмотрим электроабразивную и электроалмазную обработку, анодно-механическую обработку, электроэрозионно-химическую размерную обработку. Электроабразив-

ная и электроалмазная обработка металлов основана на сочетании анодного растворения и абразивного резания зернами в зоне непосредственного контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Анодно- механическая обработка сочетает в себе электротермические и электрохимические процессы при механическом воздействии инструмента – катода на обрабатываемую поверхность. Электротермический процесс обеспечивает разрушения окисной пленки вследствие ионизации межэлектродного промежутка. При этом, при возникновении напряжения между частицами обрабатываемой поверхности и инструментом 17-20 В, возникают кратковременные дуговые разряды, при которых металл заготовки плавится, частично испаряется и в виде расплавленных частиц переходит в электролит. Необрабатываемые участки заготовки предохраняются электролитом, образующим стойкие к анодному растворению пленки. Высокая производительность обеспечивается эрозийным разрушением обрабатываемого металла.

Электроэрозионно–химическая размерная обработка основана на размерной электрохимической обработке с совмещенным электроэрозионным разрушением металла. До и после электроэрозионного разрушения металла происходит анодное растворение обрабатываемой поверхности. Для обеспечения электроэрозионного разрушения необходимо на электроды (инструмент и заготовку) сообщить соответствующий импульс напряжения, приблизив их на величину пробоя.

Во всех видах электрохимической обработки металлов участвуют электролиты, которые влияют на точность, качество и производительность обработки в зависимости от состава и концентрации входящих в них компонентов, температуры, водородного показателя, скорости перекачки его в межэлектродном пространстве. Под рабочей температурой принято понимать оптимальную температуру электролита в зоне обработки. Для большинства электролитов оптимальная температура в зоне обработки находится в пределах от 18 до 30°C и только для некоторых - от 60 до 80°C. Низкая температура электролита не позволяет использовать образующуюся электрическую дугу при электроэрозионной обработке в полной мере. Как видим, электрическая энергия расходуется не экономно. Кроме того, электролиты требуют проведения очистки, которая осуществляется разными способами: центрифугованием, фильтрованием, флотационным способом и требует дополнительного расхода электрической энергии.

Недостатком электрохимической обработки металлов является применение сложного оборудования и станков, которые выполнены из коррозионно-стойких металлов и сплавов, кислотостойких, щелочностойких, гальванических покрытий, обмазок, пластмасс. Поэтому внедрение электрохимической обработки оправдано перед другими способами только явными технико-экономическими показателями или невозможностью обработки деталей другими способами. Необходимо учитывать и то, что такой способ обработки связан с воздействием вредных факторов на человека и окружающую среду, на сколько бы не были совершенны оборудование и технология.

Принимая во внимание все трудности и экономические затраты, нами

предлагается обработка металлов резанием в новых условиях, которая основана на использовании механики разрушения при механической обработке резанием на обычном оборудовании без вреда окружающей среде и человеку.

Для этого рассмотрим сущность процесса резки окислением, который состоит в нагревании места резки до температуры горения металла, затем обеспечении процесса горения нагретого металла в кислороде и удалении продуктов горения (воспламенения) из области реза. Техническое железо горит в кислороде при температуре 1050-1360°C, в то время как температура плавления железа равна 1539°C. Условию резки окислением отвечают железо и углеродистые стали. Резка чугуна кислородом затруднена, так как температура плавления чугуна и окислов приближается к 1400°C. Работая над технологией производства стали из чугуна, Генри Бессемер пришел к выводу, что углерод, содержащийся в чугуне, в присутствии кислорода при "белокалийном жаре" соединяется с кислородом и происходит горение. Эта гениальная идея совершила переворот в металлургии.

Эту идею можно применить при обработке металлов резанием, например, при электрохимической обработке металлов резанием, если заменить жидкий раствор электролита на газовую кислородную среду. Соединение электроэрозивной обработки в кислородной среде позволит обрабатывать углеродистые стали и чугуны с лучшими технико-экономическими показателями на обычном оборудовании без вреда для человека и окружающей среды.

При подаче кислорода на обрабатываемую поверхность, например, при обдирке и шлифовании, в зоне резания зерен создается температура, приводящая к сгоранию железа и кислорода, а при возникновении дугового разряда в кислороде сгорает кроме железа и углерод. В процессе горения выделяется температура, которая поддерживает процесс обработки сталей и чугунов. При этом окислы удаляются шлифовальным кругом, а так же струей кислорода. Кислород, нагретый в зоне обработки, поднимается вверх, поэтому остальная часть изделия с кислородом практически не соприкасается и в процессе обработки незначительно нагревается. Если возникает необходимость ее дополнительной защиты, то можно применить лаковое покрытие или нанести слой специальной обмазки.

4. Некоторые приемы борьбы с образованием трещин на поверхности обрабатываемых металлов и затуплением абразивных и алмазных кругов.

При обработке методами шлифования высокоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей, а также других металлов и сплавов, в месте контакта поверхности с инструментом происходит быстрый нагрев металла, а затем охлаждение, превышающее критическую скорость закалки. В результате интенсивного нагрева шлифовальный круг снимает с поверхности пластичный, близкий к расплавленному, а в некоторых случаях и жидкий металл, который налипает к связывающему зерна материалу и боковым поверхностям зерен. В результате этого увеличивается коэффициент трения на обрабатываемой поверхности и уменьшается высота выступания режущих зерен над уровнем связки круга. Это приводит к еще более интенсивному нагреву обрабатываемой по-

верхности и увеличению скорости охлаждения, что является причиной образования трещин на обрабатываемой поверхности.

Для предотвращения этих негативных явлений предлагается несколько комплексных мероприятий, обеспечивающих обработку высокоуглеродистых, низко- и среднелегированных сталей, а также других металлов и сплавов без появления поверхностных трещин и затупления круга.

Вариант 1. Для устранения быстрого охлаждения обрабатываемого металла и предотвращения появления закалочных трещин, обрабатываемый металл предварительно нагреваем до температуры 400-500°C, что позволит значительно уменьшить скорость охлаждения и появление трещин. Однако предварительное нагревание изделия одновременно увеличивает степень затупления абразивного круга. Поэтому здесь нужны комплексные меры. Для удаления засаливания абразивного круга, его обдувают струей кислорода, который сжигает налипший на круг обрабатываемый металл и удаляет окислы. Однако не все обрабатываемые металлы и сплавы поддаются кислородному сгоранию при таких условиях. Поэтому рассмотрим еще несколько вариантов обработки.

Вариант 2. Обрабатываемое изделие предварительно нагреваем. Абразивный или алмазный круг охлаждаем снаружи инертным газом, что обеспечивает устранение его засаливания. Алмазные круги на металлических связках могут охлаждаться и с подведением охлаждающего агента во внутреннюю полость.

Вариант 3. Обрабатываемое изделие предварительно нагреваем. Абразивный или алмазный круг охлаждаем снаружи или с внутренней полости и пропускаем через него переменное высокочастотное электромагнитное поле. С помощью электромагнитного поля частицы металла окончательно отрываются от абразивного круга.

5. Некоторые взгляды на повышение производительности труда при обдирочно-шлифовальных работах.

С развитием машиностроения и освоением новых твердых сплавов количество обдирочно-шлифовальных работ возрастает и занимает одно из ведущих мест на завершающих стадиях обработки деталей. Поэтому сегодня, как никогда, актуальны вопросы поиска путей повышения производительности труда при обдирочно-шлифовальных работах.

Основной причиной, являющейся препятствием для повышения производительности труда при шлифовально-обдирочных работах, является высокая температура в зоне обработки, что ведет к фазово-структурным изменениям в поверхностном слое обрабатываемой заготовки, образованию закалочных структур и трещин, а также к повышенному износу шлифовальных кругов и их затуплению.

В настоящее время эти вопросы решаются по нескольким направлениям: выбором оптимальных скоростей обработки, применением эффективных смазывающе-охлаждающих жидкостей, применением твердых тугоплавких смазок, выбором материалов связки зерен, контролем температуры в зоне обработки, применением эффективных комбинированных методов шлифования, например, алмазно-искрового шлифования и других. Однако, истинные причины отрица-

тельного термического воздействия в полной мере не раскрыты.

Для всех видов обработки материалов существует такое понятие, как глубина нарушенного слоя обработанной детали. Эта глубина не учитывается при расчете деталей на прочность. Процесс обдирочно-шлифовальных работ сопровождается появлением на обрабатываемой поверхности царапин, задигов, следов от вырванных из круга зерен и т.д. При повторном проходе шлифовального круга с вращением его в ту же сторону происходит “затирка” мест вырванных зерен, частично срезанных зерен и создается картина шлифуемой поверхности, на которой возникают большие термические напряжения.

Если при повторном проходе сменить направление вращения круга, то резко изменяется картина шероховатости: задиры, царапины, количество вырванных зерен увеличивается за счет вырванных зерен при первом проходе. Это способствует увеличению производительности обработки. В работу вступают новые режущие кромки алмаза. Меньше термическое влияние на образование трещин.

Как обеспечить каждый проход противоположным вращением круга?

1. Перенос детали через ось на противоположную сторону круга.
2. Поворот детали на 180° в плоскости обработки.
3. Поворот круга вокруг оси.
4. Применение процесса шлифования двумя кругами, вращающимися в разные стороны.

Изменением направления вращения круга при обдирочно-шлифовальных работах продлевается работоспособность круга, уменьшается его износ.

Структура металла при шлифовании одним кругом проходит несколько стадий термического влияния при нескольких проходах. При шлифовании двумя кругами одновременно, вращающимися в разные стороны, не теряется энергия на нагрев металла, а термические изменения проходят один раз. В результате увеличивается производительность.

Из этого можно сделать следующие выводы. При обработке детали со сменой направления вращения круга на каждом проходе увеличивается производительность обработки, особенно при черновом шлифовании. Число проходов уменьшается за счет увеличения количества кругов, вращающихся в разные стороны. Это экономически выгодно. Меньше износ кругов и расход электроэнергии, меньше появляется микротрещин от термического влияния на поверхность металла, уменьшается неравномерность теплового воздействия. Температурные границы нагрева с одной точки расширяются и скорость охлаждения снижается, что положительно влияет на структурные преобразования в металле и уменьшает появление трещин.

Для двухстороннего направленного вращения круга при обработке нужны новые методы расчета, которые будут рассматривать величину зерна и связь между зернами обрабатываемого металла в зависимости от структуры и температуры изменений, а также время встречной обработки и глубину нарушенного слоя предыдущей обработки. Эти и другие вопросы еще предстоит экспериментально опробовать и изучить на разных металлах и сплавах с разной структурой.

3.6. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЗУБЧАТЫХ ВЕНЦОВ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ

Зубчатые венцы привода вращения барабана шаровой мельницы имеют диаметр 5 – 7 м и массу от 16 до 23 т. При износе зубьев до 15 мм дальнейшая эксплуатация зубчатых венцов невозможна.

В настоящее время зубчатые венцы при максимально допустимом износе восстанавливают методом наплавки.

Венец с модулем зубьев 20, числом зубьев 268, длиной зубьев 800 мм, углом наклона зуба 5–15°, наружным диаметром венца 5410 мм, количеством секторов 2, массой венца 16,5 т наплавляли непрерывно с предварительным подогревом до 200–250°С в течении 27 суток, израсходовав 2350 кг порошковой проволоки. После восстановления зубья обрабатывались тремя фрезами: цилиндрической и двумя дисковыми. Стоимость восстановления зубчатого венца составила в пределах 40% стоимости нового венца.

Приведенная технология восстановления зубчатого венца является чрезвычайно трудоемкой, энергоемкой, материалоемкой. Время нахождения зубчатого венца только на непрерывной наплавке составило 27 суток. Кроме того, здесь не указано время, затраченное на дефектоскопию зубьев, а также время, затраченное на обработку зубьев после наплавки методом фрезерования, и время, затрачиваемое на демонтаж и монтаж.

Первоначальный износ зубьев начинается в результате соприкосновения зубьев друг с другом не всей поверхностью, а отдельными участками, на которых вследствие повышенного давления возникает сухое трение, которое усиливается из-за попадания абразивных частиц. В результате такого трения в месте контакта ухудшается шероховатость, что ведет к расширению площади изношенных поверхностей. Изношенная поверхность становится более рыхлой, ее края быстро разрушаются. Кроме того, она больше не собирает абразивной пыли.

Чтобы уменьшить первоначальный износ зубчатого венца и предотвратить разрастание износа из пятна на всю поверхность зуба, при изготовлении зубчатых венцов применим новую технологию.

Зубья венцов шаровой мельницы изнашиваются в основном с одной стороны, поэтому при изготовлении дополнительные затраты будут невелики, а срок службы обработанных зубьев по новой технологии увеличится на 40-70 %.

После окончательного традиционного изготовления зубьев, т.е. чистового фрезерования, рабочую сторону зубьев венца обрабатываем механическим ультразвуковым генератором по слою графитового порошка в переменном высокочастотном магнитном поле. Механический ультразвуковой генератор, производя удары по рабочей поверхности зуба, устраняет выступы, выравнивает поверхность после фрезерования, т.е. выглаживает ее. Производя эти действия по графитовому порошку, появляется возможность внедрить этот порошок во впадины и межзерновое пространство. В результате поверхность зубьев упрочняется за счет уплотнения, наклепа металла, а так же за счет температурного образования графитной пленки на поверхности. Применение переменного высо-

кочастотного магнитного поля обеспечивает лучшее проникновение графита в межзерновое пространство, формирование более равномерной структуры поверхности зубчатого венца. В дальнейшем при эксплуатации зубчатого венца графит будет выполнять роль смазки, что исключит появление длительное время сухого трения и продлит срок службы зубьев. Кроме того, чтобы первоначальный износ не распространялся по зубу, на рабочей поверхности зуба лазерным лучом целесообразно нанести канавки, разделяя поверхность зуба на секторы, которые остановят рост износа. В канавки рифленой поверхности зубьев следует внести тугоплавкую смазку.

В зависимости от материала зубчатого венца и требуемых механических свойств, данную обработку можно проводить на воздухе или в специальных газовых средах при комнатной температуре или с подогревом газовой среды.

Рассмотрим варианты подготовки зубчатого венца к работе.

Вариант 1. Зубчатый венец после фрезерования остается с повышенной шероховатостью, которая не способствует снижению износа и продлению срока службы. Поэтому зубчатый венец обкатывается в порошке графита, который затирается во впадинах и покрывается на выступах слоем металла. После 8-10 часов сухой обкатки с порошком графита происходит притирка поверхности зуба с заполнением впадин графитом, сплавлением поверхностного металла и графита с образованием графитовых пленок.

Для увеличения эффекта обкатки с графитовым порошком, обкатку производим при воздействии переменного высокочастотного магнитного поля.

Вариант 2. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком и подогревом поверхности зуба до 200-400°C токами высокой частоты.

Вариант 3. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком при воздействии переменных магнитных полей с прогревом поверхности зуба газовыми горелками до температуры 200-400°C.

Вариант 4. Обкатка с графитовым порошком зубчатого венца с пропусканием токов через ведомую и ведущую шестерни по методу контактной сварки (с несколько меньшим током). Это нагревает поверхность детали, но не приводит к ее плавлению. Ток, проходя через контактные поверхности зубьев, выделяет тепло, а графитовый порошок не позволяет соединиться контактными поверхностям, и под давлением заполняет впадины, образуя защитные пленки.

Вариант 5. Обкатка зубчатого венца с графитовым порошком, после которой поверхность зуба обрабатывается лазерным лучом. В результате этого происходит поверхностное плавление металла и графита, упрочнение металла за счет поверхностной закалки и образования графитовых пленок.

Вариант 6. На поверхности зуба лазерным лучом плавятся углубления до 0,5-1,0 мм. Плотность их зависит от материала, из которого изготовлен зубчатый венец. Далее зубчатый венец обкатывается в графитовом порошке, который заполняет эти углубления и предотвращает их от износа при эксплуатации.

Вариант 7. После обкатки зубчатого венца с графитовым порошком производится поверхностная закалка зубьев токами высокой частоты.

Вариант 8. Поверхность зубьев облицовывается керамическими плитками или углеволокнистыми материалами.

Вариант 9. Поверхность зубьев облицовывается двумя слоями керамических или углеволокнистых материалов, а также смешанных покрытий с токоизолирующими свойствами, что позволяет между слоями устанавливать токопроводящие пластины и создавать на ведущей и ведомой шестерне одинаковые по знаку электрические поля. Это значительно снижает поверхностный износ зубьев.

Вариант 10. На ведомой или ведущей шестерни изготавливаются каналы с выходом на контактирующую поверхность зуба, через которые во время контакта подается смазка под давлением.

Рассмотрим варианты восстановления и ремонта изношенных зубьев.

Вариант 1. Зубья, имеющие износ до 5-8 мм, обрабатываются черновой фрезой, затем на них наклеиваются керамические пластины, содержащие углеводородные волокна. Такой ремонт зубчатый венец требует после 8-10 лет эксплуатации. Его преимущества заключаются в том, что обработка венца ведется только черновой фрезой с небольшим снятием металла. После такого ремонта зубчатый венец будет служить два-три срока.

Вариант 2. Изношенные зубья обрабатываются черновой фрезой и на них (на клей, на эпоксидную смолу или припой) ставятся штампованные коронки из высоколегированного материала, которые дополнительно привариваются по боковому торцу и корню зуба. Штампованная коронка может быть приварена по рабочей поверхности зуба контактной сваркой, а по торцу и корню зуба - дуговой сваркой.

Такой метод позволяет выполнить восстановление зубчатого венца в кратчайший срок с увеличением срока службы в 1,5-2,0 раза и с минимальной затратой материалов и электроэнергии.

Вариант 3. Изношенные зубья обрабатываются черновой фрезой. На них ставится коронка, состоящая из нескольких частей, которые привариваются к поверхности зуба, а также свариваются между собой. Такие части коронок могут устанавливаться на клеенно-сварные или паянно-сварные соединения. Окончательная доводка поверхности зуба производится шлифованием.

Такой метод восстановления зуба позволяет прочнее закрепить коронку на поверхности зуба, а также вести облицовку с одной стороны поверхности зуба или на участке поверхности зуба.

Вариант 4. Может оказаться, что некоторые зубья на зубчатом венце по износу и результатам дефектоскопии восстановлению не подлежат. В этом случае из такого же материала методом отливки и фрезерования изготавливается новый зуб. Изношенный зуб с помощью фрезерования удаляется с зубчатого венца, а на его место устанавливается на ряд шпилек новый зуб. Новый зуб приваривается контактной сваркой корневой поверхностью к зубчатому венцу, обваривается электродуговой сваркой по корню зуба, а так же обвариваются шпильки на вершине зуба. Торцовая поверхность зуба для усиления соединяется с помощью сварки с зубчатым венцом, а также может соединяться профильными пластинами с венцом и соседними зубьями.

Такой метод позволяет восстановить зубчатый венец, до этого считавшийся не подлежащим ремонту.

Вариант 5. Если на зубчатом венце некоторые зубья восстановлению не подлежат, то изношенный зубья удаляется фрезерованием. На их место с помощью сварки и наплавки устанавливаются новые зубья, состоящие из последовательно сваренных стальных пластин. Зубья могут состоять из пакетов зубоформирующих пластин (продольных или поперечных, или чередующихся последовательно по длине зуба продольными и поперечными пакетами). Продольные пластины могут устанавливаться вертикально по высоте зуба или “лежа” одна на другую набором, формируя профиль последовательно по высоте. Монтаж пластин может вестись на шпильки с последовательным их привариванием к пластинам и шпилькам. При монтаже пластин может применяться также сварка электрозаклепками. Сформированный пластинами зуб подвергается наплавке по всей поверхности, а затем обработке фрезерованием.

Из этого вытекает, что зубья, которые не подлежат восстановлению методом наплавки, можно восстановить сваркой и наплавкой с помощью пакета зубоформирующих пластин, производя их последовательную приварку.

Вариант 6. Не подлежащий восстановлению зуб удаляется фрезерованием. На его место ставится новый зуб, изготовленный из высоколегированных сталей методом штамповки. В пустотелую форму зуба ввариваются пластины, т.е. помещается сотовый наполнитель, который приваривается к оболочке зуба. Сотовый наполнитель обеспечивает сохранение формы и жесткости зуба во время работы. Собранный с помощью сварки зуб тщательно приваривается к зубчатому венцу. Монтаж зуба к венцу может вестись и в другой последовательности: сначала приваривается к зубчатому венцу сотовый наполнитель (каркас), на который монтируется и приваривается оболочка зуба. Предварительно приваренный сотовый каркас может заливаться, например, эпоксидной смолой с наполнителем, а затем монтироваться пустотелый зуб.

При творческом подходе к восстановлению зубьев на зубчатом венце, методы осуществления монтажа могут быть очень разнообразными. Например, к сотовому каркасу, смонтированному на зубчатый венец, оболочку зуба можно приваривать отдельными пластинами.

Вариант 7. Если на зубчатом венце, по износу и результатам дефектоскопии, к восстановлению не подлежат (даже методами наплавки) несколько рядом стоящих зубьев, то в этом случае венец освобождается от полностью изношенных зубьев, а на их место устанавливается сегментный венец (выполненный методом штамповки из ленты высоколегированной стали). Пустотелые зубья венца армируются для жесткости пластинами. Между пластинами в зубья может заливаться пластмасса или эпоксидные смолы со специальными наполнителями, или другие материалы. Профильные зубья из ленты привариваются посегментно по корню зуба к венцу контактной сваркой и сваркой электрозаклепками между зубьями, а по боковой поверхности венца – дуговой сваркой.

Такая технология изготовления зубчатых венцов позволяет восстанавливать полностью изношенные зубчатые венцы, не подлежащие восстановлению другими методами, а в дальнейшем позволит изготавливать сварные зубчатые венцы без применения литья и фрезерования. Срок службы таких венцов будет не меньше традиционно изготовленных, а стоить они будут на 40-50 % дешевле.

Для изготовления новых зубчатых колес шаровых мельниц крупногабаритному предприятию требуется 12-16 месяцев. Средний срок их эксплуатации 18 лет. Применяя новые технологии подготовки к эксплуатации, восстановления и ремонта зубчатых венцов, предлагается продлить срок их эксплуатации до 46-50 лет, при этом сократить средства, затраченные на ремонт, на 40-50 %.

3.7. НЕКОТОРЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА МЕХАНИКУ РАЗРУШЕНИЯ

Для обеспечения прочности конструкции необходимо знать причины и характер ее возможного разрушения. Что же такое разрушение? Почему в мире происходит все больше и больше аварий и катастроф по причине “внезапного” образования и роста трещин? Что не учитывается в существующих расчетах? Какая природа и какие явления являются образующими факторами трещин? Что нового необходимо ввести в расчеты на прочность, чтобы спасти тысячи жизней?

Проблема предотвращения разрушения приобрела первостепенное значение. Практически – это стратегия экономики страны.

Для предотвращения образования и роста трещин, необходимо четко знать причины и характер разрушений. Для этого необходимо знать момент начала разрушения материала, скорость разрушения, меры, уменьшающие эту скорость и эффективность борьбы с разрастанием трещин.

В металлах под действием переменных нагрузок и температур непрерывно идет процесс разрушения по всему объему материала. На границах зерен накапливаются окиси, закиси, окиси-закиси, из зерен выделяется растворимый в металле газ, что ведет к увеличению нагрузок между зернами и образованию микротрещин. При изменении температуры на границе зерен находящиеся окиси (закиси) имеют коэффициент линейного расширения, отличный от коэффициента линейного расширения кристаллов и зерен. Это приводит к разрушению связей по границе зерен.

Разрушение вещества от нагрузки, от температурных воздействий, от времени, от магнитных и электрических полей, блуждающих токов, от изменения структурных превращений, влияния примесей, свободного контакта с другими материалами, от изменения среды, от вибрационных нагрузок и ультразвука, изменения массы, толщины и поперечного сечения – эти и другие виды разрушений частично рассмотрим при производстве некоторых материалов, изготовлении деталей и их эксплуатации, а также возможные методы изменения скорости и объёмов разрушения на каждой стадии.

Новые взгляды на процессы разрушения позволят более точно построить математическую модель разрушения, продлить срок службы конструкции, ликвидировать аварии и катастрофы, спасти жизнь людей.

Зная законы механики разрушения, с целью уменьшения аварий и катастроф, расширим возможности методов и способов обработки материалов.

В современных расчетах на прочность ведется расчет по допустимым напряжениям и деформациям по предельному сечению конструкции (изделия).

Однако, при этом не учитывается процесс механики разрушения как на стадии изготовления материала конструкции (однородности структуры), так и во время эксплуатации конструкции в зависимости от характера действующих нагрузок, среды эксплуатации, воздействия температур, вибраций, статических напряжений, т.е. воздействия комплекса отрицательных факторов.

Отсутствует расчет срока службы конструкций при минимальных, средних, максимальных и переменных импульсных нагрузках, что не позволяет прогнозировать срок службы конструкции.

Вначале рассмотрим причины образования трещин при производстве металла. Атомарные газы: кислород, азот, водород, находясь в химическом соединении с элементами расплавленной стали, образуют после остывания хрупкий металл. Нитриды, сульфиды, фосфиды, растворяясь в железе, при охлаждении образуют перенасыщенный твердый раствор, обладающий весьма большой хрупкостью. С течением времени из твердого раствора выпадают отдельные компоненты. Они образуют новую структуру, отличную от структуры основного металла, т.е. идет процесс химического старения, сопровождающийся снижением вязкости, пластичности, и в этом отношении он является вредным процессом.

Растворители стали и вещества, переводящие растворимые в железе вещества в нерастворимые и при малой скорости охлаждения выводящие их вверх, оставаясь в металле, также способствуют образованию трещин. При остывании образуются усадочные трещины. Трещины возникают в металле под влиянием мартенситного превращения. Мартенсит обладает меньшей удельной плотностью ($7,5 \text{ г/см}^3$) по сравнению с удельной плотностью перлита ($7,8 \text{ г/см}^3$). Это ведет к созданию дополнительных внутренних напряжений между частицами металла, что вызывает появление трещин.

Как отмечалось выше, разрушение происходит в результате заложенных дефектов в материале; дефектов и напряжений, образованных во время изготовления конструкции и в результате превышения допустимых нагрузок во время эксплуатации. Поэтому расчет на разрушение надо начинать с момента изготовления материала, определяя количество возможных заложенных дефектов. Необходимо учитывать форму конструкции детали, площадь отверстий, методы обработки, количество сварочных швов, их объем и длину в соизмерении с размерами детали, термическую обработку, наличие ударных нагрузок, среду и условия эксплуатации, периодичность эксплуатации.

Что известно из теории механики разрушений?

По Гриффитсу А.А., с учетом закона сохранения энергии, зависимость для определения длины трещины l от приложенной нагрузки P имеет вид:
$$P \cdot \sqrt{l} = C.$$

Для хрупкого разрушения C есть постоянная величина, она выражается через физико-математические характеристики материала. Эта зависимость показывает, что если в теле имеется трещина некоторой начальной длины, то при увеличении нагрузки она не будет расти до тех пор, пока нагрузка не достигнет критического значения для данной трещины. При достижении критического значения нагрузки произойдет спонтанный рост трещины и тело разрушится.

При испытаниях образцов с предварительно созданной трещиной (из одного и того же материала), было обнаружено, что для каждого материала величина нагрузки изменяется в зависимости от длины трещины по определенному закону, который выражается предельным коэффициентом интенсивности напряжений. Так же экспериментально было установлено, что величина предельного коэффициента зависит от толщины образца. С увеличением толщины образца до некоторого значения, величина предельного коэффициента убывает, а при переходе этого значения – увеличивается.

Существует еще одна характеристика – это чувствительность материала к трещине. С физической точки зрения она определяет критическое раскрытие вершины трещины, при котором происходит развитие трещины. Приведенные характеристики используются в материаловедении для получения новых сплавов с повышенной сопротивляемостью к росту трещин.

С учетом сказанного и основываясь на справочных данных, ниже предлагается подход к выводу формулы времени возникновения трещины в деталях из стали под воздействием различных факторов. В работе не ставится цель вывести всеобъемлющую формулу, учитывающую влияние всех факторов. Здесь ставится цель дать направление расчета времени службы детали с момента получения материала до момента образования опасных для эксплуатации трещин. Некоторые приведенные коэффициенты могут быть спорными, требующими экспериментальных исследований и уточнений. Некоторые коэффициенты в формулу не будут вводиться умышленно, чтобы активизировать поиск основной проблемы в данном направлении и не делать концентрации внимания на частных случаях. В данной формуле будет мало внимания уделяться и факторам, продлевающим время существования детали без появления опасных трещин.

Все эти вопросы в работе раскрыты. Поэтому в формуле будут учитываться те или иные факторы применительно к конкретным условиям изготовления материала и детали, термической или химико-термической обработке детали, условиям и среде эксплуатации. Этим данная работа расширяет возможности расчета на прочность, устойчивость к трещинообразованию, в том числе за счет ввода новых коэффициентов, учитывающих точность изготовления, особенности обработки впадин, сварных соединений и т.д.

Известно, что чем меньше содержание углерода в стали и больше температура нагрева, тем больше способность растворения химических элементов в железе. При температуре плавления железа 1539°C, закись железа FeO растворяется в железе до концентрации 0,21% кислорода, нитриды железа Fe₄N и Fe₂N – до 0,065% азота, водорода – 0,0008%, сульфида железа – до 0,7% серы. Много растворяется в железе фосфора, образуя Fe₃P, Fe₂P, FeP.

Для определения показателей свариваемости легированных сталей, каждый легирующий элемент, находящийся в стали, по своему эффекту на показатель качества свариваемости приравнивается к углероду. Эквивалентное количество углерода определяется по формуле:

$$C_э = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_r}{15},$$

где содержание углерода и легирующих элементов дается в процентах.

Плохо свариваются стали с содержанием углерода $C, > 0,45\%$. Они склонны к появлению закалочных структур и образованию трещин. Стали с содержанием углерода более 0,45% требуют специальных технологических приемов: предварительного, сопутствующего подогрева, медленного охлаждения, термообработки.

Легирующие добавки определяют свойства стали. Благодаря им повышаются жаростойкость, коррозионная стойкость, твердость, прочность, износостойкость, упругость, свариваемость, механические свойства, режущие свойства, сопротивление ударным нагрузкам, кислотостойкость. Они способствуют измельчению структуры. Например, молибден и никель улучшают механические свойства и свариваемость, ванадий улучшает пластические свойства и измельчает структуру, хром и никель улучшают механические свойства и повышают коррозионную стойкость и жаростойкость, кобальт увеличивает ударную вязкость и жаропрочность. Как видим, каждый элемент вносит свои определенные свойства в характеристику стали.

Используя вышеприведенные данные, получим формулу для расчета времени возникновения опасных трещин в деталях из стали в зависимости от различных факторов с момента производства стали. В расчетах принимаем линейную зависимость свойств материала от количества присутствия тех или иных элементов. При более точном расчете необходимо вводить поправочные коэффициенты.

Для углеродистой стали:

$$B = 10 \cdot K_S \cdot K_P \cdot K_H \cdot K_O \cdot K_N \cdot K_C \cdot K_{C-экв} \cdot K_{шер.нов} \cdot K_{НВ} \cdot K_T \cdot K_{скор.закалки} \cdot$$

Для легированной стали:

$$B = 10 \cdot K_S \cdot K_P \cdot K_H \cdot K_O \cdot K_N \cdot K_C \cdot K_{C-экв} \cdot K_{шер.нов} \cdot K_{НВ} \cdot K_T \cdot K_{скор.закалки} \times \\ \times K_{лег.эл.Ni} \cdot K_{лег.эл.Cr} \cdot K_{лег.эл.W} \cdot K_{лег.эл.Mn} \cdot K_{лег.эл.Si} \cdot K_{лег.эл.Mo} \cdot K_{лег.эл.V} \cdot \dots,$$

где **10** – срок службы детали без влияния отрицательных факторов при температуре 20°C (в годах); K_S - коэффициент, учитывающий наличие серы в стали ($K_S=1$ при наличии серы в стали 0%). Известно, что при температуре 1539°C в стали растворяется серы 0,7% (принимаем $K_S=0,01$ при количестве серы в стали 0,7%); K_P - коэффициент, учитывающий наличие фосфора в стали ($K_P=1$ при наличии фосфора в стали 0%). При наличии фосфора в стали 0,6% принимаем $K_P=0,01$; K_H - коэффициент, учитывающий растворимость в стали атомарного водорода. При температуре 1539°C водорода растворяется 0,0008%. Следовательно, $K_H=1$ при 0% растворенного водорода и $K_H=0,01$ при 0,0008%; K_O - коэффициент, учитывающий растворимость в стали кислорода. При 1539°C кислорода растворяется 0,21%. Следовательно, $K_O=1$ при 0% растворенного кислорода и $K_O=0,01$ при 0,21%; K_N - коэффициент, учитывающий содержание азота в стали. При 1539°C азота растворяется 0,065%. Следовательно, $K_N=1$ при 0% растворенного азота и $K_N=0,01$ при 0,065%; K_C - коэффициент, учитывающий содержание углерода в стали. $K_C=1$ при 0% раство-

ренного углерода и $K_C=0,01$ при 2,14% ; $K_{C-эжв}$ - коэффициент, учитывающий в углеродистой и легированной стали содержание углерода только при наличии сварочных швов; $K_{C-эжв}=1$ при 0% растворенного углерода и $K_{C-эжв}=0,01$ при 0,45% и более; $K_{шер.нов.}$ - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности при среднем арифметическом отклонении R_a профиля, мкм.

При $R_a=0,008$ мкм $K_{шер.нов.}=1$.

При $R_a=100$ мкм $K_{шер.нов.}=0,01$.

R_z - высота неровностей профиля по десяти точкам и наибольшая высота неровностей R_{max} профиля, мкм.

При $R_z=0,025$ $K_{шер.нов.}=1$.

При $R_z=1600$ $K_{шер.нов.}=0,01$.

K_{HB} - коэффициент, учитывающий твердость стали по Бриннелю. Для углеродистой стали: при $HB=80$, $K_{HB}=1$; при $HB=1000$, $K_{HB}=0,01$. Для легированной стали: при $HB=2000$, $K_{HB}=0,01$; при $HB=100$, $K_{HB}=1$;

K_T - температурный коэффициент при эксплуатации детали. При температуре 20°C $K_T=1$; при температуре -60°C и +100°C $K_T=0,01$;

$K_{скор.закалки}$ - коэффициент скорости закалки детали. При скорости закалки 50 град/сек и ниже $K_{скор.закалки}=1$. При скорости закалки 250 град/сек $K_{скор.закалки}=1$.

Коэффициенты легирующих элементов в основном увеличивают продолжительность службы детали, поэтому они будут больше единицы. В каждом коэффициенте данного легирующего элемента учитывается его комплексное влияние на сплав: это и возможное повышение температуры эксплуатации, и улучшение структуры сплава, и увеличение сопротивления ударным нагрузкам, и увеличение износостойкости, и повышение упругих свойств и т.д.

Рассчитать сечение детали по допустимым предельным нагрузкам с учетом запаса прочности, найти величину коэффициента интенсивности напряжений – все это еще не давало гарантии от разрушений, так как в расчетах не учитывалось время существования детали с момента изготовления материала до момента появления опасных трещин, а механика разрушения закладывается в материал при его производстве. Эта форма расчета позволяет определить срок службы детали, учитывая срок хранения материала и процессы его старения от различных факторов. Зная эти причины, необходимо рассмотреть вопросы, продлевающие жизнь сплавам и срокам службы деталей на стадиях производства сплава, изготовления детали и ее эксплуатации, восстановления детали после определенного срока эксплуатации, а также рассмотреть с новой точки зрения механику разрушения, так как некоторые вопросы в ней рассматриваются на уровне следствия, а не причин, их вызывающих. Механика разрушения закладывается в структуру самого металла, сплава, вещества во время его пере-

хода из жидкого состояния в твердое и определяется наличием в этом веществе количества разрушающих субстанций, скоростью охлаждения и дальнейшей их эксплуатацией при частоте смены температур, проходящих через критические точки перехода компонентов (веществ), образующих сплав. В сплавах находятся разные вещества, которые имеют разный температурный коэффициент линейного расширения: C , P , S , Bi и т.д. Многие из них увеличивают твердость, пластичность, но они все имеют разную температуру плавления и, кроме того, в их чистом виде при разных температурах происходят фазовые переходы с изменением объемов и свойств.

Кристаллы в сплаве не все однородные: одни имеют атомы внедрения, другие – атомы замещения, а третьи остаются чистыми. Поэтому при изменении температуры коэффициент их линейного расширения будет разный и два кристалла, находящиеся рядом и имея разный коэффициент линейного расширения, работают как биметаллические пластинки, т.е. возникает внутреннее межкристаллическое напряжение. Кроме того, кристаллы располагаются между собой не всегда строго ориентированно, а поэтому в разных сечениях кристалла проявляются совершенно другие свойства, что при изменении температуры также вызывает внутренние напряжения.

Поэтому механику разрушения надо изучать, рассматривая сплавы при изменении температуры без внешних нагрузок и с внешними нагрузками. Для этого лучше строить временные графики, которые от разных факторов при сложении дают критические точки по времени эксплуатации, например:

- вероятность воздействия температурных переходов;
- вероятность воздействия нагрузок.

Складывая две линии колебаний, получим пиковые значения от совместного воздействия температурных переходов и нагрузок. А поэтому появляется возможность избежать критических значений этих неблагоприятных факторов, изменяя нагрузку или температурные режимы, т.е. продлевая срок службы конструкции.

В журнале «Наука и жизнь» №12 за 1974 год, в статье “Механика разрушения” (автор Патон В.) учитываются силы образования трещин только разрывного, отрывного характера, поперечного сдвига, продольного сдвига, но не учитываются силы сжатия, изгиба, кручения, которые влияют на процесс разрушения не менее чем вышеуказанные. Атомы между собой притягиваются. Но если их сблизить, они начинают отталкиваться.

Рассмотрим, что происходит при изготовлении деталей: ковке, штамповке, волочении и т.д.

При волочении происходит растяжение и уплотнение одновременно – одно компенсируется другим. Здесь также закладывается возможность образование трещин. Влияние температурной зависимости и напряжений сжатия, изгиба, кручения на образование трещин в данном сплаве изучены не достаточно, например, циклические изменения температуры при кручении: сколько циклов выдержит данный материал, или количество упругих скручиваний на одно и то же количество градусов при определенной температуре, или количество циклов изменений температуры и количество циклов скручиваний при их совпадении и т.д.

При наличии таких данных возможно нахождение резонансной кривой

разрушений по графику за определенный промежуток времени. По таким графикам возможно вероятностное прогнозирование эксплуатации детали. так же во время эксплуатации при работе самописцев возможно аварийное отключение с целью предупреждения аварий и катастроф.

До сих пор нет описания причин возникновения напряжений на вершине трещины, а это позволяет объяснить явление роста трещины без приложенного напряжения. В этой работе рассмотрим несколько причин роста трещин без приложенного напряжения и возможные методы борьбы с этим явлением.

Одна из причин роста трещин в металле (сплаве) – это мгновенное окисление поверхности металла в вершине трещины. Окисляемая (ржавая) поверхность увеличивается в объеме и действует как клин, разрушая металл (сплав). Вот почему трещины в агрессивной среде растут быстрее. Вывод – для уменьшения роста трещины самопроизвольно без нагрузки, надо вершину трещины изолировать от окисляемой и агрессивной среды.

Другая причина самопроизвольного роста трещин: это во время образования поверхностей трещин делится электрический потенциал и обе поверхности имеют одинаковый потенциал, например, два минуса или два плюса, которые отталкивают поверхности трещин друг от друга. Кроме того, эти потенциалы отличны от потенциалов основного вещества, поэтому трещина стремительно растет в сторону этого потенциала. При образовании трещины у ее вершины (по причине образования окисной пленки и образования одинаковых потенциалов) возникает усилие, а вследствие того, что материал имеет упругость от трещины, деформация передается через материал, который перед трещиной сжимается. Это способствует образованию разных потенциалов на вершине трещины и перед ней. Кроме того, после импульса сжатия наступает импульс растяжения (отдачи, отталкивания атомов в межкристаллических решетках), что снижает прочность материала перед вершиной трещины и трещина легко проходит по этому участку. Такие импульсы могут многократно повторяться и входить в резонанс с образованием электрических потенциалов, скоростью окисления поверхности, упругостью материала и колебаниями атомов кристаллических решеток. В этих случаях трещина будет распространяться с огромной скоростью без внешних нагрузок.

Образование таких трещин резко снижается на изделиях, имеющих разную толщину профиля и ребра жесткости. Но вдоль ребер жесткости, ввиду разности амплитуд вибраций от внешних нагрузок, появляются свои трещины. Поэтому поверхности из материалов, способных саморазрушаться под воздействием трещин, желательно делать с плавно меняющимся профилем по толщине с двух сторон независимо друг от друга и не повторяя рисунок.

Образование электрических потенциалов при разрушении некоторых материалов с возникновением саморастущих трещин показано на рис. 3.1, поз. 1.

В настоящее время интенсивность напряжений на вершине трещины рассматривается не в полном объеме и не правильно, что вносит существенную ошибку в механику разрушений и не дает возможности учитывать реакцию материала на внутренние напряжения в момент образования трещины, а следовательно, и на понимание роста трещины в целом.

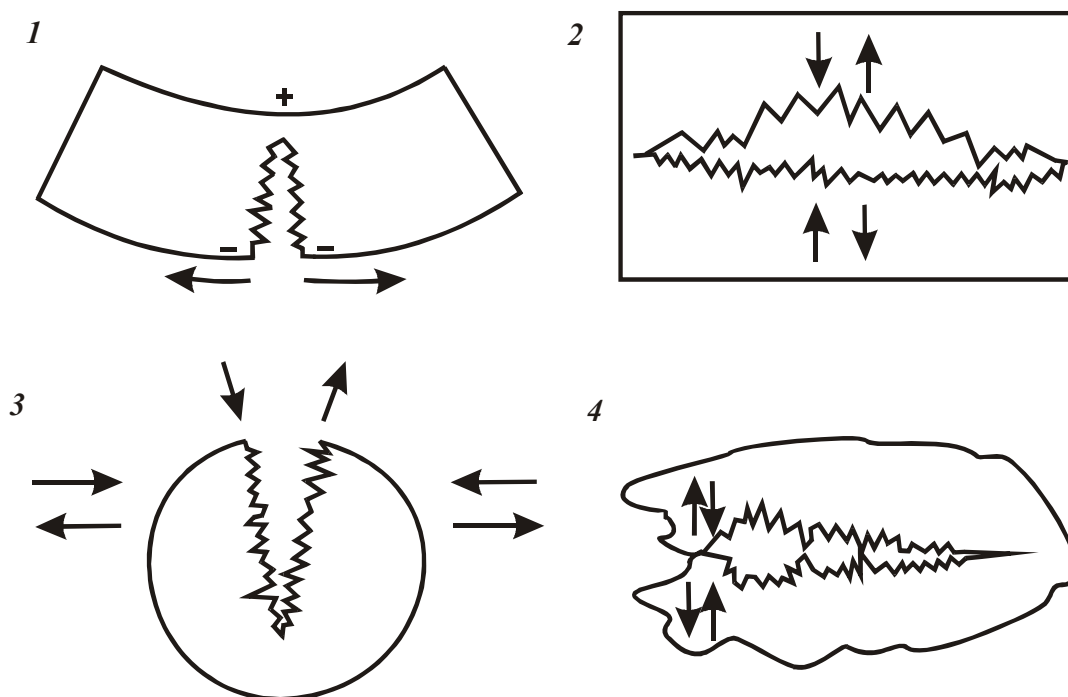


Рис. 3.1. Характер образования трещин.

При образовании трещины не учитывается поперечный сдвиг поверхностей трещины, когда выступы одной поверхности, выходя из впадин другой, переходят на выступы, при этом образуется рычаг Архимеда, а упругость материала заставляет его работать без приложения внешних сил.

На рис. 3.1, поз 2 показана внутренняя трещина с поперечным сдвигом поверхностей. Вибрация поверхностей от упругости материала продолжается, что способствует росту трещин в двух направлениях. Если возникают внешние нагрузки в резонанс с внутренними, рост трещины может быть непредсказуем.

На рис. 3.1, поз 3 показано смещение поверхностей при образовании трещины и деформация изделия.

Во время образования трещины поверхности смещаются одна относительно другой, происходит сдвиг слоев материала, выступы и впадины на микроуровне никогда совместиться больше не могут, т.к. произошло их смещение в результате деформации, перед вершиной трещины от упругости материала создается интенсивное напряжение.

От поперечных сдвигов поверхностей по закону Архимеда – рычага приложения сил, трещина растет с огромной скоростью. Получается, что с помощью упругой деформации металл рвет сам себя. Рост трещины происходит и после прекращения действия упругих деформаций от разрывов. Он продолжается от воздействия изменения температуры окружающей среды.

На рис. 3.1, поз 4 показана открытая трещина с поперечным сдвигом, где поверхности выступов поверхностей касаются многократно трещины (по длине всей ее длине), а следовательно, при росте трещины влияние рычага Архимеда становится другим. Это изменяет влияние упругости материала на рост трещины и на рост трещины в этом случае при внешней нагрузке на ее концы в сторону их сближения, существенного влияния может не оказывать. При внешней нагрузке, разделяющей ее концы, рост трещины может быть меньше ожидаемо-

го результата в виду прогиба материала и опоры вершин выступов на пути к вершине трещины, а также за счет вдавливания и сцепления выступов.

Поэтому на рост трещины существенное влияние оказывают следующие факторы: упругость материала, скорость окисления поверхности материала, образование электрических потенциалов на материале, форма, поверхность и толщина изделия, однородность материала, устойчивость на температурную скорость изменения, т.е. устойчивость к закалочным трещинам, величина расхождения трещины.

В журнале “Наука и жизнь” №12 за 1974 год в статьях “Механика разрушения” и “Теоретическая и техническая прочность” (автор Патон В.) говорится, что если кристалл погружается в горячую воду, где растворяется поверхность некоторой толщины, измеряется его прочность, то она становится в сотни раз выше, что всего в два раза меньше теоретического значения.

Делая выводы из всего вышесказанного, перейдем к теории упрочнения поверхностей. Для металлов и сплавов нужно создать активную противотрещиновую жидкость. Эта жидкость, содержащая кислоту и смазывающую защитную составляющую, в момент образования трещины “тупит” вершину трещины и острые углы на поверхности, смазывая их и покрывая защитной пленкой от дальнейшего окисления.

Для уменьшения трещинообразования предлагается принимать следующие меры:

1. Применение композиционных материалов, послойных “пирогов”.
2. Применение активных смазывающих покрытий, которые не разрушают краску, но находятся на ее поверхности и при разрушении ее слоя, попадая в трещину металла, ликвидируют выступы, неровности трещины, чем уменьшают ее рост в начальной стадии и предотвратят от последующего окисления. Возможна заливка трещины клеем.
3. Производство металла с равномерным распределением пор, которые при росте трещины служат ловушкой ее вершины.
4. Производство металлов (сплавов), где наполнителем является специальная пыль – шарики, равномерно распределяемые в поверхностных слоях металла, которые в зависимости от металла (сплава) и условий его эксплуатации имеют коэффициенты линейного расширения для каждого конкретного случая большие, равные и меньшие коэффициентам линейного расширения основного металла, и будут служить ловушкой для микротрещин, избавят от роста трещин, увеличат срок службы металла (сплава).
5. Применение магнитной обработки, обеспечивающей дополнительную силу сцепления поверхностных доменов, что противостоит образованию трещин на поверхности металла.
6. Покрытие поверхности основного металла более пластичным металлическим слоем.
7. Образование наплавленных (сплавленных) поверхностей лазером и световым лучом на глубину до 0,001 мм.
8. Образование на поверхности металла лазерным лучом рифленого мозаичного рисунка – микроканалов.

9. Упрочнение поверхностных слоев магнитными и электрическими полями.
10. Изменение направленности микроструктуры в поверхностном слое с помощью создания различных давлений.
11. Создание давлений в шахматном порядке на металлических изделиях при формировании структур металлов (сплавов). Например, при нагревании сталей на 30-50°C выше критической температуры 727°C и выдержке нагрузок на поверхности изделия до полного остывания сплава.
12. Применение точечного равномерного нагрева всей поверхности металла в шахматном порядке.
13. Применение точечной равномерной обработки электромагнитными полями.
14. Применение точечного равномерного покрытия поверхности металла другим более пластичным металлом в шахматном порядке (прочность зависит от расстояния микроточек друг от друга).
15. Точечное сплавление лазерным лучом.
16. Точечное сплавление дуговой сваркой.
17. Точечный наклеп.
18. Внедрение в материал различных пустотелых шариков.
19. Покрытие поверхности смазкой, т.к. смазка разрушает рычаги на поверхности трещины и не дает ей окислиться.
20. Образование пористых структур с заполнением их смазывающими составами.

Особое место занимает механика разрушения, направленная на облегчение обработки металлов резанием, шлифованием и другими способами, при которой трещинообразование на поверхности материала обеспечивает качественное и экономное изготовление деталей. Трещинообразование может быть использовано в новых полупроводниковых приборах, но на этих вопросах в данной работе останавливаться не будем.

При разрушении происходит в течении определенного времени изменение структуры материала: рост зерна, появление микротрещин, образование пор.

За некоторыми ответственными конструкциями осуществляется контроль физическими и химическими методами, делаются микро- и макротрещины, во многих случаях это приносит положительный результат. Сложность такого контроля заключается в том, что нельзя всю конструкцию испытать этими методами. В тоже время, практически не используется открытие, что во время образования микротрещин и росте трещин образуется ультразвук. А это значит, что на поверхность деталей и внутрь деталей надо устанавливать пьезодатчики, которые во время эксплуатации конструкции будут информировать соответствующее ЭВМ о появлении дефектов и их росте.

При изменении структуры металла изменяется удельное сопротивление прохождению тока, скорость прохождения ультразвука, скорость намагничивания и перемагничивания, изменяется теплопроводность и теплоемкость и т.д.

Поэтому одни и те же датчики могут снимать различные параметры между собой, что дает более полную картину состояния конструкции и характера

разрушения. Даже датчики температур с поверхности конструкции, работающей при переменных нагрузках, показывая разницу температур в конструкциях и скорость ее изменения при регистрации их на ЭВМ могут предотвратить катастрофу.

Таким образом, комплексный подход к анализу механики разрушения с использованием теории определения предельных нагрузок по допустимым сечениям и научного подхода к расчету времени образования трещин и мер по предотвращению их образования, а также применение методов современного контроля за образованием трещин при эксплуатации и учет влияния различных факторов в резонансных случаях позволят значительно снизить количество аварий и катастроф.

3.8. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

3.8.1. НОВЫЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Ручная дуговая сварка по-прежнему занимает одно из ведущих мест при производстве ремонтных работ, при монтажных работах в мелкосерийном производстве. Она незаменима при производстве наплавочных работ на изношенных деталях. В свое время ручная дуговая сварка позволила при переходе от клепанных соединений к сварным сэкономить 20 % металла. Без нее в настоящее время не обходится ни одна ремонтная мастерская, так как она позволяет выполнять сварочные швы в любом пространственном положении и в труднодоступных местах.

Для ручной дуговой сварки применяются покрытые электроды, которые представляют собой металлический стержень с нанесенными на поверхность порошкообразными материалами на клеящем растворе. Для сварки сталей применяется стальная проволока. Стандартом предусмотрено 77 марок сварочной проволоки различного химического состава: выпускается шесть марок низкоуглеродистой проволоки, 30 марок легированной проволоки, 41 марка высоколегированной проволоки. Проволока для ручной дуговой сварки штучными покрытыми электродами выпускается следующих диаметров, мм: 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 – то есть семи типоразмеров. Покрытие на сварочную проволоку наносится методом опрессования или окунания.

По толщине покрытия, в зависимости от отношения диаметра электрода к диаметру стального стержня, классификация осуществляется по четырем видам: с тонким покрытием, со средним покрытием, с толстым покрытием, с особо толстым покрытием.

По видам покрытия подразделяются: с кислым (А), рутиловым (Р), целлюлозным (Ц), с основным (Б), с фтористокальциевым покрытием (Д), смешанным (соответствующее двойное, условное обозначение), с прочими покрытиями (П).

Простой расчет показывает, что для качественного выполнения работ при

сварке сталей, для выбора нужного электрода по всем параметрам надо иметь свыше 220 тыс. типов электродов. Однако, сварщик, как правило, обходится одним – двумя типами электродов (ручная дуговая сварка в основном выполняется на передвижных местах, монтажных площадках).

Для устранения данного недостатка предлагается применять сменные покрытия в виде шланга-трубочки с внутренними диаметрами, равными диаметру сварочной проволоки для ручной дуговой сварки. Состав покрытия связывается целлюлозно-полимерными материалами. Это обеспечивает новую технологию изготовления электродов. Отдельно изготавливаются покрытия. Сварщик сам прикрепляет покрытие на электрод, что дает ему возможность на любой стержень прикрепить любое по химическому составу и толщине покрытие. Хранение таких электродов значительно упрощается. Их надо готовить к работе методами просушки, что позволяет экономить электроэнергию.

Новая технология изготовления сменных покрытий обеспечивает 100%-ое использование электродных покрытий и металлических стержней. Для этого внутренняя часть трубочки покрытия графитизируется или металлизирована, что позволяет в покрытие помещать несколько огарков. Сменное шланговое (трубчатое) покрытие позволяет сгибать стержень электрода на любой удобный для работы угол. Кроме того, новая технология изготовления покрытий позволит значительно сократить количество марок сварочной проволоки: легированной и высоколегированной (их 71 марка) путем введения легирующих порошковых материалов в сменные покрытия. Сменные покрытия обеспечивают равномерное покрытие стержня. Их можно применять и при сварке под водой.

Переход на новую ресурсосберегающую технологию изготовления сменных покрытий электродов по сравнению со стационарными покрытиями позволяет упростить технологию изготовления электродов. Сварщику предоставляется возможность комбинирования стержней и покрытий электродов при общем уменьшении марок сварочной проволоки, что позволяет значительно улучшить качество сварки, исключает потерю металла и покрытий электродов на огарках, позволяет экономить электроэнергию при подготовке электродов к сварке. Новая ресурсосберегающая технология обеспечивает экономию до 25% материалов стержней и покрытий электродов, значительно сокращает расход электроэнергии.

3.8.2. ПУТИ ПОИСКА НОВЫХ ВИДОВ СВАРКИ И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

Из многообразия существующих видов сварки следует выделить термитную сварку. Источником термитной сварки служит тепло, которое выделяется при горении термитного порошка. Первоначально эту сварку применяли для соединения трамвайных и железнодорожных рельсов. Затем термитная сварка утратила свое значение из-за трудности автоматизации процесса, низкой прочности и относительной дороговизны.

В последнее время появились электроды для термитной сварки, которые

зажигаются в течение 6-8 секунд от зажигалки и которыми можно выполнить мелкие сварочные работы в любом месте без других источников тепла и электроэнергии. При этом в любое время можно прекратить горение термитного электрода, воткнув его в песок.

Одним из существенных недостатков термитной сварки является низкая температура - до 2500°C. Поэтому получается низкая прочность сварных соединений. Как можно преодолеть указанные выше недостатки термитной сварки и более эффективно использовать ее в сварочном производстве?

Тепловой баланс электрической дуги ручной дуговой сварки плавящимся металлическим электродом с покрытием показывает, что 15% тепла уходит на расплавление стержня электрода, а 15% - на расплавление покрытия электрода.

Для снижения потерь на расплавление покрытия электрода целесообразно объединить электродуговую и термитную сварки. Это позволит устранить основные недостатки этих видов сварки. С этой целью покрытие электрода для электродуговой сварки следует изготовить с термитным порошком. Термитный порошок, сгорая, будет выделять тепло, что повысит температуру до 2500°C и обеспечит расплавление покрытия электрода. В результате не придется затрачивать энергию на расплавление покрытия электрода.

С другой стороны, низкая температура термитной сварки не позволяла качественно производить сварку. Электродуговая сварка дает температуру на электрической дуге 6000-8000°C. За счет термитной сварки не расходуется энергия на расплавление покрытия. Все это сокращает расход электроэнергии на 15% и обеспечивает высокое качество сварки.

Новый вид сварки (термо-дуговой) можно автоматизировать. Для этого изготавливается термитная или термитно-флюсовая проволока. Подобно порошковой проволоке, она представляет собой свернутую тонкую стальную ленту с термитной или термитно-флюсовой смесью. Сварка такой проволокой может осуществляться на шланговых полуавтоматах, или на сварочных тракторах, или на других автоматических сварочных агрегатах в средах защитных газов (или без них) под флюсом и со смешанной защитой.

Сочетание термитной и дуговой сварки позволяет создать новые виды сварки, такие как плазменно-термитно-дуговая или термитно-дугопрессовая сварка. Они могут использоваться для наплавки и резки металлов и сплавов. Кроме того, применяя воздушное дутье, можно получить воздушно-термитно-дуговую резку.

У каждого из предложенных видов сварки есть свои положительные и отрицательные стороны. Об их эффективности можно будет судить после серьезной промышленной апробации. Достаточно отметить, что в свое время малоэффективная (как мы сейчас считаем) термитная сварка позволяла сваривать трамвайные и железнодорожные рельсы, а это было единственной возможностью выполнить данную работу.

Подводя итоги, можно сказать, что новое сочетание термитной и дуговой сварки компенсирует все недостатки термитной сварки: низкую температуру, низкую прочность сварных соединений, трудности автоматизации процесса, относительную дороговизну, так как здесь источником тепла является не толь-

ко термитный порошок, но и энергия электрической дуги. В результате термитного порошка расходуется в несколько раз меньше.

В свою очередь, при термо-дуговой сварке повышается эффективность ее составляющей - дуговой сварки: снижается расход электроэнергии, обеспечивается стабильное горение дуги.

3.8.3. СВАРКА СТРУКТУРНЫМИ И ФАЗОВЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ

В настоящее время одним из трудоемких процессов сварки остается сварка трубы из одного материала в трубе из другого материала. Труба наружного диаметра, как правило, менее пластичная и более толстая, чем труба внутреннего диаметра. Известен такой вид холодной сварки, когда после сборки труб, они заполняются водой, по торцам труб ставятся заглушки и трубы на короткое время погружаются в жидкий азот. В результате этого происходит холодная сварка, вызванная пластической деформацией от одновременно замерзшей воды.

В данном случае происходит фазовое изменение тела, с помощью которого осуществляется сварка, то есть вода в результате глубокого охлаждения в жидком азоте переходит из жидкого состояния в твердое. К сожалению, этот способ сварки довольно дорогой и требует автоматизации процесса, больших затрат на организацию охраны труда, технику безопасности, опасен для здоровья работников, а также не является общедоступным.

Исходя из вышесказанного, можно предложить новые виды сварки, которые позволят сваривать трубу в трубе из разных материалов практически без затрат на любом предприятии.

Первый способ. В трубы заливается вода, внутрь труб ставится электронагревательный элемент с выводами через боковые заглушки. Нагревательный элемент снабжен терморегулятором, через боковые заглушки выводится датчик давления. После установки боковых заглушек на нагревательный элемент подается электрический ток. В трубе создается установленное давление, система выдерживается определенное время. Таким способом обеспечивается сваривание двух труб по всей поверхности.

Второй способ. После сборки труб в них устанавливается оловянный стержень (или заливается жидкое олово, температура плавления которого равна $232,1^{\circ}\text{C}$). После этого устанавливаются заглушки, и вся система охлаждается до температуры минус 14°C (можно и ниже), затем выдерживается определенное время. При температуре минус $13,2^{\circ}\text{C}$ в олове происходит структурная перестройка: белое олово превращается в серый порошок (данный процесс называется «оловянной чумой»). При этом происходит значительное увеличение его объема (на $25,6\%$), что обеспечивает пластическую деформацию свариваемым трубам.

Далее, серый порошок извлекается из сваренных труб, при температуре выше $232,1^{\circ}\text{C}$ переплавляется в белое олово и цикл повторяется. Серый порошок можно плавить в трубах (поскольку температура плавления не высокая).

В данном случае не требуется глубокое охлаждение. Поэтому требуемую температуру (холод) можно обеспечить природными условиями или холодильными машинами. Это экономически намного выгоднее, так как отпадает необходимость получения и хранения жидкого азота. В результате данный вид сварки может быть использован практически на любом предприятии.

Третий способ. В собранные трубы заливается вода и устанавливается оловянный стержень. После этого устанавливаются боковые заглушки и вся система охлаждается на определенное время до температуры минус 14-15⁰С. В результате замерзает вода, белое олово превращается в серый порошок, в трубах создается давление, что приводит к пластическим деформациям и сварке.

Четвертый способ. В собранные трубы устанавливается стержень с коэффициентом температурного расширения, значительно превышающим коэффициент температурного расширения материала наружной трубы. Поверхность стержня покрывается специальным покрытием с целью исключения приваривания стержня к внутренней трубе. Через стержень пропускается электрический ток. В результате температурного расширения происходит пластическая деформация труб и их сваривание. Затем система охлаждается, стержень свободно извлекается из сваренных труб и устанавливается в следующие трубы.

Таким образом, при использовании фазных переходов, структурных превращений и свойств различных металлов, можно технологически трудновыполнимую сварку превратить в общедоступную, легко выполнимую и экономически выгодную.

3.8.4. ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСВАРЩИКОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

В настоящее время для светофильтров (согласно ГОСТ 9411-81Е) выпускаются темные стекла марки ТС-3С размерами 46x65; 52x102; 65x120; 69x121; 80x80 мм толщиной 1,5-4,0 мм. С внешней стороны темные стекла закрывают прозрачным стеклом (ГОСТ Ш-78) толщиной до 2,5 мм, которые по мере загрязнения заменяют. Применяются следующие светофильтры для дуговой сварки металлическим плавящимся электродом:

Светофильтр	Сила тока, А
С – 4	30–60;
С – 5	60–150;
С – 6	150–175;
С – 7	275–350;
С – 8	до 600.

Светофильтр С-4 позволяет производить сварочные работы с разницей по силе тока 30 А; светофильтр С-5 – с разницей по силе тока 90 А; светофильтр С-6 – с разницей по силе тока 125 А; светофильтр С-7 – с разницей по силе тока 75 А; светофильтр С-8 – с разницей по силе тока 250 А.

Как видим, разброс разницы по силе тока на одном светофильтре очень внушительный - от 30 до 250 А. Если же взять разницу сварочного тока на со-

седних светофильтрах, то получим следующую картину:

1. Светофильтр С-4 применяется при сварке с током 30А, а светофильтр С-5 – при сварке с током 150 А. Разница по току - 120 А.
2. Светофильтр С-5 применяется при сварке с током 60А, а светофильтр С-6 – при сварке с током 275 А. Разница по току - 215 А.
3. Светофильтр С-6 применяется при сварке с током 150А, а светофильтр С-7 – при сварке с током 350 А. Разница по току - 200 А.
4. Светофильтр С-7 применяется при сварке с током 275А, а светофильтр С-8 – при сварке с током 600 А. Разница по току - 325 А.

В результате установлено, что разброс по току между светофильтрами изменяется в пределах от 120 до 325 А.

При этом не учитывается расстояние сварщика от сварочной дуги (яркость обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника).

К сожалению, данные рекомендации на практике не используются, поскольку сварщик, как правило, не имеет 5 необходимых светофильтров и, следовательно, не производит выбор оптимального светофильтра. Обычно сварщик выбирает светофильтр, который соответствует основной работе, и с ним выполняет весь комплекс работ, а сварочный ток регулирует из собственного опыта.

Это не позволяет качественно выполнять сварочные работы, вызывает переутомление сварщика, отрицательно влияет на его зрение (происходит облучение участка головы). Поэтому чрезвычайно актуальны вопросы, связанные с техникой безопасности.

Для улучшения техники безопасности целесообразно применять известные всем полупроводниковые приборы (которые обеспечивают изменение силы электрического тока от интенсивности света, то есть в данном случае от яркости сварочной дуги) и экран-светофильтр из жидких кристаллов, который в зависимости от величины электрического тока становится прозрачным или затемненным. Полупроводники располагаются по рамке экрана и в зависимости от силы тока сварочной дуги и расстояния до нее вырабатывают электрический ток, который обеспечивает соответствующее затемнение экрана – светофильтра. Применяя такую систему светофильтра, отпадает необходимость замены светофильтров разных номеров. Эта система позволит переходить на любой сварочный ток с оптимальной затемненностью экрана, сохраняя зрение без всякого напряжения, повысить производительность труда и качество работ.

Другой не менее важный вопрос – это защита от отравления вредными газами, пылью и испарениями. Запыленность воздуха в помещении не должна превышать 10 мг/м^3 . Содержание газа СО не должно превышать 30 мг/м^3 , NO - 5 мг/м^3 , паров свинца - $0,1 \text{ мг/м}^3$ и т.д.

При сварке покрытыми электродами количество окисей, вредной пыли (аэрозолей), летучих соединений от испарения металлов образуется от 10 до 150 г на 1 кг расплавленного электродного металла.

Основными признаками отравления служат: головокружение, головные боли, тошнота, рвота, слабость, учащенное дыхание и др.

Отравляющие вещества откладываются также в ткани организма, вызы-

вая хронические заболевания и тяжелые заболевания нервной системы.

Мероприятиями по борьбе с загрязнениями воздуха и защиты органов дыхания служат: применение новых материалов покрытий электродов и флюсов с наименьшими токсичными свойствами; все виды вентиляции; устройство передвижных отсосов; подача воздуха через шлем; использование респираторов с химическим фильтром и противогазом.

Данные мероприятия, в полезности их для сохранения здоровья не вызывают сомнений. Но когда и где требуется на практике пользоваться теми или другими средствами защиты органов дыхания, сварщик, как правило, определяет по своему опыту и здоровью.

Стационарные сварочные посты проверяют 1 или 2 раза в год работники санэпидемстанции с помощью поглощающих фильтров за определенное время. Такой анализ 1-2 раза в год очень не объективен, так как запыленность и загазованность зависит от качественной работы вентиляции в определенный момент времени, интенсивности работы сварщика и других сварочных постов, меняющихся материалов сварки, а если взять передвижные сварочные посты на ремонтных работах, то контроль за состоянием воздушной среды становится совсем проблематичным. Для того чтобы сварщик мог применять тот или иной способ защиты органов дыхания, он должен быть проинформирован о степени вредности. Для этого пора начать выпуск лакмусовых индикаторов, электронных контрольных приборов.

Предлагается прибор для контроля за вдыхаемой средой на ее прозрачность, зависящую от концентрации пыли, окислов, дыма, испарений, способность разных веществ поглощать определенную длину волны. Для этого внутри маски (щитка) устанавливается мини лампа, источник света, или несколько мини источников монохроматического света, работающих от полупроводниковых приборов, расположенных на рамке снаружи экрана-светофильтра или под ним отдельной ячейкой, а на расстоянии 30-70 мм устанавливаются светодатчики, которые в зависимости от прозрачности и поглощения определенных длин волн, преобразуют световой поток определенной волны в электрический ток, который усиливается на микросхеме и при определенных порогах загрязнения воздуха подает соответствующие звуковые сигналы. Звуковой сигнал не дает сварщику спокойно выполнять работу в зоне повышенной загазованности, кроме того данные о наличии вредных веществ могут высвечиваться на экране из жидких кристаллов. Все это происходит в режиме реального времени, непосредственно во время сварки. Защитные стекла или пленки на приборах периодически меняют или протирают соответствующим составом.

3.9. ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

3.9.1. СВАРКА ТРУБ ВЗРЫВОМ

В настоящее время сварка трубы в трубе из разного материала представляет определенные трудности. Например, для сварки в стальной трубе алюминии-

вой, разработана технология холодной сварки давлением, когда в трубы заливается вода, и они погружаются в жидкий азот. Такой способ сварки связан с большими экономическими затратами.

Традиционная сварка взрывом позволяет приварить тонкий лист металла к более толстому листу. На внешнюю поверхность тонкого листа наносится определенное количество взрывчатого вещества, которое при зажигании образует детонационную волну. При этом тонкая пластина на некоторой длине неоднократно перегибается, происходит соударение тонкой пластины с более толстой пластиной. Это приводит к тесному сближению свариваемых частей и образованию у контактирующих металлов пластической деформации и атомного сцепления. При этом детонационная волна образует направленную силу, очищающую поверхность соединяемых металлов от загрязнения, выбрасывая их наружу. Исходя из этого, сварка взрывом трубы в трубе очень проблематична, т.к. варить надо очень тонкую трубу к более толстой и при этом необходимо, чтобы детонационная волна распространялась по свариваемым трубам кольцами. Для длинных труб эти условия выполнить невозможно.

Поэтому предлагается новый способ сварки труб взрывом. Собранные трубы заполняются ацетиленом. На концы труб ставятся заглушки, рассчитанные на определенную силу, при приложении которой они освободят концы собранных труб. Возможен вариант, когда на определенную силу рассчитывается одна заглушка, а вторая стоит “мертво”.

При нагревании ацетилен является неустойчивым соединением. При температуре 300°С он начинает первично распадаться:



где Q_1 - энергия, равная 8694 кДж/кг; Дж = 0,239 кал.

При температуре около 800 °С происходит дальнейшее разложение ацетилена в метан и графит (сажу), и при температуре 1200°С образуется водород и углерод:



где Q_2 - энергия теплового эффекта реакции.

При разложении одного моля метана на углерод и водород (т.е. 12,001 + 4·1,008 = 16,033 г), $CH_4 = C + 2H_2$, получим 21,7 Ккал. Отсюда определяем энергию теплового эффекта Q_2 , которая будет равна 5663 кДж/кг.

Находим энергию теплового эффекта при разложении ацетилена:

$$Q_1 + Q_2 = 8694 + 5663 = 14357 \text{ кДж/кг.}$$

Для увеличения количества ацетилена, свариваемые трубы частично заполняются пористой массой и в трубы заливается ацетон. Один объем ацетона растворяет при нормальной температуре и давлении 23 объема ацетилена. В целях безопасности при заправке, давление в заправленной трубе не должно превышать 1,9 МПа (19 кгс/см²).

Из уравнения Клапейрона – Менделеева:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

определяем давление:

$$P = \frac{m \cdot R \cdot T}{M \cdot V},$$

где P – давление газа; V – объем газа; m – вес газа (в граммах); M – молекулярный вес газа; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура.

Максимальное давление при взрывном распаде ацетилена в трубах при сварке, учитывая, что в составе продуктов взрыва наряду с газами имеются не газообразные продукты, рассчитывается по формуле

$$P_{max} = \frac{n \cdot R \cdot T \cdot \rho}{1 - (V_1 - V_2) \cdot \rho},$$

где n – число молей газообразных продуктов, образующихся при разложении 1 кг исходных продуктов; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К); T – абсолютная температура разложения, К; ρ – плотность газообразных продуктов разложения, кг/м; V_1, V_2 – удельный объем газообразных и не газообразных продуктов, м/кг.

Нагрев и разложение ацетилена в трубе можно осуществить с помощью индукционных катушек токами высокой частоты, и (или) вводом в трубу через “мертвую” заглушку электродов, или нагревательной спирали. При взрыве из сваренных труб в пространство выбрасывается водород, который образует с воздухом взрывчатую смесь. Процесс сварки должен вестись в специально оборудованном месте без присутствия людей.

Сварку трубы в трубе можно осуществить взрывом не только методом разложения газа, но и методом его сжигания. Зарядка труб для сварки взрывной смесью должна вестись с особой осторожностью.

Преимущества метода состоит в том, что трубы не надо нагревать, а достаточно одной искры, образованной на электродах, чтобы получить взрыв и выполнить сварку. Это повышает КПД.

Таким образом, сварку взрывом трубы в трубе из разных материалов можно осуществить двумя методами: разлагая газ и, образуя взрыв, сжигая его. Метод сварки сжиганием газа в десятки раз выгоднее: не надо прогревать газовую смесь до высоких температур, при сгорании газовой смеси выделяется на много больше тепловой энергии. Кроме того, после взрыва не остается взрывчатых веществ. В любом случае процесс сварки должен вестись в местах специально оборудованных, без присутствия людей.

3.9.2. СВАРКА ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ УДАРАМИ

Современные способы сварки имеют, казалось бы, неограниченные возможности, но развитие машиностроения ставит такие задачи, что известными видами сварки они выполняются с большими трудом или же вообще не выполняются: их обходят, заменяя материал или технологию изготовления. В настоящее время при выполнении некоторых видов сварки, получают большую се-

бестоимость изделий. Это относится к производству стальных труб с внутренней алюминиевой трубой, стальных труб с внутренней медной трубой, сварке листов меди, сварке меди с алюминием, сварке меди со сталью. Количество примеров можно расширить и для других сплавов, но в каждом конкретном случае, имея новый вид сварки и новые возможности, важно обосновать эффективность их применение.

В настоящее время в стальной трубе алюминиевую трубу варят холодным способом с помощью воды. Трубы проходят тщательную подготовку к сварке: собираются, в стальную трубу вставляется алюминиевая труба. Собранные трубы заполняются водой и ставятся заглушки. Далее труба погружается в жидкий азот, где происходит моментальное замораживание воды по всей длине и за счет расширения воды происходит холодная сварка алюминиевой и стальной труб. Недостаток этого способа сварки заключается в том, что трубу надо погружать в жидкий азот, чтобы обеспечить равномерное застывание воды по всей длине. Работа с жидким азотом требует специальных условий техники безопасности. Получение жидкого азота и его содержание требует больших экономических затрат.

Если рассмотреть сварку медных листов, то контактной сваркой их не сварить; ультразвуком можно сварить, но только толщиной не более 1,1 мм; диффузионная сварка в вакууме позволяет вести такую сварку, но для этого необходимо обеспечить нагрев до 800 °С и создать давление 5,49 МПа, выдержать не менее 8 мин; сварка взрывом осуществляет сварку тонкого листа с более толстым, но при этом выполняться может только в специальных местах высококвалифицированными специалистами, после тщательных расчетов по каждому конкретному случаю. Для диффузионной сварки в вакууме алюминия с медью требуется температура 450°С, давление 2,94 МПа, время сварки 8 мин; для меди со сталью – требуется температура 850°С, давление 4,9 МПа, время сварки 10 мин. Сварка трубы в трубе в вакууме с созданием таких температур и давления очень проблематична. Поэтому предлагается новый вид сварки.

Известно, что если в воде между двумя электродами произвести электрический разряд, то получается гидравлический удар. Явление гидравлического удара и используем в новых видах сварки.

В свариваемые трубы поместим электроды. Трубы заполним водой, поставим заглушки и пустим электрический ток, что произведет гидравлический удар, который и соединит трубы. Подавать разряды можно многократно и с большой частотой, что заменит сварку ультразвуком. Для усиления гидравлического удара в свариваемые трубы помещают несколько пар электродов, которые могут включаться по очереди или одновременно. С управлением включения электродов через ЭВМ по очереди, можно достичь гидравлических ударов очень большой частоты, равной частоте ультразвука. Кроме того, включая электроды последовательно, можно достичь эффекта взрывной волны вдоль трубы, т.е. в данном случае сварка гидравлическими ударами заменяет ультразвуковую сварку и сварку взрывом по направленности и последовательности распространения гидравлического удара. Для очень мощного гидравлического удара включаются одновременно все пары электродов. С помощью гидравличе-

ских ударов можно варить листовый материал нахлесточными соединениями, заменяя многие виды сварок.

Сварка гидравлическими ударами обеспечит сварку различных материалов, которые толще в несколько раз, чем при сварке ультразвуком. Кроме того, сварку гидравлическими ударами можно совместить с контактной сваркой и получить высокоэффективный вид сварки, где высокочастотные мощные гидравлические удары совмещаются с воздействием электрического тока. Если контактной сваркой медь не варится, а при ультразвуковой сварке варятся листы только толщиной до 1,1 мм, то при сварке гидравлическими ударами и воздействием электрического тока толщина свариваемых листов увеличится во много раз.

Таким образом, сварка гидравлическими ударами, плюс контактная сварка (назовем ее гидроударноконтактная сварка), в большинстве случаев заменит сварку ультразвуком, контактную сварку, диффузионную сварку, сварку трением, холодную сварку, сварку давлением, сварку сплавлением, дугопрессовую, прокаткой, сварку взрывом. Эта сварка проста и безопасна в эксплуатации.

3.9.3. СВАРКА ФРИКЦИОННО–КОНТАКТНАЯ, ВИБРОФРИКЦИОННО–КОНТАКТНАЯ, ИНДУКЦИОННО–ФРИКЦИОННО–КОНТАКТНАЯ

В настоящее время хорошо известен вид сварки трением, при котором свариваются две детали, одна из которых закреплена неподвижно, а вторая приводится во вращение с приложением осевого усилия P . При этом возникают силы трения, выделяющие тепло, достаточное для осуществления сварки давлением. При достижении определенной температуры, вращение прекращается, а осевое усилие остается.

Сварка углеродистых сталей производится при температуре 500-1350°C, при этом частота вращения от 1000 до 3000 об/мин, давление 39,2-49 МПа, осадка от 3-12 мм, время сварки от 3 до 20 секунд.

Сварка вибротрением заключается в том, что одна деталь получает колебательные перемещения относительно другой. Недостатки сварки трением заключаются в том, что необходима большая скорость вращения и колебательных перемещений, что приводит к большой осадке и довольно продолжительному времени сварки.

Основные виды контактной сварки: стыковая сварка, точечная сварка, рельефная сварка, шовная сварка. Все виды контактной сварки осуществляются на основе нагрева и пластической деформации заготовок в месте соединения. Нагрев осуществляется прохождением электрического тока через контакт. Общее у сварки трением и контактной сварки то, что осуществляется нагрев сопряженных поверхностей, прикладывается давление и происходит пластическая деформация.

Контактная сварка отличается высокой производительностью, поддается механизации и автоматизации, экономит основные и вспомогательные матери-

алы. Но если ее сравнить со сваркой трением, то при сварке трением углеродистой стали обыкновенного качества электрическая мощность составляет 15-20 Вт/мм², а при электрической контактной сварке 120-150 Вт/мм². Получается показатель в 10 раз хуже. Поэтому контактная сварка экономически эффективна в крупносерийном производстве.

Поставим цель создать новые виды сварки, которые наиболее экономически эффективны в мелко- и среднесерийном производстве, которые возьмут лучшее из приведенных видов сварки, а недостатки ликвидируют. С этой целью соединим сварку трением и контактную сварку. Получим впечатляющие результаты: электрическая мощность на сварку трением значительно уменьшается, а электрическая мощность на контактную сварку может сократиться в 10 раз. В результате объединения сварки трением и контактной сварки получим новый вид сварки, который назовем фрикционно-контактная.

При колебательных перемещениях одной детали относительно другой и одновременном использовании электрического тока для нагрева трущихся поверхностей, приходим к новому виду сварки, который назовем вибрационно-фрикционно-контактная.

Для ускорения процесса нагрева, уменьшения осадки, т.е. экономии материалов, лучшего прогрева трущихся поверхностей, можно предложить еще один вид сварки, где совмещаются индукционно-прессовая сварка со сваркой трением. Сварка трением и вибротрением осуществляется в индукторе, имеющем форму кольца. Индуктирование осуществляется переменным током частотой до 500000 Гц. Это позволяет получить более высокую концентрацию энергии, чем при контактной и дуговой сварке, а за счет трения поверхностей – сваривать детали большого диаметра более рационально. Для сварки стержней большого диаметра следует дополнительно подключить контактную сварку.

Таким образом, на основе анализа отдельных видов сварки и применяя метод синтеза, приходим к совершенно новым видам сварки, у которых технико-экономические показатели при мелко- и среднесерийном производстве значительно выше, чем в отдельности по каждому виду. Кроме того, данные виды сварки позволяют экономить материал, уменьшать частоту оборотов и колебаний, время сварки, ток нагрева и при этом достигать значительно лучших механических показателей сварочных соединений.

РАЗДЕЛ 4

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ И ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

4.1. НОВЫЕ АСПЕКТЫ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

4.1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Удельный объем абразивно-шлифовальных видов обработки в технологических процессах изготовления деталей и узлов машин непрерывно увеличивается. Это обусловлено повышением требований к точности изготовления заготовок и к показателям качества деталей, увеличением количества применяемых материалов повышенной твердости и прочности, созданием нового оборудования, методов абразивной и шлифовальной обработки.

Вместе с тем, некоторые направления абразивно-шлифовальной обработки не нашли широкого применения на практике, главным образом, из-за недостаточной изученности и отсутствия теоретического обоснования. Так, на практике и в теоретических исследованиях мало уделяется внимания выбору абразивного инструмента в зависимости от структуры обрабатываемого материала – выбор ведется по твердости обрабатываемого материала. На стадии разработки, изготовления и эксплуатации деталей не учитывается глубина нарушенного слоя материала при абразивно-шлифовальной обработке. Абразивно-шлифовальный инструмент на протяжении десятков лет остается без конструктивных изменений, без включения адаптационно – умных, компенсирующих элементов, практически не имеет датчиков измерения параметров для установления обратной связи. Не изучены вопросы влияния магнитного поля на обрабатываемую заготовку (в плане облегчения обработки за счет раскачивания зерен обрабатываемой поверхности), на устойчивость и износ шлифовального круга. Не разработана система компенсации шлифовального круга (инструмента) по связи “инструмент – обрабатываемая деталь – стол”. В расчетах мало внимания уделяется исследованию движения срезанной стружки по заготовке и абразивному кругу. Практически отсутствует автоматическое регулирование температур обрабатываемых поверхностей. Требуется новые способы подвода и отвода смазочно-охлаждающих жидкостей, регулирования их объема и состава во время работы. Требуется новые способы очистки поверхности круга от стружки.

Все вышеуказанные вопросы трудно решить без новых конструкторских идей в технологии изготовления абразивно-шлифовального инструмента и способов его крепления на оборудовании. Всем перечисленным проблемам невозможно дать теоретическое (математическое) обоснование в одной работе. Для этого потребуется направленная работа многих ученых, инженеров, рабочих, неоднократная проверка теории экспериментом. Очевидно, на это уйдет еще не один десяток лет.

Цель данной работы – раскрыть малоизученные проблемы и сделать их достоянием всех, кто занимается абразивно-шлифовальной обработкой.

4.1.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНЫХ ВИДОВ ОБРАБОТКИ И ИХ НЕДОСТАТКОВ

Абразивно-шлифовальные виды работ – самые древнейшие виды обработки материала, позаимствованные человеком у природы. Человек, наблюдая, как перекатывающиеся песчинки в камне делали желоб, стал применять абразивно-шлифовальную обработку для изготовления самых первых орудий труда: каменных ножей, топоров, наконечников для стрел и т.д.

За многие тысячелетия абразивно-шлифовальные виды работ в своей сущности практически не изменились. Научно-технический прогресс и возможность получения искусственных материалов привели к тому, что одних металлических сплавов в машиностроении используется свыше пяти тысяч.

Зерна абразивных материалов изготавливают из окиси алюминия, карбида кремния, алмаза, кубического нитрида бора. Разработаны и созданы сотни видов абразивных инструментов. Доля абразивно-шлифовальной обработки в общем объеме обработки материалов возрастает с каждым днем. В недалеком будущем абразивно-шлифовальная обработка станет основной, а во многих случаях и единственной.

В настоящее время из искусственно полученных сверхтвердых материалов можно обработать заготовку и получить деталь только с помощью абразивно-шлифовальных работ. Как ни удивительно, но абразивно-шлифовальные виды работ остаются самыми консервативными из всех видов обработки материалов.

Научно-технический прогресс в настоящее время в состоянии вывести эту область обработки на совершенно новый уровень. Для этого нужно в первую очередь раскрыть проблемы и недостатки существующих видов абразивно-шлифовальной обработки.

Рассмотрим некоторые виды обработки, обозначим проблемы и пути их решения.

В зависимости от величины снятия припуска и требований к шероховатости обрабатываемой поверхности, шлифование делится на обдирочное, предварительное, чистовое и тонкое.

По форме и расположению шлифуемой поверхности, шлифование подразделяется на круглое наружное и внутреннее, бесцентровое, плоское и фасонное, а также резьбо-, шлице-, сферо- и зубошлифование.

Круглое наружное шлифование предназначено для обработки тел вращения, закрепленных в патроне (вращающихся или неподвижных центрах), и осуществляется методом продольной подачи (когда шлифуемая поверхность превосходит высоту круга) и методом врезания (когда шлифуемая поверхность несколько меньше или равна высоте круга).

Недостаток данного вида шлифования заключается в том, что обработка происходит по жесткой схеме, при этом затруднительна обработка длинных за-

готовок и невозможна обработка круглых изогнутых заготовок.

При крупносерийном производстве обработку фасонных заготовок (типа замков лопаток газотурбинных двигателей) производят многокруговыми наладками, что вызывает много проблем. Так, после обработки нескольких заготовок наблюдается разный размерный износ кругов, что увеличивает вероятность выхода за предельно допустимые размеры. Поэтому требуется своевременная правка всех кругов под наименьший диаметр наиболее изношенного круга. После правки, как правило, требуется балансировка кругов в наладке. Для этого неуровненность взаимно компенсируют за счет смещения на определенный угол $360^\circ/n$ тяжелой части каждого последующего круга (где n – число кругов в оправке).

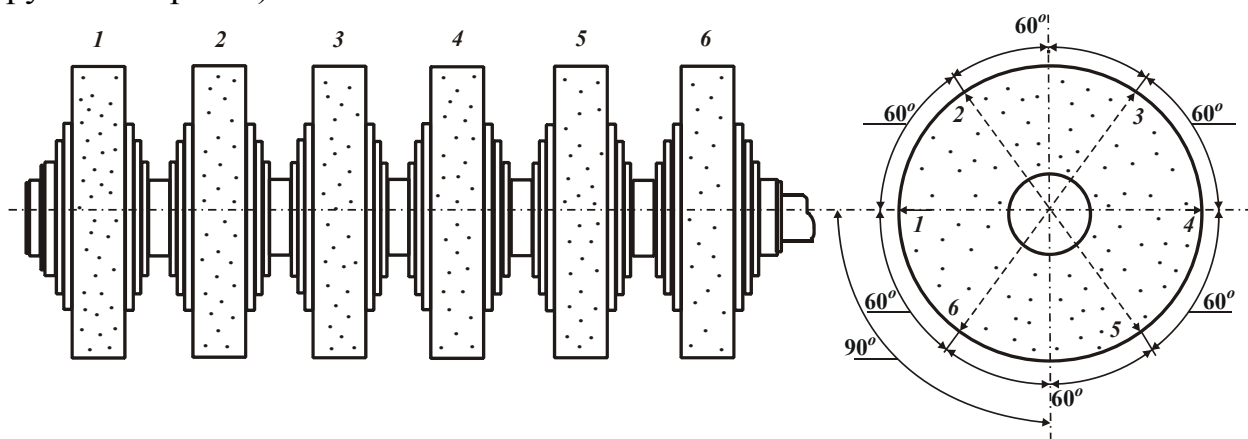


Рис. 4.1. Схема балансировки кругов при многокруговой наладке: 1 - 6 - порядковые номера кругов; тяжелая часть круга отмечена стрелкой.

Способ балансировки (рис. 4.1) позволяет отбалансировать в целом всю наладку, но, к сожалению, имеет ряд недостатков: тяжелые части кругов отличаются друг от друга на разные величины, маркировку тяжелых частей круга и поворот его в наладке на определенный угол выполняют вручную. Такая процедура балансировки занимает много времени, а процесс правки кругов – это довольно дорогое “удовольствие”.

Можно ли решить эту проблему? Как обойтись с меньшим количеством правок и балансировок кругов?

Кроме того, в многокруговых наладках шлифование происходит по жесткой схеме. А это значит, что если зерно круга встретило на своем пути твердое зерно обрабатываемого материала, то оно должно пройти через это зерно. Чаще всего в таких случаях зерно круга вырывается из связки или же разрушается. Если бы это зерно имело возможность сместиться в сторону, т.е. образовать скол части зерна обрабатываемого материала, а затем обойти это зерно и принять прежнее положение, то эффект был бы значительно больше. Зерно круга служило бы в десятки – сотни раз дольше и во столько же раз увеличился бы съём материала с обрабатываемой поверхности.

При врезном шлифовании на определенной глубине обрабатываемого материала в работу подключается боковая поверхность круга, которая при жесткой схеме обработки воспринимает значительные ударные нагрузки и интенсивно изнашивается. При обработке большого количества заготовок линей-

ные размеры боковой поверхности круга могут выйти за предельно допустимые. Ударная нагрузка может привести к разрушению круга. Особенно интенсивный износ происходит на угловой части перехода боковой поверхности в радиальную. Величину износа можно уменьшить, если отказаться от жесткой схемы шлифования.

Какую выбрать конструкцию многокруговой наладки, как при этом сохранить установленные размеры и как изменить установленные размеры, не разбирая наладки? Эти и многие другие вопросы постараемся если не решить, то хотя бы наметить пути их решения.

При круглом внутреннем шлифовании возникают те же вопросы, что и при круглом наружном шлифовании. Круглое внутреннее шлифование применяют при обработке точных отверстий. Заготовка и шлифовальный круг совершают вращательные движения, а круг дополнительно совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси заготовки, выходя из отверстия не менее чем на $1/3$ высоты круга. При этом очень сложна настройка взаимного расположения отверстия заготовки и круга. Предъявляются повышенные требования к торцовому биению патрона.

Бесцентровое шлифование цилиндрических заготовок решает часть этих вопросов. При круглом наружном бесцентровом шлифовании обработка заготовки ведется двумя кругами, вращающимися в одну сторону с разными скоростями. Заготовка упирается на нож, который обеспечивает расположение заготовки выше центров кругов и ниже центров кругов при обработке тонких и длинных прутков. Ведущий круг, вращающийся со скоростью, меньшей скорости рабочего круга, устанавливается под углом к рабочему кругу $0,5 \div 6^\circ$ для обеспечения подачи заготовки вдоль оси в зависимости от вида шлифования.

При внутреннем бесцентровом шлифовании заготовка опирается на прижимные и ведущие ролики. При малом диаметре заготовки опорный ролик заменяется опорным ножом. Очевидно, что проблему обработки длинных внутренних поверхностей внутреннее бесцентровое шлифование не решает, особенно в случае, когда круглые длинные поверхности имеют радиус изгиба.

Проблема шлифования длинных внутренних цилиндрических поверхностей в настоящее время актуальна для трубопроводов. От качества и шероховатости внутренней поверхности трубы зависит скорость перемещения жидкости, энергетические затраты на эти перемещения, а также долговечность трубы. Если труба имеет коррозионный налет, повышенную шероховатость, то при перекачивании жидкости по такой трубе ламинарное движение жидкости при небольших скоростях переходит в турбулентное движение. Большая разница в скорости движения жидкости у стенок и в самом потоке приводит жидкость к завихрению. Турбулентное движение жидкости по трубам вызывает вибрацию труб (наблюдается „гудение” труб). При определенной частоте могут возникать резонансные колебания, что приведет к разрушению трубы. В любом случае вибрация трубы вызывает разрушение сварных швов и околошовного участка, а также трение трубы на опорах. Энергетические затраты при турбулентном перемещении жидкости резко возрастают. В начале эксплуатации трубы с повышенной шероховатостью, вероятность нароста в трубе резко возрастает. Диа-

метр трубы уменьшается, энергетические затраты увеличиваются, срок службы трубы резко сокращается.

Как известно, трубы чаще всего соединяются сваркой. В местах сварки трубы корневой шов является местом, нарушающим ламинарное движение жидкости. В местах изгиба и поворота трубы соединяются различными участками с “гнутыми радиусами” – так называемыми коленами. В некоторых случаях, для продления срока службы труб и уменьшения нароста, применяют сварку трубы в трубе (которые выполнены из разнородных металлов), покрытие полиэтиленом, эмалью, оцинковывание труб. Но это очень дорого и поэтому трудно все трубопроводы обеспечить такими покрытиями (кроме того, они имеют свои недостатки).

Было бы разумнее иметь недорогой и более доступный способ шлифования труб перед сваркой и после сварки, обеспечивая зачистку сварных швов прямо на трубопроводе. На трубопроводах больших диаметров эта проблема частично решена с помощью роботов. А как быть на трубопроводах средних и малых диаметров, которых в тысячи раз больше, чем трубопроводов с большим диаметром?

Плоское шлифование периферией или торцом круга применяют для обработки поверхностей на станках с возвратно-поступательным или вращательным движением стола. Кроме цельных кругов для шлифования применяются абразивные сегменты, которые закрепляются в сегментные головки, обеспечивая таким образом прерывистое шлифование и исключение прижогов. Проблемы, возникающие при плоском шлифовании, проявляются и в других видах шлифования. Но здесь они встречаются чаще ввиду значительно больших объемов обработки.

Биение круга обусловлено многими факторами: вибрацией станка, упругими деформациями шпинделя, люфтом подшипников шпинделя, неоднородностью масс шлифовальных кругов, отклонениями геометрических размеров шлифовального круга, нарушением соосности, снятием неравномерного припуска, шлифованием прерывистой поверхности, обработкой неоднородной структуры, неравномерностью износа круга и его засаливанием.

Одна из основных причин биения круга заложена в самом производстве шлифовальных кругов. Неоднородность массы шлифовального круга обусловлена неоднородностью компонентов, входящих в круг, размером зерен, связки, наполнителей, условий их перемешивания, прессования, спекания, выгорания отдельных компонентов. Поэтому классы неуравновешенности 1 – 4 по ГОСТ 3060-75 допускают диапазоны неуравновешенности масс шлифовальных кругов диаметром 250 – 1100 мм в зависимости от их высоты в пределах от 5 до 325 г. Например, для круга с высотой от 75 мм до 100 мм допустимая неуравновешенность массы – 20-325 г. Очевидно, 325 г – относительно большая масса. С какой же скоростью можно работать таким кругом, на каком станке и какие будут возникать при этом автоколебания?

Ответ частично находим в ГОСТ 12.3.028-82 “Балансировка кругов. Правила безопасной работы абразивным инструментом”, согласно которому круги диаметром 250 мм и более или диаметром 125 мм и более, предназначенные

для работы со скоростью более 50 м/с, перед установкой обязательно выверяются и балансируются вместе с крепежными фланцами (планшайбой). А если взять диаметр круга до 100 мм? Скорость круга ограничивается прочностью связки, т.е. может быть более 50 м/с, диаметр круга тоже позволяет работать без балансировки.

Что происходит после балансировки круга? Круг при работе изнашивается. Несбалансированная масса круга при работе убывает и перераспределяется, а противовес на планшайбе находится все в том же положении, вибрация резко возрастает, так как на систему действуют две несбалансированные массы. В некоторых современных станках есть системы динамической балансировки с ручным управлением и автоматической оценкой вибрации шлифовальной бабки и шероховатости поверхности. К сожалению, это единичные станки и широкого распространения такие системы пока не получили. Проблема неуравновешенности массы при работе одним кругом повсеместно не решается, что требует новых подходов к применению датчиков, производству кругов и т.д.

4.1.3. ЗАСАЛИВАНИЕ КРУГА

При шлифовании необходимо не допускать засаливание круга, или же устранять его во время обработки.

Засаливание круга происходит по нескольким причинам: когда нарушены режимы обработки (скорость резания и подача), увеличена температура нагрева обрабатываемой поверхности металла и круга, обработка осуществляется без СОЖ или с недостаточным количеством и низким качеством СОЖ.

Одной из основных причин засаливания круга является налипание образующихся стружек на зерна и связку круга. При обработке стальных изделий это происходит при температуре свыше 600°C. При обработке цветных металлов и сплавов температура налипания ниже. Кроме того, стружка очень плотно напрессовывается и вдавливается в поверхность обрабатываемого материала.

Проблема освобождения круга от стружки имеет большое значение. От ее решения зависит качество обработки, стойкость круга (его долговечность), возможность снижения количества правок круга. Как решить данную проблему?

Прежде всего, нужны дополнительные мероприятия по автоматическому контролю за режимом обработки (с обратной связью) и своевременным принятием мер, т.е. нужна дальнейшая автоматизация процесса обработки. При засаливании, как правило, круг снимают со станка для его очистки или качественной правки, а это большая потеря времени. Более эффективно использовать систему самоочистки.

4.1.4. ЗАТУПЛЕНИЕ КРУГА

Причинами затупления зерен круга или так называемого их естественного износа являются: нарушение температурного режима (при температуре выше

900°С происходит графитизация алмаза); резкая смена температуры, вызывающая сколы острых кромок зерна; напрессовывание стружки и ее перемещение в межзеренном пространстве; использование только одной стороны зерна (а это значит, что только 50% зерен, находящихся в круге, благоприятны для резания); действие ударной нагрузки на зерно вследствие неоднородности структуры обрабатываемого материала и прерывистого характера резания, вызывающей „надламывание” острых граней; вырывание зерен из связки и их воздействие на круг и основной материал; засаливание круга и появление прижогов на обработанной поверхности; неправильное использование СОЖ; нарушение режимов резания и т.д.

В указанных причинах есть факторы, которые способствуют не только затуплению, но и самозатачиванию круга, например, ударные нагрузки при прерывистом шлифовании, приводящие к вырыванию и сколам зерен и т.д. Поэтому надо управлять процессом шлифования, чтобы указанные факторы не нарушали баланса самозатачивания и затупления зерен круга. Если будет превалировать затупление зерен круга, то эти факторы вредны, а если самозатачивание круга, то желательно знать, как они влияют на линейный износ круга и как ими регулировать в процессе шлифования.

Необходимо контроль круга проводить не только визуально, но и с помощью современных технических средств, включая их в систему обратной связи с целью регулирования процесса затупления и самозатачивания круга в процессе обработки.

Контроль степени затупления круга можно вести по параметрам обрабатываемой поверхности (сравнивая температуру нагрева, твердость, шероховатость, величину съема припуска, количество оставленного абразива), по параметрам поверхности круга (определяя температуру, размер выступов, наличие и количество стружки), а так же по характеристикам СОЖ, идущей на очистку (по количеству расхода, температуре, массовой доле металлической стружки и абразива).

Решение данных вопросов многогранно и технически выполнимо. Конечно, при этом возникает и другая задача: какое количество контролируемых элементов необходимо включить для конкретного вида обработки детали, чтобы выбрать оптимальную производительность и износ круга и достичь высокого качества и других показателей процесса.

Использование всех параметров при контроле не всегда оправдано экономически, хотя комплексный контроль позволяет точнее определить степень затупления круга. Контроль износа круга может выполняться не только параметрами обрабатываемой поверхности детали, поверхности круга и СОЖ, но и другими сопутствующими измерениями окружающей среды.

Производя контроль и обрабатывая результаты с помощью микропроцессора или компьютера, можно при наличии обратной связи реализовать процесс самозатачивания круга. Это может быть достигнуто применением электроимпульсной или электрохимической обработки, прерывистого шлифования, увеличением ударных нагрузок, изменением направления вращения абразивного круга или его движения, включением системы ударных нагрузок и т.д. При

неэффективности выбранных факторов можно обеспечить механическую систему самозатачивания, например, методом обкатки. Этот процесс должен быть автоматизирован.

4.1.5. ПРОБЛЕМА ПРИМЕНЕНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ

Проблема применения смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) заключается в выборе жидкости и способе ее подведения, определении количества подводимой жидкости, в способах сбора отработанной жидкости, ее грубой и тонкой очистки.

Все это на практике осуществляется, однако выбор СОЖ зависит от человеческого фактора. Выбор способов подведения и определения количества СОЖ в основном закладывается в функцию станка без связи с качеством обработки, а если и есть возможность что-то изменить, то делается это чисто интуитивно.

Для того чтобы решать эту проблему, необходимо автоматизировать процесс, соединив его с режимом обработки, количеством применяемых компонентов, качеством изделия, способом изменения подачи СОЖ и ее количества. Для автоматизации процесса применения СОЖ с обратной связью потребуются новые контрольные параметры. Это температура СОЖ в момент подачи ее в зону обработки и скорость охлаждения СОЖ в зоне обработки. При этом надо знать влияние СОЖ на структуру обрабатываемого материала и шлифовальный круг, влияние количества СОЖ на вынос стружки, степень сохранения химического состава СОЖ после прохождения через зону обработки и систему очистки, степень влияния компонентов СОЖ при изменении режимов обработки. Система подачи СОЖ должна быть дополнительно оборудована системой нагрева и охлаждения, системами изменения способа и объема подачи СОЖ, а также системой изменения процентного содержания компонентов СОЖ. При наличии таких систем можно утверждать об автоматизации системы (с обратной связью) подачи СОЖ.

4.1.6. ПРОБЛЕМА УВЕЛИЧЕНИЯ СКОРОСТИ ОБРАБОТКИ

Увеличение скорости обработки в настоящее время связывают лишь с увеличением скорости круга, которая ограничивается прочностью круга. Такая точка зрения не совсем правильна. Если увеличивать скорость вращения круга, то действительно, кроме увеличения интенсивности автоколебаний и разрыва круга больше получить ничего не удастся. Но если вводить относительное движение круга, то можно получить этим же кругом сверхскоростное резание и повышения производительности, качества и стойкости круга.

Из этого не следует, что не надо заниматься повышением качества кругов, улучшением их геометрических размеров, уменьшением неоднородности

масс, увеличением прочности связки круга на разрыв и ударную нагрузку, увеличением устойчивости зерен и продлением их срока службы.

В комплексе повышение вышеназванных параметров и применение относительных движений круга позволит существенно увеличить производительность (так же, как в свое время - применение перфорационных ударов при сверлении).

4.1.7. ПРОБЛЕМА ШЛИФОВАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Используемые в настоящее время шлифовальные станки имеют низкую степень автоматизации шлифовальных процессов, как правило, узкую специализацию и очень низкую степень перестройки. Большинство станков вообще работают с одним типом абразивного инструмента, т.е. шлифовальное оборудование практически не приспособлено для гибкого производства. В этом имеются большие резервы как на стадии проектирования нового оборудования, так и на стадии модернизации существующего оборудования.

Что можно сделать в этом направлении? Каждый станок надо стремиться приспособить к выполнению как можно большего вида работ. Иногда для этого достаточно менять способы крепления различных абразивно-шлифовальных инструментов.

Нужны новые приспособления для ориентации и фиксации деталей в пространстве с фиксированным переходом из одного положения в другое, на определенный угол или расстояние. Нужна новая система крепления деталей, обеспечивающая заданную частоту и амплитуду вибраций в определенной плоскости, а также система крепления, обеспечивающая при необходимости виброгашение автоколебаний. Необходимо обеспечить возможность автоматического возвратно-поступательного перемещения стола в продольном и поперечном направлениях с разными скоростями, возвратно-поступательных кручений на определенные углы, возможность передачи столом вибраций, а также их гашения. Должна быть предусмотрена возможность использования разных систем фиксации деталей на столе, а также возможность установки различных приспособлений и кондукторов.

Разработка станков для гибких систем и автоматических линий должна осуществляться с использованием накопленного опыта агрегатирования, создания роботизированных центров, роторных линий, конвейерных производств. В дальнейшем необходимо создавать специальные роботы для выполнения работ в труднодоступных местах, например, для зачистки сварного шва в трубе и т.д.

Следующее направление – это возможность использования различных металлорежущих и деревообрабатывающих станков для выполнения абразивно-шлифовальных видов работ, также как и возможность использования абразивно-шлифовальных станков с другими режущими инструментами, например, фрезами, сверлами и т.д. При этом важно обеспечить изменение направления вращения круга (инструмента) на шлифовальном оборудовании, совместно использовать абразивно-шлифовальное оборудование с другим оборудованием,

например, со сварочными автоматами, поскольку перед сваркой металл должен быть зачищен. Тепло, образованное при шлифовании, целесообразно использовать при сварке и наоборот, так как сварочный шов (т.е. нагретый металл) легче обработать после сварки абразивным кругом. При этом происходит экономия энергетических затрат на нагрев обрабатываемого металла.

4.1.8. ПРОБЛЕМЫ КОНТРОЛЯ И ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

При абразивно-шлифовальной обработке в меньшей степени применяются известные системы контроля и обратных связей, в которых, к сожалению, практически не используется лазерный луч, тепловизоры, ультразвуковые твердомеры и многие другие достижения техники.

Активное динамическое измерение параметров сводится, в лучшем случае, к определению размеров обрабатываемой детали. При таком подходе трудно установить обратную связь и полностью автоматизировать систему управления качеством. Отсутствует наглядность контроля параметров и связь полученных результатов качества, энергетических и экономических затрат.

4.1.9. ПРОБЛЕМА ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В АБРАЗивно-ШЛИФОВАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Причина этой проблемы сложилась из-за того, что в подсознании многие специалисты относят абразивно-шлифовальную обработку к грубой обработке. Поэтому применение сегнетоэлектрических материалов, биметаллов, пьезокристаллических, магнитострикционных, сплавов „с памятью” и многих других материалов считают неуместным. Но без них в абразивно-шлифовальном производстве трудно достичь прогресса, создания новых технологий, нового оборудования и инструмента.

4.2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АБРАЗивно-ШЛИФОВАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

4.2.1. АБРАЗивНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Абразивные инструменты состоят из зерен: окиси алюминия, карбида кремния алмаза, кубического нитрида бора. Размеры абразивных зерен определяются по ГОСТ 3647-80 в соответствии с таблицами:

Группа материала	Размер зерен, мкм	Зернистость
Шлифзерно	2000 – 160	200 – 16
Шлифпорошки	125 – 40	12 – 14
Микрошлифпорошки	63 – 10	M63 – M14
Тонкие микрошлифпорошки	10 - 3	M10 – M5

Зернистость в зависимости от видов обработки

125 – 80	обдирочное шлифование;
80 – 50	предварительное шлифование;
63 – 25	комбинированное, предварительное и чистовое шлифование;
12 – 6	тонкое чистовое шлифование;
6 – 4	отделочное шлифование, хонингование;
М40 и мельче	отделочное шлифование, суперфиниширование.

В абразивных инструментах применяются следующие типы связки: керамическая, бакелитовая, вулканитовая, глифталевая, поливинилформалиевая, эпоксидная. Чем тверже абразивный инструмент (круг), тем интенсивнее происходит его засаливание (забивание стружкой) при обработке вязких материалов. При грубой обработке, а так же при повышении режимов шлифования эффективнее использовать более твердый круг.

Промышленность выпускает следующие абразивные инструменты:

Круги:

- плоские – прямого профиля, с двухсторонним коническим профилем, с коническим профилем, с различными выточками, кольцевые;
- чашечные – цилиндрические, конические;
- тарельчатые – с запрессованными крепежными элементами, с выточками и ступицей;
- отрезные круги.

Головки: цилиндрические, угловые, конические, сводчатые, шаровые, шаровые с цилиндрической боковой поверхностью.

Сегменты и бруски шлифовальные: плоские, выпукло-вогнутые, вогнуто-выпуклые, выпукло-плоские, трапециевидные, специальные.

Бруски: квадратные, прямоугольные, трехгранные, круглые, полукруглые.

Предельные отклонения (мм) размеров кругов различных классов.

Наружный диаметр, мм	от 6 до 800	$\pm 0,3 \pm 6,0$
Диаметр посадочного отверстия, мм	от 10 до 260	0,1 – 0,6
Высота H , мм	от 3 до 100	0,1 – 2,0

4.2.2. АЛМАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОРОШКИ

Зернистость алмазных порошков измеряется в мкм:

Шлифпорошки: от 2500 до 63 делятся на группы в широком и узком диапазонах. В широком диапазоне 9 групп, в узком диапазоне 15 групп.

Микропорошки: от 60 до 1 – 11 групп.

Субмикропорошки: от 0,7 до 0,1 – 8 групп.

Алмазные круги изготавливают на металлических, органических и керамических связках.

Типы кругов:

Плоские: прямого профиля с корпусом и без корпуса, трехсторонние, с выточкой, с двухсторонней выточкой.

Чашечные: конические с углом 45° и 70° .

Тарельчатые: с углом 45° , 20° , 25° , с углом 15° или 20° , с алмазным слоем с обратной стороны.

Плоские: с двухсторонним коническим профилем, с полукругловыпуклым профилем, кольцевые.

Головки: сводчатые, конические, угловые, цилиндрические, полушаровые.

4.2.3. ЭЛЬБОРОВЫЕ КРУГИ

Материал – кубический нитрид бора: эльбор, кубонит, гексанит. Связки кругов: органическая, керамическая, металлическая.

Зернистость, аналогично алмазным кругам, выбирается исходя из требований к шероховатости обрабатываемой поверхности.

Типы кругов:

Плоские: прямого профиля с корпусом и без корпуса, с двухсторонним коническим корпусом, с двухсторонним профилем, с односторонним коническим профилем, с полукругловыпуклым профилем, профильные, с одно- и двухсторонними выточками.

Чашечные конические.

Тарельчатые.

Алмазные и эльборовые круги в 3–4 раза тверже обычных абразивных кругов. Абразивно-шлифовальный инструмент изготавливается по группам зернистости. Сегменты и бруски используются в специальных сегментных головках для прерывистого шлифования.

Основные недостатки абразивно-шлифовальных инструментов состоят в следующем. Скорость вращения инструмента и производительность обработки зависят от материала связки. Зерна в круге располагаются хаотически и неравномерно. Инструменты имеют неуравновешенные массы и отклонения геометрических размеров. Это вызывает вибрации, неравномерное изнашивание, затупление и засаливание инструментов во время работы, требует их правки, балансировки и испытаний.

Самым существенным недостатком является чрезвычайно низкий уровень автоматизации абразивно-шлифовальной обработки. В этом отношении, по-прежнему, абразивно-шлифовальный инструмент остается почти на том же уровне, как у первобытного человека камень для шлифования!

Изготовление абразивно-шлифовального инструмента не предусматривает работу с датчиками, измерительными системами, включая их обратную связь и автоматизацию процесса.

В производстве и при работе абразивно-шлифовального инструмента не используются новые материалы и технологии. Круги всех типов при работе не могут изменять свою форму. Внутреннее состояние круга нам почти не известно вплоть до его разрушения.

Контроль параметров обработки ведется лишь при проведении исследований, а не постоянно при изготовлении продукции. Сам инструмент не спо-

способствует расширению контроля параметров. Способы крепления круга и применяемые приспособления также отстают от научно-технического прогресса и только частично соответствуют уровню применяемых кругов.

4.3. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КОНСТРУКЦИЯХ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Для получения совершенно новых свойств абразивно-шлифовального инструмента, получения обратных связей, управления абразивно-шлифовальным инструментом с помощью компьютера, решения сложных технологических задач, контроля и самоконтроля за технологией обработки и состоянием инструмента, адаптационными процессами, выбора оптимальных режимов и обеспечения качества обработки, в производстве абразивно-шлифовального инструмента важно использовать пьезоэлектрические материалы. Рассмотрим возможности их использования для изготовления как непосредственно абразивно-шлифовального инструмента, так и вспомогательных устройств. Применение пьезоэлектрических материалов обеспечивает абразивно-шлифовальный инструмент новыми управляемыми свойствами.

В данной работе не ставится задача описать все возможные варианты использования пьезоэлектрических материалов, а предпринимается попытка обосновать новое направление их применения для изготовления абразивно-шлифовальных инструментов.

Пьезоэлектрические материалы подразделяются на природные и искусственные, монокристаллические и поликристаллические. Сущность работы пьезоэлектрического материала заключается в следующем: если две параллельные плоскости кристалла сжимать, то на перпендикулярных плоскостях появится электрический потенциал. Если кристалл за те же плоскости, которые сжимали, начать растягивать, то на перпендикулярных плоскостях знак электрического потенциала изменится на противоположный. Пьезоэлектрические материалы обладают обратными свойствами, то есть если к двум параллельным плоскостям приложить электрический потенциал, например, со знаком „плюс”, то кристалл увеличится в размерах; если электрический потенциал подвести со знаком „минус”, то пьезоэлектрический кристалл уменьшится в размерах.

Кварц является химически устойчивым пьезоматериалом до температуры 573°C, при обычных температурах обладает очень низкими внутренними потерями.

Кристаллы дигидрофосфата аммония не содержат кристаллизованной воды, устойчивы до температуры 100°C и обладают большой стабильностью электромеханических параметров.

Кристаллы сульфата лития устойчивы до температуры 75°C и обладают большой температурной стабильностью параметров.

Синтетические пьезоэлектрические материалы: этилен – диамин тартрата и тартрат калия.

Наиболее перспективными являются керамические пьезоэлектрические

материалы. Они обладают высокой прочностью, влагостойкостью и высокими значениями пьезокоэффициента, работают в широких диапазонах температур. К ним относятся: титанат бария BaTiO_3 и его твердые растворы $(\text{Ba}, \text{Pb})\text{TiO}_3$ и $(\text{Ba}, \text{Pb}, \text{Ca})\text{TiO}_3$; метаниебат свинца PbNb_2O_6 и его твердые растворы $(\text{Pb}, \text{Ba})\text{Nb}_2\text{O}_6$; $(\text{Pb}, \text{Sr})\text{Nb}_2\text{O}_6$; материалы системы титаната-цирконата свинца $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$; метаниебата свинца, а также известны высокие пьезосвойства систем: $\text{NaNbO}_3 - \text{CdNb}_2\text{O}_6$, $\text{NaNbO}_3 - \text{KnbO}_3$ и $\text{NaNbO}_3 - \text{PbNb}_2\text{O}_6$.

Преобразователи электрической энергии в механическую (и наоборот), основанные на пьезокристаллическом эффекте, изготавливают в виде мозаик, стержней, пакетов, простых и биморфных пластинок, полых сфер, сферических сегментов и цилиндрических трубок. Они работают на частотах от 20 кГц до 30 мГц. Из двух тонких пластинок, работающих на продольные колебания (сжатие-растяжение), изготавливают биморфные изгибные элементы, рис. 4.2. Они могут работать на скручивание или выполнять более сложные виды деформации.

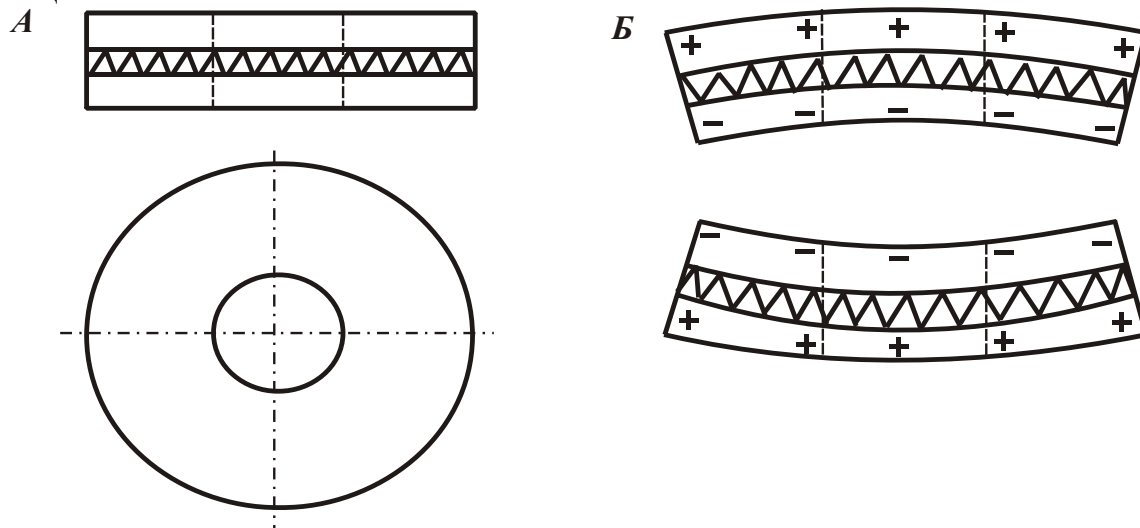


Рис. 4.2. Пьезоэлектрический элемент.

Трубчатый вибратор из титана бария развивает амплитуду колебания $4 \cdot 10^{-3}$ мм на частоте 18 кГц.

Из пьезоэлектрических материалов можно получить вибраторы с большими амплитудами колебаний – $4 \cdot 10^{-2}$ мм и более. Частота колебаний кварцевых пластин может достигать до 10^9 Гц.

Колебания пьезоэлектрических пластин, полученных косыми срезами, и составные вибраторы могут работать на частоте менее 20 кГц.

4.4. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ

Магнитные материалы – это железо, никель, кобальт и различные сплавы на основе технически чистого железа. Они делятся на две основные группы: магнитомягкие и магнитотвердые. Магнитомягкие материалы легко намагничиваются и размагничиваются. Уровень магнитных характеристик магнитомяг-

ких материалов тем выше, чем меньше они содержат примесей и искажений кристаллических решеток. Этим материалам соответствует узкая гистерезисная петля, они отличаются малыми потерями на гистерезис.

К основным магнитомягким материалам относятся: премаллеи, альсиферы и низкоуглеродистые кремнистые стали.

Пермаллеи – это железоникелевые сплавы с содержанием никеля от 36% до 8%. Для улучшения разных свойств в них вводят молибден, хром или медь.

Альсиферы представляют собой сплавы алюминия (5,5 – 13%), кремния (9-10%), остальное – железо.

Низкоуглеродистые кремнистые стали – это стали, в которых углерода содержится не более 0,04%, кремния от 0,8 до 4,8%.

Все магнитомягкие материалы имеют небольшие значения коэрцитивной силы – $H_C \leq 40$ А/м. Магнитотвердые материалы обладают большой коэрцитивной силой $H_C \geq 40$ А/м и имеют остаточную индукцию. Они имеют широкую гистерезисную петлю, хуже намагничиваются и могут сохранять свою энергию несколько лет. Магнитотвердые материалы используют для изготовления постоянных магнитов.

Металлические магнитотвердые материалы можно разделить на три группы: мартенситные высокоуглеродистые стали, железо-никель-алюминиевые сплавы, металлокерамические на основе порошков: железо-никель-алюминий-кобальт.

Известно, что магнитные материалы обладают магнитострикционным эффектом, заключающимся в изменении размеров при их перемагничивании. В последнее время магнитные материалы применяют для получения низких температур в результате перемагничивания и использования этого эффекта в рефрижераторной технике.

В настоящее время ведется ультразвуковая обработка материалов с помощью магнитострикционного вибратора. Вибраторы работают на частоте 18-30 кГц. Для увеличения амплитуды применяют конусный концентратор. Амплитуда колебаний инструмента составляет 10-60 мкм (больше не применяется из-за усталостного разрушения). Сущность обработки состоит в том, что от удара абразивных зерен, находящихся между инструментом и обрабатываемой поверхностью, происходит направленное разрушение поверхности. Зерна подаются в зону воздействия в виде абразивной суспензии, где жидкостью может служить вода.

Далее будут рассмотрены возможности использования магнитных и пьезоэлектрических материалов в абразивно-шлифовальных видах обработки.

4.5. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ОБРАБОТКИ

4.5.1. ОБКАТКА

Можно ли использовать обкатку при абразивно-шлифовальной обработке? Если рассматривать вопрос обкатки с точки зрения обыкновенных шлифо-

вальных кругов и технологий, то это действительно не перспективно. Почему? Если катать круг по мягкой поверхности детали, то на ней образуются вмятины и наросты, т.е. происходит процесс, обратный шлифованию. Вместо уменьшения шероховатости происходит ее увеличение.

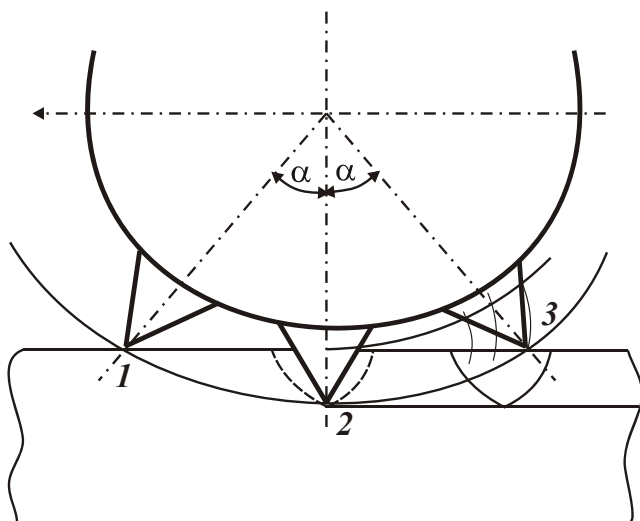


Рис. 4.3. Схема обкатки.

Если катать круг по твердой и хрупкой поверхности детали, то на ней от острых зерен так же будут оставаться следы, которые видны при увеличении, т.е. шероховатость возрастает. При этом острые зерна на круге притупляются, и круг с каждым оборотом оставляет все меньше и меньше следов. Рассмотрим более подробно этот вопрос.

Представим, что на алмазном круге находятся зерна, имеющие форму конуса с углом при вершине

60° , которые не выкрашиваются. При обкатке таким кругом получаются в сечении параболические следы, рис. 4.3 (стрелкой показано направление обкатки). Зуб в точке 1 касается поверхности под углом α , выходит в точке 3 под углом α к нормали поверхности, т.е. при обкатке меняет угол атаки, который составляет 2α . Очевидно, если зуб внедряется в зерно или межзеренное пространство и при этом меняет свой угол, то этот факт благоприятен для разрушения поверхности. Кроме того, зуб перемещается по кривой и, приходя в точку 2, оставляет определенное пространство - между зубом и боковой поверхностью (за зубом). Перед зубом во время вдавливания происходит смятие материала. Чем выше текучесть материала, тем легче ему выйти из-под зуба в межзеренное пространство. Чем хрупче материал, тем он быстрее перед зубом превращается в порошок и ему легче выйти в межзеренное пространство, т.е. тем больше и легче разрушается поверхность вокруг зуба. В точке 2 вершина зуба на мгновение как бы остановилась, и вращение началось вокруг нее.

Пространство за зубом от вершины до поверхности свободно по дуге, и разрушение идет корнем зуба поверхностной кромки, т.е. приложение сил на какое-то время резко изменилось, кромка поверхности начинает разрушаться. Если материал пластичный, то большая часть его вытесняется в межзеренное пространство. Если материал хрупкий, то он превращается в порошок. Разрушение кромки поверхности в этом случае – факт положительный. Далее начинает двигаться вершина зуба по дуге к поверхности детали. Здесь имеет место вырывание зерен и резание металла. Так как процесс идет из глубины металла к поверхности, то он протекает с небольшими энергетическими затратами, и процесс разрушения металла (материала) можно считать положительным. Очевидно, больше энергетических затрат происходит во время перемещения зуба из точки 1 в точку 2, чем при перемещении из точки 2 в точку 3.

Таким образом, обкатка, как процесс разрушения материала, может иметь

место при абразивно-шлифовальной обработке при определенных условиях: 1) если зубья имеют острую коническую форму; 2) если обрабатываемый материал пластичный и текучий; 3) если обрабатываемый материал хрупкий; 4) если обкатка применяется как вспомогательный метод при шлифовании. Проведем анализ этих условий.

Как обеспечить зубьям острую коническую форму? Очевидно, что применять для обкатки абразивные круги на металлической связке нецелесообразно, т.к. процесс затупления зерен весьма не продолжительный, и дальнейшая обкатка теряет смысл. Следовательно, для обкатки нужны специальные круги с пористой и достаточно хрупкой связкой. К сожалению, такие круги для обкатки пока не изготавливаются.

А можно ли производить обработку обкаткой теми кругами, которые уже есть? Можно, если к обкатке добавить осевые перемещения круга, т.е. добавить процесс резания, в результате которого будет происходить самозатачивание зерен. Это можно выполнить с помощью ультразвукового вибратора. Такая обработка становится в несколько раз эффективнее, и она по праву в недалеком будущем займет свое место в металлообработке. Это новый вид обработки, соединяющий два метода разрушения: клиновое разрушение и резание материала.

Почему предпочтительнее обрабатывать методом обкатки пластичные и текучие материалы? Потому что пластичные материалы разрушаются легче клином, чем резанием. Большинство металлов и сплавов (пластичных и текучих) при быстрой деформации получают наклеп, и тогда, следом за обкаткой, обработка абразивным кругом значительно облегчается, т.к. обкатка обеспечивает прерывистое резание. Кроме того, вытесненный металл получает наклеп, становится хрупким, не склоненным к налипанию на абразивный круг.

Почему имеет смысл обрабатывать методом обкатки хрупкие материалы? Да потому, что клин для разрушения хрупкого материала эффективнее, чем резец (так как резец производит резание и скалывание хрупкого материала, а клин дает трещины, что при разрушении материала более эффективно).

Почему обкатку можно применять как вспомогательный метод при шлифовании? Потому что процесс обкатки – это процесс разрушения поверхности и как самостоятельный вид обработки может применяться крайне редко (для увеличения шероховатости). Но, как вспомогательный метод при шлифовании, он найдет наибольшее применение, потому что обеспечит более эффективную обработку, увеличит производительность и снизит себестоимость выпускаемой продукции, позволит продлить срок работы дорогостоящим алмазным шлифовальным кругам.

На основании сказанного можно сделать вывод. Как правило, обработка обкаткой должна вестись непосредственно перед шлифованием, а при снятии больших припусков – одновременно с ним. Следовательно, нужны новые обкаточно-шлифовальные инструменты. Процесс обкатки должен осуществляться с ультразвуковой осевой вибрацией. Для этого эффективнее использовать тепловую энергию, затрачиваемую на нагрев металла, процесс необходимо соединить с процессом одновременного шлифования. Для этого нужен новый инструмент: обкаточно-вибрационно-шлифовальный.

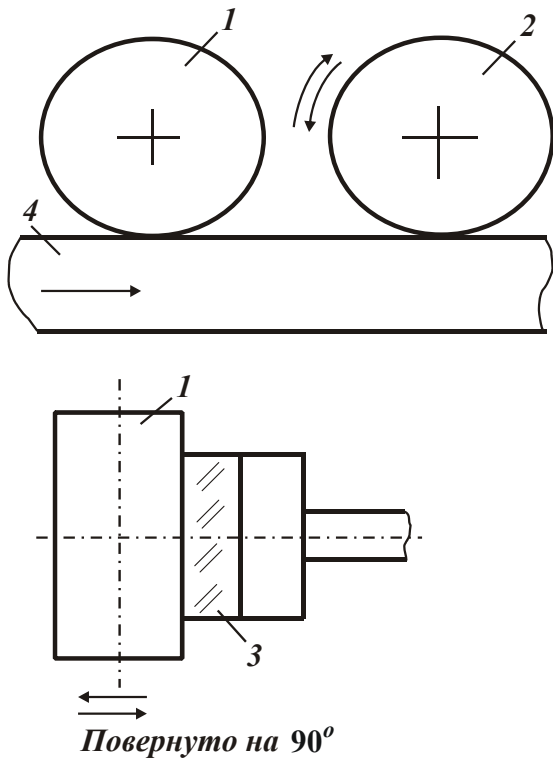


Рис. 4.4. Схема обкатки в процессе абразивно-шлифовальной обработки: 1 – обкаточный круг; 2 – шлифовальный круг; 3 – вибратор, приводящий в движение обкаточный круг; 4 – обрабатываемая деталь.

детали. Вибрации на обкаточном и шлифовальном кругах и детали могут производиться в трех плоскостях. Кроме того, при обработке можно осуществлять возвратно-поворотные движения кругами. Представляет интерес ударно-прерывистая обкатка, а также прерывистая обкатка с прерывистым шлифованием.

4.5.2. ДВИЖЕНИЕ СРЕЗАЕМОЙ СТРУЖКИ ПО ЗАГОТОВКЕ И АБРАЗИВНОМУ КРУГУ

Как известно, абразивно-шлифовальный инструмент из-за отсутствия достаточного объема межзеренного пространства между обрабатываемой поверхностью и связкой не может эффективно вместить весь объем образующейся стружки. В результате этого стружка уплотняется в межзеренном пространстве, закрывает режущие кромки зерен. Уплотненная масса стружки вызывает затупление абразивного инструмента, спекается, пригорает и засаливает круг, увеличивает давление на круг, что приводит к разрушению зерен и появлению автоколебаний в технологической системе. Эта проблема в настоящее время частично решена путем использования прерывистых кругов. Однако, при прерывистом шлифовании одни и те же группы зерен подвергаются ударным нагрузкам, что приводит к их более интенсивному разрушению, а периодичность

Для разрушения некоторых пластичных материалов методом обкатки при шлифовании, обкаточно-вибрационный круг необходимо изготавливать из износостойчивого сплава (вместо зерен – конусные шипы). Зерна шлифовального алмазного круга, проходя за обкаточно-вибрационным кругом, облегчают процесс резания, т.к. они проходят через выдавленные канавки и риски от вибрации (т.е. получается прерывистое шлифование), при этом снимается выдавленный материал.

При обработке хрупкого материала в нем остаются микротрещины, которые облегчают процесс резания. Вибрации накладываются на обкаточный круг (при этом не требуется высокая точность и качество обработки), а шлифовальный круг, следуя за обкаточным, обеспечивает высокие показатели точности и качества обработки, рис. 4.4.

Вибрации могут создаваться не только на обкаточном, но и на шлифовальном круге, а также на обрабатываемой

ударных нагрузок вызывает вибрации – биение всей системы шлифования. Чтобы исключить данные явления, необходимо обратить внимание на некоторые мало изученные при абразивно-шлифовальной обработке вопросы.

Какая образуется форма стружки и по каким поверхностям она скользит, как она разрушается и какое влияние оказывает в переносе тепла? Как долго и в каком объеме она может собираться перед зерном, не разрушая его, и куда может выходить? Как зависит объем образующейся стружки от структуры обрабатываемого материала? Какой рабочий зазор между поверхностью и связкой круга наиболее эффективен для данного круга, и как его определить в процессе работы? В теории резания еще не достаточно учитывается структура, твердость и пластичность материала, а следовательно, и процесс образования стружки, ее взаимодействие с обрабатываемым и абразивным материалами и связкой круга. Остаются пока недостаточно изученными вопросы: как отличаются процессы образования и движения стружки на разных материалах при обработке всухую и с применением СОЖ? Как влияет материал связки и зерен на движение стружки? Как изменяется процесс резания и движение стружки при разных компонентах СОЖ, в зависимости от температуры, чистоты, плотности, способа подачи? Как влияют тугоплавкие смазки на движение стружки? Как влияют разные коэффициенты трения материалов: зерен, связки и обрабатываемых материалов? Как учитываются площади и как изменяется движение стружки от изменения площади поверхностей и применения СОЖ? Площадь поверхностей обрабатываемых зерен и связки круга изменяется постоянно по мере износа круга.

Данные вопросы сложны в изучении, так как они остаются закрытыми для наблюдения. Было бы легче изучить данный вопрос, если бы мы могли мгновенно остановить круг и произвести соответствующие замеры. К сожалению, вопросам проведения замеров при абразивно-шлифовальной обработке также уделяется чрезвычайно мало внимания.

Для рассмотрения вопроса перемещения стружки в зоне резания, вспомним, какие существуют круги и виды шлифования: круги на эластичных органических связках; круги на хрупких керамических связках; круги на высокопрочных металлических связках; электроискровое шлифование; электрохимическое шлифование.

Для рассмотрения вопроса перемещения стружки целесообразно расположение зерен рассматривать на трех уровнях:

- 1-й уровень – максимальное выступание зерна на высоту H , зубья первого уровня максимально участвуют в резании;
- 2-й уровень – короче первого на $1/3$. Зерна (зубья) второго уровня участвуют в резании;
- 3-й уровень – короче первого на $2/3$ и короче второго на $1/3$. Зубья третьего уровня в резании основного металла практически не участвуют, но они участвуют в измельчении стружки.

Зерна третьего уровня выполняют работу как препятствующую продвижению стружки, так и способствующую ее продвижению. При износе зерна 1-го и 2-го уровней, когда стружка по ширине могла бы стремиться к высоте кру-

га, зубья 3-го уровня вступают в работу. На рис. 4.5 показана схема расположения зерен (зубьев) по уровням на абразивных и шлифовальных кругах: 1 – зубья 1-го уровня; 2 – зубья 2-го уровня; 3 – зубья 3-го уровня.

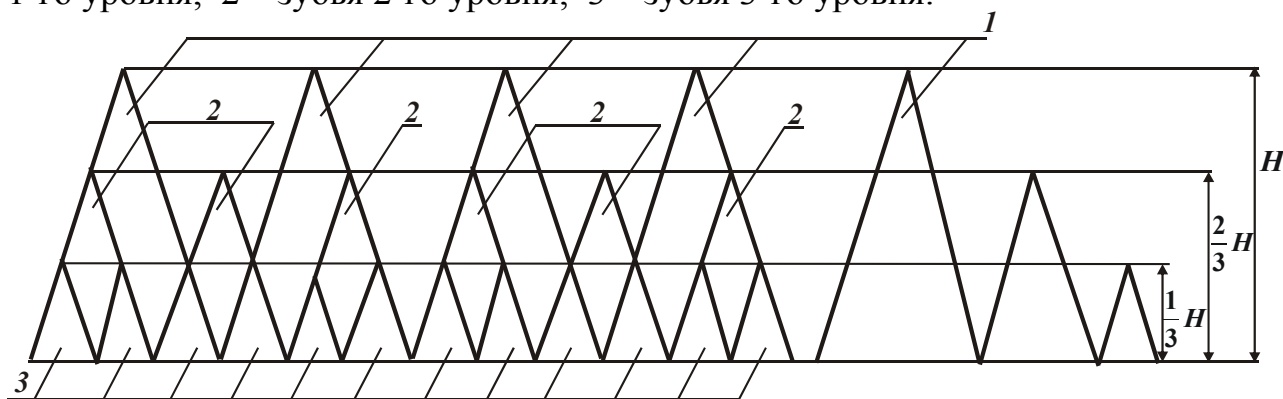


Рис. 4.5. Схема расположения зерен (зубьев) по уровням на шлифовальных кругах.

При шлифовании плоских поверхностей торцом чашечного круга или боковой поверхностью кольцевого круга, на срезанную стружку действует центробежная сила. Следовательно, под действием этой силы стружка может перемещаться между другими зернами и зазором от поверхности обрабатываемой детали до связки круга, воздействуя на поверхность и связку круга. Срезанная зерном стружка так же режется и другими зернами. Перемещению срезанной стружки в сторону боковой поверхности чашечного круга и по боковой поверхности кольцевого круга препятствуют зерна 3-го уровня и канавки, оставленные на обрабатываемой поверхности зернами 1-го и 2-го уровней. Кроме того, другие зерна и связывающая зерна поверхность круга, могут вдавливать часть стружки в обрабатываемую поверхность. Из этого следует, что во время срезания зерном стружки, она перемещается почти по всей передней и частично боковой поверхности зерна, где дополнительно может встречать грани и срезаться. Перемещаясь по связке и обрабатываемой поверхности, она может частично раскалываться, вминаться, прилипать, плавиться. Часть стружек выбрасывается зернами и очень небольшая часть стружек при плоском шлифовании, проходя между зернами и обрабатываемой поверхностью, выбрасывается центробежной силой. Передвижению стружки в сторону центробежной силы частично способствуют набегающие зерна, т.е. они ее перемещают по поверхности и выталкивают гранями. В теории резания абразивными инструментами не достаточно учитывается тот факт, что стружка, срезанная зернами 1-го уровня, зернами 2-го и 3-го уровней, может переворачиваться, катиться и разрезаться дополнительно.

А также в теории резания недостаточно учитывается твердость и пластичность материалов и их структура.

Твердость по Бринеллю изменяется от 3 единиц для графита до 2000 единиц для алмаза. Если взять структуры железоуглеродистых сплавов: феррит, аустенит, перлит, ледебурит, цементит, то все они имеют разную твердость, но процесс образования, взаимодействия, движения стружки больше зависит от структуры, чем от твердости. Это вносит свои коррективы в процесс резания и

должно учитываться структурными коэффициентами. Более того, если взять некоторые марки бронзы, латуни, стали, алюминиевых сплавов и многих других, одинаковых по твердости, то можно увидеть, что при их обработке процесс резания протекает совершенно по-разному. В данном случае процесс стружкообразования сильно зависит от структуры обрабатываемого материала.

Разные коэффициенты трения зерен, связки и обрабатываемых материалов, разная степень измельчения стружки, а, следовательно, разные занимаемые объемы, разное влияние СОЖ на движение стружки, разная твердость и пластичность – все это в большой степени определяется структурой материала. Поэтому необходимо определить структурные коэффициенты обрабатываемых материалов и учитывать их в теории резания.

При электроискровом шлифовании эта проблема решается в большей степени за счет перехода части обрабатываемого металла в жидкое состояние. Жидкий металл легче распределяется в объемах между зернами-зубьями и не нарушает формы режущих зерен, меньше их затупляет.

При электрохимическом шлифовании, наряду с искровой формой обработки, идет процесс разрушения поверхности обрабатываемого материала и стружки химической средой, растворение в ней, что также способствует более равномерному процессу распределения срезанного материала по объему в межзеренном пространстве. Кроме того, при электроискровом электрохимическом шлифовании происходит автоматическая правка круга.

А есть ли способ, позволяющий повысить режущие свойства абразивно-шлифовальных кругов, уменьшить режим затупления, увеличить стойкость зерен, уменьшить неравномерное заполнение стружкой межзеренного пространства и засаливание круга, обеспечить процесс освобождения круга от стружки, повысить производительность и снизить себестоимость обработки? Конечно, есть! Рассмотрим вибрационно-абразивно-шлифовальную обработку, которая дает ряд преимуществ перед другими видами абразивно-шлифовальной обработки по удалению стружки.

Чем выгодны микродвижения круга “вверх – вниз” и возвратно-поступательные “в стороны”? Микродвижения круга “вверх-вниз” позволяют более свободно продвигаться стружке и выходить за пределы круга, освобождают зерна от прилипания к ним стружки, а применение СОЖ легче вымывает их из-под круга.

Чем выгодны микродвижения круга “в стороны”? Во-первых, вступают в процесс резания боковые грани зерен. Во-вторых, траектория движения зерна подчиняется синусоидальному закону. В-третьих, обеспечивается подготовка теплового режима. В-четвертых, обеспечивается прерывистое шлифование за счет „подрезки” поверхности детали перед работой других зубьев, если такие движения осуществляются периодически. В-пятых, обеспечивает сверхвысокая скорость резания. В-шестых, часть стружки остается за шлифовальным кругом. В-седьмых, при смене граней резания облегчается движение стружки и повышается эффективность применения СОЖ.

Таким образом, применение вибраций круга, а также СОЖ, электроискровых, электрохимических видов обработки значительно улучшает процессы

резания и вывод стружки из-под круга. При этом необходимо учитывать коэффициенты структурных составляющих обрабатываемых материалов. Для выполнения вибрационных движений круга требуются новые конструкции установочных приспособлений и другие конструкции кругов, а так же нужны новые устройства и методы измерения параметров обработки.

4.5.3. ПРЕИМУЩЕСТВА ВИБРАЦИОННО-АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Преимущество вибрационно-абразивно-шлифовальной обработки перед прерывистым шлифованием заключается в том, что работающие зерна практически не теряют контакта с обрабатываемой поверхностью, а если и теряют, то на очень малый промежуток времени и расстояние. Поэтому в моменты входа и выхода зерен имеет место практически один и тот же тепловой режим. При прерывистом шлифовании этот режим резко отличается. При определенных условиях резания некоторых материалов прерывистыми кругами может возникнуть ситуация, когда зерна выходят из контакта, оставляя материал, оптимальный (по температуре) для резания, который затем охлаждается, а зерна, внедряющиеся в обрабатываемый материал, встречаются со структурой, практически близкой к закаленной. При обработке прерывистыми кругами количество зерен значительно меньше, т.к. меньше рабочая поверхность круга. Поэтому зерна в процессе обработки испытывают различные нагрузки (от ударной нагрузки до плавного врезания на оптимальную глубину) и работают в одностороннем направлении, т.е. режущие кромки остаются одни и те же в течение определенного промежутка времени – пока не изменится их геометрия в результате износа, сколов, выкрашиваний и т.д. При прерывистом шлифовании нарост расплавленного металла на зерне значительно ниже, чем при обычном шлифовании, но все-таки он имеет место. При вибрационном шлифовании нарост расплавленного металла на зерне не образуется. Перемещение зерен по синусоидальной линии с частотой колебаний выше звуковых нельзя в полном смысле отнести к прерывистому резанию, как, например, при шлифовании кругом с количеством канавок 6, 8, 10, 12, 16, 18 и т.д. Существенным недостатком прерывистого шлифования является то, что прерывистые круги не имеют обратной связи.

4.5.4. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВТОКОЛЕБАНИЙ И УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Проблема автоколебаний при шлифовании является одной из нерешенных, от которой зависит, прежде всего, качество обработки (недопущение брака), производительность и стойкость инструмента.

Возникновение автоколебаний – процесс естественный для шлифования, который зависит от следующих факторов: неоднородности массы круга, откло-

нений от геометрических размеров и формы круга, балансировки и посадки круга, биений шпинделя, вибраций стола, упругих деформаций вала, детали, неодинаковой твердости обрабатываемого материала, переменности припуска обработки, больших поперечных сечений стружки, затупления и засаливания круга. Возникающие автоколебания находятся в области собственных частот колебаний системы и частот вращения деталей двигателя, передаточных механизмов и круга. Такие колебания при обработке, как правило, неизбежны. Если посмотреть на процесс обработки отдельным зерном, то его можно назвать случайным. Он, как правило, несет ударную нагрузку неожиданно, бессистемно, т.к. частота его лежит в области дозвуковых частот и связана с одним или несколькими вращениями круга. Геометрия обрабатываемой поверхности для следующего зерна практически не изменяется.

Поэтому эти процессы могут влиять как отрицательно, так и положительно на качество обрабатываемой поверхности детали, производительность и стойкость инструмента. В таких единичных вибрациях все зависит от амплитуды колебаний. Но, к сожалению, на практике мы не можем управлять данными вибрациями и, при определенных режимах обработки, отдельные упругие деформации и вибрации отдельных узлов начинают входить в резонанс с собственными колебаниями всей системы.

В этом случае резонансная амплитуда колебаний приводит к ухудшению качества и точности обрабатываемой поверхности, интенсивному разрушению зерен круга и их выкрашиванию. Конечно, о повышении производительности и качества обработки, стойкости инструмента в этом случае говорить не приходится. Возникающие автоколебания при любой обработке наносят вред. Методам борьбы с автоколебаниями посвящено много работ, которые действительно позволили раскрыть сущность этого явления и математически обосновать условия уменьшения интенсивности автоколебаний.

Рассмотрим причины возникновения автоколебаний с учетом характеристик обрабатываемой поверхности. Автоколебание круга вызывает образование волнистой поверхности. Если рассматривать систему вибраций, возникающую естественно, и оценивать ее влияние на процесс обработки, то даже при всех положительных случайностях, ее надо отнести к отрицательным явлениям, как и возникающие автоколебания, поскольку любые колебания с любой амплитудой, которыми мы не управляем, могут привести только к случайному улучшению качества, производительности и увеличению стойкости инструмента.

Вибрации, которые можно создавать с определенной частотой и которые будут автоматически подбираться для оптимальной обработки – для гашения частот собственных колебаний системы, будут способствовать предотвращению возникновения автоколебаний, улучшению качества, производительности и стойкости инструмента.

Если рассматривать систему автоколебаний и оценивать, как она влияет на обрабатываемую поверхность, то можно обнаружить, что с определенных частей поверхности материал удален в больших объемах, а с других – остался практически нетронутым. Это явление автоколебаний и следует использовать в процессе обработки, т.е. создавать автоколебания круга искусственно с разными

ми периодами. Тогда вся поверхность может быть обработана с повышенной производительностью и лучшим качеством. Речь идет об управлении процессом таким образом, чтобы инструмент сам реагировал на процесс обработки и колебания, а с помощью обратной связи изменял их для получения оптимальных режимов обработки. Для этого нужны новые конструкции шлифовальных систем и кругов.

Таким образом, при внимательном изучении отрицательных явлений при шлифовании их можно перевести в положительные. Волновая выемка материала в одном положении круга при автоколебаниях переводится и распространяется по всей обрабатываемой поверхности управляемыми вынужденными колебаниями звуковых и ультразвуковых частот, а применение обратной связи делает этот процесс автоматически управляемым с выбором оптимального режима обработки.

4.5.5. АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА С НАЛОЖЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА СРЕДУ

В настоящее время без особых затрат на оборудование и инструмент при абразивно-шлифовальной обработке можно ультразвуковыми колебаниями воздействовать непосредственно на среду, в которой производится такой вид работ. В этом случае сила воздействия ультразвуковых колебаний примерно обратно пропорциональна квадрату расстояния до места обработки (воздействия).

Наложение ультразвуковых колебаний на среду не гарантирует колебаний круга или детали с определенной амплитудой. Поэтому говорить о шлифовании с применением ультразвука в этом случае можно условно. Да, ультразвук, действующий на среду, в которой происходит обработка, очень положительно влияет на качество обработки, и здесь есть большие резервы для совершенствования, но выдавать это за ультразвуковую обработку шлифованием, не стоит.

При чистой ультразвуковой обработке должны перемещаться круг или деталь, или круг и деталь одновременно с определенными амплитудами, с определенными частотами и в определенных плоскостях.

Предположим, что среда обработки – воздух. Выполняется процесс плоского шлифования периферией круга. Ультразвуковые волны можно направить на периферию круга параллельно плоскости поверхности шлифования. Ультразвуковые волны, передаваемые через воздух, окажут некоторое воздействие на сжатие и растяжение круга, вибрацию зерен в круге, окажут воздействие на изгиб вала, а если применяется СОЖ, то и на нее. Воздействие ультразвуковых колебаний на СОЖ одно из самых заметных и ощутимых. СОЖ лучше проникает в зону обработки, лучше удаляет стружку из зоны обработки и с поверхности круга, при определенных воздействиях образуется кавитация жидкости, которая также улучшает обработку. Воздействие на круг и обрабатываемую поверхность будет минимально, и говорить об амплитуде колебаний без

современных методов измерения очень сложно.

Ультразвуковыми колебаниями можно воздействовать на боковую поверхность круга параллельно плоскости обрабатываемой поверхности. В этом случае воздействие ультразвука происходит сбоку на зерна, на большую боковую поверхность круга и на СОЖ, если она применяется. Так как боковая поверхность круга больше, то могут возникнуть упругие деформации круга и вала. В зависимости от материала круга, может даже произойти разрушение круга.

Рассмотрим направленное действие ультразвуковых колебаний через воздух на круг сверху, перпендикулярно плоскости обрабатываемой поверхности. Ультразвуковые колебания в этом случае воздействуют на периферию круга, обрабатываемую поверхность и СОЖ, если она применяется. Такие воздействия могут направляться под любым углом. Ими можно воздействовать на любую среду, в которой идет обработка. Если обработка ведется в кислороде, водороде, углекислом газе, азоте, инертном газе или другой среде, то ультразвуковые воздействия через среду будут совершенно разными. Для того чтобы увеличить ультразвуковые воздействия, необходимо увеличить давление (плотность) среды. Отсюда следует, что абразивно-шлифовальную обработку необходимо перенести в жидкую среду, например, в керосин, воду, масло и т.д. Вода плотнее воздуха в 800 раз, поэтому передача ультразвуковых колебаний и их воздействие на обработку значительно увеличится.

Абразивно-шлифовальную обработку с наложением ультразвука через среду можно производить поочередно по плоскостям с разных точек или одновременно. Вариантов таких наложений может быть очень много. Применение ультразвука с наложением его через воздух несомненно повышает результаты обработки, однако очень сложно их зафиксировать и доказать эффективность затраченной энергии на вибрацию. Затраты на ультразвук, качество и снижение себестоимости – это те факторы, которые определяют эффективность обработки, но которые еще мало изучены.

Кроме того, этот метод имеет перспективные направления развития, если обработку вести не по жесткой схеме, а по упругой (подвижной) схеме. Воздействие ультразвукового вибратора можно изменить не только изменением угла, расстояния или мощности и частоты воздействия, но и с помощью изменения плотности среды. На сам вибратор могут накладываться вибрационные воздействия, импульсивно изменяться давление среды и другие факторы, которые при конструкции подвижно-упругих кругов обеспечат шлифование самых твердых материалов с получением высоких показателей производительности, качества и снижением себестоимости обработки.

Каждый вид и метод абразивно-шлифовальной обработки имеет свои эффективные области применения. С другой стороны, передача ультразвуковых колебаний через среду не столь эффективна, как передача их непосредственно на шлифовальный круг при полном прямом контакте.

На основе сказанного можно заключить, что абразивно-шлифовальная обработка с наложением ультразвуковых колебаний на среду заслуживает более глубокого изучения для последующего повсеместного и эффективного применения в народном хозяйстве. Требуется только новые подходы к приме-

нению сред и изменению их плотности, к замене жесткого крепления круга на упруго-подвижное крепление. Нужны новые методы измерения параметров вибраций и качества обработки для применения многоточечных источников вибрации. Необходимо разрабатывать и создавать новое оборудование для прямой передачи ультразвуковых вибраций на круг.

4.5.6. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ

В технической литературе, как правило, большинство авторов утверждают, что обработка резанием с применением ультразвука, в том числе и шлифованием, намного эффективнее и производительнее. При этом не приводятся рассматриваемые схемы шлифования с применением ультразвука, ничего не говорится об инструменте, на который воздействует ультразвук. Поэтому наложение ультразвуковых колебаний при электроискровом алмазном шлифовании и шлифовании другими видами не дают представления об используемом инструменте обработки. При неизвестном инструменте не приводятся данные по амплитуде, частоте и направлению колебаний. А если речь идет о колебаниях в нескольких плоскостях, то какими способами они достигаются и как согласуются между собой? Если допустить, что обработка ведется кругом, тогда необходимо знать диаметр круга, скорость вращения, место приложения колебаний, направление колебаний, частоту и амплитуду колебаний. Как учитываются колебания системы, защищается ли деталь и круг от этих колебаний? Если защищается, то как? Следовательно, о пути резца в пространстве мало что известно: скорость резца не известна, изменение направления угла резания не известно, силы, действующие на резец на разных участках пути, не известны. В ряде работ применяется выражение "...при наложении ультразвука, получаем значительный эффект". Прежде всего, надо разобраться, куда и как "накладывается" ультразвук. Если приложить ультразвуковой вибратор с мощностью 0,2 кВт к массе в 1 тонну и к массе в 1 кг, то, наверное, результат будет совершенно разным. Массу в 1 тонну вибратор колебать не сможет и, в лучшем случае, ультразвук просто превратится в тепловую энергию. А массу в 1 кг такой вибратор может колебать с определенной частотой и амплитудой. Поэтому, когда говорят об ультразвуковых колебаниях сразу в трех пространственных направлениях, то понятно, что при существующих кругах и приспособлениях ультразвуковую вибрацию одного абразивного круга сделать очень проблематично, а следовательно, надо вибрацию накладывать на другие узлы или механизмы станка. Если предположить, что вибрация осуществляется от одного вибратора, то, как установить амплитуду и частоту колебаний, так как массы узлов разные? Если вибрация осуществляется разными вибраторами, то, как они согласуются с собственными колебаниями системы?

При существующих кругах и способах их крепления на станке, получить согласованные одинаковые по амплитуде колебания в трех плоскостях практически невозможно.

Задача математически неопределенная, т.к. нет совершенно одинаковых

индукторов. Индукция и самоиндукция на одинаковых вибраторах будет на больших частотах отличаться, система внесет резонансные коррективы в эти колебания, т.к. собственные колебания системы в трех плоскостях пространства разные и система будет работать по своим законам. В каждой плоскости есть свои автоколебания, которые могут вызвать резонансы на определенных гармониках и каждая плоскость внесет корректировку в другую плоскость своими резонансами. Математически можно описать систему уравнений с помощью неопределенных интегралов по плоскостям, но решить ее чрезвычайно сложно. К тому же даже в интегральных уравнениях по плоскостям нельзя учесть все, например, неоднородность обрабатываемого материала, неоднородность круга, случайные толчки, заклинивания в механизмах, колебания электрического тока, колебания магнитных полей, колебания подачи СОЖ и т.д. Без схемы подключения ультразвуковых колебаний делать расчеты совершенно бессмысленно даже применительно к одной плоскости. К тому же надо максимально изолировать вынужденную вибрацию от собственных вибраций.

При применении ультразвуковых колебаний надо задействовать в них как можно меньшую массу, отключив ее от остальной системы. В идеале каждое зерно по отдельности должно участвовать в ультразвуковых колебаниях. Такой вид ультразвуковой обработки известен. Это когда под ударный инструмент ультразвукового вибратора вдуваются или вводятся эмульсией абразивные частицы, и инструмент вибратора ударяет по ним, изменяя направление их движения, т.е. направляет их на обрабатываемую деталь.

Недостаток такой обработки заключается в том, что под удар ультразвукового вибратора попадает очень мало зерен, и они подвергают износу ударную часть вибратора, а еще часть зерен разрушается при ударе об инструмент, т.е. далеко не все частицы даже из тех, что попали под удар, достигают цели. Удар инструмента приходится на разные поверхности, поэтому направление силы удара и движение частиц не всегда перпендикулярно обрабатываемой поверхности. А это значит, что коэффициент полезного действия такой обработки низкий. Отсюда следует, что лучшее положение – когда участвует в ультразвуковой обработке не вся система, а по возможности минимальная часть ее с максимальной изоляцией от всей системы, т.е. абразивный круг или его часть, где объединена в одно целое часть зерен, которые связаны между собой и приводятся в ультразвуковые колебания. Поэтому утверждать о массовом применении ультразвуковой обработки в шлифовании можно будет тогда, когда появятся соответствующие приспособления, устройства и специальные абразивные круги. Кроме того, вибрационную часть можно подвергать не только колебаниям в трех плоскостях, но и крутильным колебаниям.

4.6. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕОРИИ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Теория абразивно-шлифовальной обработки требует новых подходов и расчетов на уровне работы единичного режущего зерна под воздействием на

него механических и тепловых нагрузок.

При анализе работы режущего зерна необходимо учитывать все силы, приложенные к его режущим граням и плоскостям, и знать какое предельное напряжение данное зерно может выдержать; какие силы будут действовать на зерно, связку и абразивный круг в целом для различных изменяющихся температурных режимов; с какой скоростью будет нарастать и убывать температурный режим и с какой цикличностью повторяться.

В теории резания не учитывается уплотнение обрабатываемого материала режущими зёрнами, стружкой, СОЖ, образованием окисных пленок, карбидов, нитридов и т.д.

При “нормальном” шлифовании, без применения ультразвуковых колебаний круга, всего 50% всех зерен, расположенных на рабочей поверхности круга, могут участвовать в процессе резания материала, а согласно трехуровневой схеме – в резании участвует около 33%, в “чистом” резании – около 10% зерен.

Из всех зерен, благоприятно расположенных для резания, 23% зерен в какой-то степени ухудшают процесс резания, частично уплотняя металл, 33% зерен (из зерен, неблагоприятно расположенных для резки) просто ухудшают процесс резания, значительно уплотняя металл.

Всего получается, что 56% зерен в какой-то степени ухудшают процесс резания. Как же они могут замедлить, ухудшить процесс резания? Эти зерна имеют передние и задние углы в плане 90° и более (отрицательные углы), поэтому они участвуют в уплотнении металла. При взаимодействии с обрабатываемым металлом, они обеспечивают следующие виды деформаций и виды обработки, уплотняющие обрабатываемый материал: выглаживание, волочение, нагартовывание, вдавливание, смятие, ломку и резание стружки, вминание стружки, ненужные вырывания зерен из обрабатываемого металла. Стружка, попадая под зерна, тормозит движение, требует дополнительных энергетических затрат на ломку, резание, перемещение по поверхности обрабатываемого металла, увеличивает коэффициент трения, заклинивает и ломает зерна, вырывает их из связки, занимает их место, прилипает к зернам и связке. Поэтому требуются дополнительные энергетические затраты для освобождения стружки с поверхности круга и обрабатываемой поверхности.

Обработка без СОЖ вызывает интенсивный нагрев обрабатываемого металла, образование закалочных структур, появление различных химических соединений на поверхности обрабатываемого металла, которые могут ухудшить процесс резания, – это окислы, нитриды, карбиды и т.д.

Применение СОЖ без научно-обоснованных рекомендаций и контроля также вызывает негативные факторы в процессе резания, которые большинство специалистов ошибочно относят к недостаткам инструмента.

Неправильное применение СОЖ вызывает образование закалочных структур на обрабатываемом металле и стружке. При неправильном подборе компонентов, СОЖ вступает во взаимодействие с обрабатываемой поверхностью и может образовывать пленки, ухудшающие процесс обработки. Плохо очищенная СОЖ повторно вносит в зону обработки абразивный материал и стружку.

Можно ли изменить эти процессы? Да, можно. Необходимо, прежде всего, обратиться к теории резания, выяснить проблемы, обеспечить контроль параметров процесса резания, ввести обратную связь для обеспечения оптимальных режимов процесса резания.

В настоящее время не достаточно изучать структуру износа, надо ее контролировать, управлять, изменять.

Только применение поперечных ультразвуковых колебаний на круг увеличивает число режущих зерен с 10% до 30%. Благоприятными для резания становятся практически все зерна. При этом смена режущих кромок и угла атаки все время меняется. Кроме поперечных колебаний, круг может совершать колебания еще в двух плоскостях и совершать вращательные движения в некоторых плоскостях одновременно или поочередно.

Поэтому рассмотрим данные вопросы при анализе новых конструктивных решений и схем шлифования. Выделим три варианта соразмерности режущих зерен и обрабатываемых зерен.

Вариант 1. Резец меньше зерен обрабатываемого материала. Этот вариант имеет три случая прохождения резца через зерна обрабатываемого материала. На рис. 4.6,а показан вид сверху прохождения среднего сечения резца клиновидной формы через обрабатываемый материал: 1 – резец (зерно) круга при виде сверху по среднему сечению; 2 – зерна обрабатываемого материала по среднему сечению резца.

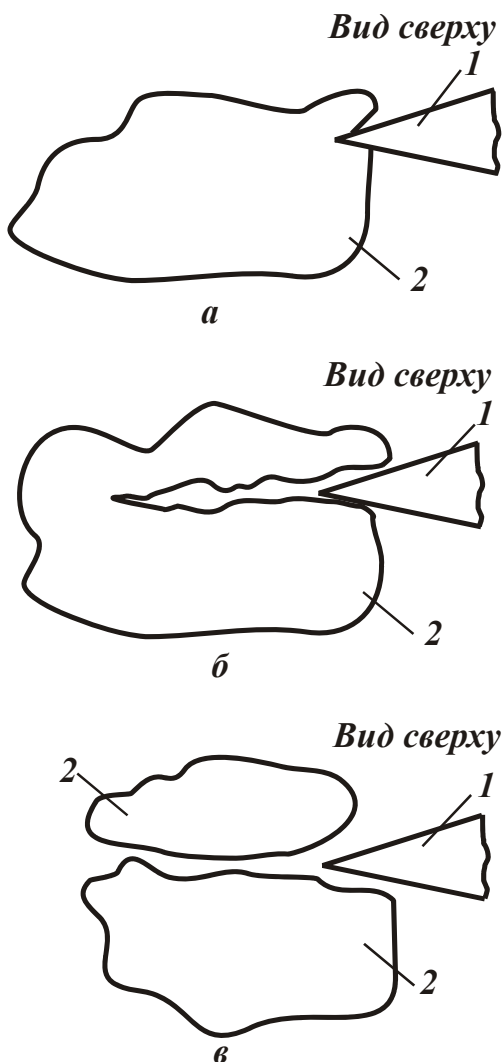


Рис. 4.6. Вид сверху прохождения среднего сечения резца клиновидной формы через обрабатываемый материал.

Случай 1 (рис. 4.6,а) – резец проходит по краю обрабатываемого зерна: 1 – материал пластичный; происходит клиновое резание, сдвиг, смятие материала; 2 – материал хрупкий; происходят сколы, срезы, дробление материала между другим зерном и клином резца.

Случай 2 (рис. 4.6,б) – резец проходит по середине обрабатываемого зерна: 1 – материал пластичный; материал поддается резанию, сжимается, вытесняется резцом по сторонам; 2 – материал хрупкий; обрабатываемое зерно раскалывается резцом, раздвигается в межзерновое пространство, крошится, срезается.

Случай 3 (рис. 4.6,в) – режущее зерно попадает в межзерновое пространство: 1 – материал пластичный; зерна сжимаются, раздвигаются, материал вытесняется, нагартовывается, может иметь место поворот зерен с переходом

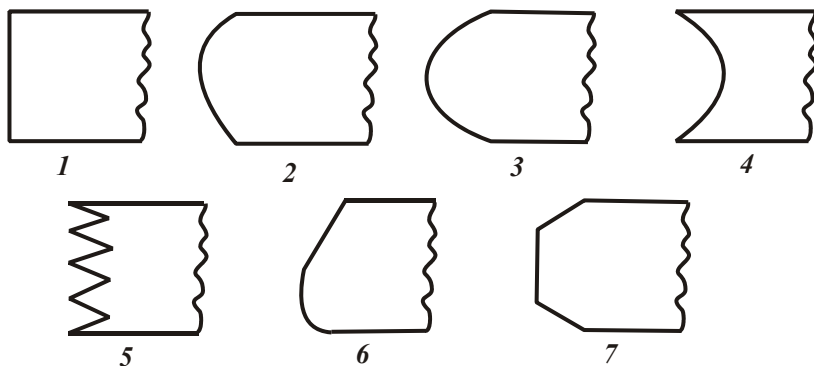


Рис. 4.7. Возможные поверхности среднего сечения режущего зерна при виде сверху: 1 – плоская поверхность режущей кромки; 2 – овальная поверхность режущей кромки; 3 – полукруглая поверхность режущей кромки; 4 – вогнутая поверхность режущей кромки; 5 – гребенка; 6 – комбинированная поверхность режущей кромки – окружность с клином; 7 – часть шестигранной и многогранной поверхности режущей кромки.

прохождении межзернового пространства (которое у некоторых веществ может быть тверже основного материала), как изменяется ударная нагрузка о поверхность зерен, вибрация зерен и т.д.

Резец может иметь не только форму клина, но и другие поверхности соприкосновения резца

(вид сверху по среднему сечению зерна показан на рис. 4.7).

Все варианты возможных линий и поверхностей соприкосновения резца с зерном в данной работе рассматривать не будем, так как это займет много времени и уведет от сути вопроса. Достаточно дать направление, а каждый частный случай – это отдельное дополнение к данному вопросу.

Вариант 2. Резец соизмерим с зерном (кристаллом) обрабатываемого материала. На рис. 4.8 показаны различные случаи прохождения резца через обрабатываемые зерна при виде сверху по среднему сечению режущего зерна (резца): 1 – резец при виде сверху по среднему сечению; 2 – зерно обрабатываемого материала.

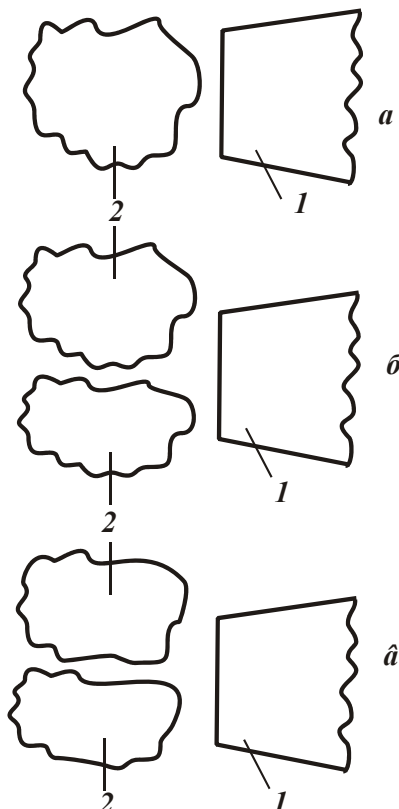


Рис. 4.8. Различные случаи прохождения резца через обрабатываемые зерна при виде сверху по среднему сечению режущего зерна (резца).

Случай 1 (рис. 4.8,а) – резец симметрично проходит зерно обрабатываемого материала: 1 – материал пластичный; нагрузка идет на среднюю часть резца и распространяется к краям; материал зерна сминается, выдавливается. 2 – материал хрупкий; зерно вырывается, скалывается.

Случай 2 (рис. 4.8,б) – резец симметрично проходит межзеренное пространство.

Характер нагружения резца (по сравнению со случаем 1) резко изменяется, по-разному нагружаются его края и средняя часть. Нагрузка перемещается от краев к средней части резца.

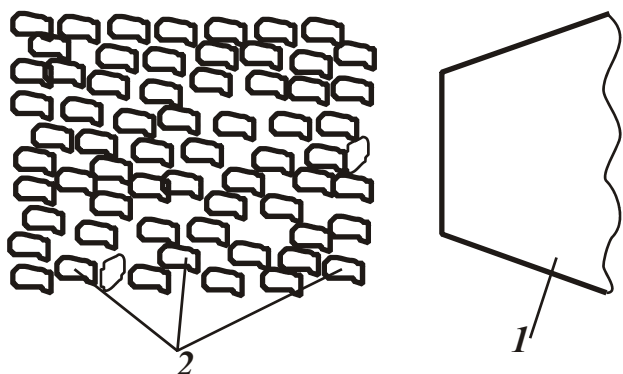


Рис. 4.9. Случаи прохождения резца через обрабатываемые зерна при виде сверху по среднему сечению режущего зерна (резца). Резец значительно больше обрабатываемых зерен: 1 - резец; 2 – зерна.

На среднюю часть резца действует нагрузка поверхностей обрабатываемых зерен и материала межзеренного пространства: а) материал пластичный. Материал зерен сминается, выдавливается, нагартовывается, срезается; б) материал хрупкий. Зерна скалываются, крошатся, срезаются, вырываются.

Случай 3 (рис. 4.8,в) – нагрузка, действующая на резец, несимметрична. Резец заходит на одно зерно 2/3 своей линией реза и поверхностью сечения, а на другое - 1/3: а) материал пластичный. Ма-

териал зерен сминается, выдавливается, нагартовывается, срезается; б) материал хрупкий. Зерна скалываются, вырываются, крошатся, режутся.

Вариант 3 (рис. 4.9). Нагрузка, действующая на резец, равномерно-переменная по всей линии контакта: 1 – материал пластичный, зерна сминаются, режутся, выдавливаются; 2 – материал хрупкий, зерна скалываются, раскалываются, вырываются, режутся.

Для более полного анализа рассмотрим вид резца и обрабатываемого материала сбоку, рис. 4.10:

Поз. 1 – резец осуществляет резание и выглаживание материала.

Поз. 2 – резец осуществляет смятие, нагартовывание, резание, вырывание и выглаживание материала.

Поз. 3 – резец осуществляет уплотнение, вминание, волочение, резание и выглаживание материала.

Поз. 4 – резец осуществляет резание материала.

Поз. 5 – резец осуществляет смятие, нагартовывание, вырывание, резание материала.

Поз. 6 – резец осуществляет смятие, вдавливание, нагартовывание, вырывание и резание материала.

Поз. 7 – резец осуществляет резание, смятие, волочение.

Поз. 8 – резец осуществляет смятие, нагартовывание, вырывание, резание, вдавливание, волочение.

Поз. 9 – резец осуществляет смятие, вдавливание, резание, волочение.

В плане переднего и заднего углов, показанных на рис. 4.10, также можно было бы рассмотреть материал в виде разных зерен, но это не увеличит широту понимания процесса при шлифовании, а усложнит анализ.

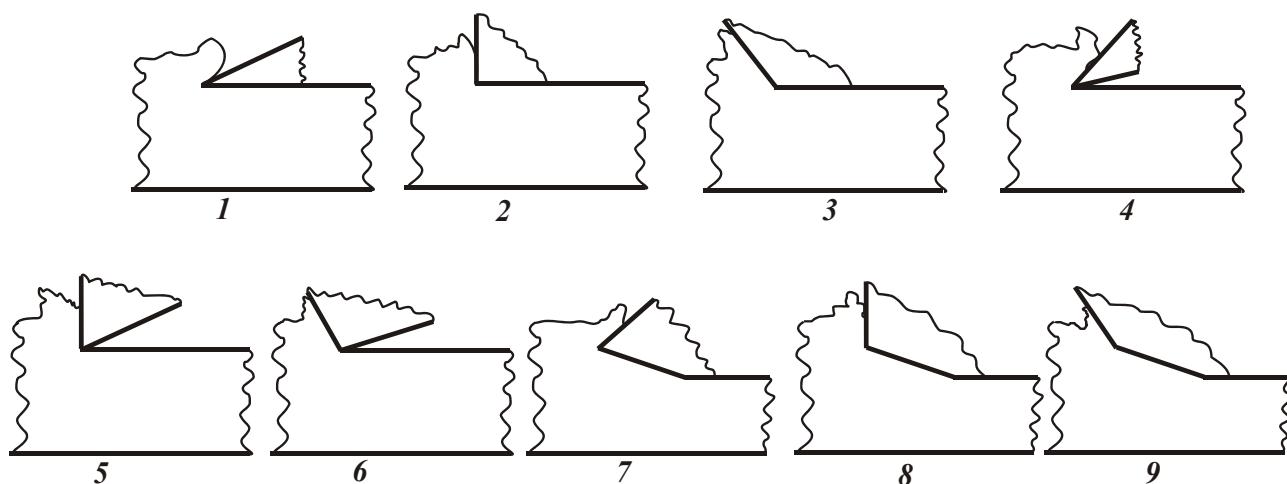


Рис. 4.10. Углы резцов: поз. 1 – положительный передний угол и 0° - задний угол; поз. 2 - 0° передний угол и 0° задний угол; поз. 3 – отрицательный передний угол и 0° задний угол; поз. 4 – положительный передний угол и положительный задний угол; поз. 5 – 0° передний угол и положительный задний угол; поз. 6 – отрицательный передний угол и положительный задний угол; поз. 7 – положительный передний угол и отрицательный задний угол; поз. 8 - 0° передний угол и отрицательный задний угол; поз. 9 – отрицательный передний угол и отрицательный задний угол.

Как следует из рис. 4.10, чистое резание происходит только на поз. 4, а во всех остальных случаях имеет место уплотнение материала. При шлифовании все позиции, изображенные на рис. 4.10, имеют место, и в зависимости от вида шлифования, и формы зерен, частично или полностью повторяются в том или ином порядке.

Для того чтобы понять сущность происходящих процессов с обрабатываемыми зернами и силового воздействия на режущие зерна, нужно применить метод сечений в разных плоскостях и рассмотреть не одно сечение, а несколько. Надо иметь в виду, что вытянутость и направленность зерен, игольчатые структуры, пластинчатые структуры и некоторые другие формы имеют разные физические показатели в разных направлениях. Поэтому сечения необходимо выполнять в разных плоскостях и рассматривать их как в отдельности, так и в совокупности.

Рассматривая плоское шлифование кругом при виде сверху (рис. 4.6, рис. 4.7, рис. 4.8, рис. 4.9) по одному сечению, надо понимать и представлять, что идет постоянное изменение переднего и заднего углов (мы сознательно для наглядности выбрали форму представления информации, используя одно сечение). Возможно представление данной информации с одновременным рассмотрением переднего и заднего углов, взаимодействия с материалом и зернами в отдельности и совместно и с видом сверху. Но после такого изложения все это нетрудно представить. Предложенный порядок изложения в дальнейшем нужен для лучшего понимания теории шлифования с применением ультразвуковых колебаний круга.

4.7. УДАРНЫЕ НАГРУЗКИ В АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ

В теории шлифования недостаточно внимания уделяется ударным нагрузкам, возникающим при резании. Поэтому рассмотрим характер ударных нагрузок и факторы, влияющие на прочность зерен в круге.

1. Ударная нагрузка, возникающая в момент касания кругом обрабатываемой поверхности. Обрабатываемый материал может быть вязким (пластичным), твердым, хрупким. Связка круга может быть эластичная, хрупкая или твердая. Зерна могут быть абразивными или алмазными. Размеры зерен – мелкие, средние, крупные. Можно выделить и другие факторы: форму зерен, плотность зерен на рабочей поверхности круга, использование СОЖ при шлифовании, структуру обрабатываемого материала (однородная или неоднородная), температуру поверхности, частоту вращения круга, снимаемый припуск материала.

2. Ударная нагрузка, возникающая при прерывистом шлифовании.

3. Ударная нагрузка, действующая на режущие зерна и структуру материала.

Очевидно, что условия прохождения режущего зерна по структурам феррита, аустенита, перлита, ледебурита, цементита, сорбита, троостита и мартенсита будут совершенно разными. Например, при шлифовании пластинчатого перлита, режущее зерно режет графитовую пластинку, а затем пластинку перлита (графит имеет твердость по Бринеллю НВ 3 единицы, а перлит НВ 200). Твердость алмаза НВ 2000. В данном случае режущее зерно испытывает явно выраженную повторяющуюся ударную нагрузку.

Совсем другой характер нагрузки, действующей на режущее зерно, будет при обработке зернистого перлита. При одинаковой твердости структур, истирание и разрушение зерен от действия циклически повторяющихся ударных нагрузок на структуре будут совершенно разными. В настоящее время отсутствуют данные об износе алмазных зерен (алмазных пирамид, конусов и т.д.) на разных структурах, нет данных о предельно допустимой равномерной скорости резания “всухую” разных структур алмазными зернами. Такие же данные необходимы и для абразивных зерен из различных материалов.

Чаще всего при обработке разных сталей и чугунов шлифовальный инструмент встречается не с однородной структурой, а с разными ее составляющими частями. Процентное содержание этих частей при расчетах не учитывается, а фактически зерно может многократно переходить от цементита к перлиту, ферриту, графиту, ледебуриту и т.д.

Твердость некоторых структур по Бринеллю: феррит – НВ 80 – 120; аустенит – НВ 170 – 200; ледебурит – НВ 700; цементит – НВ 800 – 1000.

Еще сложнее обстоит дело при обработке цветных металлов и сплавов: литейные, деформируемые, порошковые, отожженные, катанные, нагартованные, прокованные и т.д., имеющие разный химический состав и структуру, они могут иметь очень близкие механические и физические свойства.

Таким образом, рассчитать износ режущего зерна от истирания на какой-

то структуре или разрушение зерна от ударной нагрузки довольно затруднительно, так как их изучению еще уделяется мало внимания. Решение этих вопросов позволит найти оптимальные режимы резания разных материалов с учетом их структур, более эффективное применение ультразвуковых колебаний круга, СОЖ и других способов охлаждения, значительно повысит производительность обработки, продлит срок службы дорогостоящего абразивного и алмазного инструмента.

Режущие зерна, в свою очередь, при прохождении по зернам обрабатываемого материала, разрушают их путем резания, деформирования, вырывания, раскалывания. Можно ли сегодня ответить на вопрос, сколько энергии надо затратить на то, чтобы срезать половину зерна зернистого перлита или сорбита, и сколько энергии потребуется для вырывания половины зерна зернистого перлита или зернистого сорбита? В какой последовательности и какие в отдельности вредные операции в комплексе дают наилучший положительный эффект на данной структуре. Вот в этом подходе и заложено дальнейшее повышение производительности обработки. Если мы ответим на вопрос, где меньше расходуется энергии – на резание или вырывание зерна – соответственно там и будем искать способы повышения эффекта этих операций.

Но не всегда такие задачи решаются прямым путем. Возможны решения для определенной структуры и сплава в определенных комбинациях: деформированных, разрезанных, вырванных, расколотых и повернутых зернах. Опять же возникает вопрос: при каких температурах выполнить ту или иную операцию с зерном и, следовательно, найти оптимальную температуру для всей комбинации операций. Для некоторых сплавов и металлов такие операции выгоднее выполнять поэтапно. И конечно при шлифовании необходимо уделить большое внимание форме режущего зерна, способам изменения угла атаки зерен, сверхскоростному перемещению зерен в пределах размера обрабатываемого зерна, раскачиванию обрабатываемых зерен.

Каждое зерно имеет свою амплитуду колебаний. При определенной температуре зерно совершает собственные колебания с определенной частотой, изменяет угол поворота. Наша задача – с помощью режущего инструмента усилить эти колебания, т.е. вызывать резонансную амплитуду колебаний обрабатываемых зерен. Какими путями можно прийти к этому?

1. Выбором структуры круга, формы, плотности и чередования зерен.
2. Выбором припуска и скорости резания.
3. Выбором оптимального температурного режима.
4. Поверхностными электрическими импульсами, воздействием электрическими полями.
5. Ультразвуковыми перемещениями круга, детали или круга и детали одновременно.
6. Применением воздействия разночастотных магнитных полей.
7. Импульсными лазерными воздействиями.
8. Кавитационными воздействиями жидкости.
9. Ударно-упругими деформациями.
10. Деформациями растяжения, сжатия, кручения, изгиба и т.д.

Рассмотрим подробно некоторые из этих пунктов.

Пункт 3. Известно, что при определенной температуре процесс шлифования протекает с более высокими показателями, чем при другой температуре. Например, при обработке некоторых титановых сплавов при понижении температуры процесс резания ухудшается из-за повышения твердости, а при увеличении температуры – ухудшается за счет покрытия жидким сплавом режущих зерен (нароста металла на зерне – процесса адгезии).

Такой подход вполне оправдан в известных технологиях, когда не рассматриваются отдельные режущие зерна и отдельные обрабатываемые зерна. Так как мы переходим к более новым технологиям и новому применению шлифовального инструмента, то надо искать и другие способы выбора оптимальных температурных режимов для отдельного зерна. Тем более, поскольку разные зерна подвергаются разному воздействию режущими зернами, то они и колебаться должны по-разному, а также обладать разными свойствами. Поэтому оптимальный температурный режим при шлифовании и абразивной обработке надо понимать в более широком смысле.

Если мы перед режущими зернами создадим на обрабатываемой поверхности за счет разницы температур разную структуру толщиной в одно или несколько зерен, то зерна разной структуры и разной температуры по-разному будут колебаться. А это значит, что на структурной и температурной границе легче всего вырвать зерна с обрабатываемой поверхности. Если с поверхности вырвано несколько зерен, образующих пятно, то дальнейшее резание и вырывание зерен значительно облегчится. Понятно, что для многих сплавов вырывание зерен требует меньших затрат энергии, чем процесс резания. Поэтому этот прием периодически (пятнами или в пределах удаляемого припуска) необходимо применять.

Пункт 4. Воздействие электрическими полями. Если на два проводника подать одинаковые потенциалы, то они будут отталкиваться, а если подать разные потенциалы, то они будут притягиваться. Это свойство применим при обработке шлифованием. На обрабатываемую деталь и круг поочередно с определенной частотой будем подавать одинаковые и разные потенциалы. Образующееся электрическое поле поможет своим воздействием удалению поверхностных зерен с обрабатываемого металла. Пропускание высокочастотных импульсов по поверхности обрабатываемой детали вызовет поверхностный нагрев и увеличение колебаний зерен.

Пункт 6. Применение разночастотных магнитных полей. Доказано, что магнитное поле оказывает влияние на все без исключения материалы. Различие состоит лишь в том, что в одних материалах диполи намагничиваются и поворачиваются в определенном направлении, например, у железа выстраиваются в шести направлениях, а у кобальта – в двух. У других материалов диполи находятся в беспорядочном уравновешенном положении. Поэтому одни материалы проявляют выраженные магнитные свойства, а другие – не проявляют таких свойств, т.е. одни намагничиваются, а другие не намагничиваются.

Все сплавы с применением железа, никеля и кобальта обладают ярко выраженными магнитными свойствами. С помощью внешних магнитных полей их

диполи можно намагничивать и перемагничивать (менять ориентацию в пространстве). Магнитные диполи при перемагничивании раскачивают зерна, т.е. зерна при этом могут поворачиваться на некоторый угол. Собственные колебания и раскачивание зерен внешним магнитным полем могут совпадать – приводить систему в резонанс. Поэтому процесс удаления зерен значительно облегчается.

Внешним магнитным полем мы можем уменьшить углы несовпадения зерен, тогда материал уплотняется, упрочняется межзерновая связь и обработка становится затруднительной. Такой способ обработки надо проводить после выполнения шлифовальных работ, тогда он будет оправдан повышенной износостойкостью. Зерна, сдвинутые со своих мест, с нарушенными связями и большими углами несовпадения, будут возвращены в исходные положения. У них восстановятся межзерновые связи.

Для того чтобы лучше разорвать межзерновые связи на поверхности обрабатываемого металла перед инструментом, надо применить два разночастотных магнитных поля, граница между которыми на поверхности обрабатываемого материала будет наилучшим местом для обработки и удаления зерен. Одно из полей по частоте должно соответствовать собственным колебаниям зерен. Способ применения полей может быть одновременным или последовательным (поочередным), или предварительным – выбирается для каждого конкретного случая индивидуально. К сожалению, методика расчета пока отсутствует.

Пункт 7. Импульсные лазерные воздействия. Этот способ эффективен, т.к. можно нагревать обрабатываемую поверхность толщиной в одно зерно на любую заданную температуру или нагревать отдельное пятно на поверхности металла. А это значит, что шлифовальный инструмент способен вырвать часть зерен с поверхности в виде пятна. Поэтому дальнейшая обработка резанием и удаление зерен какое-то время будет проходить с меньшими энергетическими затратами, затем этот процесс следует повторить.

Применение лазерных и световых лучей эффективно на многокруговой наладке. Какая же проблема возникает там? Зерна в углах круга быстрее разрушаются и выкрашиваются, чем в центре поверхности, поэтому наладку необходимо часто править.

Чтобы продлить срок службы наладки, т.е. увеличить точность обработки, применим лазерный или концентрированный световой луч. Этими лучами можно прогревать обрабатываемый металл послойно, облегчая процесс резания в углах и сохраняя зерна круга на гранях. Лазерный луч может нагревать поверхность обрабатываемого металла под слоем СОЖ. С другой стороны, лазерный луч можно сфокусировать на центральную часть рабочей поверхности круга, что обеспечит автоматическую правку во время работы. Здесь может иметь место нагрев связки круга и облегчение удаления зерен, вдавливание зерен в разогретую связку, выгорание алмазных зерен и выравнивание их по высоте. Работа с лазером на обрабатываемом материале и круге – это новый резерв повышения качества обработки, это правка круга без съема его во время работы.

Кроме того, лазер позволяет измерять размеры, биение круга и даже выступание зерен из связки.

Пункт 8. Ударно-упругие деформации. Установлено, что если ударить по материалу в одном месте, то происходит распространение упругих деформаций по материалу. Равномерно повторяющиеся удары вызывают волновые упругие деформации по поверхности материала.

Вызвать ударно-упругие деформации на поверхности обрабатываемого материала можно передачей ультразвуковых колебаний через окружающую среду.

Пункт 9. Увеличить производительность обработки можно применением деформаций растяжения, сжатия, кручения, изгиба, а также применением комбинированных деформаций. Межзерновая связь при изгибе, сжатии, кручении изменяется. Этот факт также можно использовать при шлифовании определенных деталей и поверхностей. Некоторые материалы легче обрабатываются при растяжении и изгибе, а некоторые – при сжатии и кручении. Не допускать больших деформации изгиба, сжатия, растяжения и кручения при обработке шлифованием и при этом контролировать размеры – чрезвычайно сложно. Применение же небольших деформационных нагрузок с повторяющимся циклом значительно ускоряет процесс обработки. Например, при обработке вала шлифованием уместно применять часто повторяющиеся небольшие упругие деформации кручения в одну и другую сторону. Если частота смены деформационных нагрузок будет находиться в области ультразвуковых частот, то эффективность обработки значительно возрастет. Такие деформационные нагрузки могут быть комбинированными.

Для повышения производительности обработки все рассмотренные выше пункты 1–9 должны быть учтены и оптимально использованы. Это возможно, если процессом шлифования будет управлять компьютер, в который занесена необходимая информация о материале, детали, круге, станке, приспособлениях; обеспечены средства контроля и обратная связь, имеются соответствующие приспособления и исполнительные механизмы.

4.8. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА И РЕЖУЩИХ ЗЕРЕН – НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТЕОРИЮ РЕЗАНИЯ

При плоском шлифовании производительность обработки зависит в большей степени от скорости вращения шлифовального круга, которая ограничивается прочностью материала связки, прочностью удержания зерен в связке, материалом режущих зерен, допускаримым тепловым режимом.

Проблема увеличения скорости обработки сводится к тому, что если шлифовальный круг изготовлен для обработки со скоростью 50 м/с, то превышение этой скорости приведет к разрушению круга. Поэтому решение этой проблемы надо искать в дополнительных перемещениях шлифовального круга и режущих зерен.

Современное развитие техники позволяет обеспечить дополнительные перемещения круга, режущих зерен в трех взаимно перпендикулярных плоско-

стях и вращения в двух плоскостях.

Обеспечивая ультразвуковые колебания шлифовального круга, можно достичь при той же скорости вращения круга сверхскоростных режимов резания, меняя при этом режущие кромки на режущих зубьях.

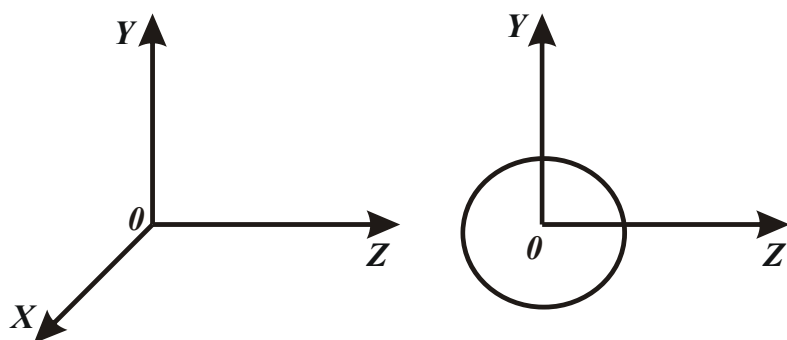


Рис. 4.11. Шлифовальный круг в декартовой системе координат.

Рассмотрим варианты вибрационных воздействий на шлифовальный круг.

Вариант 1 (рис. 4.11). Шлифовальный круг в декартовой системе координат вращается в плоскости YOZ, обрабатывает в плоскости XOZ. При этом имеют место осевые

возвратно поступательные перемещения круга вдоль оси X.

Для обеспечения ультразвуковых вибрационных воздействий на круг, рассмотрим возможности пьезокристаллических и магнитострикционных материалов.

Пьезоэлектрический вибратор на частоте 18 кГц развивает амплитуду $4 \cdot 10^{-3}$ мм. Частота колебаний кварцевых пластин может достигать до 10^9 Гц.

Магнитострикционные вибраторы работают на частоте 18-30 кГц с амплитудой 10-60 мкм.

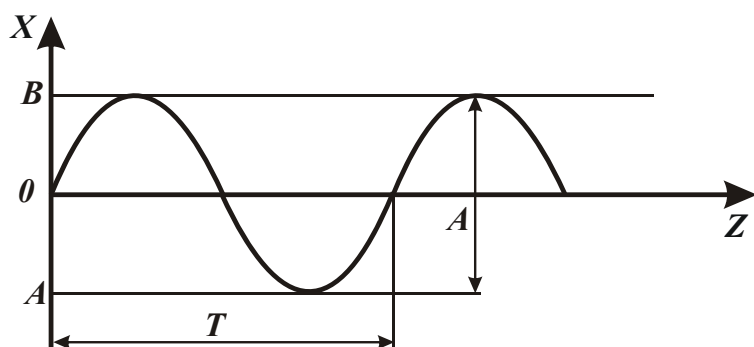


Рис. 4.12. След режущего зерна на поверхности XOZ: A – амплитуда колебаний, T – период колебания.

амплитудой 10-60 мкм.

Предположим, что круг вращается со скоростью 50 м/с и совершает ультразвуковые перемещения по оси X с частотой 20 кГц и амплитудой $4 \cdot 10^{-3}$ мм. Режущие зерна на поверхности XOZ при этом оставят след синусоиды (рис. 4.12), который опишется формулой: $Z = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$.

Рассчитаем дополнительный путь, который проходит зерно за 1 секунду. Он равен: $4 \cdot 10^{-3} \text{ мм} \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 160 \text{ мм} = 0,16 \text{ м}$. Резец при вращении круга за 1 секунду проходит путь, равный 50 м. Следовательно, дополнительный путь зерна в результате его ультразвукового перемещения составляет всего 0,32%.

Заслуживает ли внимания такое незначительное перемещение? Да, заслуживает. Если круг вращается равномерно, то скорость перемещения резца по оси X равнопеременная, т.е. резец движется с ускорением и замедлением, а это совсем новый вид резания. Следовательно, и теория резания будет другой.

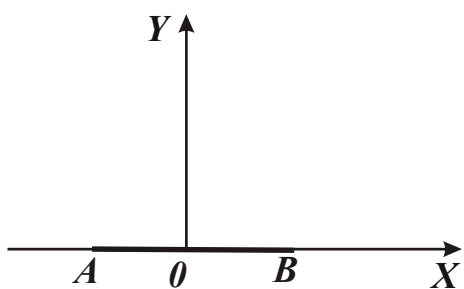


Рис. 4.13. Проекция движения режущего зерна на ось X.

Спроектируем движение режущего зерна (резца) на ось X (рис. 4.13). Если рассматривать скорость перемещения резца из точки O за 1 период, то скорость в точке O максимальная и при движении резца в точку A убывает. В точке A скорость становится равна нулю, и резец изменяет направление движения на противоположное. При движении в точку O, скорость возрастает от нуля до максимального значения, а при движении режущего зерна из точки O в точку B, наоборот, скорость убывает от максимального значения до нуля. В точке B режущее зерно изменяет свое направление движения, и скорость изменяется от нуля до максимального значения в точке O. Затем цикл повторяется. Расстояние от точки A до точки B равно $4 \cdot 10^{-3}$ мм.

Рассмотрим классическую формулу гармонических колебаний для нашего случая:

$$X = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi),$$

где A - амплитуда гармонического колебания; $(\omega \cdot t + \varphi)$ - фаза гармонического колебания; φ - начальная фаза; $\omega = 2\pi / T = 2\lambda \cdot \nu$ - циклическая (или круговая) частота; T - период колебания; $\nu = 1 / \dot{O}$ - частота периодических колебаний; $\lambda = V \cdot T$ - длина волны; V - скорость распространения волн; $\nu = V / \lambda$, откуда $T = 1 / \nu = 1 / (20 \cdot 10^3)$ Гц.

Скорость равнопеременного движения описывается зависимостью $V_t = V_0 + a \cdot t$. При условии $V_0 = 0$, имеем $V_t = a \cdot t$.

При равнопеременном движении

$$S = V_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2},$$

где знак “+” относится к ускоренному, а знак “-” – к замедленному движению.

При условии $V_0 = 0$, имеем $S = \frac{a \cdot t^2}{2}$.

Из условия задачи знаем путь и время, за которое проходит режущее зерно этот путь, т.е. S изменяется от точки A до точки O и от точки O до точки B:

$$S_{AO} = S_{OB} = 0,5 \cdot A = 0,5 \cdot (4 \cdot 10^{-3}) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (мм)}.$$

Тогда

$$t = \frac{1}{4} \cdot T = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{1}{\nu} \right) = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{20 \cdot 10^3} = 0,125 \cdot 10^{-4} \text{ (с)},$$

$$a = \frac{2 \cdot S}{t^2} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{(0,125 \cdot 10^{-4})^2} = 25600 \text{ м/с}^2.$$

Получили чрезвычайно большое ускорение.

Определим скорость:

$$V_t = a \cdot t = 25600 \text{ м/с}^2 \cdot 0,125 \cdot 10^{-4} \text{ с} = 0,32 \text{ м/с.}$$

Теоретически это совершенно новый вид обработки режущим зерном, когда при относительно небольшой скорости резания 0,32 м/с достигается огромное ускорение 25600 м/с², т.е. с таким огромным ускорением воздействует режущее зерно на единичные зерна обрабатываемого материала.

Из формулы $a = \frac{2 \cdot S}{t^2}$ и вышеприведенных формул видно, что ускорение

режущего зерна находится в прямой зависимости от амплитуды и в обратно квадратической зависимости от времени, т.е. от периода. А это значит, что ускорение режущего зерна находится в квадратической зависимости от частоты колебаний. К тому же, технические возможности позволяют изменять амплитуду колебаний на 1–2 порядка, а частоту колебаний – на 3–6 порядков. Отсюда следует, что при современном развитии техники при обработке шлифованием можно получить движение режущего зерна с огромными ускорениями.

Оценим возможности и перспективы ультразвуковых перемещений круга и режущих зерен. Рассмотрим пьезоэлектрический вибратор с частотой колебаний 10⁹ Гц и амплитудой 1·10⁻³ мм. Рассчитаем ускорение \dot{a} и скорость относительного перемещения режущего зерна V :

$$a = \frac{2 \cdot S}{t^2}; \quad S = \frac{1}{2} \cdot A = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм};$$

$$t = \frac{1}{4} \cdot T = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10^9} = 0,25 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

$$a = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ мм}}{(0,25 \cdot 10^{-9})^2} = \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{0,625 \cdot 10^{-18} \text{ с}^2} = 16 \cdot 10^{12} \text{ м/с}^2.$$

В результате получили чрезвычайно большое ускорение. Соответственно скорость резания V_t определится:

$$V_t = a \cdot t = 16 \cdot 10^{12} (\text{м/с}^2) \cdot 0,25 \cdot 10^{-9} (\text{с}) = 4 \cdot 10^3 (\text{м/с}) = 4000 \text{ м/с.}$$

Как видим, скорость резания также возросла до чрезвычайно большой величины. Следовательно, применение ультразвуковых колебаний позволяет обеспечить сверхскоростное резание со сверхскоростным ускорением и замедлением.

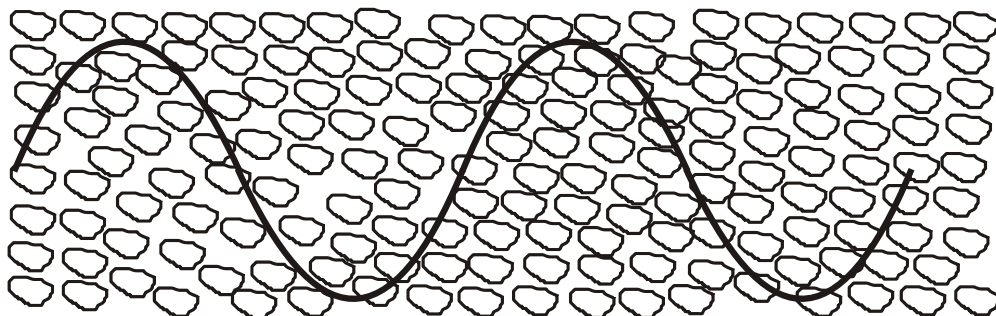


Рис. 4.14. Путь режущего зерна через обрабатываемые зерна.

При этом режущее зерно на своем пути проходит по отдельным зернам в обрабатываемом металле (материале) в различных направлениях (рис. 4.14).

Из рис. 4.14 следует, что путь режущего зерна увеличивается, и обрабатываемые зерна перерезаются режущим зерном под разными углами.

Если применить периодические ультразвуковые колебания, то режущие зерна, как во время ультразвуковых колебаний, так и вращательных движений круга без колебаний периодически будут пересекать оставленные риски. То есть появляется новый способ прерывистого мягкого шлифования. При этом продолжительность смены рабочих граней изменяется, что благоприятно будет

влиять на качество обработки и износостойкость режущих зерен.

На рис. 4.15 изображен след режущего зерна при прерывистом шлифовании, когда зерно прошло по обрабатываемой поверхности 1 раз, и когда это же зерно прошло по обрабатываемой поверхности при втором обороте круга (рис. 4.16).

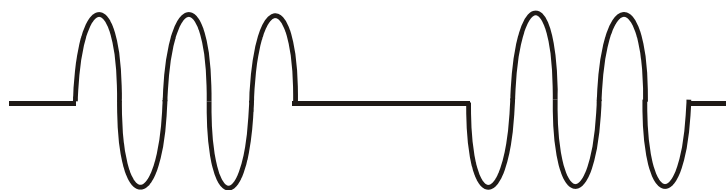


Рис. 4.15. След режущего зерна при прерывистом шлифовании.

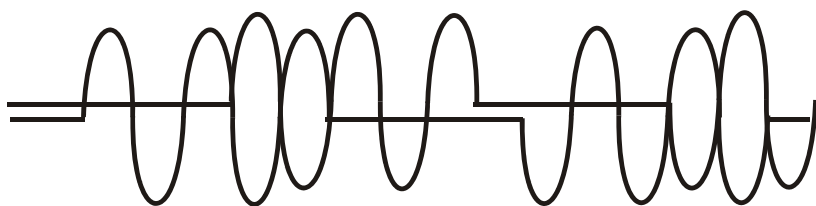


Рис. 4.16. След режущего зерна при втором обороте круга.

При применении ультразвуковых колебаний, вибрации обрабатываемых и режущих зерен, их совместное

взаимодействие могут вызвать резонансные колебания, которые приведут к разрушению межзерновых связей обрабатываемого материала.

Кроме того, колебания режущих и обрабатываемых зерен позволяют получить сверхскорости и сверхускорения, которые мы не учитывали в наших аналитических расчетах.

Все реальные преимущества ультразвуковых перемещений круга сложно перечислить. За один и тот же промежуток времени увеличивается площадь вскрытой поверхности активных центров, т.е. увеличивается соприкосновение с кислородом. А это значит, что интенсивнее протекает процесс окисления и сжигания углерода во время обработки, т.е. более интенсивно, на уровне обрабатываемых зерен, работает механика разрушения.

При ультразвуковых перемещениях имеет место отрыв стружки, т.е. освобождение круга от стружки. Условия продвижения стружки по кругу изменяются.

Возникающая кавитация СОЖ вызывает разрушение обрабатываемой поверхности микровзрывами при лопании пузырьков, изменяет движение стружки и ее измельчение. Происходит отрыв стружки от поверхности обрабатываемой

мой детали, зерен, связки круга. От взрыва пузырьков стружка получает дополнительные перемещения. Кавитация вызывает разрушение связки круга, что облегчает процесс самозатачивания.

Применение электроискровых и электрохимических методов шлифования совместно с ультразвуковой обработкой вносит много других положительных эффектов и усиливает вышеперечисленные.

Всего этого можно достичь при использовании ультразвукового перемещения круга, обрабатываемых зерен только в одном направлении. Во сколько же раз усилятся положительные эффекты при обработке, если применять ультразвуковые колебания одновременно в разных плоскостях и одновременно применять ультразвуковые возвратно-поступательные вращения?

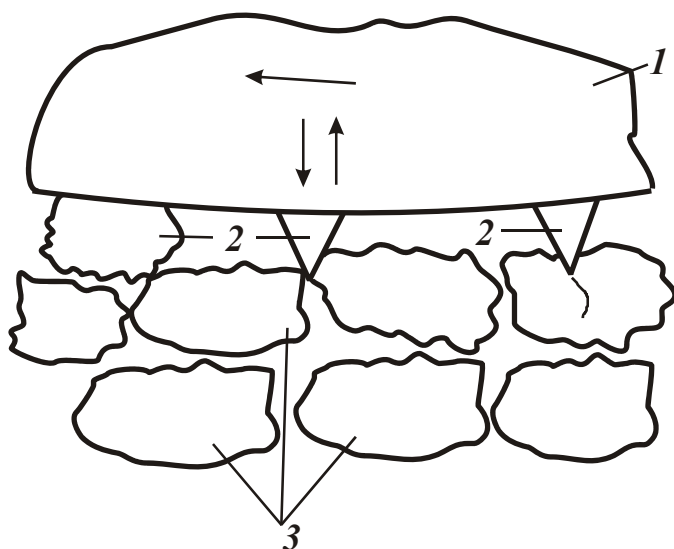


Рис. 4.17. Схема взаимодействия режущих зерен и обрабатываемых зерен: 1 – круг; 2 – зерна круга; 3 – зерна обрабатываемой поверхности.

Рассмотрим вариант применения ультразвуковых колебаний сверху вниз на обрабатываемую поверхность. При этом процесс разрушения зерен совершенно отличается от процесса при перемещении режущих зерен при боковой вибрации. Для этого достаточно рассмотреть рис. 4.17, на котором изображены режущие и обрабатываемые зерна в момент начала их сближения. Как видим, обрабатываемые зерна будут получать воздействие со стороны режущих зерен (затупленных и острых) и на разных

участках. При этом обрабатываемые зерна будут подвергаться резанию, раскалыванию, скалыванию, раздавливанию, вырыванию, сминанию и другим видам деформирования.

Рассмотрим несколько вариантов обработки при трехуровневом расположении зерен, рис. 4.5.

Случай 1. Допустим, что зерна 1-го уровня вращающегося круга только касаются обрабатываемой поверхности. Тогда при наложении ультразвуковых колебаний эти зерна оставят след на обрабатываемой поверхности в виде вершин синусоид, рис. 4.18.

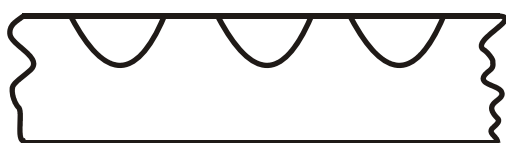


Рис. 4.18. След от режущих зерен на обрабатываемом материале.

Случай 2. Допустим, что при вращении круга зерна 1-го уровня производят резание обрабатываемого материала, а зерна 2-го уровня только касаются поверхности. Тогда зерна 1-го уровня оставят на обработанной поверхности следы синусоид, а зерна 2-го уровня оставят следы лунок.

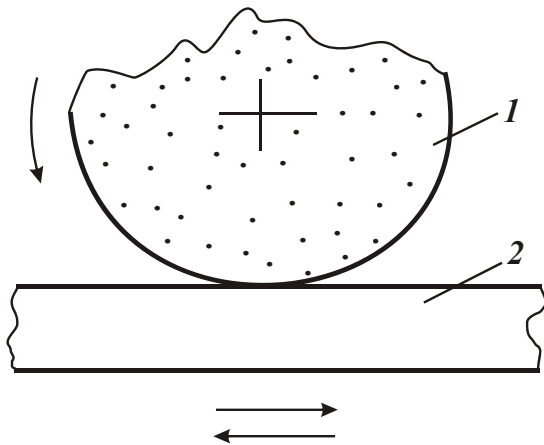


Рис. 4.19. Вибрация детали: 1 – круг; 2 – обрабатываемая деталь.

Рассмотрим наложение ультразвуковых колебаний на зерна круга по направлению его вращения и в обратном направлении. На первый взгляд может показаться, что это невозможно, но на самом деле есть много технических решений этого метода, например, вибрационное воздействие на деталь, рис. 4.19.

При этом во время вибрации в один полупериод скорость круга и скорость вибрационного перемещения складываются, а в следующий полупериод вычитаются, т.е. мы получаем реверсивное движение резца по обрабатываемым зернам.

Если применить такие перемещения с боковыми осевыми перемещениями или глубинными перемещениями, то получим совершенно новый вид резания, где участвуют все грани зерен, включая и задние.

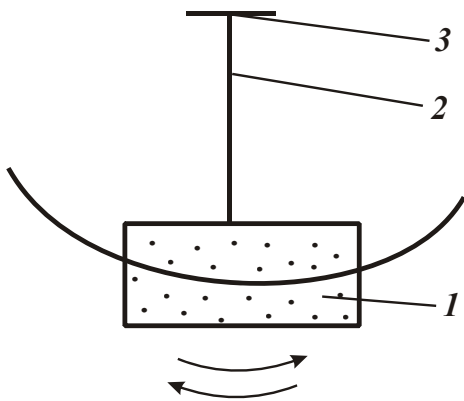


Рис. 4.20. Возвратно-поступательные перемещения вращающегося круга: 1 – круг; 2 – вал, передающий вращения на круг; 3 – ось возвратно-поступательного перемещения вращающегося круга.

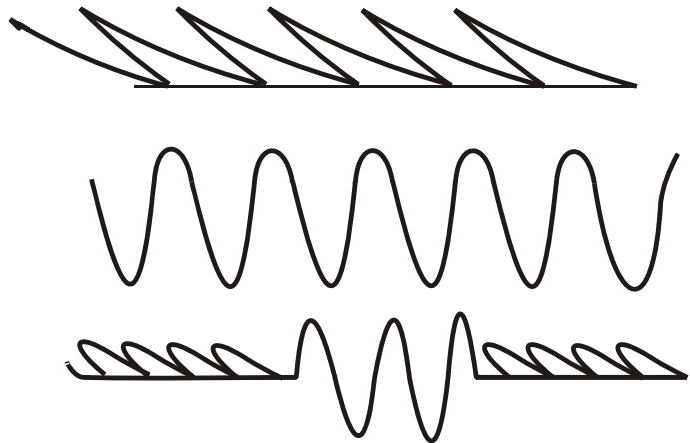


Рис. 4.21. Схемы возможных следов режущего зерна при разных ультразвуковых воздействиях.

При вращении круга, его можно поворачивать возвратно-поступательно с ультразвуковой скоростью вокруг определенной оси, рис. 4.20. Такие возврат-

но-поступательные ультразвуковые вращения позволят получить множество следов режущего зерна в зависимости от направления перемещения круга, скорости вращения, частоты и периодичности воздействия, рис. 4.21.

На нижней схеме показаны следы при возвратно-поступательном ультразвуковом воздействии в двух взаимно перпендикулярных последовательных направлениях перемещения круга.

Применение разных ультразвуковых воздействий с реальным перемещением круга позволяет получить волнообразное движение зерна (резца) в объеме обрабатываемого материала, что приводит к образованию волнообразной стружки и более сложному закону ее перемещения. Движение резца с чрезвычайно большими ускорениями и замедлениями и сверхскоростями в объеме обрабатываемого материала (в разных направлениях) поднимает процесс шлифования на совершенно новый уровень.

Вариантов применения ультразвуковых воздействий в комплексе так много, что оптимальный вариант шлифования той или иной структуры обрабатываемого материала может выбрать только компьютер. И только с помощью компьютера можно увидеть проекцию следа зерна по плоскостям, а также в замедленном темпе проследить за перемещением режущего зерна в объеме обрабатываемого материала и относительно обрабатываемых структур.

Вибрационные воздействия в разных плоскостях могут быть согласованными или не согласованными между собой, одинаковыми или неодинаковыми по амплитуде и по частоте.

Все эти параметры могут находиться в какой-то зависимости или отношении друг к другу. Поэтому представить проекцию следа зерна на какую-либо плоскость без применения компьютера чрезвычайно сложно или даже невозможно. При проекции следа режущего зерна по плоскостям можно получить как фигуры Лиссажу, так и непредсказуемые линии и фигуры, которые может построить только компьютер, рис. 4.22.

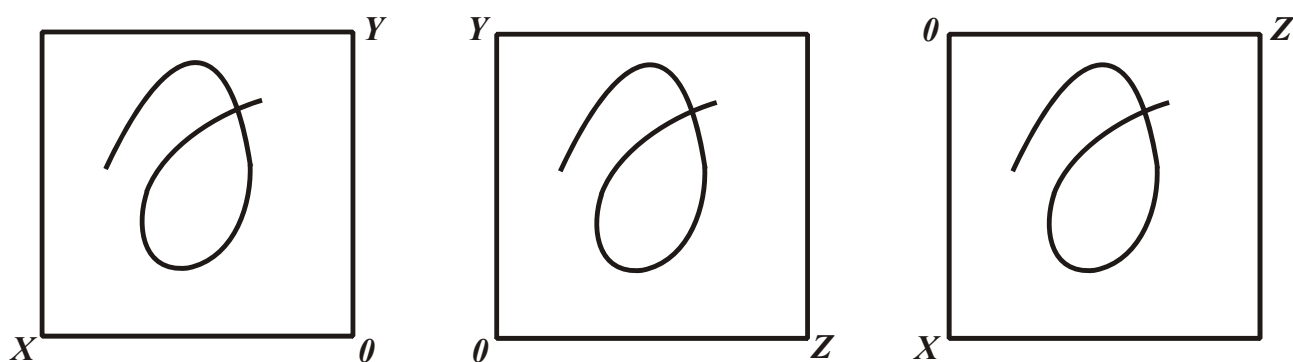


Рис. 4.22. Следы возможных проекций режущего зерна на плоскости системы координат.

Таким образом, проанализировав преимущества ультразвуковых реальных перемещений круга в разных плоскостях, можно прийти к выводу, что чем больше одновременно будет таких перемещений в разных плоскостях, тем более эффективно будет протекать процесс шлифования со сверхзвуковыми ускорениями и скоростями движения режущих зерен.

4.9. ПРАВКА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ЛАЗЕРОМ

Правка абразивного инструмента является одной из самых актуальных проблем абразивно-шлифовальной обработки. От своевременной и правильной правки инструмента зависит точность и качество обрабатываемой поверхности, и производительность процесса шлифования.

Правку выполняют для восстановления режущих свойств шлифовального круга, устранения его биения, восстановления или получения необходимого профиля, а также изменения свойств круга.

В настоящее время правка абразивного инструмента осуществляется следующими способами: обтачиванием, обкаткой, шлифованием, электроэрозионной правкой.

Обтачивание производят алмазным инструментом. Наибольшее распространение получили алмазные карандаши. Согласно ГОСТ 607 – 80, они выпускаются в трех исполнениях: А, В, С четырех типоразмеров: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4. Общая масса алмазов в карандаше составляет от 0,5 до 2,5 карат.

Кроме алмазных карандашей при обтачивании применяют гребенки, бруски, алмазно-кристальные фасонные резцы, алмазы в оправках, алмазные иглы.

Правка алмазными брусками производится на режимах: $V_{кр} = 25 \dots 35$ м/с; продольная подача $S_{прод} = 1 \dots 2$ м/мин; поперечная подача $S_{поп} = 0,005 \dots 0,01$ мм/дв.ход с обильным использованием СОЖ – 12...15 л/мин.

Обкатка выполняется звездочками, шарошками, дисками. Скорость правки 0,1...5 м/с.

Шлифование осуществляют алмазными роликами и кругами из карбида кремния при обильном использовании СОЖ – 12 л/мин и более. Круг, подвергаемый правке, имеет рабочую скорость, а правящий круг имеет меньшую скорость – до 14 м/с.

Электроэрозионная правка осуществляется латунным электродом-роликом цилиндрической или фасонной формы с использованием источника постоянного тока с рабочим напряжением 4...24 В и силой тока 5...12 А.

Электроэрозионной правке подвергаются алмазные и эльборовые круги на металлической связке. Круг используется в качестве анода, а латунный правящий ролик – в качестве катода. В зазор между кругом и электродом подают трансформаторное или машинное масло (4...5 л/мин). Скорость круга составляет 1,3...1,8 м/с, глубина резания – 0,01...0,1 мм/дв.ход.

Недостатками данных видов правки является то, что они не могут быть взаимозаменяемыми: обкатка не применяется для правки алмазных и эльборовых кругов на металлической связке, а электроэрозионная правка может применяться только для кругов на токопроводящих связках. Обкатку твердосплавными дисками и шарошками применяют тогда, когда применение алмазного инструмента не допускается – на операциях обдирочного и предварительного шлифования с ручным циклом обработки.

Во всех способах правки имеется довольно обширный арсенал дорого-

стоящего инструмента. Правка указанными способами может проводиться непосредственно на шлифовальных или на специальных станках, например, электроэрозионная правка выполняется на станке типа ВК-73. Правка на шлифовальных станках выполняется значительно реже, чем на специальных станках из-за отличия режимов обработки и приспособлений для правки. При вышеуказанных способах обработки применяется обильное смачивание СОЖ (12...15 л/мин), а при электроэрозионном способе – рабочая жидкость – машинное или трансформаторное масло (4...5 л/мин).

Все эти недостатки легко устранить, применяя новый способ правки концентрированными лазерными и световыми лучами. Кроме того, если правку обтачиванием, обкаткой и шлифованием невозможно проводить непосредственно при обработке детали, то правку кругов концентрированными лазерными и световыми лучами можно проводить в процессе обработки.

Проведем анализ технических характеристик лазерных лучей и покажем возможности их применения при правке кругов. В настоящее время широко используется лазерная обработка материалов, основанная на плавлении или испарении обрабатываемого материала. Такие лазеры могут развивать среднюю плотность потока в поперечном сечении луча 10^{14} Вт/см², размерная обработка осуществляется при плотности 10^7 - 10^8 Вт/см², сварка и резка осуществляется при плотности менее 10^6 Вт/см².

Лазеры работают в непрерывном и импульсном режиме с длительностью импульсов: 10^{-3} - 10^{-6} ; 10^{-7} - 10^{-9} ; 10^{-10} - 10^{-12} с.

Мощность импульсного излучения может достигать сотен кВт, при этом лазер может работать избирательно на определенной глубине (поверхности), т.к. имеет фокусирующую оптическую систему.

Для повышения эффективности процесса в зону обработки может вводиться активный или инертный газ. Длительность применяемого импульса также позволяет избирательно воздействовать на определенный материал.

Правка лазерным лучом может заменить все существующие способы правки круга. Кроме того, правка может вестись непосредственно при обработке деталей. При этом лазерный луч может оптимизировать структуру обрабатываемой детали. Возможности лазерного луча, при управлении с помощью компьютера, позволяют воздействовать на поверхность вращающегося круга с точностью пятна к пятну, при этом, не повреждая режущих зерен, можно производить замеры и анализировать качество обработки. Наряду с лазерным лучом, при правке может использоваться концентрированный световой луч. В настоящее время в мире выпускается свыше 50 тыс. типов шлифовальных инструментов. Шлифовальные круги выпускаются диаметром от 1 мм (для изготовления миниподшипников, деталей топливной аппаратуры) до 1060 мм (плоские прямого профиля ПП, отрезные круги диаметром 1200 мм). Для правки всех типоразмеров может быть использован один инструмент – лазерный луч.

Правка кругов на органической связке лазерным лучом сильно отличается от правки кругов на керамической и металлической связках. Абразивные зерна в органической связке удерживаются слабее, при небольшом нагреве

связка становится мягче. При увеличении давления на обрабатываемую поверхность зерна углубляются в связку и в меньших объемах снимают обрабатываемый материал. Воздействуя лазерным лучом на разные участки круга, можно производить правку круга во время шлифования. При этом лазерный луч может разогревать обрабатываемый материал на смежных участках, что позволит облегчить его съём, т.е. уменьшить износ зерен в тех местах, где они больше всего изнашиваются.

Сущность правки кругов на керамической связке заключается в том, что поверхность круга подвергается глубокому охлаждению, например, с помощью жидкого азота, а на поверхность связки фокусируется луч лазера с определенной мощностью и продолжительностью импульса. Импульс нагревает микротяпну на керамической поверхности за кратчайшее время до 6000°C и выше, при этом окружающая поверхность имеет отрицательную температуру. Разница воздействия температурных коэффициентов разрушает поверхность нагретого пятна в виде взрыва, т.е. поверхность нагретого пятна превращается в порошок. Подбором мощности и продолжительности воздействия можно оплавливать и испарять керамическую связку. Охлаждение круга и фокусирование луча позволяет сохранить режущие зерна до их естественного разрушения и выкрашивания. Импульс, попадая на зерно, разлагается на гранях и отражается, а на поверхность связки попадает перпендикулярно и сфокусированным, что создает положительный эффект. К тому же установлено, что обработка холодом упрочняет круги.

Правка кругов на металлической связке лазерным лучом позволяет расплавить и испарить материал связки. При необходимости круг можно охлаждать с помощью жидкого азота, т.к. алмазные зерна имеют большую теплопроводность и при большом нагреве могут превращаться в углерод. Правка кругов на металлической связке лазерным лучом и концентрированным световым лучом имеет еще один вариант – это нагрев металлической связки и подача кислорода в место нагрева. Металлическая связка в месте нагрева переходит в окиси и закиси, в результате чего и осуществляется правка круга.

Таким образом, если принять во внимание все затраты на правку кругов традиционными методами (необходимая потеря алмазного инструмента, значительные объемы разрушенного обрабатываемого круга, дополнительное оборудование, многообразие инструмента, обильное использование СОЖ и масел, дополнительные приспособления, расход материалов и электрической энергии на дополнительное оборудование и обработку), а с другой стороны, стремительное развитие лазерной техники (твердотельные, газовые, жидкостные, полупроводниковые лазеры), то становится понятно, что правка лазерным и концентрированным световым лучом заменит все существующие виды правок, тем более что данный вид правки можно применять на шлифовальном оборудовании в процессе шлифования.

Лазерный луч во время шлифования выполняет еще много дополнительных функций контроля, обратных связей, разупрочнения и упрочнения обрабатываемого материала. Лазерным лучом также можно определить шероховатость поверхности и при необходимости сразу же изменить условия обработки.

4.10. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ КРУГА, ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Стремительное развитие лазерной техники и повсеместное применение ее в производстве, медицине, быту, открывает возможности эффективного применения и при абразивно-шлифовальной обработке. Современная техника позволяет получить лазерные лучи непрерывного и импульсного действия с мощностью как в сотни киловатт, так и тысячные доли ватт.

Современная оптика позволяет применять поляризованный свет от естественных источников или искусственных источников, потребляющих чрезвычайно малую энергию, сжимать их в узкие пучки и использовать для снятия информации.

Для того чтобы использовать лазерную технику при абразивно-шлифовальной обработке, надо в начале определить круг решаемых проблем, постоянно его расширяя, и используя новые технологии на основе применения лазерных лучей. Для проведения контрольных измерений на расстоянии с помощью лазерных лучей необходимо нанести на боковую (рабочую) поверхность шлифовального круга две круговые металлизированные дорожки на определенном расстоянии.

Рассмотрим проблемы, которые могут быть решены за счет использования лазерного луча:

1. *Определение величины биения круга.* Для определения биения круга может применяться несколько вариантов. Определение радиального биения круга осуществляется лазерным лучом на просвет с обратной связью через отражатель, затем через датчик, обрабатывая при этом результаты на компьютере и принимая соответствующие меры (рис. 4.23).

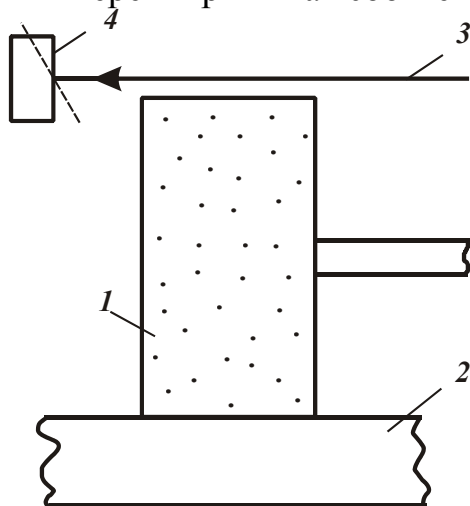


Рис. 4.23. Схема определения радиального биения круга: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – лазерный луч; 4 – экран-датчик или отражатель для направления луча на датчик.

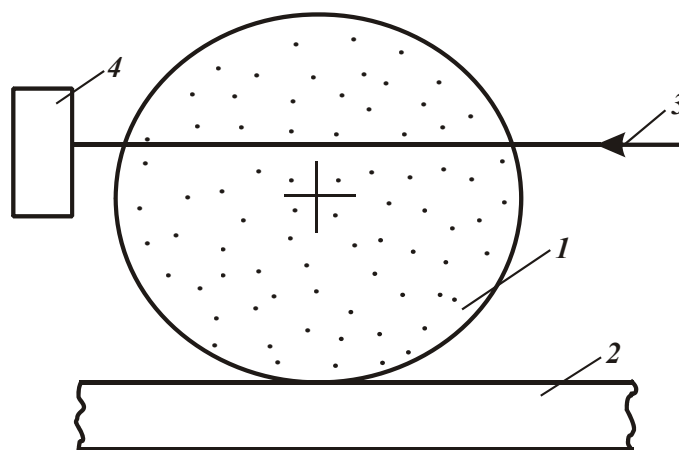


Рис. 4.24. Схема определения бокового биения круга: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – лазерный луч; 4 – экран-датчик или отражатель для направления луча на датчик.

Определение бокового биения круга производится аналогично определению радиального биения, рис. 4.24. Определение бокового биения может осуществляться с использованием обрабатываемой поверхности, рис. 4.25.

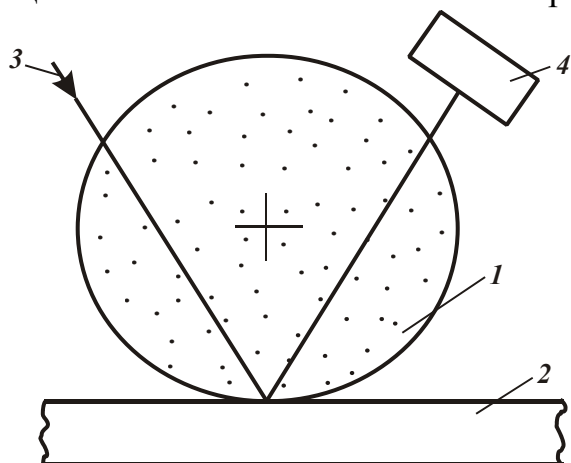


Рис. 4.25. Схема определения бокового биения круга: 1 – круг; 2 – обрабатываемая поверхность детали; 3 – лазерный луч; 4 – экран-датчик.

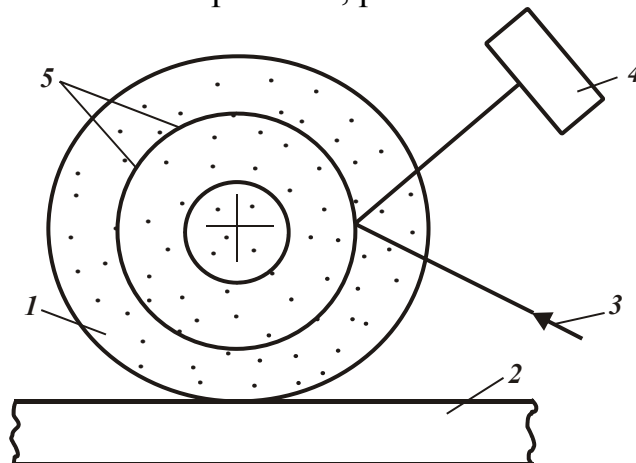


Рис. 4.26. Схема определения радиального биения круга: 1 – круг; 2 – деталь, обрабатываемая поверхность; 3 – лазерный луч; 4 – экран-датчик; 5 – металлизированные дорожки.

Радиальное и боковое биение круга можно определить с помощью металлизированных дорожек на круге: при определении радиального биения лазерным лучом – по одной дорожке (рис. 4.26), а при определении бокового биения – по двум дорожкам (рис. 4.27).

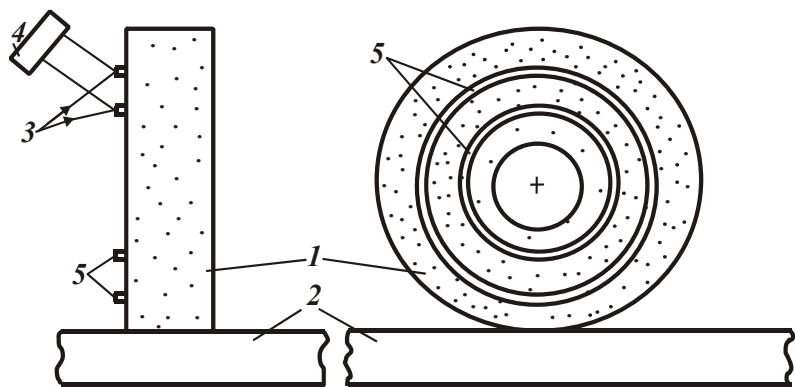


Рис. 4.27. Схема определения бокового биения круга: 1 – круг; 2 – деталь; 3 – лазерный луч; 4 – экран-датчик; 5 – металлизированные дорожки.

Боковое биение может быть определено по этой схеме одним лазерным лучом с поочередным переводом на металлизированные дорожки и измерением расстояний и биения или использованием одновременно двух лазерных лучей. Во всех способах определения биения, результаты измерений датчиками

поступают в компьютер, где проводится их анализ и принимаются соответствующие решения для принятия мер.

2. Засаливание круга определяется лазерным лучом по величине выступания зерна круга, характеру луча, отраженного от рабочей поверхности круга, и характеру обрабатываемой поверхности. Получив информацию о засаливании круга, компьютер принимает решение о методах его устранения. Засаливание можно устранить лазерным лучом или применить соответствующую СОЖ, использовать вибрационные перемещения круга по заготовке, применить кислород, электроэрозионную обработку и другие способы.

3. *Затупление круга определяется* лазерным лучом на основе измерения шероховатости обрабатываемой поверхности в двух взаимно-перпендикулярных направлениях или по измерению величины выступания зерен на круге. Затупление круга также устраняется через обратную связь с помощью лазера и других методов.
4. *Изменение профиля круга.* Часто при обработке определенных материалов требуется изменить характер обработки, например, заменить непрерывное шлифование на прерывистое. В этом случае с помощью лазерного луча можно выполнить канавки на рабочей поверхности круга даже во время шлифования, а с помощью компьютера и лазера проконтролировать обрабатываемую поверхность и принять решение по увеличению или уменьшению канавок и угла их расположения.
5. *Изменить величину выступания зерен* или количества режущих зерен в зависимости от шероховатости поверхности путем удаления слоя связки и зерен или обеспечением утопления зерен в связку.
6. *Изменить профиль круга,* например, если при врезном шлифовании требуется обеспечить радиусные переходы поверхностей (создание галтелей). Лазерный луч может закруглить режущие кромки круга, обеспечить конусность или гребенку на круге и т.д.
7. *Измерение величины ультразвуковых вибрационных воздействий* на круг и определение реальной величины перемещений круга.
8. *Определение температуры поверхности круга* и скорости ее изменения. Для этого можно воспользоваться двумя металлизированными дорожками на круге или специально обработанными площадками. Методов определения температуры лазерным лучом может быть достаточно много. Известно, что при нагревании металлические проводники увеличивают сопротивление, а лазерный луч способен нести электрический потенциал. Применяв два луча и направив их на одну дорожку на определенном расстоянии, будем проводить ток с одного лазерного луча через дорожку на другой, измеряя меняющийся потенциал, определяя сопротивление, а следовательно, и изменяющуюся температуру круга. Такие измерения можно проводить на работающем круге одновременно или поочередно на двух дорожках.

Другой способ измерения температуры работающего круга лазерным лучом состоит в том, что импульс лазерного луча касается металлизированной дорожки или специализированной площадки и отражается на более нагретый или охлажденный датчик. По интенсивности отраженного лазерного луча можно измерять температуру круга, если специализированную площадку покрыть специальным покрытием, изменяющим свою отражающую способность в зависимости от температуры.

С помощью металлизированных дорожек лазерными лучами или одним лучом можно определить изменение размеров между дорожками во время обработки при изменении температуры и центробежных сил.

Значение динамики изменения температуры на круге чрезвычайно важно, тем более, что измерить ее с помощью лазера и компьютера, а затем проанализировать, не составляет особых проблем. Компьютер своевременно примет ре-

шение об изменении способа охлаждения круга, о количестве подаваемой СОЖ или изменении ее температуры и т.д.

9. *Определение пространственного положения деталей* перед подачей на станок или после подачи на станок, контроль за их перемещением во время работы и фиксацией в нужном пространственном положении.
10. *Контроль размеров детали.*
11. *Измерение величины снимаемого припуска.*
12. *Контроль скорости температурных изменений* обрабатываемой поверхности материала и прогнозирование образования структур с помощью компьютера, выбор метода изменения структур.
13. *Измерение волнистости поверхности.*
14. *Определение структуры* обрабатываемого материала с помощью лазерного луча. Например, при обработке железоуглеродистых сплавов со структурой феррита и ледебурита нужно определить обрабатываемую структуру. Лазерный луч направляется на обрабатываемый материал, расплавляет его и измеряет температуру плавления. По температуре плавления определяем структуру сплава (феррит плавится при температуре 1539°C, ледебурит – при температуре 1147°C). Структуру сплава можно определить и по времени воздействия лазерного луча до момента плавления. Структуру и твердость сплава можно также определить по глубине и форме канавки за определенное время плавления.
15. *Определение теплопроводности сплава и теплоемкости.* Теплопроводность можно определить, нагревая одну точку до определенной температуры, и измеряя температуру и время, за которое происходит изменение температуры в другой точке на определенном расстоянии
16. *Определение температурного коэффициента расширения.* Для этого на обрабатываемом материале лазерным лучом измеряется расстояние между двумя точками. Металл (материал) нагревается таким образом, чтобы температура этих точек изменилась за одно и тоже время на одинаковую величину и была равна количественно в первоначальном изменении и при увеличении или уменьшении температуры. После чего измеряем расстояние между этими точками. Зная разницу расстояния между точками и разницу нагрева, определяем температурный коэффициент расширения.
17. *Проверка качества обработки* по габаритным размерам, шероховатости, волнистости, параллельности и перпендикулярности плоскостей, проверка угловых размеров, эллипсов, радиусов, конусов и т.д.
18. *Разупрочнение поверхности* перед обработкой, сплавление неровностей и закалка после обработки.
19. *Определение качества СОЖ* на просвечивание жидкости лазерным лучом.
20. *Определение компонентов СОЖ по резонансному свечению молекул под действием лазерного луча.*
21. *Измерение температуры СОЖ* до и после обработки.
22. *Определение скорости охлаждения* обрабатываемого металла (материала) от действия СОЖ.
23. *Определение степени насыщенности* окружающей среды испарениями об-

- рабатываемого материала, СОЖ, абразивной пылью, загазованностью и т.д.
24. *Съем и подача сигналов на датчики, приборы, элементы, дистанционное управление обработкой.*
 25. *Контроль за зоной обработки, обеспечение условий техники безопасности, сигнализации, недопущение аварийных и травмоопасных ситуаций.*

Таким образом, по вышеуказанным пунктам с помощью лазерного луча и компьютера можно проконтролировать шлифовальный круг, обрабатываемую поверхность, определить структуру и изменить ее, найти оптимальный режим резания, и все это производить с изменениями и корректировками через обратную связь. При изменении одних параметров можно корректировать другие в автоматическом режиме, производить автоматическое регулирование температуры обрабатываемой поверхности, регулировать зависимость качества обрабатываемой поверхности от геометрии абразивно-шлифовального инструмента и высоты выступания зерен на его рабочей поверхности, осуществлять очистку поверхности от стружек. Эти и многие другие вопросы решаются с помощью лазера и компьютера. Поэтому лазерный луч и компьютер становятся неотъемлемой составной частью при абразивно-шлифовальной обработке.

4.11. ПРИМЕНЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФРАЗВУКА, ЗВУКА И УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

В настоящее время звуковые волны, воспринимаемые человеком (в диапазоне от 16 до 20000 Гц), косвенно применяют при шлифовании. Например, при выборе круга иногда “простукивают и прослушивают” его, определяют целостность. В процессе шлифования, при возникновении неприятного звука (визга), изменяют режим обработки или увеличивают подачу СОЖ. Пожалуй, этом и ограничивается применение звуковых волн при шлифовании.

Проблема применения инфразвуков и ультразвуков заключается в том, что они не воспринимаются человеческим ухом, а потому их как будто не существует. Но это не так. Они могут дать огромную информацию по всем параметрам обработки, собственно, создать обратную связь. Возможности прослушивания инфразвуковых, звуковых и ультразвуковых сигналов, обработки их на компьютере для осуществления обратной связи, практически неограниченны. Пьезоэлектрические элементы можно устанавливать в специальные углубления на шлифовальном круге (заливая эпоксидной смолой), размещать возле обрабатываемого круга и перемещать на кожухе обрабатываемого круга, устанавливать на обрабатываемое изделие в разные места.

Пьезоэлектрические элементы позволяют различать любые звуковые волны, раскладывая их на гармоники и выделяя звук отдельного зерна. Измеряя частоту и интенсивность инфразвуковых и ультразвуковых волн, можно определить степень опасности присутствия людей в определенной зоне возле шлифовального станка.

Появление той или другой гармоники указанных волн сразу дает определенную информацию об изменении режима обработки и структуры обрабаты-

ваемого материала, о состоянии круга, наличии или отсутствии СОЖ, о величине скорости вращения круга и степени его засаливания и т.д. Все это можно одновременно измерить установленными пьезоэлектрическими элементами: инфразвук, звук и ультразвук, продолжительность отдельных звуков, определить силу воздействия и направление распространения. Для этого требуется изучение, сравнение и программирование на компьютере, чтобы принять меры по изменению и оптимизации ситуации или ее сохранению.

С помощью звуковых волн можно проверить или определить структуру металла, целостность круга, изменение его состояния и температуру по скорости прохождения звуковых волн, наличие влаги в круге. Ультразвуковым твердомером можно определить твердость обрабатываемого сплава, работу разных секторов круга, групп зерен и отдельных зерен, а также количество жидкости в связке. Можно определить „прослушиванием” характер перемещения стружки или процессы кавитации жидкости, ударные нагрузки, скрытые дефекты в круге и обрабатываемом материале, „прослушать” процесс электроэрозионной обработки. С помощью инфразвука, звука и ультразвука можно измерить любые параметры шлифования. Обработка поступивших сигналов на компьютер дает возможность анализировать их и устанавливать обратную связь.

Для использования наглядности каждой группе звуковых волн целесообразно присвоить определенные цвета и наблюдать за процессом обработки на экране дисплея.

Таким образом, с помощью звуковых волн (инфразвука, звука и ультразвука) можно определить скорость вращения круга, степень его засаливания и затупления, соответствие зерен обрабатываемой структуре, практически измерить любые параметры обработки. Применение пьезокристаллических датчиков для контроля позволит в полной мере использовать инфразвуковые, звуковые и ультразвуковые волны для „прослушивания”, определения параметров и установления обратных связей при обработке.

4.12. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ И МИКРОЧИПЫ

Для автоматизации процессов шлифования, определения параметров обработки и осуществления контроля за состоянием круга и режимов обработки, шлифовальные круги можно оснастить микрочипами. Для этого каждый изготовленный круг должен иметь специальное углубление, в которое устанавливается микрочип и заливается эпоксидной смолой.

Какие датчики должны входить в микрочипы? Пьезоэлектрический, датчик температуры, датчик влажности, магнитный датчик, датчик электрических потенциалов, тензометрический датчик, датчики ускорений и скоростей, усилители сигналов, передатчики и приемники, приемные и передающие антенны.

Измеряя параметры обработки, компьютер получает огромный поток информации для осуществления обратной связи. Кроме того, для лучшего контроля необходимо в шлифовальном круге иметь два микрочипа, на один из которых через приемную антенну микрочипа будут вводиться некоторые пара-

метрические величины, которые принимаются вторым микрочипом через круг. Таким способом „прозванивается” круг и собирается информация обработки шлифованием. Оснащая шлифовальные круги микрочипами, образно говоря, делаем их „умными и интеллектуальными”, которые как бы самообслуживаются и „разговаривают с нами”. Следует отметить, что при шлифовании еще очень слабо используются информационные поля материалов, сред, инструментов.

4.13. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ

В настоящее время электромагнитные поля при абразивно-шлифовальной обработке используются недостаточно. Что такое электромагнитные поля? Это, прежде всего, способ воздействия на тела и взаимодействия тел между собой силами притяжения и отталкивания. Есть поле – есть информация. С помощью электромагнитного поля можно воздействовать на процесс абразивно-шлифовальной обработки, получать информацию, т.е. создавать обратную связь.

Рассмотрим варианты влияния и способы получения информации для осуществления обратной связи. В процессе абразивно-шлифовальной обработки участвуют шлифовальный круг, обрабатываемый материал, система охлаждения, среда и, конечно, электромагнитные поля, которые нами очень мало используются.

Как известно, электромагнитные поля оказывают воздействие на все вещества, молекулы, атомы. В силу разного намагничивания диполей и их упорядоченного или хаотического расположения в материалах, одни материалы имеют способность намагничиваться, а другие – нет. Выраженными магнитными свойствами обладают: железо, никель, кобальт и их сплавы. Поэтому при обработке таких сплавов в переменном электромагнитном поле происходит перемагничивание диполей и их переориентация, которая вызывает раскачивание зерен в пределах углов несовместимости. Этот факт должен активно использоваться в процессе обработки, так как он позволит повысить производительность, продлить срок работы инструмента.

Равномерно закладывая опилки (порошок) металлов и сплавов с сильно выраженными магнитными полями в шлифовальные круги на керамических, органических и металлических связках из цветных металлов, получаем возможность воздействовать на них.

Упруго-подвижно закрепляя такие круги на станке и воздействуя на них во время работы переменным магнитным полем, можно получить дополнительные перемещения круга с необходимой частотой. Такая система создания вибрационного перемещения круга отличается от всех известных систем тем, что она обеспечивает дополнительные перемещения круга с любой частотой, которую можно изменять в зависимости от условий и качества обработки, управлять перемещениями круга на расстоянии, плавно изменяя силу воздейст-

вия, амплитуду перемещения и частоту.

Кроме того, в кругах на эластичных связках раскачивающиеся перемагничивающиеся опилки, задевая режущие зерна, приводят их в движение, т.е. появляется возможность дополнительно перемещать круг и отдельные зерна. Перемещая круг с ультразвуковой частотой и раскачивая зерна с ультразвуковой частотой, можно получить сверхскоростные режимы резания.

Передача вибрации на круг при этом может осуществляться независимо любой системой и с любой частотой, а магнитным полем можно воздействовать только на зерна. Покрывая зерна магнитными материалами и перемещая их в керамической (или другой) связке круга, можно их раскачивать в процессе работы. А это новый уровень и новые возможности обработки материалов.

Магнитный материал, покрывающий тонким слоем режущие зерна, при соприкосновении с обрабатываемым материалом истирается. Выступающая над уровнем связки часть зерна производит резание материала, а часть зерна, которая находится в связке (за счет прокладки из магнитного материала) получает возможность раскачиваться на чрезвычайно малые расстояния, но с большой частотой и большими сверхскоростями и ускорениями. Это приводит к изменению характера взаимодействия режущего зерна с обрабатываемым материалом. Кроме того, круг и отдельные режущие зерна, получая ультразвуковые перемещения, обеспечивают обработку со сверхультразвуковыми колебаниями. Колебания зерен облегчают условия перемещения стружек и удаление их с поверхности круга, изменяют механизм взаимодействия с СОЖ и характер ее поступления в зону обработки.

Если на традиционно используемых абразивных кругах (на стадии их изготовления) выполнить специальные площадки (углубления) и в них установить небольшие постоянные магниты, заливая их эпоксидной смолой (или внести отдельные намагниченные частички во время изготовления круга внутрь связки), то с помощью таких частиц можно определить скорость вращения круга, направление и частоту вибраций. Равномерно расположенный магнитный материал в круге при определенных условиях перемагничивания может охлаждать круг во время работы. Кроме того, он будет выполнять еще несколько функций. С помощью магнитного материала можно следить за неравномерностью расположения несбалансированных масс в круге, получать информацию об их изменении во время работы и уравнивать биение круга специальными электромагнитными воздействиями с помощью компьютера.

Трение режущих зерен с материалом вызывает изменение электрических потенциалов на зернах, а следовательно увеличивает налет на зернах и прилипание продуктов обработки к рабочей поверхности круга. Изменяя электромагнитные поля на круге, можно ликвидировать процесс налета и прилипания материала к кругу.

Известно, что некоторые газы взаимодействуют с электромагнитными полями. Например, кислород взаимодействует с магнитным полем. Следовательно, с помощью магнитного поля можно оказывать влияние на технологическую среду и изменять ее активность взаимодействия с обрабатываемым материалом и кругом так же быстро, как электромагнитные воздействия. Как из-

вестно, воздух состоит из 16-18% кислорода, 72-78% азота, 1-2% водорода и других газов. Намагничивая круг, обеспечиваем притягивание кислорода к поверхности круга. Если надо кислород увести из зоны контакта, то создается постоянное магнитное поле на определенном расстоянии от круга и обрабатываемой поверхности. При намагничивании обрабатываемой поверхности изменяется среда обработки и ее активность.

Положительное влияние на процесс обработки оказывает намагниченная очищенная СОЖ. При обработке магнитных материалов с помощью датчиков необходимо определить степень загрязнения СОЖ и применить электромагнитные фильтры для ее очистки, с помощью электромагнитов – собрать магнитные стружки.

Выдерживая круг определенное время в переменном магнитном поле с определенной частотой и через определенное время работы повторяя эту процедуру, можно увеличить срок их работы в 2...10 раз.

Значительное влияние магнитных полей проверено практикой. Известно, что во время магнитных бурь на Земле чаще происходят выходы из строя компьютерных систем, аварии самолетов и другой техники, ухудшается самочувствие людей. Поэтому необходимо использовать электромагнитные поля для получения положительных эффектов при обработке материалов. При создании электромагнитных полей необходимо предусмотреть возможность защиты людей, учитывая то, что такие поля легко экранируются.

Электромагнитные поля должны полнее использоваться для получения и передачи информации на различные датчики, чипы, микропроцессоры, электромагнитные управляющие системы. С помощью электромагнитных полей можно непосредственно осуществлять процесс абразивно-шлифовальной обработки. Для этого нужно взять абразивный брусок и поместить в оправу из магнитного материала, после чего его можно перемещать по любым поверхностям из немагнитных материалов с помощью внешних магнитных полей. Это совершенно новый вид абразивно-шлифовальной обработки, который в перспективе может получить большое развитие в результате простоты и легкости в управлении, возможности доступа и воздействия на инструмент и обрабатываемые поверхности с любой стороны. Например, шлифование внутренних поверхностей труб абразивными брусками (с магнитными материалами внутри бруска) и многие другие виды работ.

Электромагнитные поля позволяют изменять структуру обрабатываемого материала. При перемагничивании изменяются его размеры. Эти явления также надо полнее использовать в процессе абразивно-шлифовальной обработки. С помощью магнитострикционных явлений можно изменять структуру материала, степень его деформации, методы обработки и получать много других положительных эффектов.

Таким образом, научный подход к анализу возможностей применения магнитных полей позволит значительно расширить сферу их использования, получить новые виды абразивно-шлифовальной обработки. Сфера применения электромагнитных полей должна начинаться с изготовления круга, подготовки круга и материала к обработке и управления процессом обработки.

4.14. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОДВОДА СОЖ НА КАЧЕСТВО И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Влияние условий подвода СОЖ на увеличение скорости резания, производительность и качество обработки трудно переоценить. Оно огромно и комплексно, однако, имеет много “белых пятен”, которые предстоит изучить. Например, при наличии каких компонентов в СОЖ при ультразвуковой обработке кавитация будет наступать быстрее? При наличии каких компонентов кавитация будет дольше сохраняться на более высоких частотах и проходить интенсивнее? Как влияет каждый компонент СОЖ на сохранение и увеличение режущей способности зерна? Как разрушаются обрабатываемые зерна в разных условиях с изменением температур, применением ультразвуковой обработки и магнитных полей?

Применение сверхскоростных способов обработки требует поиска новых СОЖ и их заменителей, т.к. в этих условиях традиционные составы жидкостей исключают механику разрушения из процесса резания, снижают его эффективность.

Наличие масел или их большое содержание затрудняет процесс образования окисной пленки при сверхскоростной обработке, замедляет отвод тепла, не способствует образованию режущей кромки на зерне и самозатачиванию граней зерна.

В научно-технических справочниках мало уделяется внимания теплоемкости и теплопроводности СОЖ, способности забирать, отводить теплоту за определенное время, недостаточно изучено влияние соответствующих компонентов на эти процессы. Отсутствуют методики точных расчетов расхода СОЖ: рекомендуется или просто применение СОЖ или обильное применение СОЖ (свыше 12 л/мин). Необоснованный расход СОЖ ухудшает процесс обработки, увеличивает расход электрической энергии, стоимость продукции, приводит к бесполезному расходу дефицитных материалов и загрязнению окружающей среды.

О характере загрязнения окружающей среды можно судить по компонентам СОЖ. Компоненты СОЖ во время обработки выгорают, испаряются, разбрызгиваются, остаются на круге, обрабатываемой поверхности и стружке, а также на поверхностях станка. Поэтому очень важно знать расчетную площадь соприкосновения жидкости, ее объем, время контакта с поверхностями, теплопроводность и теплоемкость.

Скорость, качество и точность обработки зависят не только от выбора СОЖ, но и от схемы подачи СОЖ в зону обработки. От схемы подачи зависит и количество потребляемой СОЖ. Схемой подачи могут обеспечиваться или гаситься вынужденные деформации круга и обрабатываемой детали. Поэтому очень важно знать место и скорость подачи, силу давления и объем жидкости. Важно знать, как согласуются скорости подачи жидкости и скорости вращения круга? Какая способность смачивания жидкости? Какой объем подачи жидкости и какое время она удерживается на круге и заготовке? С каким давлением подается жидкость? Какие инерционные силы при этом возникают? Какие воз-

никают аэродинамические явления?

Как следует из перечисленных вопросов, выбор схемы подачи не менее сложный, чем выбор СОЖ по компонентам. К каждому виду СОЖ и схеме ее подачи в каждом случае надо подходить конкретно. Это требует дальнейшего изучения и разработки новых составов СОЖ применительно к конкретным условиям обработки.

Подача СОЖ осуществляется с целью обеспечения оптимального режима обработки: для отвода тепла из зоны обработки, сохранения режущих зерен от разрушения и уменьшения их трения, смачивания отработанного абразивного материала и стружек, улучшения их движения по поверхности круга и удаления из зоны обработки, предотвращения образования нароста на зернах и повышения периода их стойкости, изменения структуры обрабатываемого материала в пределах снимаемого припуска, разрушения защитных пленок на поверхности обрабатываемого металла. Из всего вышесказанного следует, что к выбору СОЖ следует подходить научно обоснованно.

Любой процесс абразивно-шлифовальной обработки оставляет после себя определенную глубину нарушенного (поврежденного) слоя материала. Поэтому, если СОЖ эффективна на первом проходе, т.к. она разрушает защитные пленки и изменяет структуру обрабатываемого материала, то она просто недопустима при последнем проходе, если процесс шлифования окончательный. Следовательно, последний проход при окончательном шлифовании, а также и резании, должен вестись с другим составом СОЖ или всухую, или в инертном, защитном, или в специальном активном газе. К сожалению, пока это не применяется. Кроме того, недостаточно изучено влияние оставшихся компонентов СОЖ в поверхностном слое обработанного материала на эксплуатационные свойства детали.

Все способы подачи СОЖ направлены на обеспечение попадания жидкости в зону контакта. Известны способы: подача СОЖ между обрабатываемой деталью и кругом, подача СОЖ на круг под кожух, подача СОЖ на деталь, подача СОЖ на поверхность круга перед деталью, подача СОЖ по боковой поверхности круга от центра (используя кожух), двухсторонняя подача СОЖ на круг, а также из вышеназванных – комбинированные способы подачи. Кроме этих способов охлаждения, применяется способ обдува воздухом и нанесение тугоплавкой смазки на круг.

Для совершенствования способов шлифования предлагаются новые способы подачи СОЖ и использование новых материалов и веществ.

При обработке некоторых металлов и сплавов применение тугоплавкой смазки значительно эффективнее, чем применение других способов охлаждения. Например, титановые сплавы интенсивно налипают на алмазные зерна. Обдув воздухом и использование СОЖ на последнем проходе обработки не всегда оправданы, так же как и применение тугоплавких смазок. Учитывая активность металлов и сплавов в нагретом состоянии и нежелательное применение СОЖ при окончательной обработке, ниже предлагается новый метод обеспечения охлаждения и защиты обрабатываемых материалов и круга. Он состоит в том, что в зону шлифования следует вводить порошковый флюс. Сте-

пень охлаждения зависит от состава флюса и способа его введения: путем посыпания на обрабатываемую поверхность, путем вдувания с воздухом или инертными и активными газами под круг, путем вдувания или распыления порошка за кругом на горячую поверхность. Флюс при шлифовании плавится, покрывая тонким слоем поверхность, медленно отводит тепло, не допуская закалочных структур. Скорость охлаждения зависит от теплоемкости и толщины слоя покрытия.

Флюс можно применять при всех видах шлифования: обдирочном, предварительном, чистовом и тонком. Он может быть активным, инертным и защитным, так же как и газы, применяемые с ним.

При многопроходном шлифовании в зону обработки целесообразна подача сначала активного, а при последнем проходе – инертного или защитного флюса. Все это может легко достигаться вводом и выводом из состава одного или двух компонентов. Для этого с помощью электромагнитной заслонки включается или выключается бункер-дозатор. Скорость охлаждения можно регулировать толщиной покрытия флюса. Кроме того, покрытый слой флюса можно обдуть, увеличивая скорость охлаждения и исключая взаимодействие с материалом. Применение флюса при шлифовании возможно также в виде паст и жидких растворов. Каждый состав флюса разрабатывается применительно к определенному виду обработки и конкретным материалам, учитывая все их особенности взаимодействия и структуры.

При переходе на сверхскоростные режимы обработки требуется не отводить тепло, а наоборот, подводить холод в зону контакта. Для этого нужны совершенно новые системы подвода новых рабочих тел охлаждения. К сожалению, в существующих системах охлаждения мало внимания уделяется использованию для охлаждения газов: инертных, активных – агрессивных и защитных. Отсутствуют способы совместного подвода газов и СОЖ. Например, есть такой газ – сероводород, который активно разрушает защитную пленку на меди, бронзе, легированных сталях и который может применяться при шлифовании отдельно или совместно с СОЖ. Сероводород растворяется в СОЖ, поэтому способов подвода может быть несколько.

При существующих конструкциях кругов и схемах подвода СОЖ становится проблематичным повышение скорости вращения круга, получение сверхскоростных режимов резания. Почему же подача СОЖ становится препятствием в увеличении скорости резания? Потому что алмазные зерна имеют очень высокую теплопроводность, а быстро вращающийся круг отбрасывает СОЖ с большой центробежной силой, которая, ударяясь об отраженную поверхность, мгновенно уносится из зоны обработки. Зоны обработки достигает ничтожная часть жидкости. При увеличении скорости вращения круга и использовании существующих схем подвода СОЖ возникают динамические и инерционные силы, вредные гидравлические и аэродинамические потоки. Поэтому нужны новые подходы к созданию системы охлаждения при шлифовании. Важно не отводить тепло, а подводить и обеспечивать холод.

Для этого может быть использован новый способ подачи СОЖ – через поверхность круга. Этим способом достигается охлаждение круга изнутри, рав-

номерное распределение СОЖ по поверхности, движение стружки под давлением, отрыв ее от поверхности круга и отбрасывание в сторону, разбрызгивание СОЖ в виде мельчайших частиц по кругу, поверхности обрабатываемой детали и кожуху, образование тумана.

Создание тумана позволяет говорить о новом способе охлаждения, где одновременно охлаждается круг и образуется туман, поверхность обработки и круг полностью находятся в СОЖ и при этом не возникают ненужные гидравлические потоки.

Подача жидкости с внутренней поверхности круга решает сразу несколько задач. Значительно увеличивается подача жидкости в зону контакта за счет центробежной силы. А это новый способ подачи, при котором исключаются большие давления подачи жидкости (с целью обеспечения попадания в зону контакта и приводящие к деформациям поверхностей, необоснованному вырыванию зерен и неравномерному их нагружению). Данный способ подвода жидкости обеспечивает ее капиллярное продвижение по отверстиям и дросселирование через капиллярные отверстия. Дросселирование вызывает эффект охлаждения.

Новая конструкция круга и новый способ подвода СОЖ позволяют кругу превратиться в испаритель, т.е. подавать хладагент во внутреннюю полость абразивного круга в определенном количестве, где она вскипает и охлаждает круг. Абразивный круг становится как бы морозильной камерой с двумя системами охлаждения: испарителем и охлаждением при дросселировании через отверстия на выходе.

Новый способ охлаждения позволит использовать при шлифовании самые последние достижения в холодильной технике, а также применять новые рабочие тела.

Изготовление кругов, охлаждающихся с внутренней стороны - это новое перспективное направление в шлифовании. Это новый подход к использованию газов для охлаждения вместо СОЖ и с применением СОЖ. Подача газа через круг несет в себе еще большие возможности обработки. Внутри круга можно подавать газ, охлажденный под определенным давлением, или жидкий газ. Подача газа может производиться традиционными способами подачи СОЖ.

Внутреннее охлаждение круга можно выполнить еще одним способом. Для этого внутренняя полость круга заполняется порошковым магнитным материалом, который при перемагничивании поглощает тепло. Такое перемагничивание можно осуществлять внешними магнитными полями, а также внутренними магнитными системами.

Современное развитие техники позволяет изготавливать круги с металлическим пустотелым корпусом и круги на керамических, органических связках с посадкой на пустотелые корпуса. Поэтому в кругах можно выполнить капиллярные микроотверстия с выходом на радиальные и боковые поверхности с разной степенью плотности. При этом прочность круга не нарушится, а наоборот, усилится.

Таким образом, обобщая существующие системы охлаждения, виды СОЖ и способы их подвода, а также вскрывая недостатки, анализируя причины их

возникновения и возможные методы устранения, приходим к выводу, что нужны принципиально новые системы охлаждения, новые рабочие тела охлаждения и новые схемы подвода их. Частично поставленные вопросы раскрыты выше, а некоторые особенности новых кругов и систем охлаждения будут раскрыты ниже.

4.15. НОВЫЙ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Шлифование, как метод обработки, человек применяет с незапамятных времен. Все первоначальные орудия труда и предметы быта начали изготавливать методом шлифования.

В настоящее время шлифование становится одной из самых востребованных технологических операций, а с увеличением точности изготовления заготовок, станет единственной после литья.

Промышленностью выпускается свыше 50 тысяч видов абразивного инструмента, для изготовления которого применяется большое количество абразивного материала, соединенного в шлифовальных кругах с помощью различных связок. К абразивным материалам относятся: алмаз природный, алмаз синтетический, корунд, наждак, гранат, кремний, эльбор, карбид бора, карбид кремния, электрокорунд. Применяются следующие абразивные связки: керамическая, бакелитовая, вулканитовая, глифталева, поливинилформалиевая, эпоксидная, различные металлические.

Технологии изготовления шлифовальных кругов для каждого вида связки имеют свои особенности. Не вдаваясь в описание всех тонкостей и операций этих технологий, приведем лишь краткий перечень работ при изготовлении шлифовальных кругов на некоторых связках.

Круги на вулканитовой связке изготавливаются смешиванием абразивных зерен с каучуком и серой, затем они формуются и вулканизируются.

Круги на керамической связке изготавливаются смешиванием абразивных зерен с компонентами керамической связки, затем они формуются и обжигаются в специальных туннельных печах при температуре 1240-1260°C. Круги диаметром в несколько миллиметров изготавливаются методом горячего литья под давлением.

Как видим, технология изготовления кругов очень сложная, а материал, применяемый для связок, – дорогой. Изготовленные по таким технологиям шлифовальные круги имеют ряд недостатков. Например, круги на керамической связке хрупкие, их сложно хранить, транспортировать. Материал разрушенных кругов, как правило, утилизируется. Утилизации подлежат и изношенные круги, в которых остается почти половина абразивного материала и связки, т.е. имеет место низкий коэффициент использования кругов.

Можно ли изготовить такой шлифовальный круг, из которого оставшийся абразивный материал и связка используются вторично? Да, можно! Те, кто катался на коньках на замерших речках и прудах, знают, насколько прочно держатся песчинки во льду у берегов, и как хорошо они “обрабатывают” коньки.

Это и есть ответ на поставленный вопрос. А дальше следуют конструктивные варианты, которых может быть бесчисленное множество. Проанализируем некоторые из них.

Шлифовальный круг на водяной (ледяной) связке можно изготовить методом послойного намораживания. На дно формы насыпается абразивный материал и заливается водой на уровне $1/2 \dots 1/3$ толщины абразивного материала. Вода замораживается. Этот процесс повторяется многократно. В результате намораживается полный абразивный круг, который хранится в холодильнике, а в северных странах в зимнее время – вне помещений. На первый взгляд может показаться, что эти круги порождают много проблем. Однако все это не так.

Простота изготовления, 100%-ное использование материала и применение новейших технологий могут обеспечить их широкое распространение. Преимущество кругов на водяной (ледяной) связке заключается еще и в том, что при шлифовании не надо применять СОЖ, отсутствует засаливание круга. Данные круги можно изготовить в любых условиях, по стоимости они ниже, а по прочности могут быть намного выше обычных кругов.

Применение кругов вне помещений в зимнее время (при температуре ниже -5°C) не требует дополнительного оборудования и приспособлений. Выступающие абразивные зерна обеспечивают хорошее сцепление с зажимным приспособлением. Прокладками из резины можно надежно зажимать круг. Прочность круга легко увеличивается армированием его различными нитями, тканями, древесной стружкой, металлическими сетками и т.д.

В круги на водяной (ледяной) связке могут вводиться опилки из магнитных материалов, которые обеспечивают перемещение круга по обрабатываемой поверхности с помощью электромагнитных полей.

Круги могут изготавливаться также методом намораживания на специальные диски из разных материалов. Диски могут быть рифлеными, с отверстиями и пустотелые. Пустотелые диски могут работать по принципу испарителя холодильной установки, что позволит использовать такие круги при более высоких температурах. Для массового применения данных кругов потребуются специальные прозрачные холодильные камеры.

При современном развитии холодильной техники изготовление специальных прозрачных камер не составляет труда. Такая камера может служить 10 и более лет, а ее окупаемость составляет не более одного года, например, при сварке в вакууме, сварке в защитных газах. Возникает вопрос, а почему бы не применить холодильные камеры или просто шлифовальные кожухи с охлаждением до минусовых температур при шлифовании.

Круг из алмазного материала на ледяной связке после износа нагревается и все оставшиеся в нем алмазные зерна идут на изготовление другого круга. Стоимость связки небольшая, поэтому один круг может окупить стоимость охлаждающего кожуха на станке. Тем более не требуется расходов на подачу СОЖ и ее очистку. Для улучшения некоторых характеристик круга в связку могут добавляться компоненты различных веществ.

Таким образом, используя природные явления, можно в корне изменить технологию изготовления кругов, устранить утилизацию отработанных кругов,

сохранить дорогостоящий абразивный материал и использовать его на все 100%, заменить экологически вредные эпоксидные связки на чистую воду. При этом виде шлифования не образуется пыль от связки, применение современных охлаждающих технологий обеспечит использование кругов в любых районах земного шара и в любых помещениях.

Данные технологии позволят улучшить микроклимат в производственных помещениях. Все это окупится улучшением здоровья рабочих. При этом резко снизится себестоимость обработки. Использование холодильных камер дополнительно обеспечит использование активных и инертных газов при шлифовании. Для изготовления и запуска в массовое производство данного оборудования не требуется больших затрат.

4.16. КОМБИНИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ

В технике известно применение комбинированных режущих лезвийных инструментов. Например, сверло-зенкер, сверло-развертка, сверло-метчик, сверло-фреза. К сожалению, шлифовальный комбинированный инструмент на практике не получил применения, он не описан в научно-технической литературе. Тем не менее его можно изготовить и применить в процессе обработки.

Так, всем известна проблема шлифования ржавой (окисленной) поверхности заготовки. Ржавчина засаливает круг и его трудно очистить. Поэтому для шлифования ржавых поверхностей приходится применять стальные щетки и периодически чистить круг вручную, что требует значительного количества времени. Даже если специальную щетку установить в станок и обработать поверхность, а затем поставить шлифовальный круг и им шлифовать, то времени потребуется много. Значительно сократить время обработки можно применением комбинированных шлифовальных инструментов, состоящих из абразивного круга и щетки, которая вращается вместе с кругом и очищает его поверхность круга от ржавчины. Ржавчина сдувается с поверхности. Примером могут служить круги чашечной и тарельчатой форм со стальными выступающими щетками вокруг наружной боковой поверхности.

Шлифовальный абразивный инструмент может применяться совместно практически с любым вращающимся инструментом. Например, сверло для сверления сквозных отверстий имеет на хвостовой части цилиндрический или конусный круг для шлифования посадочного места; торцовая фреза с совмещенным шлифовальным кругом. И таких вариантов может быть много. Все зависит от конкретных условий обработки. Шлифовальный инструмент может использоваться с режущим лезвийным инструментом, совершающим поступательное или возвратно-поступательное движение. Проектирование такого инструмента должно вестись под конкретный вид обработки и большой объем работ. Для обработки определенных деталей его не сложно изготовить и в местных условиях. Тем более, что абразивно-шлифовального инструмента выпускается свыше 50 тысяч видов с широким диапазоном изменения диаметра кругов – от 1 мм до 1200 мм. Поэтому достаточно подобрать круг по внутреннему и

наружному диаметру и приклеить его эпоксидной смолой, например, на сверло, развертку, фрезу и т.д. Для согласования посадочных мест можно применить переходные втулки.

Применение шлифовального комбинированного инструмента позволит сократить время обработки на некоторых операциях более чем в 2 раза.

4.17. КОНСТРУКТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОВЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-СТРУКТУРНЫМ СВЯЗЯМ

Шлифование заслуживает все большего внимания, т.к. в большинстве случаев является окончательным видом обработки. В настоящее время только в машиностроении применяется и обрабатывается свыше 5 тысяч металлических сплавов, большое количество пластмасс, органических, керамических и других материалов. Для их обработки используется большое количество различных видов шлифовального инструмента. Однако схемы шлифования остаются традиционными. Поэтому для повышения производительности обработки необходимы новые конструкторские решения и новые технологии, некоторые из которых рассмотрим ниже.

4.17.1. СХЕМЫ ШЛИФОВАНИЯ ЧАШЕЧНЫМИ И ТАРЕЛЬЧАТЫМИ КРУГАМИ

На рис. 4.28 показана схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами. Рассмотрим особенности обработки по данной схеме. Чашечные или тарельчатые круги вращаются через планетарную передачу в ту же сторону, что и несущий диск. Какие новые технологии можно получить из такой конструкции?

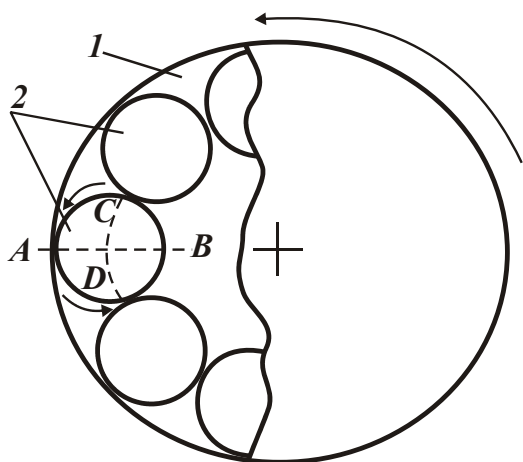


Рис. 4.28. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – чашечные или тарельчатые круги.

На чашечном или тарельчатом круге точка А движется со скоростью, равной сумме скорости вращения диска и собственной скорости вращения круга. Точка В движется со скоростью вращения, равной разнице скоростей несущего диска и собственной скорости вращения круга. Скорости движения точек С и Д равны скорости вращения несущего диска.

Если сравнить скорости движения точек А и В, то очевидно, они могут значительно отличаться, хотя при определенных условиях и направлены в одну сторону. Скорости движения точек С и Д равны, но всегда направлены в разные стороны.

При такой схеме обработки скорость

круга от точки к точке постоянно изменяется с ускорением, что очень важно при обработке. Если рассмотреть движение точек одного круга, то точка С образует риски в одну сторону, а точка Д – в другую, т.е. идет встречное резание, которое осуществляется на ближайших точках соседних кругов. Встречное резание очень эффективно при шлифовании. Такая схема позволяет осуществить прерывистое и встречное шлифование одновременно при разных скоростях и разных ускорениях. Возможно так же одновременное применение чашечных и тарельчатых кругов через один, если они конструктивно совместимы и обеспечивают требуемые условия обработки.

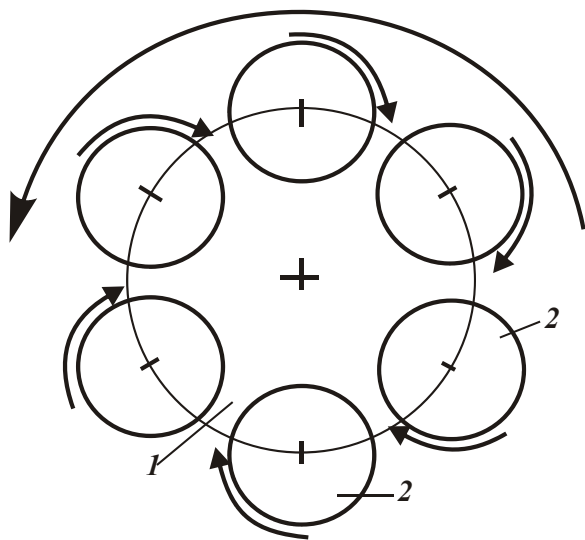


Рис. 4.29. Схема шлифования: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – круг.

Рассмотрим новые схемы шлифования чашечными или тарельчатыми кругами. Количество чашечных или тарельчатых кругов может быть от 2 до 24 и более. Все зависит от конкретных условий обработки и конструкции несущих дисков. В дальнейшем, чтобы не размножать однотипных схем, некоторые технологические схемы могут одновременно рассматриваться для шлифования чашечными (тарельчатыми) или плоскими кругами прямого профиля. Для этого

одну и ту же схему будем рассматривать под буквами А, Б и т.д.

На рис. 4.29 изображена схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами (А) и плоскими кругами прямого профиля (Б). В отличие от схемы, показанной рис. 4.28, круги на несущем диске вращаются навстречу вращению несущего диска.

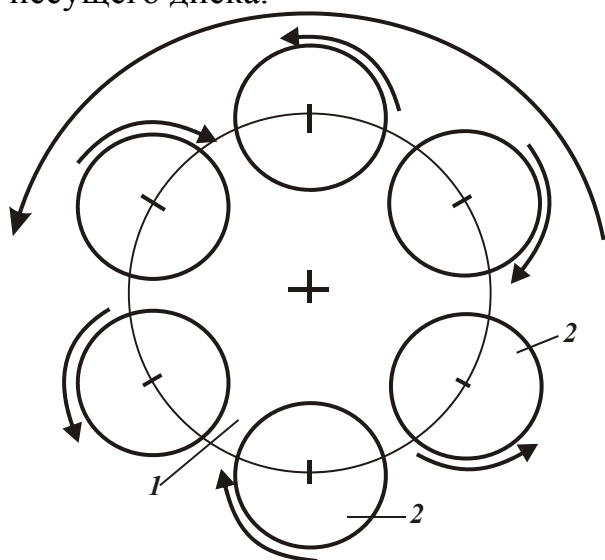


Рис. 4.30. Схема шлифования: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – круг.

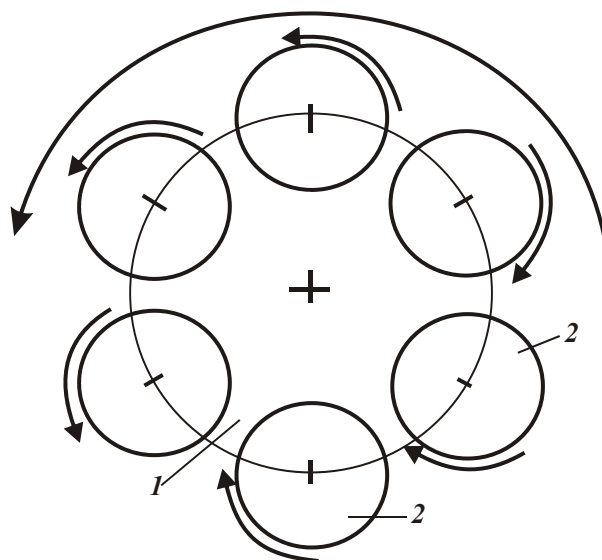


Рис. 4.31. Схема шлифования: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – круг.

На схеме, показанной на рис. 4.30, чашечные или тарельчатые круги (А), также как и плоские круги прямого профиля (Б), попарно вращаются навстречу друг другу.

На схеме, показанной на рис. 4.31, половина чашечных или тарельчатых кругов (А), также как и плоских кругов прямого профиля (Б), вращается в одну сторону, а другая половина – в другую.

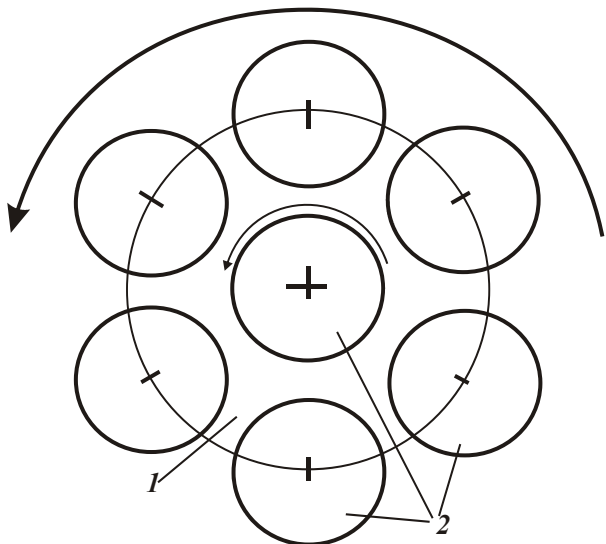


Рис. 4.32. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами с кругом в центре: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – круг.

На рис. 4.32 центральный круг вращается в сторону вращения несущего диска.

На рис. 4.33 центральный круг вращается в сторону, противоположную вращению несущего диска.

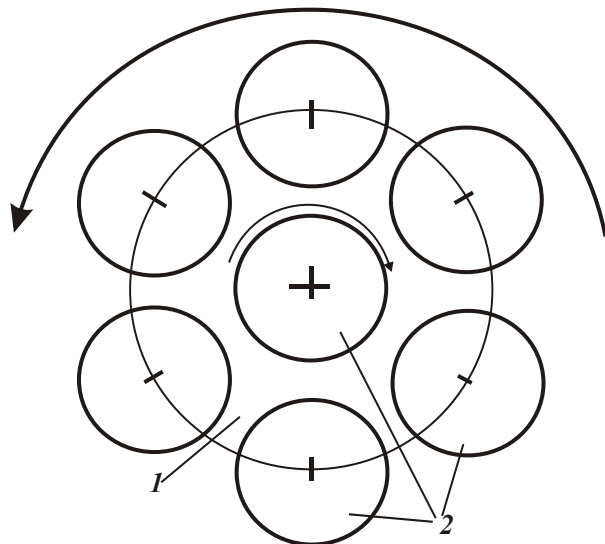


Рис. 4.33. Схема шлифования чашечными или тарельчатыми кругами с кругом в центре: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – круг.

Комбинации этих схем шлифования позволят получить оптимальные варианты обработки разных материалов. Диаметры кругов так же могут быть разными. Разные скорости обработки, направления вращения и направления перемещения по структуре материала изменяют характер обработки. Если эти схемы шлифования подвергнуть ультразвуковым воздействиям или другим источникам дополнительной энергии, то можно значительно расширить технологические возможности обработки, увеличить ее производительность. Ультразвуковые воздействия по приведенным схемам шлифования можно применять как к каждому отдельному кругу, так и к вращающемуся несущему диску или к отдельным кругам и диску, или ко всем кругам и диску одновременно. К таким схемам можно применять все известные другие технологические новшества при шлифовании, например, электроэрозионную обработку и т.д. Схемы дают разнообразие технологических приемов. Возможно вращение одного несущего диска без вращения кругов на нем или фиксация кругов через один. Возможен и другой вариант: вращение кругов без вращения несущего диска.

4.17.2. СХЕМЫ ШЛИФОВАНИЯ ПЛОСКИМИ КРУГАМИ ПРЯМОГО ПРОФИЛЯ

Схемы шлифования плоскими кругами прямого профиля заслуживают особого внимания, т.к. обеспечивают существенное увеличение производительности труда, позволяют вывести шлифование на качественно новый уровень, обрабатывать материалы повышенной твердости с применением новейших технологий и сверхскоростей.

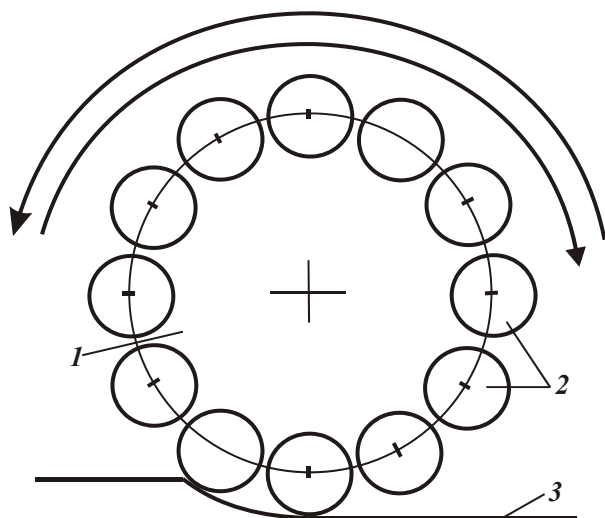


Рис. 4.34. Схема шлифования плоскими кругами прямого профиля: 1 – вращающийся несущий диск; 2 – плоские прямые круги; 3 – обрабатываемая поверхность.

Плоский круг прямого профиля традиционно изготавливается как монолитный, но его можно изготовить сборным из нескольких таких же кругов (рис. 4.34). Какие это дает преимущества перед обыкновенным монолитным кругом? Если сравнить диаметр вновь набранного круга на несущем диске и обыкновенный плоский круг такого же диаметра и высоты, то оказывается, что рабочая площадь набранного круга может в несколько раз превышать рабочую площадь на обыкновенном круге. А это значит, что режущие зерна на круге при выполнении одной и той же работы будут меньше изнашиваться.

Вращение кругов через планетарную или другую передачу (с вращением несущего диска) обеспечивает совершенно новые скорости и технологические возможности шлифования. Вращение диска (так же как и вращение кругов на диске) может осуществляться как навстречу подаче заготовки, так и попутно. Вращение кругов на диске может отличаться по скорости и по направлению. В связи с различием скоростей круги будут оставлять разный след на обрабатываемой поверхности, что очень важно при рассмотрении процесса резания на уровне обрабатываемых и режущих зерен.

Резание с разной скоростью одного материала приведет к образованию участков с гладкой или шершавой (рваной) обрабатываемой поверхностью, появлению сколов, вырыванию зерен и т.д. Все это будет чередоваться, а по одним и тем же обрабатываемым зернам будут проходить разные режущие зерна, оставляя на них свой след, но в другом порядке. По обе стороны рисок-царапин будут образовываться навалы неснятого материала, резание которых сопровождается меньшими энергетическими затратами. При этом происходит быстрое чередование высоких и низких скоростей резания, что естественно приведет к повышению производительности обработки.

Такие схемы шлифования располагают значительными возможностями при обработке материалов повышенной твердости, поскольку в них можно каждый круг подвергать ультразвуковым вибрациям с разной частотой и ам-

плитудой, что способствует существенному повышению производительности обработки. Кроме того, ультразвуковые вибрации можно передавать и на диск. Чем больше движений диска и кругов, тем значительнее скорость обработки. Чем больше чередование этих скоростей, тем интенсивнее будут разрушаться зерна обрабатываемого материала и тем выше производительность обработки.

Такие схемы позволят одновременно производить прерывистое и обычное встречное и попутное шлифование на низких и высоких скоростях, получать сверхскорости, экономить материалы. Они являются воплощением новейших технических достижений при шлифовании – за ними будущее в абразивно-шлифовальной обработке.

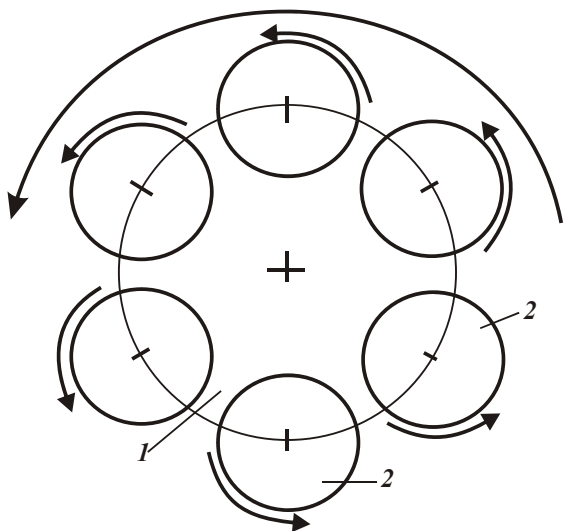


Рис. 4.35. Схема шлифования плоскими кругами прямого профиля: 1- вращающийся несущий диск; 2 – круги.

попарно вращаются навстречу друг другу; на рис. 4.31 – половина кругов вращается в одну сторону, а другая половина кругов – в другую сторону.

Комбинации вращений могут быть и другие, например, каждый третий круг вращается в противоположную сторону и т.д. Преимущества каждой схемы надо рассматривать конкретно, учитывая структуру обрабатываемого материала и условия обработки.

4.17.3. ОБКАТКА И ШЛИФОВАНИЕ

Совместное применение схем обкатки и шлифования может привести к положительному эффекту при обработке ряда вязких и пластичных материалов. Поэтому они представляют практический интерес.

Обкатку можно производить отдельным инструментом перед шлифовальным кругом, а также совместным инструментом для обкатки и шлифования.

Рассмотрим вначале вариант обкатки отдельным инструментом и сам инструмент обкатки. Для этого воспользуемся схемой, изображенной на рис. 4.34. Круги на несущем диске крепятся с помощью осей, т.е. они свободно вращают-

На несущем диске может быть установлено 2–24 и более кругов, в том числе и разной высоты, что внесет разнообразие в процесс шлифования. Процесс будет зависеть от многих факторов: порядка расположения кругов, направления их вращения, вибрационных перемещений и т.д. Ниже в качестве примеров приведены схемы возможных вращений несущих дисков и плоских кругов прямого профиля.

На рис. 4.35 показано, что все круги вращаются в сторону вращения несущего диска; на рис. 4.29 – все круги вращаются навстречу вращению несущего диска; на рис. 4.30 – круги

ся. При вращении несущего диска и перемещении его вдоль обрабатываемой поверхности происходит ударное воздействие круга по поверхности с последующей обкаткой (по поверхности).

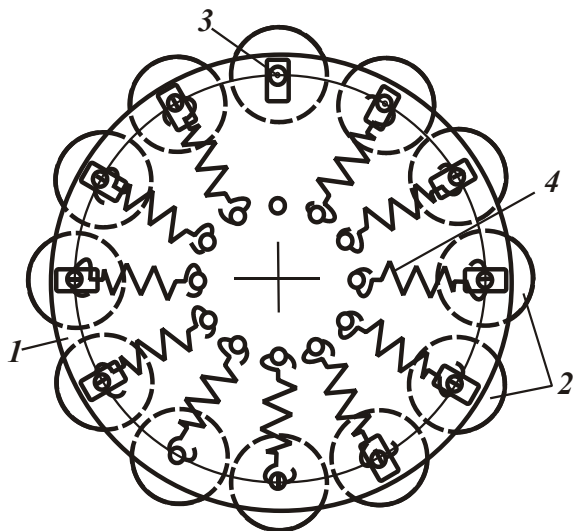


Рис. 4.36. Инструмент для обкатки: 1 – дисковый корпус; 2- плоские прямые круги; 3 – ось, на которой вращаются круги; 4 – пружина.

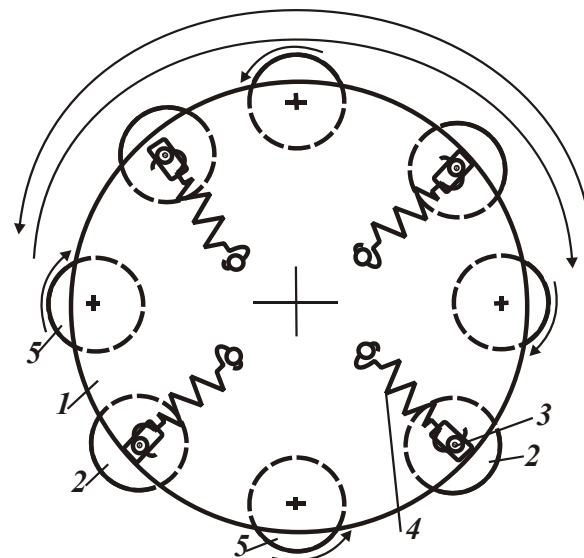


Рис. 4.37. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 – корпус; 2 – обкаточные круги; 3 – оси обкаточных кругов; 4 – пружины обкаточных кругов; 5 – шлифовальные круги.

Рассмотрим инструмент для обкатки, изображенный на рис. 4.36. Корпус состоит из двух дисков. В дисках имеются специальные прорезы для передвижения осей, на которых свободно вращаются абразивные круги на специальных пластмассовых или других втулках-подшипниках. Дисковый корпус в центре имеет вал, на котором он вращается. По мере увеличения скорости вращения вала, пружины под действием центробежных сил растягиваются, что обеспечивает плавное соприкосновение с обрабатываемой поверхностью и необходимую силу давления на нее во время обкатки. Таким инструментом перед шлифованием можно обрабатывать плоские и внутренние цилиндрические поверхности. Обкатка может производиться со снятыми пружинами, когда круги во время вращения дискового корпуса находятся в крайнем положении. При таком виде обкатки круг после удара о поверхность может уходить от нее по прорези.

Возможны еще варианты обкатки, когда круги фиксируются в определенном положении, и когда круги не подтягиваются пружиной к центру, а наоборот, выдавливаются наружу. Это позволяет увеличить давление на обрабатываемую поверхность, которое будет складываться из центробежных сил и давления пружины.

Инструмент совместной обкатки и шлифования (рис. 4.37) может применяться отдельно для обкатки (в этом случае снимаются шлифовальные круги) и отдельно для шлифования (в этом случае снимаются обкаточные круги). Шлифовальные круги вращаются через планетарную или другую передачу в одну или разные стороны. Комбинации вращений шлифовальных кругов и работа обкатки рассматривались выше. Совместная схема обкатки и шлифования может прине-

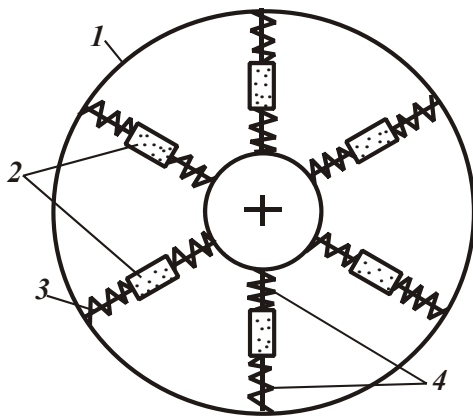


Рис. 4.38. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 – корпус; 2 – круг-ролик; 3 – ось, на которой вращается круг; 4 – пружины.

струменту, а для этого необходимо проводить большой комплекс научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ.

Особенно заслуживает внимания инструмент для совместной обкатки и шлифования, изображенный на рис. 4.38 и рис. 4.39. Поскольку длина внутренней и наружной поверхности круга разная, часть круга будет работать в режиме обкатки, а часть – в режиме шлифования.

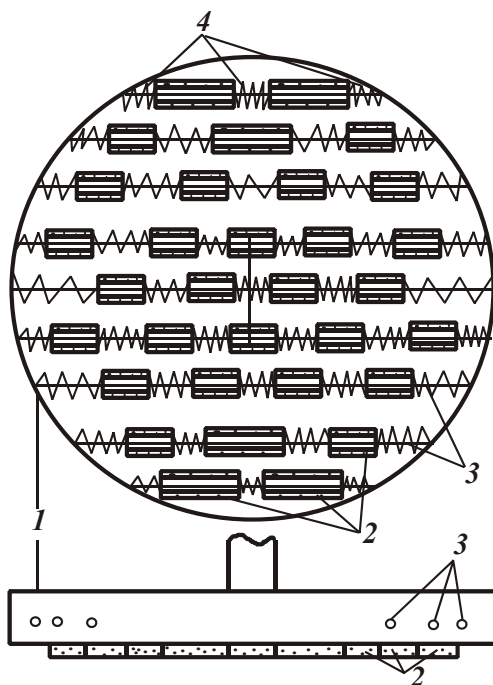


Рис. 4.39. Инструмент для совместной обкатки и шлифования: 1 – корпус; 2 – круг-ролик; 3 – ось, на которой вращается круг; 4 – пружины.

сти положительный эффект при обработке многих материалов. Эффект можно усилить применением ультразвуковых колебаний, поворотных движений и применением других технологий. Совместная схема обкатки и шлифования может быть весьма перспективна, т.к. содержит большое количество конструктивных рациональных вариантов ее реализации. Рассмотрим еще несколько вариантов.

В научно-технической литературе все предлагаемые инструменты и технологии, как правило, имеют новизну и перспективу патентования. Однако сам патент еще не подтверждает жизнеспособность инструмента и технологии. Только опытные образцы и испытания могут дать жизнь новым технологиям и инструментам.

Данный инструмент интересен тем, что оси располагаются равномерно по кругу. Это позволяет использовать на всех кругах центробежную силу. Круги свободно вращаются на оси, но поскольку длины внутренней и наружной поверхностей круга разные, то часть круга не будет выполнять обкатку, а осуществлять чистое шлифование. Так как центробежные силы будут стремиться перемещать круг вдоль оси, а пружины – возвращать его в первоначальное положение, круг во время работы будет постоянно двигаться вдоль оси. Следовательно, на круге будут работать боковые режущие грани зерен, осуществляя процесс шлифования, т.е. данным инструментом выполняется совместно шлифование и обкатка.

Особенность инструмента, показанного на рис. 4.39, заключается в том, что все оси располагаются параллельно, а круги – в шахматном порядке. В зависимости от расположения осей и кругов, последние будут

совершенно по-разному от центробежной силы сдвигаться к периферии корпуса, совершать разные перемещения, зависящие от расположения структуры-текстуры материала.

На параллельно расположенных осях при вращении корпуса будет преобладать процесс шлифования в отличие от варианта с расположением осей, изображенных на рис. 4.38, где преобладает процесс обкатки.

Согласно рис. 4.39, за счет увеличения количества кругов процесс обкатки и шлифования проходит более интенсивно. Инструмент для совместной обкатки и шлифования (рис. 4.38) может так же иметь на каждой оси по несколько кругов. Располагаться они могут в шахматном порядке, но добиться при этом такой плотности кругов, как показано на рис. 4.39, не удастся.

Кроме того, на рис. 4.39 показаны пружины, по размеру близкие диаметру кругов. И это не случайно, поскольку в конструкцию вводится новый шлифовальный инструмент – пружина. Пружина может применяться как шлифовальный инструмент и самостоятельно. Но в данном случае она очень удачно дополняет конструктивные решения. Если пружину растягивать, то она несколько уменьшится в диаметре, а ее проволока начнет раскручиваться. Если пружину сжимать, то она несколько увеличится в диаметре, а ее проволока начнет скручиваться. Поэтому пружина будет шлифовать не одной линией на витке, а некоторой поверхностью. С помощью пружины можно шлифовать стержни, цилиндры, плоскости и фигурные поверхности.

В данном случае эффективно применить бериллиевые пружины, которые до усталостного разрушения выдерживают сотни миллионов циклов. На наружной поверхности пружины можно расположить абразивные или алмазные зерна. В результате получим инструмент, позволяющий производить обкатку и шлифование пружинами и обкатку и шлифование кругами-роликами. Шлифовальные пружины можно применять также и для инструмента, изображенного на рис. 4.38.

Таким образом, совместное применение обкатки и шлифования позволит повысить производительность без увеличения дополнительных затрат. Поэтому этот способ и новый инструмент перспективен и в скором будущем может найти применение на различных технологических операциях.

4.17.4. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ – ПРУЖИНА

Рассмотрим работу нового шлифовального инструмента – пружины, рис. 4.40. Абразивный материал может быть расположен на наружной и внутренней поверхностях пружины, или отдельно на наружной и внутренней поверхностях пружины в зависимости от выполняемых работ. Абразивный материал наносится на пружину таким образом, чтобы во время полного сжатия витков пружины абразивный материал не разрушался, а пружина в свою очередь не изнашивалась от абразивного материала. Абразивный материал эффективнее наносить двумя секторами, хотя он может также наноситься сплошными и прерывистыми полосами. Методы нанесения абразивного материала могут быть са-

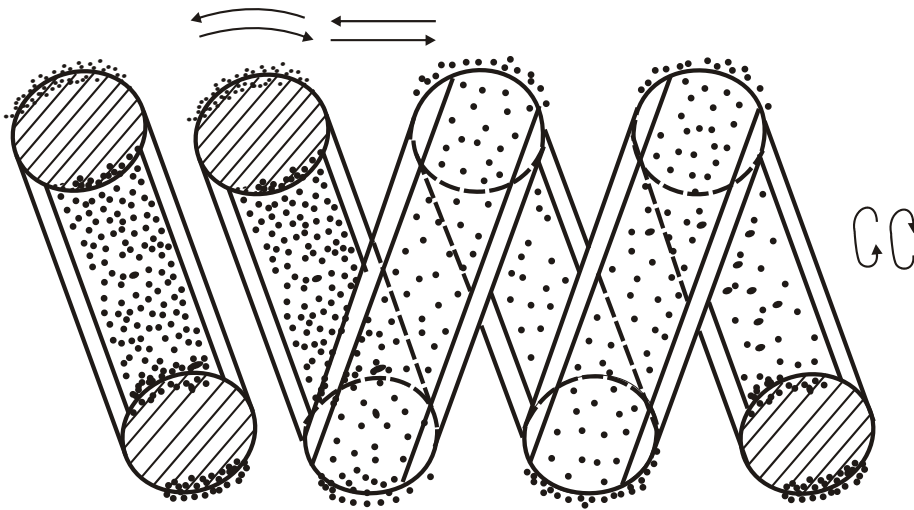


Рис. 4.40. Шлифовальный инструмент – пружина.

шлифовальные круги, как показано на рис. 4.38 и рис. 4.39, а также применяться самостоятельно. На тех же шлифовальных инструментах (рис. 4.38 и рис. 4.39) можно оставить только одни шлифовальные пружины.

Шлифовальными пружинами можно шлифовать внутренние, наружные и фасонные поверхности, зубчатые и винтовые соединения, конусные и шаровые поверхности, трубчатые отверстия с изгибами и т.д. Шлифовальные пружины могут работать совместно с другими инструментами.

Рассмотрим, какие совершаются движения в шлифовальном инструменте – пружина. На рис. 4.40 показаны некоторые перемещения. Сама пружина может перемещаться вдоль витков возвратно-поступательно, вращаться вокруг своей оси и изгибаться. Витки в пружине могут растягиваться и сжиматься.

При сжатии и растяжении витков происходит поворот проволоки пружины вокруг своей оси. Сам виток меняет угол при сближении или удалении витков друг от друга. Пружина может в специальном шлифовальном круге закрепляться жестко или свободно вращаться вокруг своей оси. Как видим, пружина может производить обкатку и шлифование одновременно. Зерно в шлифовальной пружине может совершать очень сложные движения. Поэтому эффективность шлифовальных пружин на определенных работах будет очень высокая. С помощью шлифовальных пружин можно обрабатывать фасонные поверхности, т.к. пружины во время работы способны деформироваться. Шлифовальные пружины могут применяться в специальных вибрационных бункерах для шлифования изделий. Они могут крепиться на стенки специальных цилиндров для шлифования методом вращения – обкатки.

Таким образом, шлифовальные пружины в скором будущем займут достойное место в абразивно-шлифовальной обработке, т.к. это новый универсальный шлифовальный инструмент с большими возможностями. Шлифовальный инструмент из пружин может быть очень многообразен, т.к. состоит из пружин разного поперечного сечения проволоки (стержней): эллипсоидного, прямоугольно-эллипсоидного, прямоугольного и т.д. Пружины могут быть пластинчатыми и дисковыми.

мые различные: вдавливание в горячую поверхность, наклеивание и т.д.

Шлифовальные пружины могут иметь разную форму и размеры. Форма пружины может быть цилиндрическая, коническая, эллипсоидная, шаровая и т.д. Шлифовальные пружины могут дополнять

4.17.5. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ – ШАР

Почему бы не применить шлифовальный инструмент в виде шара? Если обратиться к Природе и посмотреть на каменистые лотки горных ручьев, то можно увидеть, как свободные песчинки перекатываются по каменистому руслу. Кажется, что могут сделать маленькие песчинки, однако результат впечатляет: ручей прокладывает себе дорогу среди твердых огромных камней.

Шлифовальный шар состоит из тысячи примерно равных по размерам и по форме (огранке) абразивных песчинок-зерен, давление которых на обрабатываемую поверхность во много раз больше, чем песчинок, перекатывающихся по каменистому руслу. Шлифовальный шар может производить обкатку и скользить по поверхности, шлифуя (скобля) ее. Где могут применяться шлифовальные шары? При шлифовании труб, цилиндров, изогнутых отверстий.

На трубопроводах после сварки различных поворотных участков сварные швы приводят к нарушению потоков, образуя турбулентность и вызывая вибрации, “гудение” и разрушение труб и их опор, создавая большое сопротивление при транспортировке веществ, увеличивая потребление электроэнергии и снижая производительность трубопровода. Для устранения этих проблем эффективно использовать шлифовальный инструмент в форме шара. Шлифовальные шары могут перемещаться в трубе с помощью воздуха и жидкости, катиться по наклонным плоскостям, проталкиваться пружинами и гибким валом, двигаться с помощью магнитных и электромагнитных полей.

Шлифовальные шары можно изготавливать цельными (полными) и пустотелыми (без отверстий или с отверстиями). Основание шлифовального шара может быть изготовлено из одного или нескольких материалов, например, основание металлическое, а покрытие – вулканитовое, эпоксидное, органическое или другое. Вес шара должен быть подобран таким образом, чтобы он плавал в рабочей жидкости, находился в ней в безразличном положении или тонул.

На рис. 4.41 показан однослойный пустотелый шлифовальный шар без отверстий. При перемещении шара в трубе с помощью воздуха или жидкости, шар может производить обкатку и скользить по трубе, шлифуя ее. Все зависит

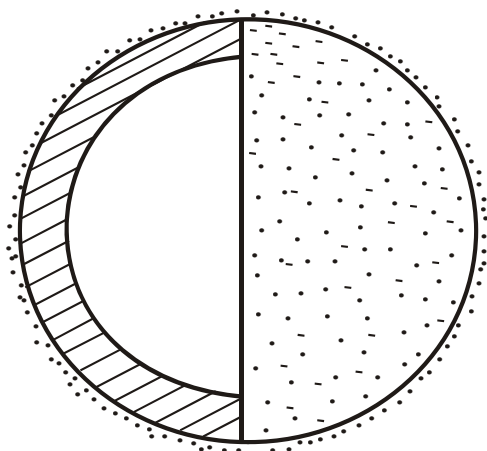


Рис. 4.41. Однослойный пустотелый шлифовальный шар без отверстий.

от скорости движения, плотности, диаметров шаров, их веса и расстояния друг от друга. Процесс обкатки заканчивается при любой скорости перемещения. Если два шара соприкасаются друг с другом, то сразу начинается процесс шлифования.

Шлифовальные шары изготавливаются монолитными или пустотелыми (из пластмассы и различных металлов). Внутри их можно устанавливать постоянные магниты или намагничиваемые материалы. Шлифовальные шары можно также изготавливать полностью из намагничиваемых материалов. Такие шлифовальные шары будут легко пе-

ремещаться по внутренней поверхности шлифуемых изделий с помощью магнитных и (или) электромагнитных полей. Эффективным может быть совместное воздействие магнитных или электромагнитных полей, воздуха или жидкости, или магнитных полей и пружины, или гибкого вала и магнитных полей.

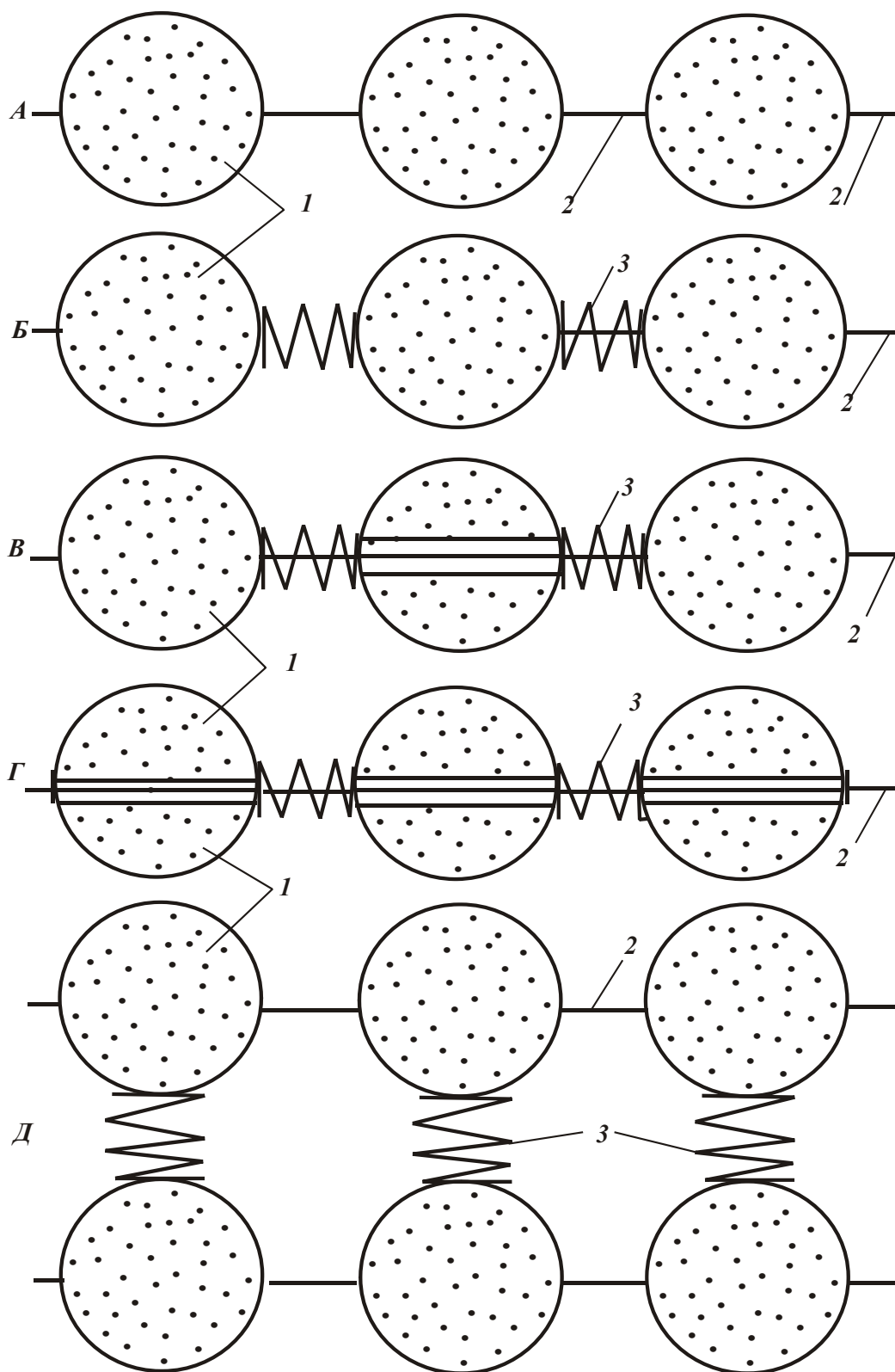


Рис. 4.42. Применение шлифовальных шаров в связке: 1 – шар; 2 – гибкий вал; 3 – пружина.

Отверстия специальных размеров на периферии пустотелого шара или сквозные отверстия на цельном шаре усиливают сцепление с поверхностью кромками отверстий и изменяют движение в потоке жидкости или газа.

В зависимости от назначения шлифовального инструмента, шар может изготавливаться со смещенным центром, эллипсоидной формы, иметь переходные отверстия из двух и более связок и абразивных материалов. Такой инструмент может применяться для очистки и шлифования труб даже во время работы. Для этого на трубопроводе устанавливается загрузочный бункер и уловитель шаров.

На рис. 4.42 показаны схемы работы шлифовальных шаров в связке.

По схеме А шары соединены жестко гибким валом.

По схеме Б шары соединены пружинами и гибкими валами по участкам.

По схеме В шары соединены гибким валом, на котором некоторые шары имеют отверстия для перемещений и разделяются с другими шарами пружинами.

По схеме Г на гибком валу все шары имеют отверстия для перемещений и разделяются между собой пружинами. Гибкий вал для перемещения крайних шаров имеет ограничения.

По схеме Д шары, соединенные гибким валом в плети, имеют связь этих плетей через пружины, соединяющие шары между собой, образуя с торца треугольник (многоугольник, круг).

Шлифовальные шары можно соединять разнообразными плетями, используя схемы А, Б, В, Г. Комбинаций очень много, поэтому нет необходимости их все приводить. Схемы А, Б, В, Г используются для шлифования внутренних поверхностей цилиндров, труб, колен и т.д. Схема Д применяется для шлифования наружных поверхностей труб (цилиндров), в том числе изогнутых.

Применение возвратно-поступательных и вращательных движений инструмента позволяет качественно выполнить процесс шлифования на больших участках в труднодоступных местах. Различные движения могут сообщаться не только инструменту, но и обрабатываемому изделию.

4.17.6. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ШЛИФОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Внутренние поверхности различных трубопроводов, цилиндров, отверстий на изгибах не всегда имеют правильную форму. Как правило, они имеют переходные диаметры, цилиндрические отверстия с переходом в конус, соединение двух цилиндрических отверстий с небольшим смещением, сферические канавки в цилиндрах. При этом отверстия могут иметь эллипсоидную форму и т.д. Но во всех случаях перед эксплуатацией и в процессе эксплуатации требуется их периодическая очистка и шлифование. В связи с этим рассмотрим три новые конструкции шлифовального инструмента. Показанный на рис. 4.43 шлифовальный инструмент состоит из шлифовальных шаров 1, которые перемещаются с помощью цилиндра 2 и пружины 3 по штырю 4 независимо друг от

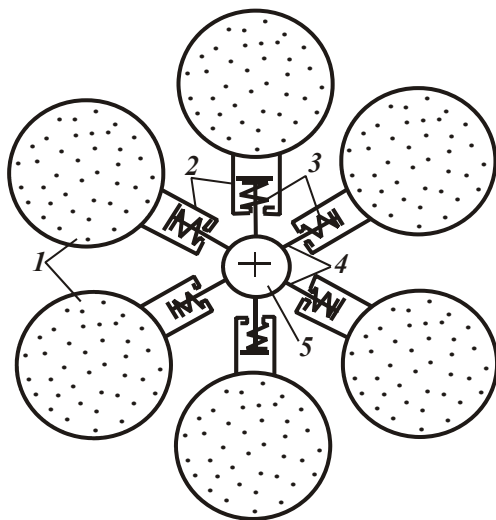


Рис. 4.43. Инструмент для шлифования внутренних поверхностей: 1 – шлифовальный шар; 2 – цилиндр; 3 – пружина; 4 – штырь (спица); 5 – вал.

друга. При увеличении скорости вращения, они прижимаются к обрабатываемой поверхности центробежной силой.

Для выполнения вышеперечисленных работ не требуется большая точ-

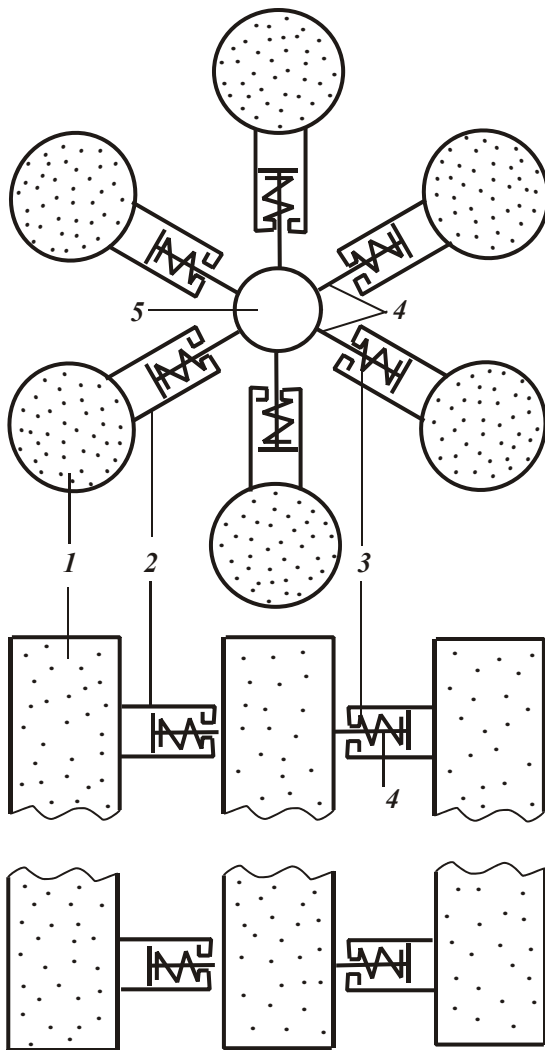


Рис. 4.44. Инструмент для шлифования внутренних поверхностей: 1 – шлифовальный брусок; 2 – цилиндр; 3 – пружина; 4 – штырь (спица); 5 – вал.

ность центрирования данного инструмента по отверстию. Он может перемещаться на значительные расстояния внутри отверстия, проходя разные переходные сечения, в том числе прямые и обратные конусные. Для очистки и шлифования таких поверхностей не требуется больших скоростей резания и высокой точности обработки. Поэтому данный инструмент может обеспечить хорошее качество обработки даже при небольших изгибах и переходах.

В отличие от инструмента, показанного на рис. 4.43 (состоящего из шлифовальных шаров), инструмент, показанный на рис. 4.44, состоит из цилиндрических или полусферических брусков. Он предназначен для шлифования длинных цилиндрических отверстий без изгибов и переходных сечений. Им можно шлифовать конусные отверстия.

Отличие инструмента, показанного на рис. 4.45, состоит в том, что на каждый брусок рабо-

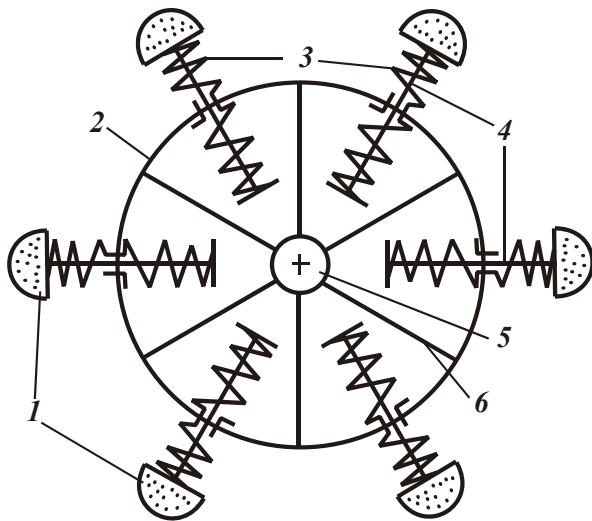


Рис. 4.45. Шлифовальный инструмент для обработки внутренних поверхностей: 1 – шлифовальный брусок; 2 – корпус цилиндрический; 3 – пружина; 4 – штырь; 5 – вал; 6 – ребра жесткости.

ния любых работ, не требующих точной настройки и больших скоростей вращения, но способный значительно улучшить качество обработки внутренних поверхностей и при этом быть очень простым по конструкции, технологичным в изготовлении и эксплуатации.

4.17.7. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

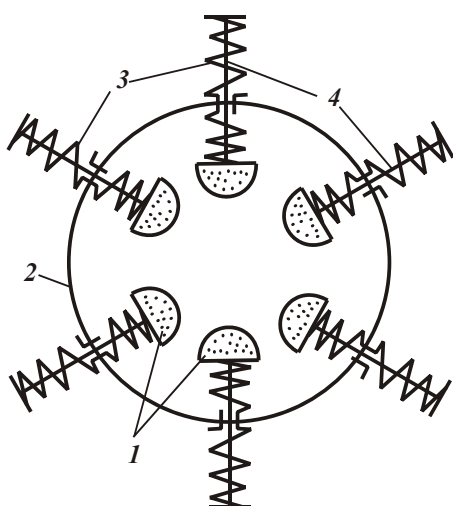


Рис. 4.46. Инструмент для шлифования наружных поверхностей: 1 – шлифовальный брусок; 2 – корпус цилиндрический; 3 – пружина; 4 – штырь.

тают две пружины, которые все время стремятся его вернуть в первоначальное положение. Возможности шлифования таким инструментом значительно шире. Им можно шлифовать отверстия, предварительно установив в них бруски, т.е. прижав их к корпусу. Можно шлифовать отверстия, свободно устанавливая в них инструмент, шлифовать прямые цилиндрические и конусные отверстия.

Традиционное шлифование отверстий кругами, посаженными жестко на шпиндель, требует тщательного центрирования, что не позволяет шлифовать отверстия с изгибом. Изучая проблемы шлифования, можно конструктивно создать шлифовальный инструмент для выполне-

Инструмент для шлифования наружных поверхностей стержней, цилиндров, труб, а также конусов изображен на рис. 4.46. При этой схеме обработки удобнее вращать обрабатываемую трубу (вал).

Если на наружную поверхность штырей установить шлифовальные бруски, то получим инструмент для одновременного шлифования наружных и внутренних поверхностей. Здесь как бы совместили два инструмента, изображенные на рис. 4.45 и рис. 4.46. Шлифовальный инструмент с упруго-подвижными брусками открывает новые возможности шлифования различных труднообрабатываемых поверхностей, шлифование которых было или невозможно, или проводилось вручную.

4.17.8. КОНСТРУКЦИИ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ФАСОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей (рис. 4.47) работает следующим образом: вращение на каждый шлифовальный шар передается от общего привода через шестерню, гибкий вал и жесткий вал. Жесткий вал имеет шарнирную опору в несущей плите – корпусе. Пружины обеспечивают возвращение шлифовальных кругов в вертикальное положение (перпендикулярное положение относительно несущей плиты). Подшипники исключают вращение пружин. Особенности работы данной конструкции заключаются в том, что каждый шлифовальный шар может отклоняться по радиусу в любую сторону. Перемещая несущую плиту-корпус с вращающимися шлифовальными шарами, можно обрабатывать разные фасонные плоскости. Несущая плита может вращаться вместе с шарами в одну или разные стороны. Она может также вращаться и без вращения шаров.

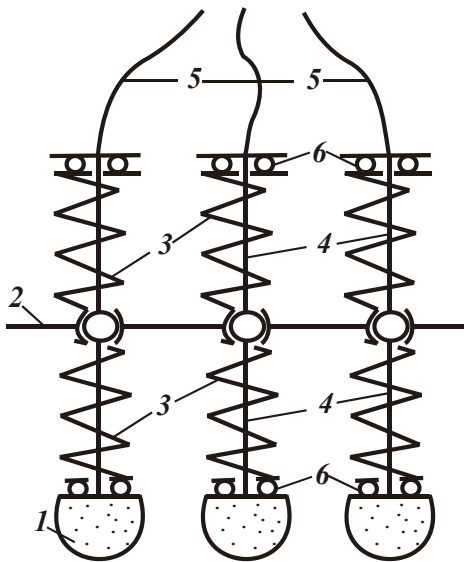


Рис. 4.47. Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей: 1 – шлифовальный шар (сфера); 2 – несущая плита – корпус; 3 – пружины; 4 – жесткий вал с шаровой опорой; 5 – гибкий вал, соединенный с жестким валом для вращения шара; 6 – подшипники.

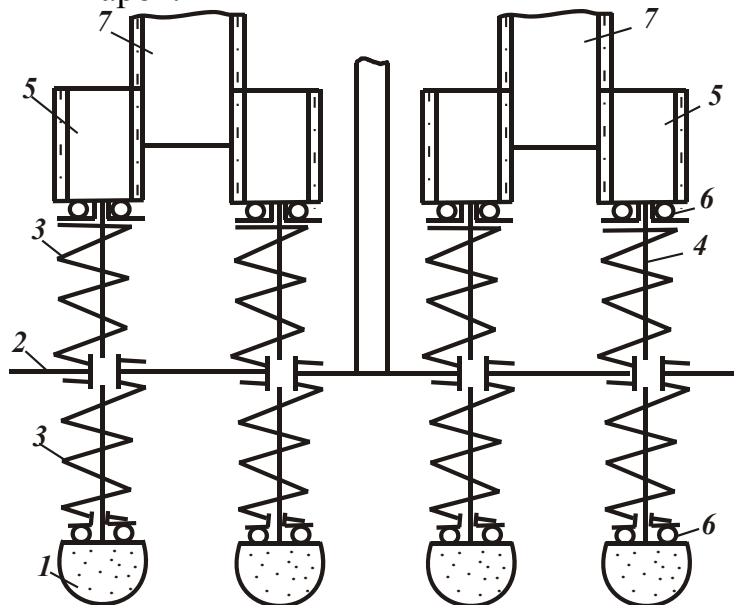


Рис. 4.48. Шлифовальный инструмент для обработки фасонных поверхностей: 1 – шлифовальный шар; 2 – несущая плита – корпус; 3 – пружины; 4 – жесткий вал; 5 – подвижные шестерни-валы; 6 – подшипники; 7 – приводные шестеренчатые валы.

Конструкция шлифовального инструмента для обработки фасонных поверхностей, показанная на рис. 4.48, позволяет перемещаться вращающимся шаровым сферам вверх – вниз, т.е. вести обработку на разных уровнях.

Соединяя конструкции, показанные на рис. 4.47 и рис. 4.48, приходим к новой конструкции инструмента, в которой вращающиеся шары могут изменять высоту обработки за счет скольжения жесткого вала по шаровой опоре и отклоняться в любую сторону на шаровой опоре.

4.17.9. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ КРУГ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДВУХСТОРОННЕГО ОСЕВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Изучая процесс обработки материалов повышенной твердости, становится очевидным, что связка абразивного инструмента играет важную роль в интенсификации съема материала, повышении качества обработки и снижении износа инструмента. Чем тверже связка круга, тем интенсивнее изнашивается круг и хуже качество обработки. Поэтому твердыми кругами рекомендуется выполнять обдирочную обработку, а мягкими кругами – чистовую обработку. С увеличением твердости связки круга повышается его склонность к засаливанию, и в то же время обеспечивается повышенная производительность обработки.

Рассмотрим, как можно совместить два вроде бы противоположные факта: высокую производительность обработки (за счет увеличения твердости круга) и высокое качество обработки (за счет применения “мягких” кругов) и что происходит с режущими зернами в “мягком” круге. Вполне очевидно, что режущие зерна при контакте с обрабатываемым материалом (за счет эластичности связки) могут сместиться в сторону, изменить угол или “утонуть” в связку.

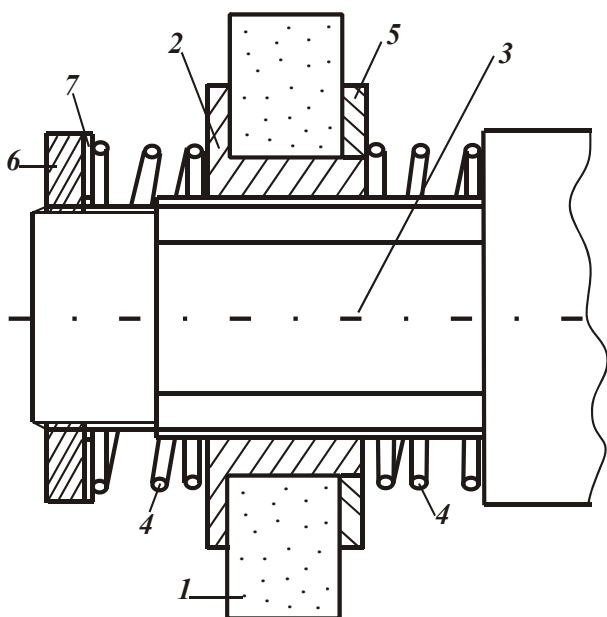


Рис. 4.49. Схема крепления шлифовального круга с двухсторонним осевым перемещением: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – шлицевый вал; 4 – пружины; 5 – шайба или гайка; 6 – гайка; 7 – шайба.

Шлифовальный круг устанавливается на шлицевую втулку, которая может свободно перемещаться по валу.

При этом перемещение круга ограничивается упругими пружинами. От жесткости пружин, жесткости круга и твердости обрабатываемого материала будет зависеть осевое перемещение круга во время обработки. Круг как бы сам для себя выбирает режим резания и путь прохождения зернами твердых струк-

Следовательно, режущее зерно как бы само выбирает себе путь, формирует производительность обработки, сохраняя свой режущий ресурс. Чем тверже круг, тем больше должна быть сила, необходимая для вываливания зерна из связки. Вместе с тем, режущие зерна круга, попадая на твердые зерна обрабатываемого материала, не могут их обойти и вынуждены проходить через них. Это приводит к разрушению режущих зерен и повышенному износу шлифовального круга.

Чтобы повысить прочность удержания зерен в связке и уменьшить износ круга, а соответственно увеличить производительность, экономичность и качество обработки, предлагается новое конструктивное решение в креплении шлифовального

тур. Такая конструкция снижает возможность возникновения автоколебаний и передачу вибраций станка, позволяет обрабатывать материалы повышенной твердости с высоким качеством, т.е. практически обеспечивает совмещение обдирочной и чистовой обработки. По данной схеме шлифовальные круги могут собираться в многокруговые наладки.

4.17.10. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШЛИФОВАНИЕМ ПОД РАЗНЫМИ УГЛАМИ

При установке обрабатываемого изделия на стол станка, очень часто наблюдается непараллельность поверхности стола. В этом случае необходима тщательная настройка стола. Если настройка не точная, то во время обработки происходит необоснованно завышенный съем обрабатываемого материала и износ шлифовального круга, затрачивается дополнительная электроэнергия.

Настройка станка весьма трудоемка, занимает много времени и снижает производительность труда.

Для решения вышеперечисленных проблем предлагается новая конструкция крепления шлифовального круга (рис. 4.50). Устройство может состоять из двух или трех цилиндров. Три цилиндра располагаются под углом 120° относительно друг друга. При работе такое устройство обеспечивает равномерный съем материала по всей поверхности под разными углами. При этом исключается передача случайных толчков на инструмент, обеспечивается его “мягкое” прохождение по материалу, улучшается качество обрабатываемой поверхности, экономится электроэнергия, уменьшается износ инструмента, не затрачивается время на настройку станка, повышается производительность труда, снижается себестоимость обработки.

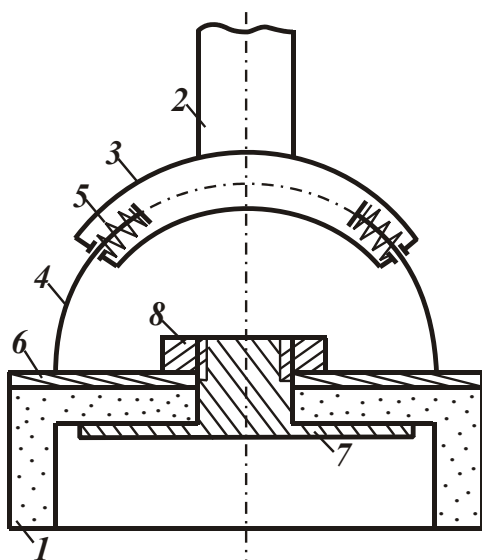


Рис. 4.50. Устройство для обработки поверхностей шлифованием под разными углами: 1 – чашечный шлифовальный круг; 2 – вал, передающий вращение; 3 – сферический цилиндр; 4 – сферические штоки; 5 – пружина; 6 – корпусный диск с закрепленными сферическими штоками; 7 – крепежная шайба с посадочным валом и резьбой; 8 – гайка для крепления.

4.17.11. УСТРОЙСТВО С ОСЕВЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

На рис. 4.51 показано устройство с осевым перемещением шлифовального круга. Во время вращения круга 1 пружина 6 через шлицевую втулку 2

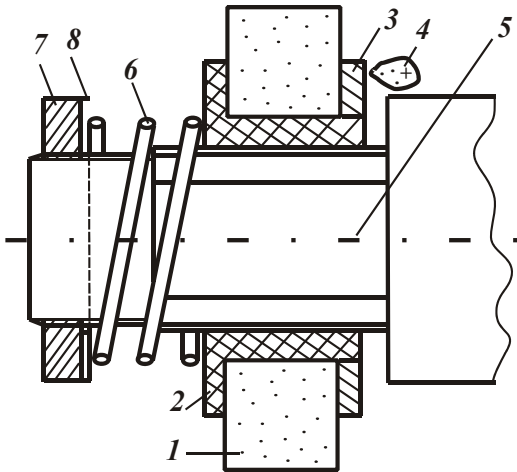


Рис. 4.51. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – шайба или гайка; 4 – эксцентрик (показан повернутым на 90°); 5 – шлицевый вал с резьбой; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – шайба.

круга в сторону эксцентрика. Следовательно, характер обработки и износ режущих зерен так же будет разный. Поэтому через определенное время работы круг следует установить другой стороной.

Введение дополнительных перемещений круга изменяет не только траекторию движения режущих зерен, но и значительно изменяет скорости их движения. Скорость перемещения круга можно предварительно рассчитать (зная амплитуду перемещения и скорость вращения эксцентрика) и изменять в зависимости от обрабатываемого материала.

Данная схема обработки уменьшает засаливание и износ круга, повышает производительность и качество обработки, уменьшает воздействие случайных толчков и возникновение автоколебаний.

4.17.12. ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КРУГА

Рассматривая устройство с осевым перемещением шлифовального круга, показанное на рис. 4.51, наряду со всеми положительными качествами, находим и отрицательные качества. Каждая конструкция в определенных условиях просто незаменима. Но, тем не менее, если рассматривать ее универсальность, технологичность, возможности использования при обработке, то всегда можно найти какие-то ограничения, недостатки и несовершенства.

Применение новых материалов всегда создает предпосылки развития технологий, позволяет упростить технологическую систему и обеспечить получение новых более высоких показателей обработки.

прижимает круг с рабочей шайбой или гайкой 3 к эксцентрику 4, который вращается с определенной скоростью. Вследствие этого круг во время работы перемещается вдоль оси на величину эксцентрика, совершает возвратно-поступательные перемещения с определенной частотой. В зависимости от прочности материала шлицевая втулка может располагаться к эксцентрику другой стороной. Данная конструкция заслуживает внимания, т.к. позволяет получить новый, более качественный и производительный вид обработки; обеспечивает принудительные движения круга, что увеличивает в три раза количество режущих граней на зернах, изменяет путь режущих зерен и характер их воздействия на обрабатываемые зерна.

Перемещение круга в сторону пружины более жесткое, чем перемещение

Устройство с осевым перемещением шлифовального круга, изображенное на рис. 4.51, имеет следующие недостатки.

Для обеспечения осевого перемещения шлифовального круга требуется установить шлицевой вал и шлицевую втулку. Для принудительного перемещения шлифовального круга необходимо установить эксцентрик и пружину. Эксцентрик должен приводиться во вращение отдельным приводом или с помощью системы шестерен от основного привода. Такие устройства сложны и ограничивают получение разных частот перемещений круга. Эксцентрик, вращаясь на шайбе, изнашивается и оставляет канавку на шайбе, что со временем уменьшает амплитуду перемещений круга. Пружина накапливает усталость, изменяет упругость и со временем разрушается. Шлицевая втулка, перемещаясь по шлицевому валу, так же изнашивается, т.е. появляется осевой люфт, биение круга, ухудшается качество обработки. Для исключения этих недостатков при-

меним новые материалы и новую технологию перемещения круга.

На рис. 4.52 показана схема перемещения плоского круга прямого профиля на основе применения пьезоэлектрических материалов. На несущий диск посредством клеевых смесей крепится дисковая пластина пьезоэлектрического материала, а на нее крепится круг. При подаче определенного потенциала на пьезоэлектрическую дисковую пластину, она увеличивается по толщине (высоте), а при подаче противоположного потенциала – уменьшается по толщине (высоте), что вызывает осевые перемещения круга. Изменение потенциалов можно производить с частотой от 0 до 10^9 Гц. Подача потенциала осуществляется через деталь и шлифовальный круг или через несущий диск, или через деталь и несущий диск одно-

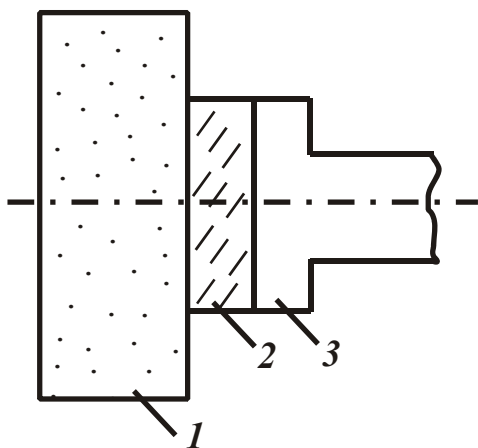


Рис. 4.52. Схема применение пьезоэлектрического материала для дополнительного перемещения круга: 1 – круг; 2 – пьезоэлектрический диск (материал); 3 – несущий диск с валом.

временно. От величины подачи потенциала зависит степень увеличения высоты пьезоэлектрического диска.

Такая конструкция крепления круга не мешает ему перемещаться от колебаний пьезоэлектрического диска. Перемещения круга измеряются в миллионных долях миллиметра, но на уровне режущих и обрабатываемых зерен и структур это очень существенно. Большая скорость перемещений переводит процесс обработки на новый уровень. Здесь появляются сверхскорости и сверхускорения режущих зерен, реверсивное движение зерен, ударная нагрузка, вступают в работу новые режущие грани зерен, изменяются окислительные процессы на поверхности зерен и в межзеренных пространствах, изменяются температурные величины и электрические потенциалы на поверхности обрабатываемых и режущих зерен, при определенных частотах появляется кавитация СОЖ. Все это может значительно увеличить производительность обработки и,

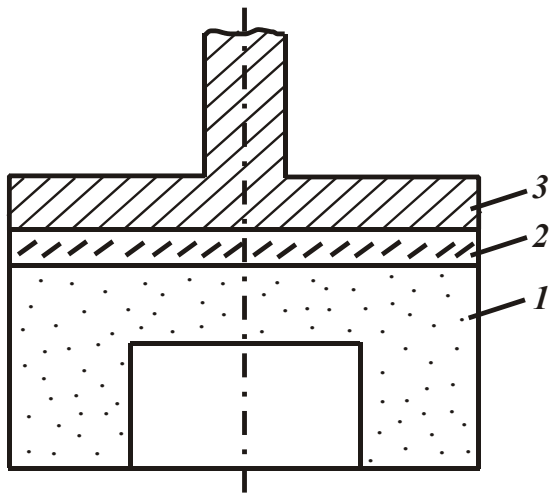


Рис. 4.53. Схема применения пьезоэлектрических материалов для дополнительных перемещений круга: 1 – круг чашечной формы; 2 – пьезоэлектрический диск; 3 – несущий диск с валом.

Если же растягивать – то потенциал изменится на противоположный. Этим свойством пьезоэлектрического материала воспользуемся для получения информации при обработке материалов.

Рассмотрим взаимодействие плоского круга прямого профиля с пьезоэлектрическим диском (рис. 4.52) с разными структурами материала при одной и той же скорости и подаче. Зерна шлифовального круга будут по-разному проходить через зерна обрабатываемого материала и соответственно вызывать осевой сдвиг круга, что приведет к изменению потенциалов на пьезоэлектрическом диске, которое записываем через компьютер на носитель информации. Таким способом можно сравнить характер обработки разных материалов, частоту и амплитуду вибраций круга. Частота вибраций круга будет зависеть от величины режущих зерен, их плотности, степени износа, скорости вращения круга, величины снимаемого припуска и, главным образом, от структуры материала. Изменяя характеристики круга и режимы резания при обработке разных структур, можно создать банк данных по собственным вибрациям круга в обрабатываемом материале, что очень важно для осуществления обратной связи и установления оптимальных режимов обработки.

Обратная связь в таких устройствах может вестись в период между импульсными воздействиями на круг или же периодически выключая импульсные воздействия. Это позволит автоматически корректировать режим обработки, выбирать оптимальную частоту воздействий и силу импульсов, т.е. регулировать амплитуду перемещений в зависимости от изменяющейся структуры обработки. Клеевые методы крепления кругов не всегда эффективны, а однослойный пьезоэлектрический диск дает очень малую амплитуду колебаний. Поэтому изменим конструкцию (рис. 4.51) осевого перемещения шлифовального кру-

прежде всего, материалов повышенной твердости.

При определенных частотах воздействия на пьезоэлектрический диск возникают резонансные колебания диска. Их можно использовать для увеличения амплитуды перемещений не только плоских кругов прямого профиля, но и чашечных и других кругов. Характер обработки устройством, показанным на рис. 4.53, существенно изменится, т.к. чашечный круг будет совершать колебательные движения (вверх-вниз), периодически увеличивая и уменьшая слой снимаемого материала.

Рассмотрим возможности применения пьезоэлектрического диска для установления обратной связи. Если пьезоэлектрический диск механически сжи-

га с помощью эксцентрика для применения пьезоэлектрических элементов, работающих на изгиб. Для этого может быть предложена конструкция пьезоэлектрического элемента, показанная на рис. 4.2.

Пьезоэлектрический элемент состоит из двух пьезоэлектрических дисков, которые соединены между собой в один элемент через изолирующий материал (рис. 4.2, позиция А). На позиции Б показана работа пьезоэлектрического элемента. При подаче на один диск положительных потенциалов, а на другой диск – отрицательных, создается следующий эффект. Диск, который получил положительные потенциалы, увеличивает свои размеры, а диск, который получил отрицательные потенциалы, уменьшает их. Так как диски связаны между собой изолирующим материалом, то они изгибаются. Сторона пьезоэлектрического элемента с положительным потенциалом становится выпуклой, а сторона пьезоэлектрического элемента с отрицательным потенциалом – вогнутой. Это свойство пьезоэлектрического элемента позволяет в сотни раз увеличить амплитуду колебаний круга.

Устраняя в конструкции рис. 4.51 эксцентрик и устанавливая с этой стороны пьезоэлектрический элемент, получаем новое устройство с новыми возможностями. Частота перемещений таких элементов остается очень высокой, а амплитуда их колебаний, по сравнению с простым пьезоэлектрическим диском, значительно увеличивается. Для данной амплитуды и частоты вибраций пьезоэлемента (20...30 тыс. Гц) скорости и ускорения обработки примут сверхзначения.

Возможности пьезоэлемента настолько велики, что все их трудно описать. Во-первых, пьезоэлемент может работать на одном или двух дисках при одинаковых потенциалах. При этом один диск можно использовать для передачи вибраций, а другой – для сбора информации о взаимодействии круга и структуры обрабатываемого материала. Таким устройством можно производить поочередно микро- и макроколебания, постоянно снимать информацию и корректировать режимы обработки.

В предложенных новых устройствах и конструкциях предусмотрено применение одного однослойного диска, или пьезоэлемента из двух дисков, или их совместное применение. Все это значительно расширяет возможности использования пьезоматериалов и ультразвуковой обработки сверхтвердых материалов.

4.17.13. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ДИСКОВ

Показанная на рис. 4.54 схема ультразвукового шлифования позволяет устанавливать вместо пьезоэлектрического диска 2 пьезоэлектрический элемент, изображенный на рис. 4.2, или вместе с пьезоэлектрическим диском устанавливать пьезоэлектрический элемент. Схема позволяет использовать тарельчатые круги, плоские круги прямого профиля и другие.

На рис. 4.55 приведена схема устройства для шлифования с применением ультразвука. Два пьезоэлектрических диска 2 и изолирующий диск 9 могут

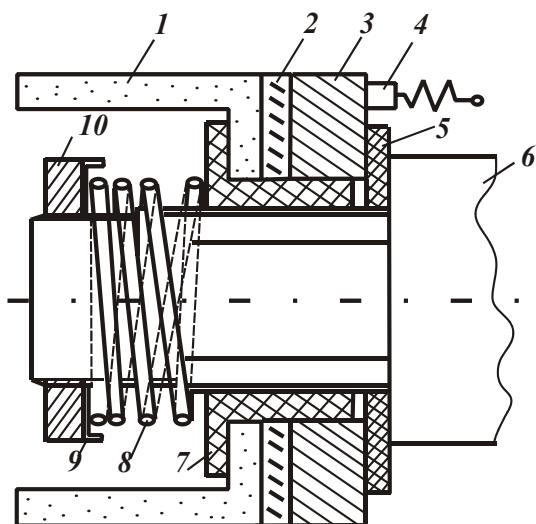


Рис. 4.54. Схема ультразвукового шлифования: 1 – чашечный круг; 2 – пьезоэлектрический диск; 3 – металлическая шайба; 4 – токоподводящая и токосъемная щетка; 5 – текстолитовая шайба; 6 – вал со шлицами и резьбой, передающий вращение на круг; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина; 9 – шайба; 10 – гайка.

Юющий диск или металлический токоподводящий диск, или через изолирующий и токоподводящий диск. Схема также позволяет заменить пьезоэлектрический элемент на один пьезоэлектрический диск. Отличие схем, показанных на рис. 4.54 и рис. 4.55, заключается в использовании пружин разных конструкций. На схеме, показанной на рис. 4.54, используется пружина из прутка (проволоки), а на схеме, показанной на рис. 4.55, – пружина рессорно-дисковая.

Металлические токоподводящие диски могут быть намагничивающимися или не намагничивающимися. Намагничивающиеся диски позволяют производить воздействие внешним магнитным полем.

Эти конструктивные решения дают возможность применения новых технологий при обработке шлифованием. Вариантов решений может быть большое количество, все их рассматривать не имеет смысла, т.к. они очевидны из конструктивных соображений.

Рассмотрим возможные варианты применения пьезоэлектрических элементов из двух дисков.

Вариант 1. Оба диска используются для контроля свободного перемещения круга во время шлифования одновременно.

Вариант 2. Один диск используется для сбора информации и контроля за перемещением круга, а второй диск создает вынужденные перемещения круга. Сбор информации необходим для сравнения обработки разных структур материалов.

Вариант 3. Пьезоэлектрический элемент используется для создания вы-

быть собраны из отдельных не связанных между собой элементов, или пьезоэлектрические диски и изолирующий диск соединены между собой в одно целое, что объединяет их в один пьезоэлектрический элемент, изображенный на рис. 4.2. Работа отдельных дисков и пьезоэлектрического элемента различна.

Устройство, изображенное на рис. 4.55, позволяет устанавливать круги чашечной, тарельчатой и других форм.

Схема (рис. 4.54) ультразвукового шлифования может быть дополнена пьезоэлектрическим элементом из двух дисков, изображенных на рис. 4.2. Элемент устанавливается рядом с пьезоэлектрическим диском или через изолирующий диск, или через изолирующий диск и металлический токопроводящий диск.

Схема устройства для шлифования с применением ультразвука (рис. 4.55) позволяет дополнительно установить пьезоэлектрический диск через изолиру-

нужденных колебаний круга одновременной подачей одинаковых потенциалов на оба диска с определенной частотой.

Вариант 4. Пьезоэлектрический элемент используется для создания вынужденных колебаний круга от подачи одинаковых потенциалов на оба диска с разной частотой.

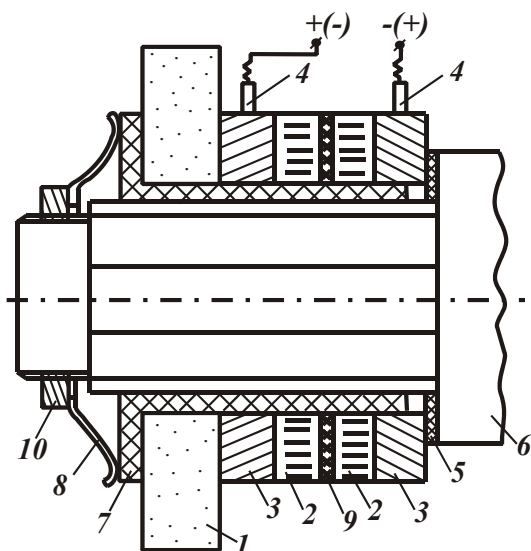


Рис. 4.55. Схема устройства для шлифования с применением ультразвука: 1 – плоский круг прямого профиля; 2 – пьезоэлектрические диски; 3 – металлические токопроводящие диски; 4 – токоподводящие и токосъемные щетки; 5 – текстолитовая шайба; 6 – вал со шлицами и резьбой, передающий вращение на круг; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина; 9 – изолирующий диск; 10 – гайка.

Пьезоэлектрического элемента амплитуда колебаний в сотни раз больше, чем у пьезоэлектрического диска. Поэтому колебания круга от диска накладываются на колебания от пьезоэлектрического элемента, колебания могут производиться с одинаковой и разной частотой. Небольшие и большие амплитуды колебаний одновременно позволяют воздействовать на отдельные обрабатываемые зерна и группы зерен (дендрины, структурные образования, текстуру). При совпадении движений скорости перемещения круга складываются, что позволяет получать сверхскоростные режимы обработки.

Вариант 2. Пьезоэлектрический диск используется для сбора информации, контроля, установления обратной связи, а пьезоэлектрический элемент используется для создания ультразвуковых вибраций круга.

Вариант 3. Совместная работа пьезоэлектрического диска и механическое перемещение круга эксцентриком.

Вариант 4. Перемещение круга эксцентриком и пьезоэлектрическим элементом.

Вариант 5. Пьезоэлектрический элемент используется с применением разных потенциалов на дисках для создания вынужденных перемещений диска с большой амплитудой.

Вариант 6. Пьезоэлектрический элемент периодически используется для контроля свободного перемещения круга и создания вынужденных перемещений круга.

Вариант 7. Периодическое использование вариантов 1...6 или их комбинаций.

Рассмотрим совместное использование пьезоэлектрического диска, пьезоэлектрического элемента из двух дисков и механических перемещений круга эксцентриком. Вариантов и комбинаций их использования большое количество. Каждый из вариантов преследует свою цель. Многие из них необходимы для изменяющихся условий обработки.

Вариант 1. Используем пьезоэлектрический диск и пьезоэлектрический элемент из двух дисков. У пьезоэлектрического

Вариант 5. Перемещение круга эксцентриком, пьезоэлектрическим элементом, контроль и обратная связь пьезоэлектрическим диском.

Вариант 6. Использование эксцентрика, пьезоэлектрического диска и пьезоэлектрического элемента одновременно для создания перемещений круга.

Вариант 7. Использование пьезоэлектрического диска, пьезоэлектрического элемента для создания периодических перемещений, контроля и установления обратной связи при постоянном дополнительном перемещении круга эксцентриком.

Эти и другие варианты и комбинации совместной работы пьезоэлектрических дисков и пьезоэлектрических элементов обусловлены еще и тем, что собственная частота пьезоэлектрических дисков зависит от их толщины. Использование нескольких дисков из разных пьезоматериалов или разной толщины позволяет получить резонансные колебания на нужных частотах.

4.17.14. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ КРУГ С ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ДИСКОМ

Рассмотрим шлифовальный круг, состоящий из двух дисковых односторонне “срезанных” абразивных брусков и пьезоэлектрического диска, рис. 4.56. Дисковые бруски собираются на клеяые связки с двух сторон на пьезоэлектрическом диске “срезанными” сторонами к пьезоэлектрическому диску и вершинами треугольников, направленных во взаимно противоположные стороны.

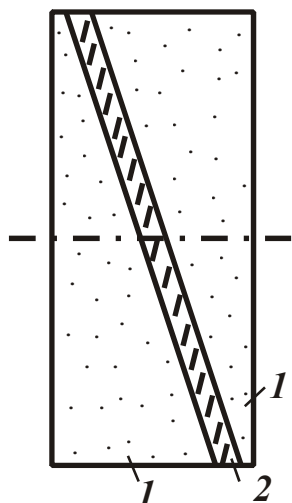


Рис. 4.56. Шлифовальный круг с пьезоэлектрическим диском: 1 – абразивный брусок; 2 – пьезоэлектрический диск.

Универсальность этого круга заключается в том, что при подаче на пьезокристаллический диск отрицательного потенциала, круг уменьшается в диаметре и по толщине, а при подаче положительного потенциала – соответственно увеличивается. Скорость изменения размеров может составлять 20...30 тыс. Гц и выше. Такие круги могут устанавливаться в устройствах, показанных на рис. 4.49, рис. 4.51, рис. 4.54 и рис. 4.55. Их можно использовать в многокруговых наладках, где круги разделены жесткими пружинами.

Данные круги могут быть эффективно использованы в инструменте для совместной обкатки и шлифования (рис. 4.36, рис. 4.37, рис. 4.38, рис. 4.39 и др.).

Роликовые круги с пьезоэлектрическими дисками могут содержать не один диск, а несколько. Их целесообразно использовать в инструменте для совместной обкатки и шлифования (рис. 4.38, рис. 4.39).

Пьезоэлектрические диски могут быть смонтированы в шлифовальные шары, могут соединять металлические корпуса алмазных кругов, а также могут быть смонтированными в разные материалы и любые связки под одинаковыми или

разными углами.

Пьезоэлектрические кристаллы могут равномерно или хаотично заполнять связку круга, использоваться с пьезоэлектрическим диском или отдельно.

Эффективность работы с вмонтированными пьезоэлектрическими дисками в разные круги очень большая, т.к. они дают возможность применять ультразвуковую обработку, собирать информацию, осуществлять контроль и обратную связь. Уникальность кругов заключается еще и в том, что они позволяют перемещать режущие зерна сразу по трем координатам, по двум из которых перемещение осуществляется с помощью пьезоэлектрического диска возвратно-поступательно с высокой частотой.

4.17.15. СЕКТОРНЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ И СЕКТОРНЫЕ ДИСКИ

Секторный пьезоэлектрический элемент (рис. 4.57) состоит из изолирующего диска 1, на котором с двух сторон напротив друг друга располагаются пьезоэлектрические секторы 2. Изолирующий диск выполнен из эластичного материала, поэтому работа каждого сектора может проходить независимо от других. Принцип работы и устройство секторов аналогичны схемам, показанным на рис. 4.2. При подаче разных потенциалов на секторы, разделенные изолирующим диском, происходит их совместный изгиб, что необходимо для выхода на новый более высокий уровень шлифования.

Известно, насколько вредны автоколебания, которые образуются системой “станок – инструмент – деталь – режим обработки”. Резонансные автоколебания с определенной частотой приводят к снижению качества обработки и к браку при шлифовании.

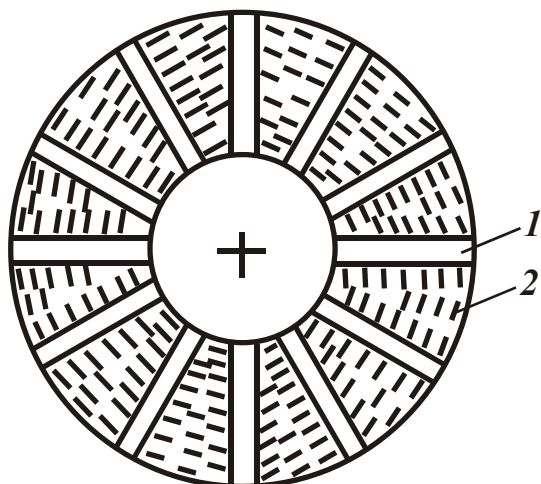


Рис. 4.57. Секторный пьезоэлектрический элемент: 1 – изолирующий диск; 2 – пьезоэлектрические секторы.

Эффект автоколебаний показывает, что при постоянном изменении частоты автоколебаний можно получить выигрыш в производительности обработки материалов. Если автоколебания производить равномерно по всему шлифовальному кругу с ультразвуковыми частотами и определенной амплитудой, то это может быть одним из самых эффективных способов повышения производительности обработки.

Наиболее рационально иметь количество секторов на секторном элементе от 4 до 24. Подача потенциалов на секторы осуществляется через специальные диски и токосъемные щетки или напрямую. Токпроводящие диски могут иметь токоподводящие секторы или дорожки, токоподводящие секторы и дорожки.

Секторы на пьезоэлектрическом элементе могут работать поочередно в том или ином направлении, а также они могут включаться группами или все сразу. Работа пьезоэлектрического элемента разнообразна. Секторный пьезоэлектрический элемент на изолирующем эластичном диске используется для получения вынужденных “автоколебаний” для повышения качества и производительности обработки. Он позволяет получить большие амплитуды колебаний, но для осуществления контроля и установления обратных связей его использование не эффективно.

Для осуществления контроля и получения обратной связи устанавливаем секционные пьезоэлектрические элементы на упругом гибком диске, а также одно- и двухсторонние секторные пьезоэлементы на изолирующих твердых дисках. С помощью таких пьезоэлектрических элементов можно выявить автоколебания и противопоставить им созданные колебания, т.е. устранить их или частично погасить автоколебания, а в некоторых случаях просто дополнить. Автоколебания системы с определенной частотой воздействия на обрабатываемую

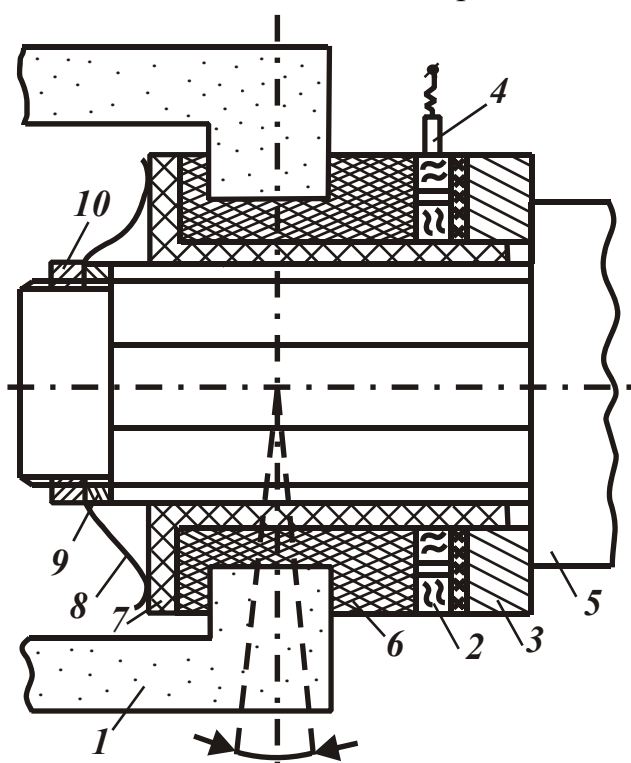


Рис. 4.58. Устройство для ультразвукового качания (кручения) и возвратно-поступательного перемещения круга: 1 – чашечный круг; 2 – секторный пьезоэлектрический диск; 3 – металлическая шайба; 4 – токоподводящая и токосъемная щетка; 5 – вал со шлицами и резьбой, передающей вращение на круг; 6 – резиновая П-образная упругая втулка; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина рессорно-дисковая; 9 – шайба; 10 – гайка.

ую поверхность постоянны в одном направлении, поэтому обработка производится “ямообразно”. Применяя пьезоэлектрические секторные элементы, можно распределить колебания круга равномерно по всей окружности. Технологий применения секторных пьезоэлектрических элементов много. Для работы с одним кругом могут использоваться один, два и три пьезоэлектрических элемента. Каждый сектор можно заставить работать с любой частотой, все секторы можно включить в работу на разных частотах одновременно или одновременно на одной частоте.

Секторные элементы на твердых изолирующих дисках не изгибаются, но они эффективны для контроля автоколебаний и установления обратной связи с источником требуемых колебаний круга. На двухсторонние секторные элементы на твердых дисках подаются только одинаковые потенциалы, при этом пьезоэлектрические секторы увеличиваются в размере. С их помощью можно по-

лучить колебания небольшой амплитуды, но большой частоты.

Приводить все варианты и возможные комбинации работы секторных элементов не будем, тем более, что все варианты описывать просто нет смысла – выбрать оптимальный вариант может только компьютер через обратную связь для конкретных условий обработки.

Рассмотрим, как секторные элементы и диски взаимодействуют с кругом, используя рис. 4.58. В данное устройство можно устанавливать чашечные и тарельчатые круги, плоские круги прямого профиля и другие. Резиновая П-образная упругая втулка может быть съемной и несъемной. Несъемные втулки устанавливаются на круг на заводе-изготовителе. Съемные резиновые втулки выпускаются отдельно и устанавливаются на круг непосредственно перед эксплуатацией.

Втулки выпускаются цельными, разрезанными и сборными. Цельные П-образные втулки устанавливаются путем предварительного сжатия и отгибания бортиков с одной стороны. Цельную втулку можно выполнить разрезной, если разрезать в одном месте вдоль вала. Установка такой втулки значительно облегчается.

Почему такое внимание к резиновой втулке? Потому, что от нее зависит эффективность работы круга. Круг с резиновой упругой втулкой можно устанавливать на вал любого станка без пьезоэлектрических элементов. Втулка обеспечит гашение автоколебаний и облегчит работу режущих зерен, улучшая качество обработки. Круг с резиновой упругой втулкой можно устанавливать на подвижную текстолитовую втулку и осуществлять ее возвратно-поступательные перемещения совместно с кругом. Круг, перемещаясь по валу, в то же время может совершать качания и поворачиваться на некоторый угол. Автоколебания при этом гасятся, а круг на жесткой связке работает как на мягкой связке.

Зачем потребовались Г-образные резиновые втулки? Во-первых, Г-образная резиновая втулка может устанавливаться на круг разной толщины (высоты). Во-вторых, установка пьезоэлектрических элементов и дисков за П-образной втулкой не всегда дает положительный эффект. Если резиновая втулка достаточно упругая, а обрабатываемая поверхность имеет неровности и неравномерный припуск, то пьезоэлектрические диски и элементы устанавливаются только на П-образную втулку, т.к. в этом случае может лучше сохраниться пьезоэлемент.

При съеме небольших припусков (при чистовой обработке) пьезоэлектрические элементы лучше устанавливать на Г-образную втулку непосредственно к кругу или к кругу через металлическую шайбу, так чтобы шайба и пьезоэлектрические элементы и диски находились на Г-образной резиновой втулке и были плотно прижаты к кругу. Если амплитуда качания круга большая, то пьезоэлектрический элемент необходимо устанавливать через металлическую шайбу.

От варианта установки пьезоэлектрических элементов и дисков, упругости, размеров и конструкции резиновой втулки зависит работа пьезоэлектрических элементов. Поэтому приведем один из самых универсальных и распро-

страненных вариантов установки пьезоэлектрических элементов, когда Г-образная упругая втулка не выходит за плоскость круга, а пьезоэлектрические элементы и диски устанавливаются на текстолитовую втулку или вал, или втулку и вал, непосредственно в контакт с кругом или через шайбу. Контактная шайба так же может быть выполнена из различного материала.

Особенность устройства, показанного на рис. 4.58, заключается в том, что токоподводящие и токосъемные щетки (а их может быть такое же количество, как секторов на пьезоэлектрическом элементе) непосредственно подводят или снимают ток с пьезоэлектрических элементов. Шайба 9 необходима для регулирования и сохранения эластичности и упругости резиновой втулки 6.

Устройство, показанное на рис. 4.58, позволяет одновременно работать с пьезоэлектрическими секторными элементами и дисками (рис. 4.57) и пьезоэлектрическими элементами (рис. 4.2). Все пьезоэлектрические устройства, элементы и диски могут работать в режиме контроля, обратной связи, ультразвуковых перемещений круга.

Таким образом, работа с секторными пьезоэлектрическими элементами позволяет применить новый вид обработки шлифованием по принципу автоколебательных движений по кругу, контролировать собственные колебания системы и устанавливать обратные связи, согласовывая их. Вместе с тем, это требует очень внимательного изучения процесса и конструктивных связей, т.к. вся технология обработки зависит от свойств отдельных изделий, материалов и незначительных конструктивных изменений или перестановок элементов. Это, в свою очередь, обеспечивает большой выбор технологий обработки различных материалов, универсальность системы, ее большие возможности при работе с компьютером по сбору информации для дальнейшего совершенствования процессов обработки и согласования ультразвуковой обработки со структурой материала.

4.18. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ЭФФЕКТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Наряду с пьезоэлектрическими материалами, большими возможностями располагают магнитострикционные материалы, которые могут быть использованы для повышения эффективности шлифования.

Рассмотрим существующие принципиальные схемы ультразвуковой обработки материалов на основе магнитострикционного эффекта, рис. 4.59.

Инструмент 1 вибрирует перпендикулярно обрабатываемой поверхности изделия 2 с определенной частотой и амплитудой. Между инструментом и обрабатываемой поверхностью в зону обработки вводится абразивная суспензия. Это может быть вода или другая жидкость с измельченным в ней абразивом.

От колеблющегося торца инструмента абразивные частицы суспензии получают большие ускорения и наносят удары по обрабатываемой поверхности. Более крупные абразивные зерна вдавливаются инструментом в поверхность изделия, производя разрушение и скалывание поверхности материала.

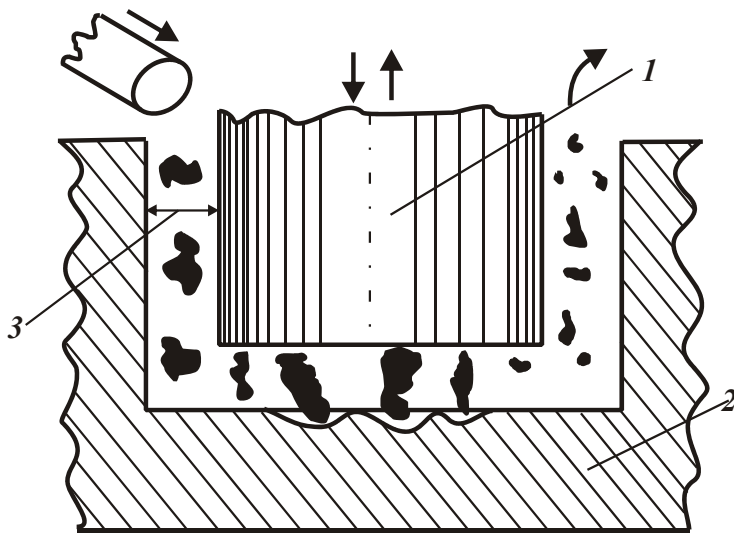


Рис. 4.59. Принципиальная схема ультразвуковой обработки: 1 – вибрирующий инструмент; 2 – обрабатываемое изделие; 3 – зазор между инструментом и изделием, куда вводится абразивная суспензия.

разрушения поверхности.

Съем материала изделия происходит вследствие скалывания и резания абразивными зернами, внедряющимися в обрабатываемую поверхность, и колебания торца инструмента. Подача суспензии под давлением и кавитационные явления способствуют попаданию вновь поступивших абразивных зерен в зону обработки и удалению продуктов диспергирования.

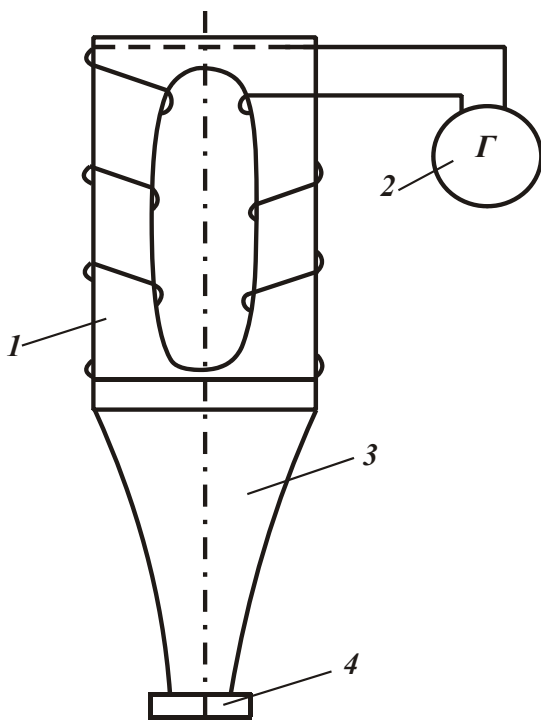


Рис. 4.60. Схема устройства ультразвуковой головки: 1 – магнито-стрикционный преобразователь; 2 – генератор электрических колебаний; 3 – концентратор; 4 – инструмент.

Срезанный и сколотый материал изделия вместе с измельченным абразивом удаляется из зоны обработки абразивной суспензией. Форма инструмента копируется на обрабатываемом изделии с определенным зазором. При определенной частоте колебаний начинается кавитация жидкости суспензии. Происходит взрыв кавитационных пузырьков. Абразивная суспензия в зоне лопнувшего пузырька получает дополнительный импульс и ударяется об обрабатываемую поверхность, что ускоряет процесс

На рис. 4.60 показана схема устройства ультразвуковой головки. Она состоит из магнито-стрикционного преобразователя 1, концентратора 3, инструмента 4, генератора электрических колебаний 2. Генератор предназначен для получения электрических колебаний частотой 20 – 30 кГц. Электрические колебания с генератора 2 поступают на магнито-стрикционный преобразователь 1. Сердечник магнито-стрикционного преобразователя выполнен из материала, обладающего магнито-стрикционным эффектом, т.е. изменяет свои размеры при намагничивании. Переменный ток, проходя по обмотке сердечника, вызывает изменение “плеча” сердечника, что и приводит к возникновению механических колебаний. К нижней части магни-

тострикционного преобразователя крепится концентратор 3, предназначенный для получения максимальной амплитуды колебаний. На конце концентратора крепится инструмент. Длина и форма концентратора проектируется на резонансную частоту с генератором таким образом, чтобы собственная частота колебаний концентратора совпала с частотой генератора. В направлении распространения колебаний длина концентратора должна быть кратной половине длины волны на выбранной частоте.

К магнитострикционным материалам относятся: никель, пермендюр К49Ф2, пермендюр К65, альфер Ю-14, пермаллой 40, феррит никеля, феррит никеля с присадкой кобальта и другие.

Никель обладает хорошими механическими и антикоррозийными свойствами, но имеет невысокие магнитострикционные свойства и низкую рабочую температуру – до 360°C. Пермендюр имеет большие значения магнитострикции, хорошие динамические характеристики, высокую рабочую температуру – до 960°C, но обладает низкой пластичностью и коррозионной стойкостью. Аль-

феры имеют хорошие магнитострикционные характеристики, но они хрупки и сильно корродируют. У ферритных материалов магнитострикционные характеристики стабильны, они обладают высокой коррозионной стойкостью, устойчивы до температуры 560°C, но по механическим свойствам заметно уступают металлическим материалам.

Магнитострикционный эффект в материалах проявляется в направлении поля и перпендикулярно к нему. Для большинства металлов и сплавов продольная и поперечная магнитострикция имеют разные знаки.

Для большинства ферритов как продольная, так и поперечная магнитострикция имеют отрицательные знаки. Железо в слабом магнитном поле имеет положительную магнитострикцию, а в сильном – отрицательную. У никеля магнитострикция при всех значениях поля отрицательна. У кобальта магнитострикция зависит от структуры, может быть положительной и отрицательной. Никелевые сплавы с содержанием никеля от 27 до 45% обладают большой объемной магнитострикцией.

Магнитострикционный эффект обратим. Энергия переменного магнитного

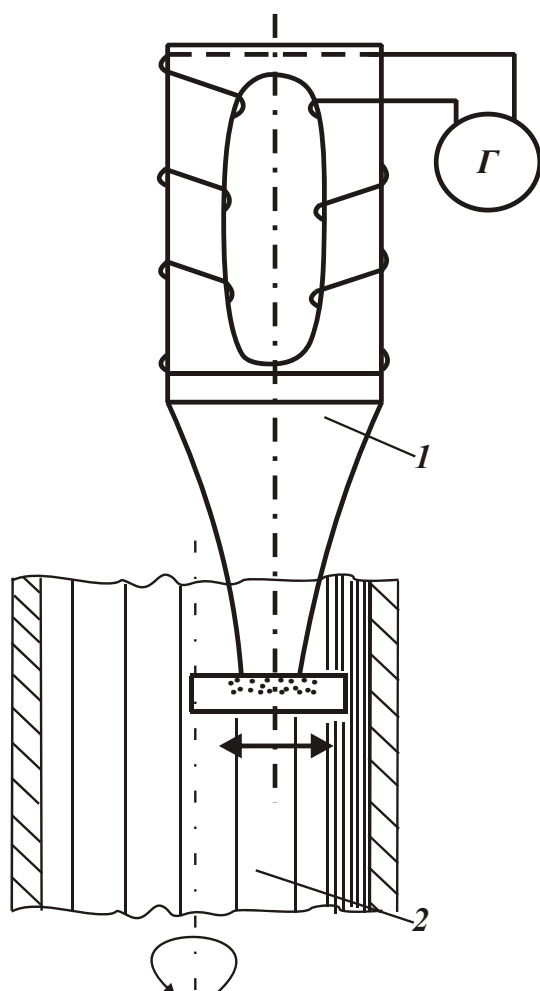


Рис. 4.61. Схема внутреннего шлифования с применением ультразвука: 1 – ультразвуковая головка с закрепленным шлифовальным кругом; 2 – обрабатываемый цилиндр.

поля преобразуется в энергию механических колебаний или, наоборот, энергия механических колебаний преобразуется в энергию магнитного поля.

Рассмотрим причины, ограничивающие широкое применение методов ультразвукового шлифования с использованием магнитострикционных эффектов.

На рис. 4.61 показано, что круг, жестко закрепленный на ультразвуковой головке, при работе совершает колебательные перемещения с определенной амплитудой и частотой (направление показано горизонтальной стрелкой). Вращение цилиндра вокруг собственной оси, его обкатка вокруг круга и продольная подача осуществляются с помощью стола, специального устройства и механизма станка. Из схемы следует, что необходима большая точность установки цилиндра (по соосности), постоянное смещение цилиндра, его обкатка по кругу (чтобы не допустить одностороннего износа круга), осуществляя при этом вращение цилиндра и его продольную подачу.

Точно такой же ультразвуковой головкой с закрепленным кругом, как показано на рис. 4.61, осуществляется плоское шлифование. Разница только в том, что при плоском шлифовании используется противоположная поверхность круга. Также требуются перемещения изделия с постоянным вращением его под вибратором.

После обработки всей плоскости, для следующего прохода требуется очень точный подвод изделия под ультразвуковую головку для осуществления съема с определенной глубиной. В данном случае стол или специальное устройство осуществляют продольную, поперечную и вертикальную подачи при одновременном вращении изделия.

Далеко не каждое изделие можно вращать. Да и те изделия, которые можно вращать под ультразвуковой головкой, ограничиваются по скорости вращения из-за неравномерности припуска и съема материала. В противном случае в системе появятся автоколебания.

К сожалению, вышеприведенные схемы недостаточно изучены и мало применяются на практике. Поэтому на них следует обратить внимание и изучить причины недостаточного использования. Для этого рассмотрим схему плоского шлифования, показанную на рис. 4.62.

Магнитострикционный вибратор, предназначенный для шлифования с применением ультразвуковых колебаний инструмента, состоит из корпуса с водяным охлаждением 1, магнитострикционного преобразователя 2, обмотка которого питается током от генератора высокой частоты. Обмотка преобразователя охлаждается водой. Магнитострикционный преобразователь преобразует ток высокой частоты в механические колебания. Механические колебания передаются по волноводу, который одновременно является и их усилителем – концентратором 3. На конце концентратора 3 имеется выступ, на который жестко крепится шлифовальный круг 4. При подаче тока высокой частоты на магнитострикционный преобразователь 2, шлифовальный круг 4 совершает вертикальные колебательные движения, перпендикулярные плоскости шлифования. Обрабатываемая деталь 5 совершает вращательное движение и подводится под шлифовальный круг. Для обработки всей плоскости детали, ей обеспечивается

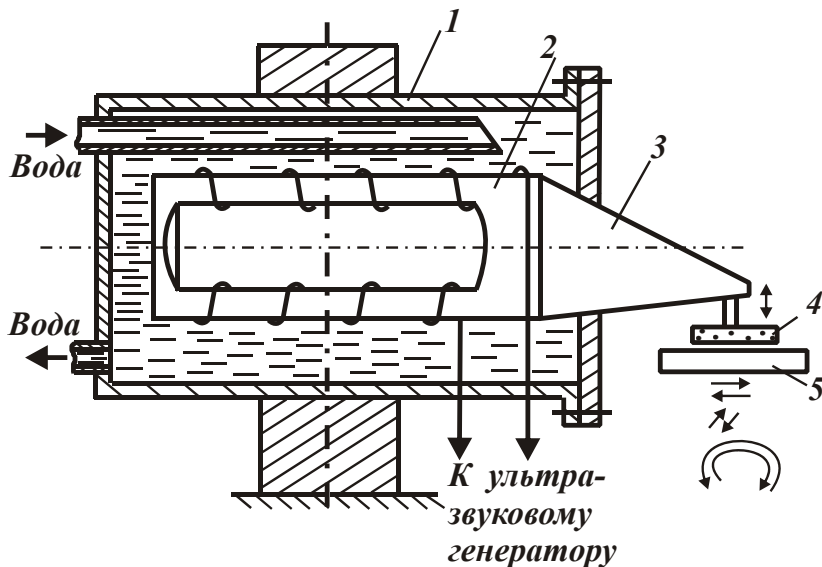


Рис. 4.62. Схема плоского шлифования с применением ультразвука: 1 – корпус с водяным охлаждением; 2 – магнитоstrictionный преобразователь; 3 – концентратор; 4 – круг (брусок); 5 – деталь, изделие.

а схема, показанная на рис. 4.62 – обеспечивает перпендикулярные колебания при плоском шлифовании. Применение схемы для плоского шлифования с использованием вибратора, показанной на рис. 4.61 (рис. 4.60), обеспечивает колебательными движениями по плоскости непрерывное реверсивное скобление, царапание при равномерном снятии материала. Схема, изображенная на рис. 4.62, обеспечивает ударное углубление и возврат в обрабатываемом материале.

Если по схеме, изображенной на рис. 4.61 (рис. 4.60), при плоском шлифовании амплитуда колебаний может ограничиваться техническими возможностями, то по схеме, изображенной на рис. 4.62, амплитуда колебаний зависит от структуры материала, его механических и физических свойств, а также от прочности режущих зерен.

Очевидно, что процессы шлифования с применением ультразвука высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и чугуна с пластинчатым графитом существенно отличаются. Какую амплитуду, частоту и направление колебаний следует выбрать? Это предстоит обосновать математически. Шлифование с применением ультразвука твердых хрупких и твердых вязких материалов, кристаллических, аморфных, волокнистых и слоистых материалов требует еще тщательного изучения и обоснования.

В настоящее время неэффективной считается обработка с применением ультразвука даже такого материала, как сталь. Однако, это утверждение не совсем обоснованно, т.к. оно как бы “уравнивает” стали ферритные (низкоуглеродистые), высокоуглеродистые, шарикоподшипниковые и высоколегированные. При ультразвуковой обработке очень важно знать размеры зерен и их направленность, структуру, направление колебаний режущего зерна относительно структуры, амплитуду и частоту. При обработке более вязких материалов амплитуда колебаний инструмента должна быть больше, более предпочтительна

продольное и поперечное перемещение под шлифовальным кругом.

Схема плоского шлифования с применением ультразвука (рис. 4.62) принципиально отличается от схемы плоского шлифования с применением ультразвука при использовании вибраторов (рис. 4.61, рис. 4.60). Схема, показанная на рис. 4.61 (и на рис. 4.60) обеспечивает колебания круга при плоском шлифовании параллельно обрабатываемой плоскости,

направленность колебаний перпендикулярно обрабатываемой поверхности.

Рассмотрим возможные варианты (без сравнения их эффективности) плоского шлифования с применением ультразвука, используя схему, приведенную на рис. 4.62. Варианты могут быть использованы как самостоятельно, так и вместе с другими методами обработки в условиях комбинированной обработки.

Для всех вариантов обработки конкретного материала частота колебаний может оставаться постоянной или изменяться в определенных пределах, а также подаваться определенными интервалами и периодами с одинаковой или разной частотой. В дальнейшем при анализе не будем концентрировать внимания на вариантах частоты колебаний – они могут быть любыми.

Вариант 1. На магнитострикционный вибратор устанавливают круг (прямого профиля, чашечный или тарельчатый) или бруски. Изделию на столе станка сообщается вращение. Стол обеспечивает перемещение изделия для прохода инструмента по изделию в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Для снятия следующего слоя материала изделие подводится под инструмент.

Вариант 2. На вибратор устанавливается инструмент по варианту 1. Изделие не вращается, а перемещается под инструментом возвратно поступательными движениями с периодической сменой движения на перпендикулярные и осуществлением переходов по всему изделию. Для серии следующих проходов изделие подводится под инструмент. Данный вариант, не требующий вращательного движения, обеспечивает обработку изделий разных форм и размеров.

Вариант 3. На вибратор устанавливается инструмент по варианту 1. Изделие не вращается, но имеет возможность перемещаться с разной скоростью под инструментом на всю длину обработки. Процесс обработки аналогичен строганию и ведется с перемещением изделия в двухстороннем или в одностороннем направлениях.

Вариант 4. На вибратор устанавливается инструмент по варианту 1. Изделие под инструментом совершает поворотно-возвратные движения на определенный угол и поступательные движения в направлении обработки.

В вариантах 1 – 4 обработка шлифованием может вестись с применением СОЖ или специальных газов, или в специальных жидкостях, или всухую, а в некоторых случаях – с глубоким охлаждением.

Вариант 5. На магнитострикционный вибратор устанавливается диск из твердого вязкого материала. Участок обработки на изделии покрывается абразивными зёрнами с тугоплавкой смазкой. Изделие прижимается к диску и включается вибратор. Зёрна находятся в прямом контакте с поверхностью изделия и с помощью ударной вибрации производят сколы на обрабатываемой поверхности. Тугоплавкая смазка первоначально удерживает зёрна в определенном положении, но по мере разрушения зёрен и разогрева смазки их расположение изменяется. Чем мельче зёрна, тем выше качество обработанной поверхности (меньше шероховатость) и ниже производительность обработки.

После обработки данного участка поверхности, абразивные зёрна с тугоплавкой смазкой наносятся на соседний участок и производится его обработка. Таким способом можно обработать поверхность за несколько проходов. Для

уменьшения скорости нагрева смазки целесообразно применять разные системы охлаждения диска, изделия, стола, в том числе обдувом холодным газом и т.д.

Вариант 6. На вибратор устанавливается диск по варианту 5. Абразивные зерна на всю их высоту заливаются эластичным материалом. В результате образуется тонкий резиновый коврик с равномерно расположенными абразивными зёрнами. Он накладывается на изделие и прижимается к диску вибратора. Включается вибратор, и в момент сближения диска с изделием эластичный материал уменьшается по толщине, а зёрна внедряются в обрабатываемый материал. Периодически изделие отводится от диска и прижимается к диску противоположной поверхностью. После одного прохода коврик с абразивными материалами поворачивается на изделие и производится следующий проход. Так можно повторять до полного разрушения коврика.

Вариант 7. На вибратор устанавливается диск по варианту 5. На изделие накладывается тонкая металлическая сетка, в ячейки которой засыпаются абразивные зёрна. Изделие подводится под диск и производится обработка, после чего изделие перемещается и обработка продолжается на новом участке поверхности.

Вариант 8. На вибратор устанавливается диск по варианту 5. На изделие накладывается специальное абразивное полотно (на тканевой или бумажной основе и т.д.) зёрнами к изделию. Изделие прижимается к диску, и производится обработка.

Вариант 9. На вибратор устанавливается диск по варианту 5. Для обработки изделия применяется липкая (односторонняя или двухсторонняя) пленка, на которую насыпаются абразивные зёрна.

В вариантах 6 – 9 дополнительно может использоваться СОЖ.

Вариант 10. На вибратор устанавливается диск с отверстием в центре, через которое на изделие во время обработки постоянно насыпаются (вдуваются) сухие зёрна.

Вариант 11. На вибратор устанавливается диск с отверстием в центре, через которое на изделие во время обработки подается эмульсия с абразивными зёрнами. Данный метод плоского шлифования частично похож на метод ультразвуковой прошивки.

Вариант 12. На вибратор устанавливается прямоугольная или квадратная пластина из твердого вязкого материала под углом $1...2^\circ$ (угол может быть меньше или больше в зависимости от размера зёрен) к обрабатываемой поверхности. Обрабатываемое изделие вращается или прямолинейно перемещается под пластиной по направлению к вершине угла. В зазор между вибрирующей пластиной и изделием засыпаются сухие абразивные зёрна, которые обкатываются по обрабатываемой поверхности, разрушая ее (в том числе и вибрационными ударами), постепенно измельчаясь и проникая все дальше в угол.

Вариант 13. Он аналогичен варианту 12. Отличие состоит в том, что в образуемый клин между пластиной и изделием подается эмульсия с абразивными зёрнами.

Чтобы режущие зёрна (в вариантах 12 и 13) из клина не выходили на стороны, боковые стороны пластин имеют выступающие уплотнения из эластич-

ного материала.

Анализируя вышеприведенные варианты обработки материалов шлифованием с применением ультразвука можно сделать вывод, что магнитострикционные методы шлифования используются не в полной мере. При научном и творческом подходе к магнитострикционному эффекту их можно значительно расширить и совместить с другими методами обработки, что позволит повысить производительность и уменьшить себестоимость обработки. Все предложенные варианты могут быть реализованы на существующем оборудовании. Выпускаемые станки для ультразвуковой обработки материалов имеют мощность генератора 0,05 – 4 кВт. Амплитуда колебаний торца инструмента 0,02 – 0,06 мм. Чаще всего ультразвуковая обработка материала совмещается с электрохимической и лазерной обработкой.

4.18.1. СУЩЕСТВЕННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Магнитострикционные вибраторы позволяют достичь большой амплитуды колебаний, но вместе с тем, существующие конструкции таких вибраторов не позволяют обеспечить вращение абразивному инструменту. Причина этого недостатка сложна и не однозначна. Поэтому постараемся ее раскрыть более подробно. Ток высокой частоты, питающий магнитострикционный преобразователь, приводит к выделению большого количества тепла в его обмотке. Поэтому магнитострикционный преобразователь необходимо охлаждать. Подача воды или другой охлаждающей жидкости к вращающемуся вибратору затруднена конструктивно. Подвод тока к обмотке магнитострикционного преобразователя также конструктивно сложен. Но главная причина совсем не в этом.

Для того чтобы магнитострикционные колебания передавались на инструмент, магнитострикционный преобразователь должен быть закреплен жестко, а колебания отводились по волноводу усилителем-концентратором. Как при этом достичь жесткого упора, фиксации магнитострикционного преобразователя и обеспечить вращение инструмента?

При вращении инструмента возникают собственные колебания, которые вызывают автоколебания системы “волновод-инструмент”, что может привести к разрушению волновода или инструмента. Поэтому для обеспечения вращения шлифовального инструмента с применением магнитострикционного вибратора необходимо сохранить постоянный и надежный подвод тока к обмотке магнитострикционного преобразователя, систему охлаждения обмотки преобразователя, жесткий упор и (или) фиксацию преобразователя, контроль за автоколебаниями (а при необходимости уменьшить их до определенного уровня). Возможна компенсация автоколебаний или их последовательное перемещение по кругу с контролируемой амплитудой. Каждая из поставленных задач может решаться несколькими путями.

Существующие методы шлифования с применением вибрационных колебаний от магнитострикционных вибраторов не имеют методов контроля за про-

цессом обработки, а следовательно, и обратной связи. В большинстве случаев магнестрикционные вибраторы обеспечивают колебания инструмента не по прямой линии, а по радиусу, хотя и очень большому по сравнению с амплитудой колебания. Этому факту не придается значения. Вместе с тем, его можно использовать сознательно и с большой пользой. Тепло, выделяемое магнестрикционным инструментом во время обработки поверхности изделия, так же не используется по прямому назначению.

Невращающийся инструмент при магнестрикционной вибрации неравномерно изнашивается. При обработке с невращающимся инструментом требуется вращение детали, что не всегда выполнимо, а также нужно обеспечить их сложное перемещение под инструментом.

Обеспечить требуемую скорость перемещения детали под инструментом не всегда возможно: в системе образуются ненужные толчки, которые нарушают контакт инструмента с деталью.

Конструкции столов станков или устройств перемещения деталей чрезвычайно сложны. Они значительно упрощаются при вращении инструмента. На перемещение детали затрачивается значительно больше электроэнергии, чем на вращение инструмента.

Существующие методы обработки с применением магнестрикционных вибраторов практически не позволяют одновременно использовать другие методы обработки материалов. Магнестрикционные вибраторы не используются для осуществления контроля и установления обратной связи в процессе шлифования.

На основании анализа вышеперечисленных ограничений существующих методов шлифования с использованием магнестрикционной обработки приходим к выводу, что вращение инструмента значительно повышает производительность и качество обработки, снижает себестоимость и упрощает конструкцию оборудования.

4.18.2. НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ШЛИФОВАЛЬНУЮ ОБРАБОТКУ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА ОТ МАГНЕСТРИКЦИОННЫХ ВИБРАТОРОВ

4.18.2.1. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ С ВИБРАЦИЯМИ

Рассмотрим работу устройства для шлифования с вибрациями, показанного на рис. 4.63. Вал из магнестрикционного материала 1 имеет посадочное место с резьбой. На вал 1 свободно устанавливается обмотка 2, а на посадочное место – упорная шайба 3. К шайбе прижимается круг (прямого профиля, чашечный или тарельчатый). В устройстве, показанном на рис. 4.63, применен чашечный круг 4, который зажимается шайбой 5. Между кругом 4 и прижимной шайбой 5 устанавливается эластичная прокладка, а за прижимной шайбой 5 – гайка 6, которая подтягивается для надежного крепления круга и стопорится от раскручивания.

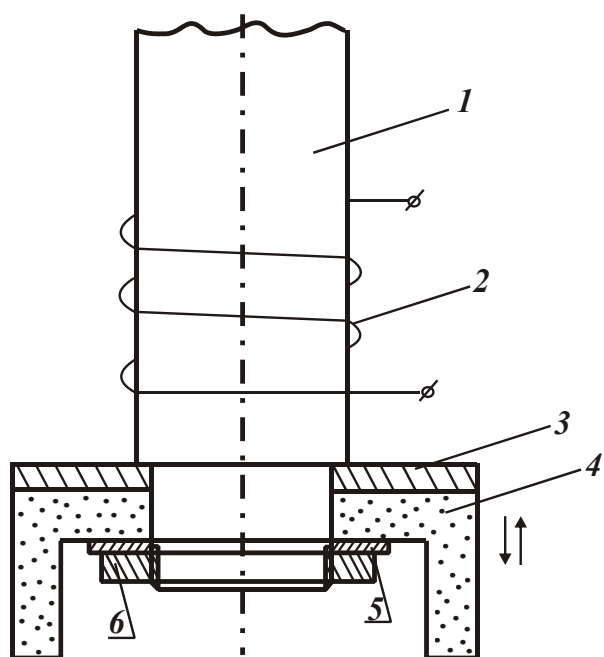


Рис. 4.63. Устройство для шлифования с вибрациями: 1 – вал из магнитострикционного сплава; 2 – обмотка; 3 – упорная шайба; 4 – чашечный круг; 5 – прижимная шайба; 6 – гайка.

воляет производить обработку шлифованием как с использованием ультразвуковых колебаний, так и без них.

Конструктивно устройство очень простое. Оно может использоваться на специальных шлифовальных станках, а также на других станках: фрезерных, сверлильных и токарных. Для этого конец вала 1 для установки в патрон может быть круглым, квадратным или конусным.

При подаче тока высокой частоты на обмотку 2 выделяется большое количество тепла. Для того чтобы исключить значительное нагревание обмотки 2 и вала 1, можно использовать несколько вариантов охлаждения.

Вариант 1. Обмотка 2 помещается в специальные трубки, по которым циркулирует охлаждающее рабочее тело.

Вариант 2. Обмотка 2 и вал 1 во время работы обдуваются охлажденным воздухом.

Вариант 3. На обмотку 2 и вал 1 устанавливается специальная камера, через которую пропускается охлажденный газ.

Вариант 4. На обмотку 2 и вал 1 устанавливается специальная камера с манжетами, через которую пропускается охлаждающая жидкость.

Вариант 5. Через центральное сквозное отверстие в вале 1 к внутренней части чашечного или тарельчатого круга подводится СОЖ. Этим ограничивается нагревание вала, а обмотка 2 обдувается воздухом.

Вариант 6. На период обработки все устройство помещается в специальную охлаждающую камеру.

Выбор способа охлаждения, прежде всего, должен отвечать требованиям

Обмотка 2 не касается вала 1 и упорной шайбы 3. Она крепится независимо от вращающихся частей к станине станка. Вал 1 приводится во вращательное движение, шлифовальный круг 4 вращается вместе с валом 1, обмотка остается неподвижной. На обмотку 2 от генератора высокой частоты подается ток. Вал 1, изготовленный из магнитострикционного сплава, перемагничивается с частотой, равной частоте тока, и изменяет свои размеры, т.е. шлифовальный круг получает колебательные движения с частотой, равной частоте тока. Величина колебательных движений относительно не большая, но достаточная для обработки материалов повышенной твердости. Во всех случаях использование ультразвуковых колебаний облегчает обработку материалов. Рассмотренное устройство поз-

экологии и экономики. Подводя итоги, можно отметить, что данная конструкция проста в устройстве, изготовлении и обслуживании. Она позволяет использовать разные круги, обмотки, генераторы высокой частоты и системы охлаждения. Может быть применена в разных станках, обеспечивая вращение и колебательные перемещения круга с ультразвуковой частотой.

4.18.2.2. МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ ВИБРАТОР ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ

Основные проблемы, в связи с которыми магнитоострикционные вибраторы с вращением шлифовального круга не получили широкого применения при обработке материалов, обусловлены трудностями охлаждения магнитоострикционного преобразователя во время работы, обеспечением его упора, возникновением собственных колебаний круга (автоколебаний). Все эти проблемы разрешимы. Для этого рассмотрим схему магнитоострикционного вибратора для шлифования, показанную на рис. 4.64. Вал 1, передающий движение, является упором магнитоострикционного преобразователя. Он может иметь хвостовую часть различной формы (цилиндрическую, конусную, квадратную), может

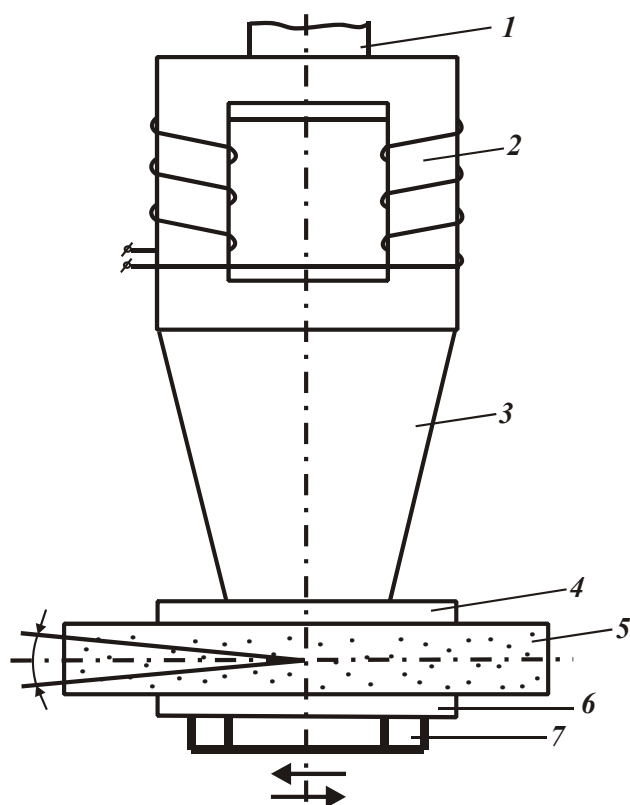


Рис. 4.64. Магнитоострикционный вибратор для шлифования: 1 – вал, передающий вращение на вибратор; 2 – магнитоострикционный преобразователь; 3 – концентратор; 4 – упорная шайба; 5 – круг; 6 – прижимная шайба; 7 – гайка.

устанавливаться в различные патроны станков, а также может быть ведомым валом механизмов, передающих вращение. К валу 1 крепится магнитоострикционный преобразователь 2. Его обмотка выполнена последовательно. Концы обмотки выведены на специальные токопроводящие дорожки, которые расположены на текстолитовых кольцах, смонтированных на сердечнике-рамке преобразователя. Ток подводится к обмотке преобразователя с помощью токоподводящих щеток, которые прижимаются к токосъемным дорожкам на текстолитовых кольцах. Такое устройство позволяет вращать вибратор независимо от подвода тока к обмотке. Магнитоострикционный преобразователь 2 соединяется с концентратором 3. Конец волновода-концентратора 3 имеет посадочное место для упорной шайбы 4 шлифовального круга 5 и прижимной шайбы 6. На конец концентратора 3 навинчивается гай-

ка 7. Посредством упругой шайбы 4, прижимной шайбы 6 и гайки 7 круг 5 жестко связан с вибратором.

Возможное возникновение автоколебаний в системе предотвращается, прежде всего, в процессе конструирования вибратора. Для этого предусматриваются размеры волновода, его конструктивные формы и материал, а также то, с какими кругами он будет работать и с какой скоростью вращения.

Контроль за характером автоколебаний во время вращения может осуществляться с помощью лазерного луча. Устранение автоколебаний осуществляется изменением частоты тока, питающего обмотку магнестрикционного преобразователя. В такой конструкции отпадает необходимость в традиционной системе охлаждения водой, применяемой в стационарных вибраторах. Охлаждение осуществляется естественным путем (воздухом) во время вращения вибратора. Конечно, при этом будут возникать на вибраторе определенные аэродинамические силы, но их также можно уменьшить с помощью различных обтекателей. Учитывая то, что скорость вращения вибратора ограничивается прочностью абразивных кругов и она не очень высокая, аэродинамические силы существенного влияния на процесс обработки оказывать не будут. Аэродинамические силы возникают также и на вращающихся фрезе, сверле, патроне. При обработке ими аэродинамические силы, как правило, не учитываются. При необходимости охлаждения преобразователя можно выполнить с помощью обдува или установить вокруг преобразователя неподвижную камеру с разными системами охлаждения.

Характер колебаний вибратора зависит не только от конструкции магнестрикционного преобразователя, конструкции и длины волновода, его смещений от центра, но, прежде всего, от его обмотки. Последовательная обмотка преобразователя, как показано на рис. 4.64, обеспечивает перемещение круга по радиусу. Вибрационные перемещения круга по радиусу очень благоприятны при шлифовании плоских поверхностей торцом круга и не всегда приемлемы при шлифовании периферией круга. По этой же причине использование чашечных и тарельчатых кругов на вибраторе (рис. 4.64) должно производиться на основании расчетов, выполненных с учетом обрабатываемого материала, параметров колебаний и размеров инструмента.

Сложные колебания и колебания по радиусу можно разложить на простые движения, спроецировав их на оси декартовой системы координат. Чем больше вынужденных колебательных движений совершает инструмент в проекции на разные оси, тем производительнее и эффективнее процесс обработки материалов шлифованием.

Характер колебаний вибратора также зависит от конструкции сердечника магнестрикционного преобразователя.

На рис. 4.65 изображены возможные схемы конструкций рамок сердечника преобразователя при виде сверху. Количество рамок и их конструкции могут быть совершенно разными. Обмотки на рамках могут быть изготовлены разными методами и располагаться в определенной последовательности, что значительно расширяет возможности вибраторов.

Применение обмоток от отдельных рамок с отдельным выводом может

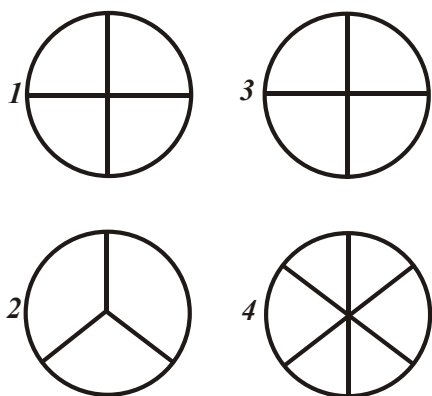


Рис. 4.65. Схемы конструкций рамок сердечника преобразователя (вид сверху): 1 – рамка из 2-х плеч; 2 – рамка из 3-х плеч, расположенных под углом 120° ; 3 – рамка из 4-х плеч, расположенных крестообразно; 4 – рамка из 6-ти плеч, расположенных друг относительно друга под углом 60° .

обеспечить работу вибратора от разных генераторов с разной частотой, последовательно или совместно. Рамки могут располагаться по кругу, образуя многоугольник или работать в парах.

Таким образом, при разработке магнитострикционных вибраторов для шлифования, нужно знать, что технически можно решить все проблемы получения вибрационных колебаний на вращающемся шлифовальном круге, заставить его колебаться с разными частотами, амплитудами и интервалами, в разных направлениях.

Главная задача – из всего многообразия колебаний выбрать наиболее оптимальный вариант колебаний, применимый для данного материала и его структуры. Для этого необходимо осуществлять контроль за процессом обработки и устанавливать обратную связь. В противном случае внедрить в массовое производство вращающиеся магнитострикционные

вибраторы будет весьма проблематично.

4.18.2.3. МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВИБРАТОР С РАЗНЫМИ СИСТЕМАМИ КОЛЕБАНИЙ

Как отмечалось выше, колебания по радиусу не всегда эффективны для обработки определенных материалов и не обеспечивают в некоторых случаях использование необходимого инструмента, что ограничивает применение магнитострикционных вибраторов.

Чтобы расширить возможности применения магнитострикционных вращающихся вибраторов и применяемого инструмента при шлифовании, рассмотрим варианты применения разных обмоток на преобразователе, рис. 4.66. На вибратор могут устанавливаться плоские круги прямого профиля, чашечные и тарельчатые круги и т.д.

Вибратор, изображенный на рис. 4.66, существенно отличается от вибратора, изображенного на рис. 4.64. Отличие состоит в том, что на рис. 4.64 обмотка на сердечнике преобразователя выполнена последовательно, а на вибраторе, изображенном на рис. 4.66, - параллельно. Параллельная обмотка преобразователя дает возможность изменить работу вибратора. Рассмотрим некоторые возможные варианты конструкций вибратора.

Вариант 1. На обе обмотки вибратора подается одинаковый по величине и фазе ток. Обе обмотки работают от одного высокочастотного генератора. Круг совершает прямолинейные колебательные движения вдоль оси вращения.

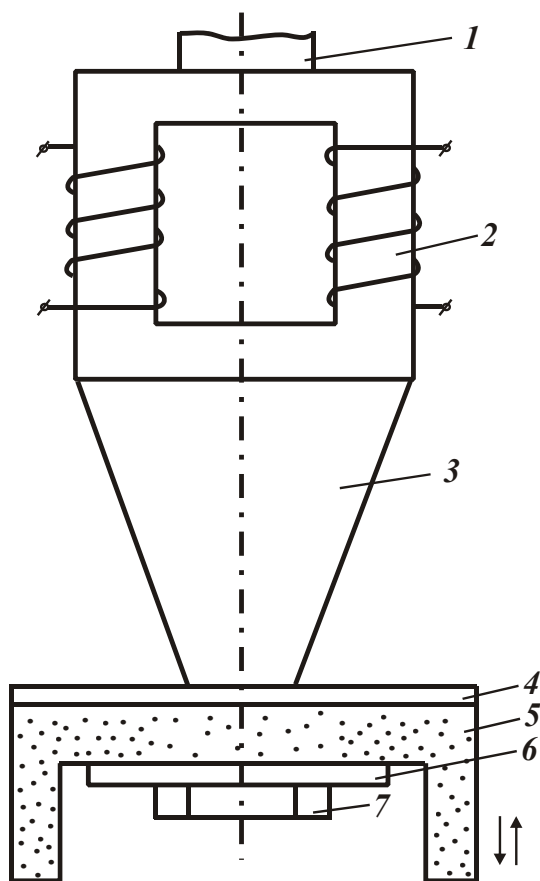


Рис. 4.66. Магнитострикционный вращающийся вибратор с разными системами колебаний: 1 – вал, передающий вращение на вибратор; 2 – магнитострикционный преобразователь; 3 – концентратор; 4 – упорная шайба; 5 – чашечный круг; 6 – прижимная шайба; 7 – гайка.

Такая конструкция применима при работе любыми кругами и материалами. Необходимо только в каждом конкретном случае учитывать амплитуду колебаний и частоту.

Вариант 2. Верхние контактные клеммы обмоток преобразователя соединены между собой. Приходим к вибратору с последовательно соединенными обмотками, который совершает колебательные движения по радиусу, аналогично вибратору (рис. 4.64), и отличающийся от вибраторов без вращения (рис. 4.60 и рис. 4.61).

Вариант 3. Обмотки во время работы через определенные промежутки времени автоматически переключаются с параллельного соединения на последовательное и обратно, питаясь от одного высокочастотного генератора.

Вариант 4. Обмотки во время работы через определенные промежутки времени автоматически переключаются с параллельного соединения на последовательное и обратно, питаясь от разных высокочастотных генераторов одинаковой или разной частоты. Этот вариант настолько объемный, что может включать многие частные случаи других вариантов.

Вариант 5. Обмотки на преобразователе параллельные и питаются от разных генераторов с разной частотой. Ток, поступающий от одного генератора на обмотку, может отличаться от тока, поступающего от другого генератора на другую обмотку, незначительным сдвигом по фазе и изменением частоты в 1,5 ; 2 ; 3 раза. Это дает возможность получать последовательно образуемые частотами колебания по радиусу и вдоль оси, а также комбинированные колебания.

Вариант 6. Питание на обе обмотки может осуществляться от одного генератора с подачей тока на одну из обмоток через задерживающие устройства по фазе, через преобразователь частоты и т.д.

Вариант 7. Преобразователь одновременно имеет отдельные параллельные обмотки и последовательную обмотку. Параллельные обмотки могут переключаться на последовательную обмотку.

Таким образом, при научном подходе применение систем на магнитострикционном преобразователе может обеспечить большое количество различ-

ных колебательных перемещений круга, которые при необходимости могут чередоваться в любом порядке, накладываясь друг на друга или оставаясь неизменными в установленном промежутке времени. Контроль за такими колебаниями может осуществлять компьютер, с его же помощью можно визуально наблюдать амплитуду колебаний и другие характеристики во времени.

Компьютер может по заданной программе управлять колебательными процессами. На вопрос: зачем нужны такие сложные колебательные системы и сложные колебания (иногда казалось бы, не совсем полноценные) можно получить ответ только при наличии полной обратной связи, когда обрабатываемый круг или другие методы контроля дают полную информацию о структуре обрабатываемого материала, а система автоматически выбирает те или иные колебания. Для того чтобы было из чего выбирать – требуются разные колебательные системы.

4.18.2.4. МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЕ ВИБРАТОРЫ С КОЛЕБАНИЯМИ ВДОЛЬ ОСИ ВРАЩЕНИЯ

Анализируя рис. 4.66, на котором представлен магнитострикционный вращающийся вибратор с разными системами колебаний, приходим к выводу, что при параллельных обмотках на преобразователе, когда колебательные движения кругов совершаются только прямолинейно вдоль вращающейся оси, отпадает необходимость в концентраторе. Поэтому для прямолинейных продольных колебаний нужны новые конструкции вибраторов. Рассмотрим несколько вариантов.

Если на рис. 4.66 убрать концентратор 3, а к магнитострикционному преобразователю 2 установить посадочный вал с резьбой, на который посадить упорную шайбу 4, круг 5, прижимную шайбу 6 и навинтить гайку 7, то получим новый вибратор с параллельными обмотками и колебательными движениями круга вдоль оси, рис. 4.67.

Шлицевая втулка и шлицевой вал служат для передачи вращающихся движений на круг и снятия нагрузки с преобразователя. Для преобразователя, состоящего из большого числа рамок (рис. 4.65, поз. 4), где крутящая нагрузка существенного влияния не оказывает, шлицевый вал и шлицевую втулку можно не использовать.

Если крутящая нагрузка нарушает работу преобразователя (рис. 4.64 и рис. 4.66), то в конструкции применяется шлицевая втулка и шлицевой вал, как показано на рис. 4.67.

Здесь и далее новые рисунки не приводятся, если устройство не сложное, его работа и конструкция очевидны из описания и приведенных графических схем. Это необходимо для того, чтобы графическая часть была простой, понятной и многофункциональной.

Особенность вибратора, показанного на рис. 4.68, состоит в том, что преобразователь 3 контактирует с валом, передающим вращение на круг 1, и вращающимся кругом 5 через шариковые упорные подшипники 2. Это позволяет

преобразователю во время вращения круга оставаться неподвижным. А это значит, что на таком устройстве можно применить любую систему охлаждения, в том числе водяную, аналогично стационарным невращающимся вибраторам, рис. 4.62.

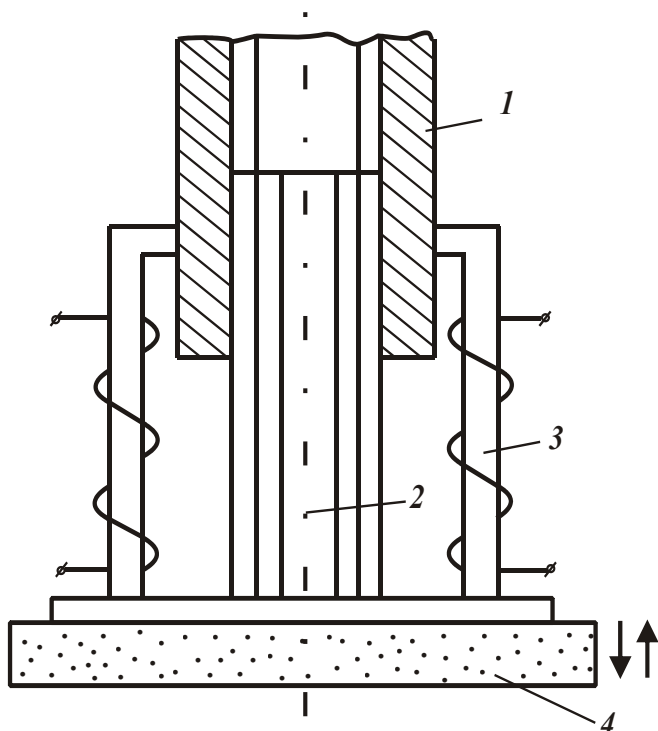


Рис. 4.67. Магнестрикционный вибратор: 1 – шлицевая втулка; 2 – шлицевой вал, приваренный к цилиндрическому основанию; 3 – преобразователь с обмоткой, сердечник которого замыкается на шлицевой втулке и основании с помощью сварки; 4 – круг, установленный на основание вибратора с помощью смол или клеев.

Установка круга на шлифовальную втулку и прижим его к преобразователю или концентратору вполне применим для схем, показанных на рис. 4.64 и рис. 4.66 и их вариантов. Применение шлицевого вала, шлицевой втулки и пружины значительно расширяет технологические возможности вибраторов.

Таким образом, приведенные конструктивные разработки вибраторов указывают на то, что наступило время широкого применения ультразвуковых магнестрикционных вибраторов в повсеместной обработке шлифованием. Это позволит значительно повысить производительность обработки и применить новейшие технологии даже на бытовом уровне. Приведенные конструктивные разработки открывают новые возможности для реализации совместного применения любых известных методов обработки, а также применения методов

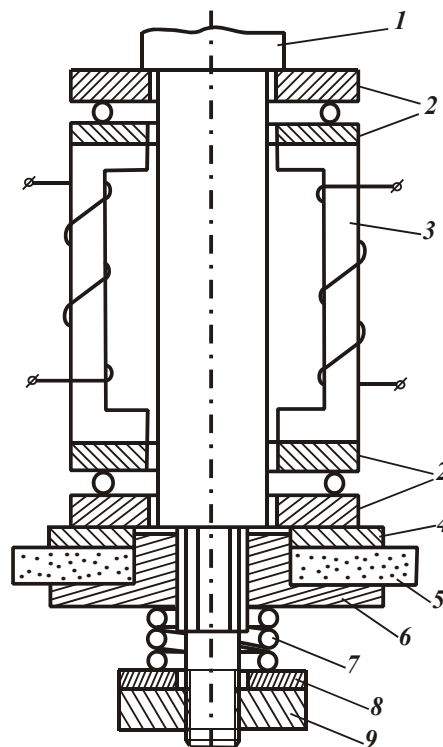


Рис. 4.68. Вращающийся магнестрикционный вибратор с неподвижным преобразователем: 1 – вал, передающий вращение на круг, со шлицами и резьбой на конце; 2 – упорные шариковые подшипники; 3 – магнестрикционный преобразователь; 4 – шайба; 5 – круг; 6 – шлицевая втулка, на которую устанавливается круг; 7 – пружина; 8 – шайба; 9 – гайка.

контроля и организации обратных связей.

Магнитострикционные методы вибрационных колебаний позволяют получить колебания с очень большими амплитудами.

4.18.3. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ВИБРАТОРОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Для более глубокого понимания и решения проблем по эффективному применению вращающихся магнитострикционных вибраторов при шлифовании, сравним размерную обработку деталей ультразвуковым методом прошивки (рис. 4.59) с методами обработки, показанными на рис. 4.61 и рис. 4.62. Эти методы обработки содержат много общего, но есть также и много отличий, которые зависят как от конструктивных возможностей магнитострикционных вибраторов, так и от контактируемых поверхностей обрабатываемого изделия с кругом. Площадь контакта, исходя из рис. 4.61, определяется высотой и радиусом круга и заготовки, а исходя из рис. 4.62, – торцевой (периферийной) поверхностью круга.

Выбор колебательных перемещений круга зависит от площади контакта его с заготовкой, направления вибрационных перемещений, амплитуды колебаний и вязкости обрабатываемого материала. Характер взаимодействия поверхностей так же определяется некоторыми конструктивными возможностями магнитострикционных вибраторов: формой и размерами волноводов концентраторов, расположением инструмента относительно концентраторов (рис. 4.61, рис. 4.62), смещением концентраторов и инструментов относительно оси. На рис. 4.61 и рис. 4.62 не показана зависимость характера соприкосновения инструмента и обрабатываемой поверхности от конструктивных особенностей обмотки магнитострикционного преобразователя. В то же время эта зависимость является основной, определяющей характер ультразвуковых перемещений инструмента по обрабатываемому изделию. Следовательно, использование магнитострикционных вибраторов при шлифовании требует многостороннего учета различных факторов процесса обработки.

При проектировании и внедрении вращающихся вибраторов возникает ряд сложных задач, связанных с исключением передачи вибрации на станок и сохранением наибольшей амплитуды колебаний не на холостом ходу, а при обработке. При этом важно не допустить разрушения инструмента и оборудования при обработке вязких и твердых материалов. Для этого необходимо учитывать характер взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью (скользящий или в упор), жесткость системы, режимы обработки и многие другие факторы. К сожалению, эти вопросы недостаточно рассмотрены в научно-технической литературе, поэтому ниже будут допускаться повторения.

Основой ультразвуковой установки является магнитострикционный преобразователь электрической энергии в механические колебания. Он является активным элементом колебательной системы. Пассивный элемент - concentra-

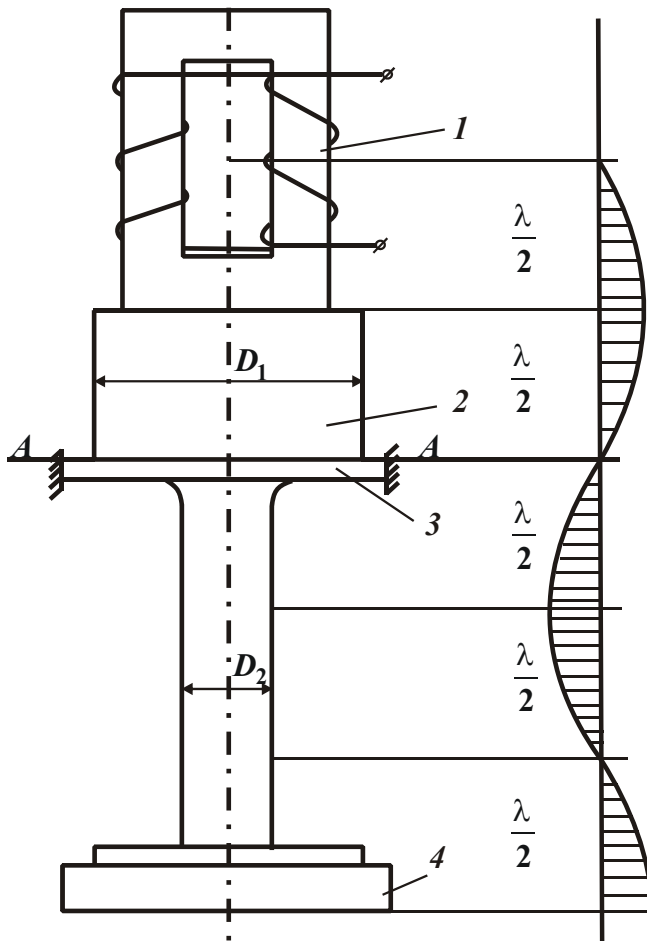


Рис. 4.69. Существующая схема крепления магнестрикционной колебательной системы в станке: 1 – преобразователь; 2 – концентратор; 3 – фланец для крепления системы; 4 – рабочий инструмент.

тор – передает упругие колебания в рабочую зону, на него устанавливается рабочий инструмент. Концентратор используется для крепления системы в станке.

На рис. 4.69 показана применяемая на практике схема крепления магнестрикционной колебательной системы в станке. Для того чтобы свести к минимуму передачу колебаний на станок, фланец для крепления системы к станку располагается в плоскости А-А, в которой амплитуда колебаний равна нулю, а сам фланец устанавливается в узле образования колебаний.

Как видим, один конец колебательной системы свободен, его колебания через газы или охлаждающую жидкость (рис. 4.62) не передаются станку (корпусу), поскольку газы, обладая малой плотностью, хорошо поглощают ультразвуковые волны. Жидкость, хотя и имеет большую плотность, но находится

не в замкнутом сосуде. Охлаждающая система имеет подвод и отвод жидкости, поэтому воздействие колебательной системы на станок (корпус) не значительно. Следовательно, если колебательная система с двух сторон окажется абсолютно сжатой, то она разрушится и выйдет из строя.

Задача сводится к тому, чтобы обеспечить вращение инструмента через колебательную систему, сохраняя узел образования колебаний с одной стороны свободным от передачи колебаний на станок и исключая передачу колебаний на работающие узлы и детали станка. При этом необходимо обеспечить максимальную амплитуду колебаний работающего инструмента. Такая постановка задачи нужна не всегда, но в большинстве случаев к ней надо стремиться. Какими путями можно решить эту задачу?

Вариант 1. Фланец для крепления системы со станком соединяется через подшипник. Вращение инструмента обеспечивается на выступе (фланце) – посадочном месте концентратора. В этом варианте одна сторона остается свободной. Недостаток данной системы заключается в том, что усложняется подача инструмента на обрабатываемую деталь во время следующего перехода (про-

хода).

Вариант 2. Фланец для крепления системы со станком соединяется через подшипник:

- а) вал, передающий вращение на сердечник преобразователя, изготавливается из вибропоглощающего материала;
- б) вал, передающий вращение на сердечник преобразователя, изготавливается из витых пружин;
- в) вал, передающий вращение на сердечник преобразователя, имеет шлицы, которые устанавливаются в шлицевую втулку. За счет перемещения во втулке колебания системы не передаются на работающие детали станка.

Вариант 3. Полностью освобождается фланец для крепления колебательной системы. Вал, передающий вращение на сердечник преобразователя, изготавливается из вибрационно-поглощающих сплавов и материалов (алюминиевых сплавов и др.). Такой вариант значительно упрощает подачу шлифовального круга на обрабатываемую деталь.

Вариант 4. Используется вал из магнитоотрицательного материала при шлифовании с применением ультразвуковых колебаний. Он изготавливается из пластин магнитоотрицательного материала методом склеивания, а переход в хвостовик – из вибрационно-поглощающего сплава. Такое решение может иметь место в устройстве для шлифования с вибрациями, изображенном на рис. 4.63.

Вариант 5. Вращение на преобразователь передается посредством вала, который выполнен по принципу волновода-концентратора, т.е. колебания от станка на колебательную систему усиливаются, а с колебательной системы на станок уменьшаются.

Вариант 6. Вал, передающий вращение на преобразователь, жестко связан со станком. В этом случае отсутствует защита от колебательной системы.

Варианты 5 и 6 применяются для обработки вязких материалов с двумя условиями: материал преобразователя должен быть значительно тверже обрабатываемого материала, во время обработки обрабатываемый материал не должен “прессоваться” инструментом, т.е. амплитуда колебаний должна быть соизмерима с размером зерен. Это необходимо, прежде всего, для расширения возможностей обработки вязких и пластичных материалов. Низкая эффективность обработки вязких пластичных материалов вызвана тем, что при применении колебательных систем без жесткой опоры преобразователя колебания инструмента гасятся обрабатываемым материалом. Для обработки вязких и пластичных материалов нужны колебания увеличенной амплитуды, что достигается жесткой опорой преобразователя, а также конструкциями концентраторов.

Жесткая опора преобразователя будет частично передавать вибрацию на станок. Однако более эффективная обработка вязких и пластичных материалов при этом будет компенсировать данный недостаток. Обработка материалов повышенной твердости по такой схеме недопустима, т.к. может привести к разрушению вибратора и станка.

Вариант 7. Колебательная система вращается на валу и непосредственно передвигает шлифовальный круг по шлицам.

Вариант 8. Колебательная система располагается вокруг вала, не вращается и непосредственно передвигает шлицевый круг по шлицам, рис. 4.68.

Вариант 9. Колебательная система располагается независимо от вращающегося инструмента и вынуждает колебаться сам вращающийся инструмент. Здесь имеется несколько способов передачи колебаний:

- а) колебательная система крепится жестко за фланец;
- б) колебательная система крепится жестко свободным концом преобразователя;
- в) колебательная система крепится свободным концом преобразователя через поглощающую колебания прокладку.

Вариант 10. Применение параллельно расположенных преобразователей (вибраторов) на одном концентраторе.

Вариант 11. Применение последовательно расположенных преобразователей (колебательных систем) на одном волноводе-концентраторе.

Вариант 12. Применение определенного количества преобразователей на несколько волноводов-концентраторов в одной колебательной системе.

Все варианты применения ультразвуковых колебательных систем с использованием магнитострикционного эффекта разработать и представить сложно. Поэтому поставим задачу по определению направления возможных поисков. Анализируя графическую часть, не сложно установить, к какому варианту можно отнести приведенную конструкцию и где она получит свое технологическое применение. В некоторых вариантах много внимания уделяется относительно простым решениям, но, к сожалению, без этого нельзя перейти к более сложным решениям, так как все сложное состоит из простого. Это нужно еще и потому, что магнитострикционный эффект в настоящее время не получил должного применения в шлифовании и этот недостаток надо ликвидировать.

Имеющуюся магнитострикционную колебательную систему довольно сложно приспособить под разные инструменты и обрабатываемые материалы, однако, чем шире набор инструментов и обрабатываемых материалов, тем быстрее окупится оборудование. Используя вибрационные колебательные системы при обработке разных материалов, необходимо рассчитывать силу воздействия на материал и оборудование. Поэтому не надо пренебрегать такими простыми мерами защиты от чрезмерного вибрационного воздействия как прокладки из виброгасящих материалов, специальные пружины, которые устанавливаются под изделие и круг с одной и двух сторон, а также между вибрирующей системой и станком.

Виброгасителями могут служить пружинные валы, шестерни из виброгасящих материалов, ремни (передающие вращение), виброгасящие муфты. Эти меры позволят снизить чрезмерно жесткий характер взаимодействия инструмента и обрабатываемого изделия, исключат возможность разрушения инструмента и оборудования. Выбирая тот или другой метод защиты станка и системы от вибрации, необходимо, прежде всего, учитывать вязкость материала и характер совершаемых колебаний инструментом: скользящие по плоскости или проникающие вглубь обрабатываемого материала.

При шлифовании относительно мягких материалов необходима жесткая система, т.к. сам материал является средой для гашения вибраций. Поэтому до-

полнительные меры для гашения вибраций чаще всего не нужны и даже вредны. Но к обработке пластичных и вязких материалов надо подходить очень осторожно, т.к. для каждого материала необходима своя технология обработки и очистки круга. Для одних материалов достаточно определенной среды обработки, например, алюминиевые сплавы лучше обрабатывать в керосине, а применение ультразвука определенной частоты способствует очищению круга. Для других материалов требуется охлаждение и специальная газовая среда. Технологии обработки вязких материалов методом шлифования с применением ультразвука в научно-технической литературе не описаны. Отсутствует методика выбора частоты и амплитуды колебаний в зависимости от пластичности и вязкости материала. Эти и многие другие вопросы еще предстоит тщательно изучить и проанализировать.

4.18.4. КОНСТРУКЦИИ КОНЦЕНТРАТОРОВ И ВОЛНОВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ

Передача колебаний в рабочую среду или на инструмент происходит, как правило, с помощью волновода или концентратора, или волновода-концентратора, или концентратора – волновода. Волноводы не усиливают амплитуды колебаний, они имеют постоянную площадь поперечного сечения и цилиндрическую форму. Для получения качественной передачи колебаний волноводы и концентраторы должны иметь резонансную длину, которая должна быть кратна целому числу полуволен ($\lambda / 2$).

Концентраторы преобразуют ультразвуковые колебания малой амплитуды в колебания большой амплитуды. Трансформация амплитуды происходит за счет изменения площади поперечного сечения концентратора. Форма поперечных сечений – цилиндрическая. Концентраторы изготавливают эллипсоидной, конической и ступенчатой цилиндрической формы. Ступенчатые концентраторы могут иметь комбинированные формы, например, цилиндр – конус, цилиндр – эллипс и т.д. Для крепления колебательной системы к станку концентраторы и волноводы могут иметь фланцы.

Коэффициент усиления концентратора K зависит от соотношения диаметра входного D_1 и выходного D_2 торцов концентратора, рис. 4.69.

Наибольший коэффициент усиления продольных колебаний для ступенчатых цилиндрических концентраторов определяется по формуле:

$$K = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2.$$

Продольные колебания (без боковых колебаний) обеспечиваются при условии: $K > 8 \div 10$. Волноводы и концентраторы могут быть одним целым с колебательной системой или сменными ее частями. Для излучения ультразвуковых колебаний в газовую среду или жидкость вместо волноводов и концентраторов применяют излучающие пластины-мембраны. Пластина-мембрана

может иметь постоянное или переменное сечение.

Все эти конструкции волноводов и концентраторов вполне применимы и для ультразвукового шлифования вращающимся кругом.

Практическое применение процесса шлифования с ультразвуковыми колебаниями обязательно приведет к новым конструкциям волноводов и концентраторов.

4.18.5. НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ КРУГОВ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ЭФФЕКТА

Применять существующие магнитострикционные установки при шлифовании, разрабатывать новые технологии обработки с обеспечением колебаний детали или инструмента – весьма сложно. Это требует значительных затрат материальных ресурсов и времени, проведения теоретических и экспериментальных исследований. Но это то, чем можно заниматься уже сегодня и получить экономический эффект. Это один из путей совершенствования процесса шлифования.

Другой путь совершенствования процесса шлифования состоит в проектировании нового шлифовального оборудования с ультразвуковыми вибрациями вращающегося круга. Он требует больших затрат и его эффективность проявляется не сразу. При проектировании нового оборудования могут быть ошибки в ожидаемом эффекте, часто их можно устранить только созданием опытных образцов и отработкой разных вариантов. Этот путь длительный и трудоемкий, но без него не может быть научно-технического прогресса. Предложенные варианты могут быть спорными и далекими от совершенства, но это вполне естественно.

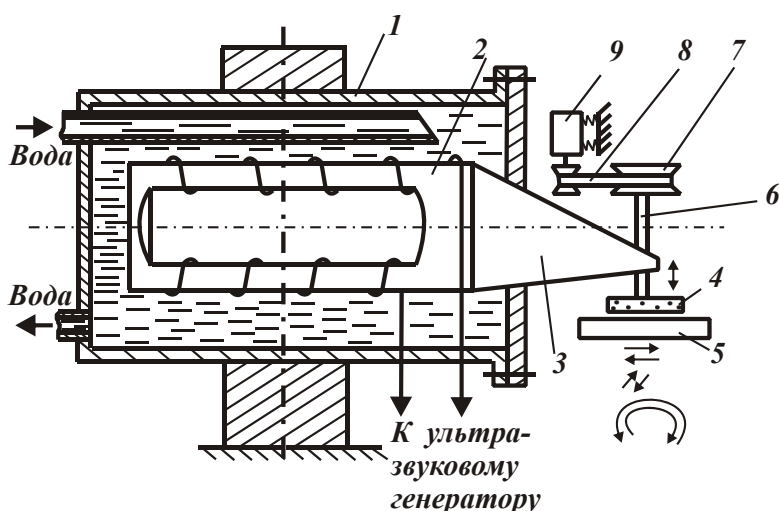


Рис. 4.70. Схема плоского шлифования с применением ультразвука: 1 – корпус с водяным охлаждением; 2 – магнитострикционный преобразователь; 3 – концентратор; 4 – круг; 5 – деталь, изделие; 6 – вал; 7 – шкив; 8 – ремень; 9 – электродвигатель.

Рассмотрим схему, приведенную на рис. 4.70. Она требует незначительной доработки, чтобы обеспечить вращение круга при том же уровне колебаний. Для этого выступ, отходящий от концентратора 3, на который установлен шлифовальный круг 4, необходимо выполнить проходным и посадить его на подшипники в концентраторе 3 таким образом, чтобы он мог только вра-

щаться. В результате получим вал для передачи вращения на шлифовальный круг. На одной стороне вала установим шлифовальный круг, а на другой – шкив для ремня. С помощью ремня и электрического двигателя обеспечим вращение абразивного круга. Для уменьшения вибраций, передаваемых на двигатель, установим его на пружины. Таким образом, приходим к новой схеме плоского шлифования вращающимся кругом с ультразвуковыми колебаниями. В этой схеме процесс вращения круга и колебательный процесс практически не оказывают взаимного влияния, что является положительным фактором.

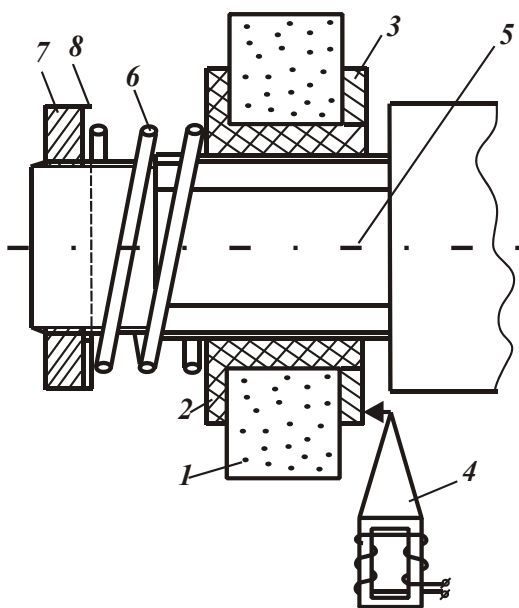


Рис. 4.71. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – прижимная шайба; 4 – магнитострикционная колебательная система; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – шайба.

Прижим круга к колебательной системе осуществляется пружиной. Этот способ очень рационален, т.к. может быть применен на разных шлифовальных установках и других станках. Здесь также вращающаяся и колебательная системы оказывают минимальное взаимное влияние. Колебаниям подвергается минимальная часть установки – круг. Станок защищен от вибрационных воздействий. Колебательная система характеризуется небольшой энергоемкостью. Она может устанавливаться разными способами: быть одиночной или работать параллельно с другими однотипными или разными системами.

Прижимная шайба 3 может устанавливаться на втулку 2 на резьбу (рис. 4.71). Колебательная система выполнена по жесткой схеме, поэтому может применяться при обработке пластичных вязких материалов при скользящих колебательных движениях по поверхности круга. Если между колебательной системой и опорой поставить виброгасящую прокладку, то данную систему можно также применять при обработке более твердых материалов. Концентратор колебательной системы 4 скользит по прижимной шайбе 3, его конец имеет вращающуюся втулку (подшипник). Колебательная система крепится за фланец концентратора, что обеспечивает ее применение при обработке практически любых материалов.

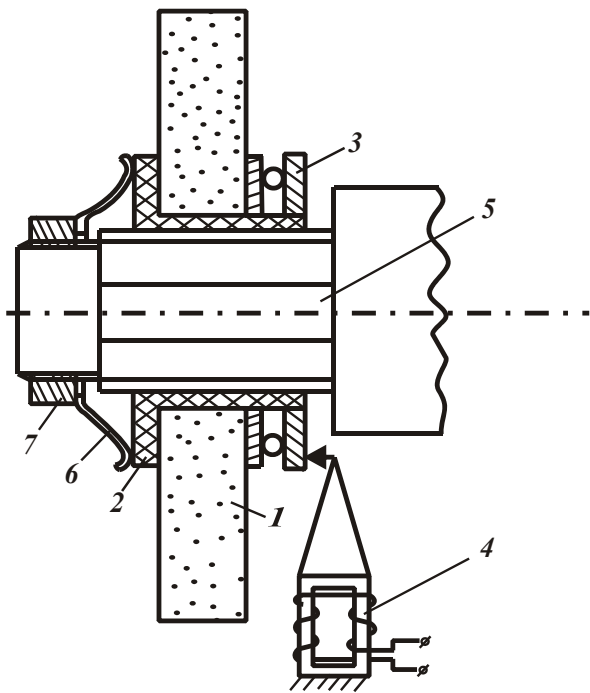


Рис. 4.72. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 – магнитострикционная колебательная система; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка.

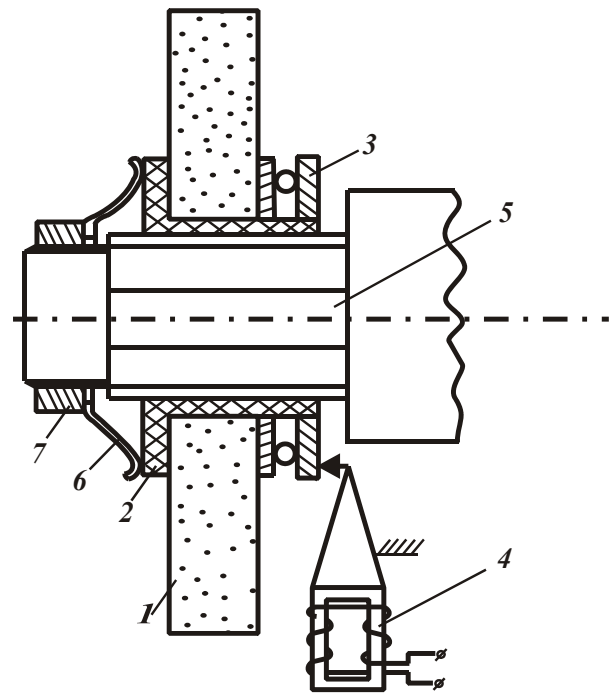


Рис. 4.73. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга (колебательная система крепится за фланец концентратора): 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 – магнитострикционная колебательная система; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка.

Устройство, изображенное на рис. 4.72, отличается от устройства, изображенного на рис. 4.71, тем, что вместо прижимной шайбы 3 установлен подшипник, а вместо витой пружины 6 применена рессорно-дисковая пружина.

На рис. 4.73 показан пример крепления колебательной системы за фланец концентратора. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга, изображенное на рис. 4.74, отличается от предыдущих устройств (рис. 4.71, рис. 4.72, рис. 4.73) тем, что магнитострикционная система располагается не параллельно кругу, а перпендикулярно.

В устройстве, показанном на рис. 4.75, эксцентрик приводится в движение электродвигателем или через шестерни от вала. Здесь магнитострикционная система крепится за фланец концентратора. Шлифовальный круг может совершать осевые перемещения отдельно от каждой колебательной системы: от эксцентрика или от магнитострикционной колебательной системы. Эти два вида перемещений могут совершаться совместно. Магнитострикционная система при таком креплении будет периодически терять контакт с кругом. Для того чтобы этого не происходило, необходимо закрепить ее на вращающемся вале через подшипник, как показано на рис. 4.76. В этом устройстве колебательная система остается рядом с валом и не выходит из зацепления при перемещении круга эксцентриком. Она перемещается вдоль вала по направляющим 12 и прижимается пружинкой 11 к кругу 1.

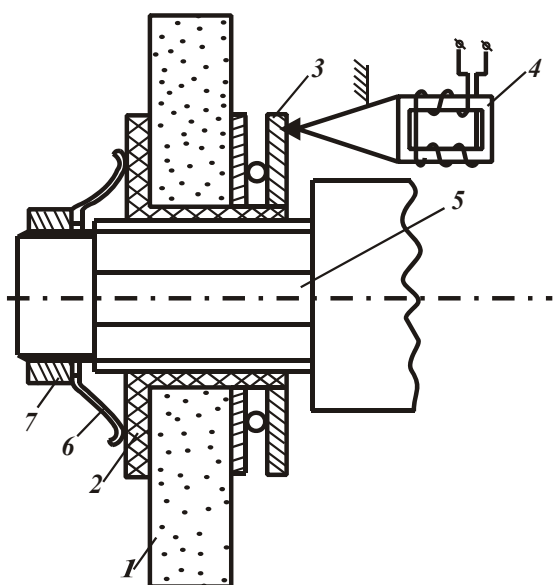


Рис. 4.74. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 – магнестрикционная колебательная система; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка.

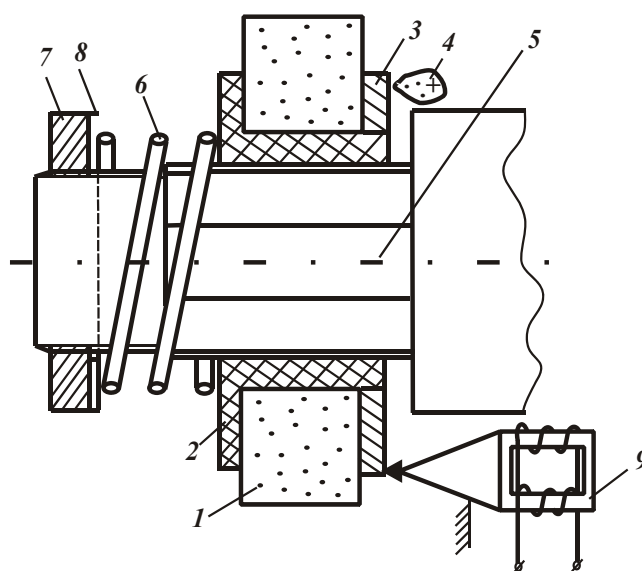


Рис. 4.75. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – прижимная шайба; 4 – эксцентрик (показан повернутым на 90°); 5 – шлицевый вал с резьбой; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – шайба; 9 – магнестрикционная колебательная система.

Устройство, показанное на рис. 4.77, содержит две колебательные системы: пьезоэлектрическую и магнестрикционную. Эти колебательные системы могут работать как в отдельности, так и совместно. Они могут работать и поочередно, использоваться для создания колебаний круга и обеспечения контроля и обратных связей в процессе шлифования.

Магнестрикционная колебательная система в устройстве, показанном на рис. 4.78, работает совместно с пьезоэлектрическими колебательными системами, чем значительно расширяет их возможности, т.к. способна обеспечить колебания большей амплитуды. Совместная работа двух систем создает перемещение круга по шлицам и качание его на упругой втулке 6. В данном случае пьезоэлектрическую систему можно в полной мере использовать для контроля процесса шлифования, а магнестрикционную систему использовать для ультразвуковых перемещений. Пьезоэлектрическая система может поочередно применяться для ультразвуковых колебаний и для контроля. В этом устройстве шлифовальный круг будет перемещаться не только под действием пьезоэлектрической и магнестрикционной системы, но, встречая разные по твердости зерна, будет совершать определенные перемещения. Такие перемещения пьезоэлектрическая система способна зарегистрировать во время собственных ультразвуковых колебаний. Поскольку система многосекторная, она также в состоянии зарегистрировать одновременно несколько колебательных гармоник. Необходимо отметить, что многосекторная пьезоэлектрическая система с резиновой H-образной упругой втулкой способна наиболее точно отразить все сложные колебания круга.

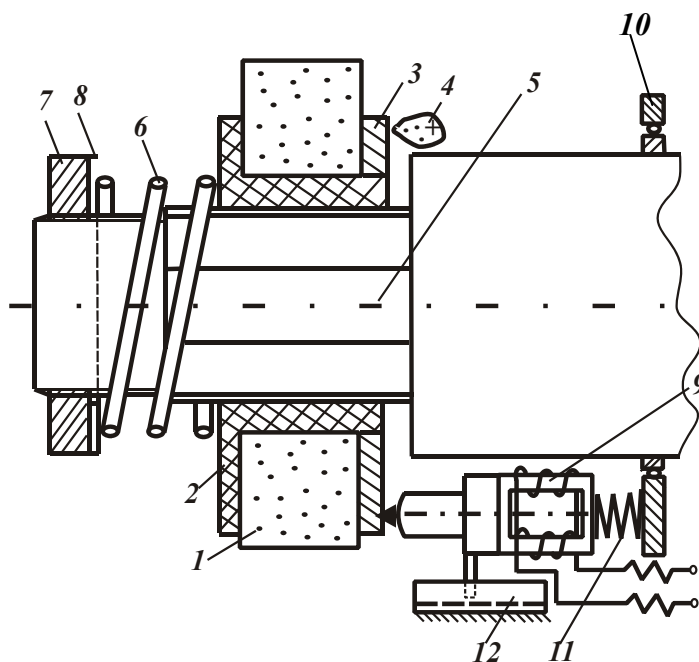


Рис. 4.76. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга: 1 – круг; 2 – шлифовальная втулка; 3 – прижимная шайба; 4 – эксцентрик (показан повернутым на 90°); 5 – шлицевый вал с резьбой; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – шайба; 9 – магнестрикционная колебательная система; 10 – подшипник; 11 – пружина; 12 – направляющие.

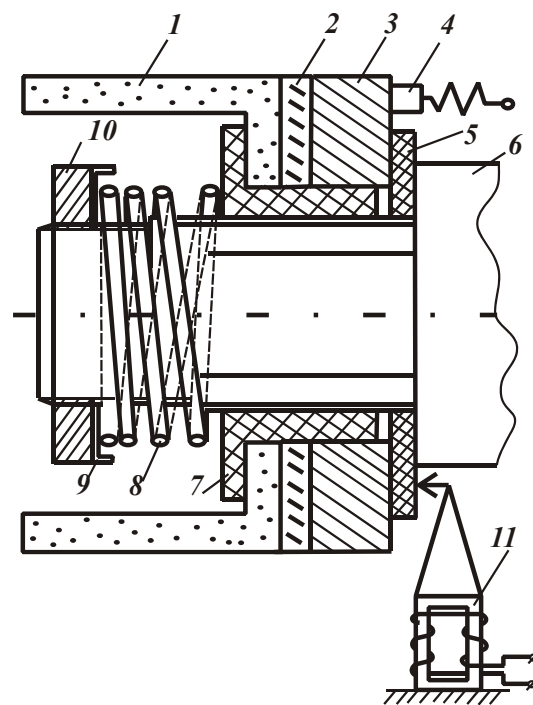


Рис. 4.77. Схема ультразвукового шлифования: 1 – чашечный круг; 2 – пьезоэлектрический диск; 3 – металлическая шайба; 4 – токоподводящая и токосъемная щетки; 5 – текстолитовая шайба; 6 – вал со шлицами и резьбой, передающий вращение на круг; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина; 9 – шайба; 10 – гайка; 11 – магнестрикционная колебательная система.

Устройства, показанные на рис. 4.79 и рис. 4.77, отличаются тем, что на рис. 4.77 магнестрикционная система расположена параллельно обрабатываемой поверхности и кругу и вызывает колебательные воздействия на круг через текстолитовую шайбу. При малых амплитудах и большой частоте текстолитовая шайба может гасить (поглощать) колебания.

На рис. 4.79 показана схема, согласно которой магнестрикционная система расположена перпендикулярно обрабатываемой поверхности и кругу. В месте крепления система имеет изоляционную прокладку.

Магнестрикционная система (рис. 4.77, рис. 4.78, рис. 4.79) может непосредственно через шайбу передавать колебательные перемещения на круг, а также крепиться к валу через подшипник. Способ крепления через подшипник аналогичен способу, показанному на рис. 4.76. Магнестрикционные системы могут крепиться через подшипник к валу и по схемам (рис. 4.77 и рис. 4.79 – поз. 6; рис. 4.78 - поз 5), в которых фланец с концентратором соединяется с подшипником, а противоположная сторона фланца, имея направляющий выступ, перемещается по направляющим (рис. 4.76). Такой способ крепления поз-

воляет установить магнестрикционную систему на любой высоте, перемещая подшипник по валу, который фиксируется упорными кольцами с винтами. Вибрация с фланца на подшипник не передается, т.к. фланец находится на волноводе-концентраторе в точке, кратной половине длины волны $\lambda/2$, т.е. в том месте, где отсутствуют колебания.

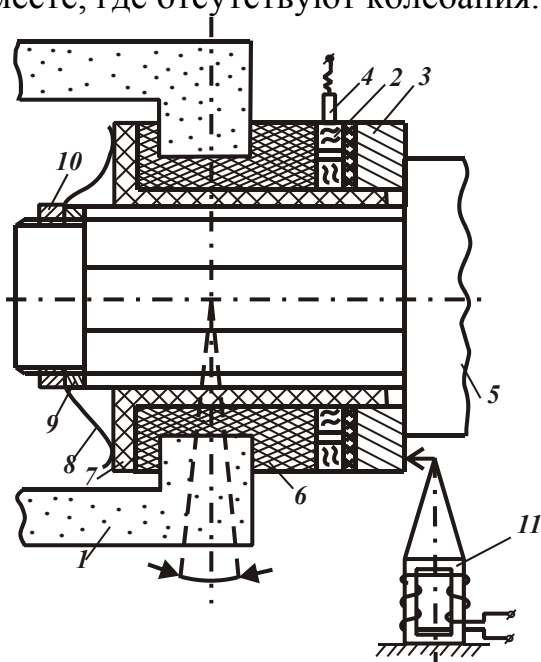


Рис. 4.78. Устройство для ультразвукового качания (кручения) и возвратно-поступательного перемещения круга: 1 – чашечный круг; 2 – секторный пьезоэлектрический диск; 3 – металлическая шайба; 4 – токоподводящая и токосъемная щетки; 5 – вал со шлицами и резьбой; 6 – резиновая Н-образная упругая втулка; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина рессорно-дисковая; 9 – шайба; 10 – гайка; 11 – магнестрикционная колебательная система.

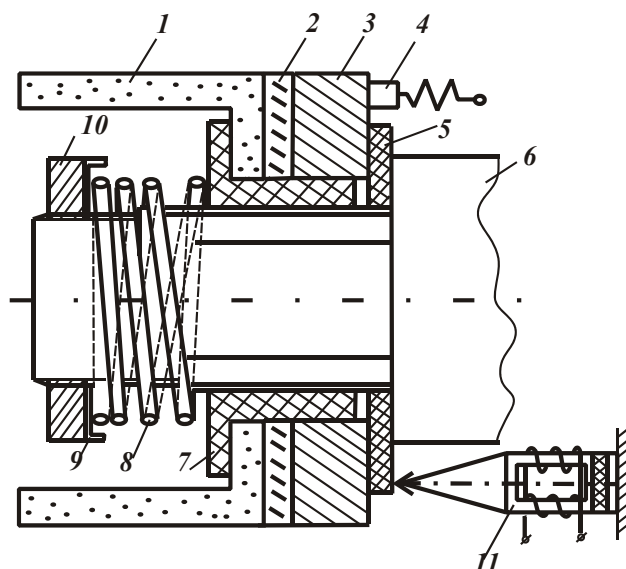


Рис. 4.79. Схема ультразвукового шлифования: 1 – чашечный круг; 2 – пьезоэлектрический диск; 3 – металлическая шайба; 4 – токоподводящая и токосъемная щетки; 5 – текстолитовая шайба; 6 – вал со шлицами и резьбой; 7 – текстолитовая шлицевая втулка; 8 – пружина; 9 – шайба; 10 – гайка; 11 – магнестрикционная колебательная система.

Подводя итоги, можно отметить, что магнестрикционные преобразователи до настоящего времени практически не применялись в абразивно-шлифовальной обработке на вращающемся инструменте, поэтому этой области техники предстоит большое развитие.

4.19. ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С УРОВНЕМ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ КРУГА И КОМБИНИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

От частоты колебаний значительно зависит температура в месте контакта обрабатываемого изделия и инструмента. При размерной обработке ультразву-

ком применяются частоты от 18 до 30 кГц. Диапазон частот 44 кГц и выше используется в ультразвуковых паяльниках и при сварке. Использование ультразвуковых установок с частотой ниже 18 кГц приводит к образованию сильных шумов, а ультразвуковых установок с частотой свыше 30 кГц – к снижению производительности обработки в связи с уменьшением амплитуды колебаний, ухудшением условий транспортировки абразивного материала, уменьшением размера абразивного материала, ухудшением условий разрушения обрабатываемого материала и изменением кавитационного процесса в сторону уменьшения роста размеров пузырьков. Эти процессы ухудшают процесс размерной обработки ультразвуком.

Иначе обстоит дело с вращающимся ультразвуковым кругом, когда не требуется выбирать размер зерен и подавать их в зону обработки. При вращающемся круге нагрев зоны обработки увеличивает производительность. Частота колебаний и скорость вращения круга находятся в определенной зависимости. Чем выше частота колебаний круга, тем выше должна быть скорость его вращения. При таком условии зона обработки поверхности детали будет оставаться с оптимальным нагревом, а зерна на круге будут успевать охлаждаться, что уменьшит налипание обрабатываемого материала на зерна круга. Скорость вращения круга и частота его колебаний должны быть выбраны с учетом адгезии материала и абразивного зерна. При применении СОЖ надо выбирать частоту колебаний круга с учетом ее состава и вязкости, влияния на процесс образования кавитационных пузырьков.

В свою очередь, вязкость зависит от температуры. Этот процесс интересен тем, что от времени роста пузырьков зависит их размер, а от размера пузырьков зависит способность очистки круга.

Частота колебаний круга зависит от материала связки круга, поэтому увеличение частоты колебаний не всегда может привести к положительному результату. Наибольший эффект при шлифовании обеспечивает способ обработки, при котором к оптимально подобранным частоте и амплитуде колебаний, скорости вращения круга добавляются низкочастотные перемещения круга, что позволяет значительно увеличить производительность обработки. Низкочастотные механические перемещения способствуют изменению геометрии резания, использованию других граней зерна, очищению зерен круга от налипания, лучшему проникновению СОЖ в зону обработки и продвижению стружки.

Низкочастотные колебания с большой амплитудой – это своеобразное прерывистое шлифование, которое периодически изменяет направление рисок–канавок от проработавших зерен и улучшает процесс шлифования. Низкочастотные перемещения круга с большой амплитудой могут осуществляться с помощью разных систем: эксцентриковых, гидравлических и поворотных.

Деформационные изменения круга в процессе обработки и степень поглощения колебаний кругом также влияют на процесс шлифования. Очень важно подобрать круги для шлифования с ультразвуковыми перемещениями с учетом связки и степени ее твердости. Чем выше частота колебаний, тем более жесткой должна быть связка. Поскольку связки по твердости разные, важно это учесть при анализе перемещений не только круга, но и зерен в отдельности, т.е.

выявить отличия в перемещениях круга и отдельного зерна.

Таким образом, изучая оптимальные условия перемещений шлифовального круга и используя комбинированные системы перемещений (ультразвуковые и низкочастотные), можно добиться наибольшей производительности шлифования. Изучать следует условия перемещения не только круга, но и отдельного зерна по обрабатываемой поверхности, а также геометрию его следа. При выборе оптимального режима обработки, наряду с увеличением производительности при шлифовании с использованием комбинированных колебаний, необходимо обеспечить высокую стойкость круга.

4.20. НОВЫЕ ВИДЫ СТРУЙНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

4.20.1. СТРУЙНО-АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Прежде чем перейти к обоснованию новых видов струйно-абразивной обработки, кратко рассмотрим их физическую сущность.

Струйно-абразивная обработка происходит путем выбрасывания из сопла форсунки вместе с жидкостью или газом зерен абразивного материала зернистостью 40-М5 под некоторым углом α к обрабатываемой поверхности. В качестве абразивного материала применяются зерна карбида кремния и электрокорунда, которые со скоростью свыше 50 м/с ударяются об обрабатываемую поверхность. При полировании применяют струю жидкости, распыляемую сжатым воздухом со скоростью 70–90 м/с. Абразивные зерна, ударяясь о микронеровности обрабатываемой поверхности, срезают их. На эффективность обработки большое влияние оказывает угол α атаки струи, материал абразивного зерна, форма зерна и зернистость, соотношение твердой и жидкой составляющей струи. В качестве рабочей струи обычно применяют содовую эмульсию с соотношением твердой и жидкой составляющих в пределах от 4:1 до 1:1. Наибольший съем обрабатываемого материала достигается при углах атаки $\alpha = 30...45^\circ$. Для снижения шероховатости угол атаки α уменьшают до значений $15...20^\circ$. Для увеличения интенсивности съема материала рабочие струи направляют навстречу друг другу с помощью нескольких форсунок.

Струйно-абразивную обработку применяют для очистки поверхностей и снижения шероховатости, декоративного шлифования наружных и внутренних поверхностей сложной формы. Этот метод незаменим при обработке штампов сложных конфигураций, пресс-форм и т.д. Вместе с тем он имеет существенные недостатки.

Срезание неровности происходит практически мгновенно в момент удара зерна о поверхность, после чего зерно “отскакивает” от обрабатываемой поверхности.

Зерна имеют разную площадь контакта с неровностями обрабатываемой поверхности и поэтому угол “отскока” для каждого зерна будет разным. Рабочая струя, выходя из форсунки, веерообразно рассеивается и имеет разную плотность зерен и скорость их движения в центре и по краям. Это недостаточно

учитывается и используется при обработке.

Рассматривая недостатки и достоинства струйно-абразивной обработки, попытаемся извлечь из них наибольшую пользу, увеличить эффективность обработки, расширить сферу ее применения. Это позволит ее эффективно применять на операциях очистки и шлифования не только фасонных, но и плоских поверхностей, на операциях обработки шлицев, канавок, резьбы, разрезки материала.

4.20.2. МНОГОСТРУЙНАЯ АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Для более интенсивного съема материала при обработке в настоящее время известен способ, в котором рабочие струи направляются навстречу друг другу двумя или несколькими форсунками. Преимущества и недостатки такого способа обсуждать весьма проблематично, т.к. интенсивность съема материала может зависеть от увеличения площади обработки, поскольку две струи ударяют навстречу друг другу на достаточном расстоянии при малом угле атаки или когда обе струи находятся под углом атаки в 45° . Очевидно, что в этом случае обработка может вестись двумя струями в одном пятне. Можно применить не только две рабочие струи, но и три, четыре и более, расположив их по окружности под углом 45° .

Ниже рассмотрим иной подход и принцип многоструйной абразивной обработки.

Вариант 1. Обработка производится с помощью двух совершенно одинаковых рабочих струй, исходящих из двух форсунок, расположенных одна над другой вертикально и направленных к поверхности под одним углом атаки к обрабатываемой поверхности. Абразивные зерна нижней струи будут касаться обрабатываемой поверхности первыми, срезая неровности и изменяя свое направление движения, частично теряя при этом кинетическую энергию. В это время они будут захватываться верхней струей и опять же прижиматься и ударяться о поверхность, но уже другими гранями. Учитывая, что не все зерна ударяют о поверхность (часть их просто прижимается и скользит по ней), этот факт позволит значительно увеличить производительность обработки. В данном случае обе струи направлены в одну сторону, поэтому доступ к обрабатываемой поверхности осуществить значительно легче.

Вариант 2. Рабочие струи одинаково направленные на обрабатываемую поверхность одна над другой, но угол атаки у них отличается на $1 \dots 5^\circ$.

Вариант 3. В вертикальных рабочих струях применяется рабочий материал, отличающийся:

- а) по размеру абразивных зерен;
- б) по форме зерен;
- в) по материалу (химическому составу) зерен;
- г) по отношению рабочего зерна и несущего материала струи;
- д) по химическому составу несущего материала рабочей струи;
- е) по разной плотности несущего материала рабочей струи;

ж) по разному химическому воздействию рабочих струй, состоящих из различных компонентов, на обрабатываемую поверхность.

Вариант 4. Вертикальные струи, расположенные одна над одной, имеют разную плотность и разные скорости. Допустим, плотность нижней струи меньше и она движется со скоростью 50 м/с, а струя, расположенная выше (с большей плотностью), движется со скоростью 60 м/с. После удара зерна нижней струи подхватываются верхней струей и снова переносятся на обрабатываемую поверхность.

Вариант 5. Две одинаковые струи, разведенные в горизонтальной плоскости на угол от 1° до 60° , направлены на одно пятно при одинаковом угле атаки α . Это интенсифицирует процесс съема материала.

Вариант 6. Две одинаковые рабочие струи разведены в горизонтальной плоскости на угол от 1° до 60° и направлены на одно пятно при одинаковом угле атаки. Между ними выведена третья струя с большей плотностью и скоростью, имеющая такой же угол атаки.

Вариант 7. Четыре рабочие струи, попарно расположенные вертикально и разведенные горизонтально на угол от 1° до 60° , направлены на одно пятно обрабатываемой поверхности.

Вариант 8. Направление движения струи по обрабатываемой поверхности – углом вперед и углом назад.

Используя вышеуказанные варианты можно создать много рабочих комбинаций, которые будут применимы для определенного материала и определенных условий обработки. Большое значение имеет и направление движения рабочих струй при обработке: углом вперед, углом назад, повторяющиеся движения, движения по кругу, вращение форсунок со сменой положения верхней и нижней струи и другие.

4.20.3. СТРУЙНО-АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА С ПОМОЩЬЮ ДИСКА

Как отмечалось выше, недостаточная эффективность струйно-абразивной обработки заключается в том, что рабочее абразивное зерно ударяется об обрабатываемую поверхность только один раз и уходит из зоны обработки. Для увеличения воздействия абразивного зерна на обрабатываемую поверхность целесообразно применить вращающийся диск.

Рассмотрим обработку плоской поверхности с применением войлочного диска определенного размера, расположенного к обрабатываемой поверхности под углом $4...10^\circ$ таким образом, чтобы часть диска несколько касалась поверхности обработки. Сообщим диску вращение, при котором линия диска, проходящая от центра на расстоянии $2/3$, вращается со скоростью, превышающей скорость рабочей струи. Рабочую струю направим на обрабатываемую поверхность под диск по ходу его вращения на расстоянии $2/3$ от центра. В результате струя подхватывается и прижимается войлочным диском к поверхности, создавая движение абразивных зерен. Диск освобождается от зерен цен-

тробежной силой. Некоторые зерна могут оставаться на войлочном диске в течение нескольких оборотов, что также позволит интенсифицировать съём материала.

Для обработки разных материалов целесообразно применить соответствующие диски: резиновый, пластмассовый, текстолитовый, из дюралюминиевых сплавов, титановых сплавов, чугунные, твердосплавные. Известно, что диски, которые в процессе работы не могут иметь упругой или пластической деформации, не должны касаться обрабатываемой поверхности.

Для усиления обработки недеформируемым диском придаются ультразвуковые колебательные движения. При работе с твердыми недеформируемыми дисками абразивные зерна, подводимые рабочей струей, ударяясь об обрабатываемую поверхность, направляются к поверхности диска, где получают дополнительную кинетическую энергию от его вращения и ультразвуковых колебательных движений. Затем направляются на обрабатываемую поверхность, а рабочая струя сжимается и приобретает новую увеличенную скорость движения. В рабочей струе происходит уплотнение абразивных зерен, в результате они более интенсивно обрабатывают поверхность изделия. Угол атаки рабочей струи, направляемой под диск, составляет $2...8^\circ$. Поэтому этот вид струйно-абразивной шлифовальной обработки более эффективен для очистки и полирования поверхности.

4.20.4. СТРУЙНО-АБРАЗИВНО- ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА С ПОМОЩЬЮ ЦИЛИНДРА

Струйно-абразивно-шлифовальная обработка, рассмотренная в предыдущих параграфах, позволяет производить очистку и полирование поверхности, т.к. угол атаки рабочей струи небольшой ($2...8^\circ$). Для того чтобы повысить эффективность процесса шлифования, надо увеличить угол атаки α рабочей струи и одновременно заставить абразивное зерно работать значительно больше времени, чем при струйно-абразивной обработке. Для этого можно использовать вращающуюся цилиндрическую поверхность, например, цилиндрические колеса из разных материалов, разной высоты и диаметров, располагая их на разной высоте от обрабатываемой поверхности. В результате будет достигнута высокая эффективность обработки. Скорость вращения поверхности цилиндра должна быть выше скорости рабочей струи. Угол атаки рабочей струи необходимо увеличить с $2...8^\circ$ до 45° . Это позволит перейти от очистки и полирования поверхности к абразивно-шлифовальной обработке с более эффективным использованием абразивного зерна.

С помощью цилиндрических колес можно производить шлифование канавок, пазов, резьбы и других профилей. Абразивная струя может сразу направляться не только на обрабатываемую поверхность, но и на вращающуюся цилиндрическую поверхность, от которой она будет отражаться и попадать на обрабатываемую поверхность. Вращающиеся цилиндрические колеса увеличат кинетическую энергию абразивных материалов, а направление рабочей

струи на вращающуюся цилиндрическую поверхность позволит расширить диапазон углов атаки и направить рабочую струю в труднодоступные для обработки места. Придавая ультразвуковые колебательные движения цилиндрическим колесам, также можно увеличить интенсивность съема обрабатываемого материала.

Применяя струйно-абразивную обработку с использованием дисков и цилиндрических колес, приходим к новым методам обработки поверхностей, основанным на совмещении струйно-абразивной обработки, шлифования и размерной ультразвуковой обработки.

Струйно-абразивно-шлифовальная обработка с помощью цилиндров позволяет применить многоструйную абразивную обработку, описанную выше. Диски и цилиндры могут иметь определенные фасонные, а так же рифленые поверхности.

Особое внимание в струйно-абразивной обработке заслуживают новые инструменты – это дисковые и цилиндрические щетки. Цилиндрическая поверхность (как и дисковая) может иметь (образовывать) упругую щетку из стальной проволоки, с помощью которой, а также и абразивной струи (или струй) осуществляется очистка, полирование и шлифование обрабатываемых поверхностей. Диск-щетку и цилиндр-щетку могут быть изготовлены не только из стальной пружинной проволоки, но и из пружинной проволоки другого материала, например, пружинной проволоки берилиевой бронзы. Диск-щетку и цилиндр-щетку для обработки поверхностей выбирают по размерам цилиндра и диска, а также свойствам и размерам пружинной проволоки.

4.20.5. СТРУЙНО-АБРАЗивно-ШЛИФОВАЛЬНО-ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННО-ДУГОВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

К струйно-абразивно-шлифовальным методам обработки, рассмотренным выше, можно добавить электроэрозионную обработку. Электроэрозионная обработка возможна тогда, когда обрабатываемый материал и инструмент являются токопроводящими. В качестве инструмента в этом случае выступает токопроводящий диск или цилиндрическое колесо и как дополнительный инструмент – токопроводящие абразивные зерна. Рабочая среда (жидкая или газообразная), несущая абразивные зерна, является диэлектриком. К токопроводящему обрабатываемому материалу и основному инструменту подводится напряжение. При обработке используются импульсы низкого напряжения 50...300 В и большой силы тока – до нескольких тысяч ампер, при длительности импульса $10^{-1} - 10^{-7}$ секунд и частоте $f = (50 \dots 1,5) \cdot 10^6$ Гц. Токопроводящие абразивные зерна, попадая между обрабатываемой поверхностью и основным электродом-инструментом (в данном случае диском или цилиндрическим колесом), вызывают уменьшение зазора и пробой диэлектрика.

В результате возникновения электрической искры под действием тепла происходит термическое разрушение поверхности обрабатываемого материала. Разогретый материал легче удаляется абразивными зернами. Удаление обраба-

тываемого материала происходит более интенсивно, если зерна обладают свойствами, благодаря которым к ним адгезирует (прилипает) расплавленный материал. В качестве несущей абразивные зерна среды, наряду с диэлектрическими жидкостями, можно использовать активный газ – кислород или инертные газы: аргон, гелий и другие. В зависимости от материалов обработки и поставленных при этом целей, может быть большое количество вариантов смесей из активных газов.

Этими способами с большой эффективностью можно будет обрабатывать высоколегированные стали, магнитные материалы, хрупкие и твердые материалы и сплавы.

4.21. ЩЕТКИ, КАК АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

Различные диски-щетki, цилиндрические щетки из упругого материала очень удобно использовать в качестве абразивного инструмента. Рассмотрим несколько способов их использования.

1. Абразивной вязкой (клеящей) пастой тонким слоем покрывается поверхность, затем обрабатывается диском-щеткой или цилиндром-щеткой.
2. Инструмент-щетка перед обработкой поверхности окунается в вязкую (клеящую) абразивную пасту и пропитывается ею.
3. Абразивная паста подается через щетку в процессе обработки.
4. Абразивной вязкой (клеящей) пастой обрабатывается щетка. Затем она высушивается. Материал щетки может изготавливаться в заводских условиях.

Вариантов изготовления и форм пружинной проволоки может быть достаточно много. Например, зерна покрываются тонким слоем материала, обладающим адгезионными свойствами к ним. Затем эти зерна привариваются или припаиваются к пружинной проволоке.

Зерна закатываются в тонкий листовой (разогретый до определенной температуры) материал, образующий пружинные трубочки с вдавленным изнутри абразивным материалом.

Еще один вариант. К пружинным трубочкам с зернами снаружи привариваются, приклеиваются или припаиваются зерна, обработанные определенным сплавом, обладающим адгезионными свойствами к ним. Зерна вдавливаются в разогретые пружинные пластинки снаружи.

Щетки, оснащенные абразивным материалом, могут эффективно использоваться при электрофизических, электрохимических, химических и ультразвуковых методах обработки.

4.22. СОВМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ШЛИФОВАНИЕМ

Использование пьезоэлектрических и магнитострикционных материалов

для обеспечения ультразвуковых перемещений вращающегося круга, его частей или отдельных зерен позволяет на более высоком уровне подойти к применению электрофизических и электрохимических методов обработки совместно с ультразвуковыми колебаниями вращающегося круга. В особой мере это относится к совмещению шлифования и электроэрозионных методов обработки, к которым относятся: электроискровой, электроимпульсный, электроконтактный и анодно-механический методы. Их следует по-новому обосновать, т.к. применение сложных колебаний на круге с большой частотой изменяет геометрию обработки зерновой текстуры материала.

Повышение производительности от применения этих методов объясняется еще и тем, что шлифовальный круг и зерна приобретают некоторую свободу, оставаясь в жесткой связке. Повышение производительности обусловлено лучшим проникновением СОЖ в зону обработки, продвижением стружки по обрабатываемому изделию к кругу, изменением формы стружки и очищением от нее круга.

Одним из основных факторов повышения производительности обработки при искровом и дуговом нагреве материала до состояния расплавления является более эффективное использование граней режущего зерна при различных ультразвуковых колебаниях круга.

Применяя по-новому пьезоэлектрические и магнитострикционные материалы для осуществления колебательных движений шлифовального круга, можно изменять направления движения зерен и снимать более эффективно не только расплавленный электрическим разрядом металл, но и срезать разогретую воронку после выброса металла с различных сторон.

Основным фактором повышения производительности при совместном использовании ультразвуковых колебаний и электрофизических методов обработки является то, что выброс расплавленного металла с обрабатываемой поверхности осуществляется совмещенным воздействием электрического разряда и ультразвукового воздействия на жидкость. Условия совмещения этих явлений еще предстоит тщательно изучить с целью обеспечения наибольшей производительности при наименьших затратах энергии.

Выброс расплавленного металла от воздействия электрического заряда обусловлен тем, что металл в месте электрического разряда (от удара пучка электронов) мгновенно нагревается и плавится. Расплавленный металл мгновенно увеличивается в объеме и вытесняется из лунки. Однако, это весьма упрощенное представление о процессе.

На самом деле он имеет более сложный характер. При “продолжительном” – от миллионной до тысячной доли секунды – послыном ударе электронов по поверхности жидкости, происходит ее вытеснение к краям лунки, а затем наружу. В жидкой среде электрическая эрозия более значительна. Это объясняется тем, что под действием электрических сил заряженные частички воды и других веществ образуют токопроводящие цепочки, по которым перемещается электрический заряд.

Аналогично ведут себя и пузырьки газов. Ионизируясь, они под действием электрических сил образуют газовый канал между металлическими частями,

находящимися под высоким напряжением. Как правило, пробой диэлектрика происходит с образованием канала, по краям которого выстроены заряженные частички жидкости, а внутри – ионизированный газ – плазма. Атомизированный газ, образуемый из воды и других веществ, содержащий в своем составе активные атомы водорода и кислорода, которые поддерживают окисление и горение обрабатываемого металла (материала), создают дополнительное давление, которое вытесняет расплавленный материал из лунки. Это подтверждается тем, что электрическая прочность жидких диэлектриков, содержащих воздух и другие газы, определяется законом Пашена, который выражается формулой: $U_{np} = A \cdot p \cdot h$, где U_{np} - пробивное напряжение слоя газа; p - давление газа; h - расстояние между электродами в газе; A - величина, зависящая от давления газа p и толщины слоя газа h .

Воздействие ультразвука на жидкость еще предстоит изучить, однако известно, что направление концентрированного звукового луча на поверхность жидкости вызывает взрывные явления на поверхности жидкости в виде образования фонтанчиков. Это явление можно объяснить такими факторами, как разрушение поверхностной пленки натяжения жидкости, передачей ультразвуком тепла жидкости, кавитационных образований пузырьков, сходящихся вместе в облачке. Объединим эти воздействия. В результате достигается мгновенное плавление металла в зоне воздействия электрического разряда и выброс его из лунки за счет мгновенного увеличения объема и давления пучка электронов и газов с увеличением эффекта от ультразвукового воздействия путем разрушения поверхностной пленки натяжения, передачи тепла и образования кавитационных пузырьков в расплавленном металле.

Кроме этого, от ультразвуковых колебаний зерен в обрабатываемом материале возникают упругие деформации: поверхностные, продольные, поперечные волны, которые имеют разную скорость. Поэтому лунка изменяет свои размеры в разных направлениях, что усиливает процесс выбрасывания жидкого материала. Имеют место процессы “стряхивания”, выдавливания и отрыва жидкого материала от твердой поверхности лунки.

Изучив свойства материала и максимально используя происходящие процессы, можно добиться значительного повышения производительности обработки шлифованием. Процессы надо тщательно рассматривать при шлифовании с ультразвуковыми колебаниями и одновременном применении электрохимических и химических методов.

Применяя комбинированные методы обработки: ультразвуковую и электрофизикохимическую в совмещенном виде или в определенной последовательности, при новом научном подходе можно получить суммарный эффект повышения производительности шлифования.

Дальнейшее увеличение производительности шлифования может быть связано с использованием электромагнитных и электрических полей. Воздействуя электромагнитными полями на обрабатываемый материал с помощью намагничивания диполей, изменяются углы несовпадения зерен, т.е. происходит раскачивание зерен. Ультразвуковые колебания круга позволяют воздей-

ствовать на раскачивающие зерна обрабатываемого материала зернами круга с разных направлений, что увеличивает возможность резонансного благоприятного воздействия на отрыв зерен обрабатываемого материала.

Применение ультразвуковых и химических методов обработки намагничивающихся материалов позволяет за счет электромагнитных полей изменять углы несовпадения зерен и увеличивать площадь соприкосновения химических элементов, что способствует их проникновению в межзерновые пространства.

Применение ультразвуковых электрофизических и электрохимических методов позволяет за счет электромагнитных полей воздействовать на обрабатываемые намагничивающиеся материалы. Во время электрического разряда и плавления металла – передавать расплавленному металлу с поверхности лунки дополнительную энергию раскачиванием твердых зерен с помощью перемагничивания диполей на границе твердого и жидкого металла. Следовательно, магнитное поле вызывает вибрацию жидкого металла, облегчая его удаление из лунки. Дополнительное воздействие на удаление жидкого металла из лунки оказывает электрическое поле.

В момент прекращения действия электрического искрового разряда, т.е. пучка электронов, скорость охлаждения поверхности лунки очень велика. При этом наблюдается измельчение кристаллической поверхности и ее уплотнение. Воздействие электромагнитных полей в этот момент на магнитные диполи и раскачивание зерен позволяет уменьшить рост кристаллов, делает их более подвижными, что снижает прочностные свойства поверхностного слоя лунки и облегчает процесс резания.

Все эти эффекты воздействия надо использовать максимально для данного вида обработки и материалов. Использование электрофизических и электрохимических методов в сочетании с ультразвуковыми, механическими и химическими методами, позволяют обрабатывать материалы с большой эффективностью практически независимо от их твердости и вязкости.

Для массового производства выбор оптимальных режимов обработки можно произвести с применением компьютерных технологий при наличии обратных связей.

Абразивно-струйная обработка с кругами и дисками, имеющими проволочные щетки, может получить большое развитие в сочетании с электроискровыми, электроимпульсными, электроконтактными, анодно-механическими, электролитическими, электрохимическими и химическими методами обработки. Это новое перспективное направление, разработкой которого следует тщательно заниматься.

Перспективность данного метода заключается еще и в том, что электрический заряд располагается на поверхности. Поверхность щетки во много раз больше поверхности круга. Время соприкосновения щеточных пружинных проволок с обрабатываемым изделием во много раз больше времени соприкосновения круга. Каждая отдельная проволочка образует свою канавку на обрабатываемом изделии с помощью электрического заряда и упругого воздействия на нагретый материал, срезая и вынося разогретый материал пружинной проволокой.

4.23. РОЛЬ КАВИТАЦИИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Влияние кавитационных явлений на процесс шлифования изучено недостаточно и часто имеет место как их переоценка, так и недооценка. Почему так происходит? Чтобы ответить на данный вопрос необходимо, прежде всего, разобраться в физической сути этих явлений и только после этого использовать их при создании высокоэффективных технологий шлифования.

Кавитационная эрозия, возникающая при гидродинамических процессах на поверхности гребных винтов гидротурбин, усиливается направленным гидравлическим потоком, несущим мелкий абразивный материал по лопастям, что приводит к их неравномерному износу.

Кавитационная эрозия, вызванная ультразвуковыми колебаниями, происходит в результате чередования фаз сжатия и всестороннего растяжения жидкости. При растяжении в местах микроскопических скоплений газа наступает разрыв слоев жидкости, образование и рост пузырька. При этом происходит некоторая диффузия газа из жидкости в пузырек. Пузырек может образовываться в местах нахождения мельчайших твердых частичек. Поэтому при определенных условиях мельчайший абразивный порошок (в определенном количестве в жидкости) может быть очень полезным. Как правило, на границе твердой частицы и жидкости присутствуют газовые микроскопические пузырьки, что позволяет расширить границы жидкости до образования кавитационного пузырька. Иногда такой микроскопический пузырек газа находится в твердой частице. За фазой растяжения следует фаза сжатия. В зависимости от частоты колебаний, состава жидкости, газовой среды над ней и давления, рост пузырька может продолжаться несколько циклов.

Кавитационный пузырек (определенного радиуса) может существовать в жидкости при условии равенства внутреннего и внешнего давления в нем. Если внутреннее давление больше внешнего, то радиус пузырька будет увеличиваться. Если же внешнее давление больше внутреннего, то пузырек захлопнется, однако не сразу: сначала он будет сжиматься до определенного размера, что вызовет огромное давление при разрыве. Давление, возникающее при захлопывании пузырька, можно определить по формуле Рэлея: на расстоянии $x = 1,59R$ возникает давление

$$P = 0,15P_0 \cdot \frac{R_0^3}{R^3},$$

где R_0 - начальный радиус пузырька; P_0 - гидростатическое давление, при котором пузырек уменьшается до радиуса R .

Для маленьких кавитационных пузырьков внутреннее давление определяется через поверхностное натяжение жидкости по формуле:

$$P_{вн} = \frac{2\sigma}{R},$$

где $P_{вн}$ - внутреннее давление в пузырьке; σ - поверхностное натяжение жидкости; R - радиус пузырька.

Из приведенных формул следует, что, изменяя поверхностное натяжение

жидкости, можно управлять процессом образования пузырьков и определять их радиусы. Уменьшить или увеличить поверхностное натяжение жидкости можно за счет добавления других жидкостей, различных добавок, применения методов очистки используемых жидкостей.

При увеличении количества кавитационных пузырьков увеличивается сжимаемость жидкости, уменьшается скорость распространения волн и возрастает сопротивление на излучателе. При поддержании такого режима работы нагрузка на излучатель может возрасти в 2-3 раза. Ультразвуковой кавитационный процесс также образует гидравлические потоки жидкости. Поэтому тот и другой вид кавитационной эрозии (возникающие при гидродинамических процессах и от применения вынужденных ультразвуковых колебаний) надо полнее использовать при шлифовании. Однако для этого надо более глубоко знать эти процессы и возможности управления ими.

Кавитационная эрозия поверхности твердого тела происходит в результате захлопывания кавитационных пузырьков. При этом возникают ударные волны. Сила воздействия ударной волны зависит от упругости паров и газов, заполняющих пузырьки, от прочности пленки поверхностного натяжения жидкости, от радиуса пузырька и скорости его захлопывания, от температуры жидкости и окружающей среды, от свойств жидкости и окружающей среды. Интенсивность кавитационной эрозии поверхности обрабатываемого материала зависит от количества образованных кавитационных пузырьков и их расположения на поверхности, от энергии ударных волн и частот воздействия, от наличия в жидкости абразивных частиц, размеры которых значительно меньше размеров кавитационных пузырьков (участвующих в ударной волне в момент захлопывания пузырьков). Интенсивность кавитационной эрозии зависит от химического воздействия паров и газов, содержащихся в кавитационном пузырьке. При захлопывании пузырьков возникает ударная волна, давление которой может достигать (в зависимости от диаметра пузырька и времени захлопывания) сотен и тысяч атмосфер. Ионизированный газ под таким давлением контактирует с поверхностью обрабатываемого материала, проникает в межкристаллические и межзерновые полости, образует в жидкости химически активные радикалы. Интенсивность кавитационного процесса зависит от химического состава жидкости, количества растворенного в ней газа, а также определяется способностью жидкости растворять газ окружающей среды, т.е. с помощью газов окружающей среды можно управлять интенсивностью кавитационных процессов.

Ниже приведены максимальные значения температуры возникновения кавитационных пузырьков для некоторых жидкостей в воздухе:

1	Ацетон	0°C
2	Бензин	3°C
3	Этиловый спирт	5°C
4	Керосин	23°C
5	Вода	58°C

Как видим, кавитационным процессом можно управлять и с помощью температуры. Для достижения наибольшего растворения газа в жидкости и

максимального возникновения пузырьков в ней надо иметь разные температуры жидкости и газовой среды. Для управления процессом кавитации следует предварительно насытить жидкость газом путем барботирования (пропускания) газа через жидкость, добавления активных химических элементов, проведения электрических разрядов в жидкости, изменения давления окружающей среды.

Кавитационный процесс, вызванный вынужденными ультразвуковыми колебаниями, очень сильно зависит от частоты колебаний и давления в жидкости. Он наступает при определенной частоте колебаний для данной жидкости. С увеличением частоты колебаний кавитация возрастает до определенного предела, затем снижается. При этом уменьшается размер пузырьков и уменьшается заметное кавитационное эрозийное влияние на обрабатываемую поверхность. С увеличением давления на жидкость кавитация уменьшается. Следовательно, выбором частоты колебаний и давления в жидкости, размером и количеством кавитационных пузырьков можно управлять ультразвуковой кавитационной эрозией на поверхности обрабатываемого материала.

Рассмотрим факторы, влияющие на кавитационную ультразвуковую эрозию от жидкости. Это вязкость, смачиваемость, поверхностное натяжение пленки, температура и гидравлическое давление, степень загрязнения, наличие газовых пузырьков или взвешенных частиц, способность к растворению окружающей газовой среды. Как видим, факторов много и выбрать оптимальный режим шлифования для определенного обрабатываемого материала без компьютерных технологий, новых методов контроля и измерений – достаточно сложно.

Практикой установлено, что кавитационная эрозия наступает значительно медленнее при более низкой шероховатости поверхности.

Рассматривая кавитационные процессы при обработке зеркальных поверхностей, а также при шлифовании, следует различать характер разрушающих воздействий на обрабатываемую поверхность и полнее использовать эти процессы.

Процесс шлифования твердых сплавов, титановых сплавов и многих других материалов более эффективен с применением поверхностной механики разрушения: нагрева и быстрого охлаждения жидким азотом, нагрева до определенной температуры в газовой среде (например, в водороде, который за определенное время проникает на определенную глубину и растворяется в сплаве, а при быстром охлаждении дает поверхностные трещины). Поверхностные трещины позволяют с наименьшими затратами обрабатывать материал.

Ультразвуковая кавитационная обработка может расширить арсенал методов поверхностной механики разрушения. Кавитационные пузырьки, зарождаясь в микротрещинах и сжимаясь, проникают глубоко в них, а захлопываясь, могут вызвать рост микротрещин, образование сколов обрабатываемого материала, т.е. вызывать более значительное разрушение, чем от кавитации на гладкой поверхности.

Поэтому кавитационные процессы при обработке некоторых сплавов целесообразно использовать предварительно. Это позволит уменьшить время обработки с применением традиционных приемов механики разрушения. Для поверхностного углубления микротрещин следует применить предварительную

кавитационную обработку заготовки. Некоторые методы предварительной механики разрушения и кавитационного воздействия можно совмещать. Если в этом случае кавитационные явления создают эффект, то на окончательных стадиях обработки, например, на последних переходах при шлифовании, надо исключить кавитационные процессы из обработки, так как они могут привести к зарождению трещины в обрабатываемой заготовке.

При захлопывании пузырьков газ под большим давлением воздействует на поверхность и проникает в межзерновые и межкристаллические пространства, что приводит к разрушению материала. Интенсифицировать проникновение газа и процесс разрушающих воздействий можно при обработке материалов, обладающих выраженными магнитными свойствами, за счет воздействия внешним переменным магнитным полем и раскачивания зерен по углам несовпадений.

Можно предложить еще одно направление эффективного использования кавитационных процессов – это упрочнение кавитацией вязких материалов после шлифования. Процесс кавитации при шлифовании подчиняется более сложным закономерностям, чем это принято в научных трудах многих исследователей. Процесс кавитации при шлифовании происходит на прорезанной зернами поверхности. Часть зерен обрабатываемого металла сдвинуты с места и надорваны. Возникает вопрос: почему такая незначительная эффективность от кавитационного процесса? Все дело в том, что основное количество надорванных зерен расположены по боковым поверхностям прорезанных рядков и гребней. Режущее зерно на основном металле оставляет след в виде треугольного профиля с вершиной приблизительно в 60° . Кавитационный пузырек может коснуться лишь одной линии основного металла, оставленной вершиной резца. При захлопывании пузырька сила гидравлического удара приходится на боковые поверхности гребней. Разрушение поверхности гребней также имеет определенное значение.

На практике при шлифовании не все зерна имеют правильную форму. Следовательно, данное обстоятельство для кавитационного процесса в области кавитационной эрозии основного материала благоприятно. Чем больше зерен оставит более плоский след на основном материале, тем эффективнее будет протекать кавитационный процесс и менее эффективно – процесс резания. Поэтому надо искать оптимальный вариант, учитывая тот факт, что кавитационный процесс влияет не только на основной материал, но и на шлифовальный круг. Причем, в большей степени, чем на обрабатываемый материал. Кавитационные пузырьки освобождают поверхность круга и зерен от налипания продуктов обработки. На этом их действие не ограничивается. Кавитационные пузырьки способствуют раскачиванию зерен, вызывают сколы и вываливание зерен, разрушают связку круга, а в отдельных случаях могут привести к образованию и росту трещин на круге. Процессы освобождения круга от стружки и засаливания благоприятны для обработки. Процесс раскачивания и образования сколов зерен, разрушения поверхностной связки круга вокруг режущих зерен может быть как благоприятным, так и неблагоприятным. Его надо тщательно контролировать. Здесь многое зависит от материала связки круга.

Кавитационные шумы хорошо “прослушиваются” пьезоэлектрическими датчиками на обрабатываемом материале, в обрабатываемой среде и на шлифовальном круге.

4.24. АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА С НОВЫМ УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Применение ультразвуковых вибрационных колебаний вращающихся шлифовальных кругов от пьезоэлектрических элементов и с использованием магнитострикционных преобразователей – это, несомненно, новый качественный уровень процесса шлифования. Однако, при шлифовании пластичных и вязких материалов амплитуды колебаний шлифовального круга может быть недостаточно для эффективного ведения процесса. Механический способ перемещения круга эксцентриком не позволяет достичь высокой частоты колебаний. Поэтому при шлифовании пластичных и вязких материалов возникает необходимость создания эффективного устройства для перемещения вращающегося круга с большой частотой и амплитудой. Для этого можно использовать эффект гидравлического удара при электрическом разряде в жидкости. Рассмотрим схему, показанную на рис. 4.80.

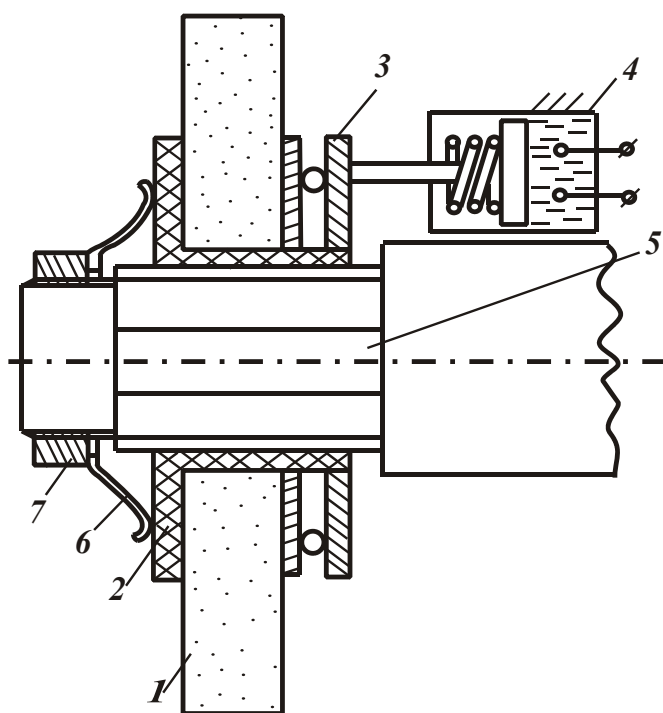


Рис. 4.80. Устройство для абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидроударами от электрических разрядов: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 – гидравлический цилиндр с поршнем-штоком, возвратной пружиной, электродами для гидравлического удара; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка.

При электрическом разряде на электродах, которые находятся в жидкости, в цилиндре происходит гидравлический удар. Жидкость в цилиндре расширяется и перемещает поршень-шток, который в свою очередь перемещает круг. Пружина 6 возвращает поршень и шлифовальный круг в исходное положение. Таким образом цикл повторяется.

Перемещение круга в направлении пружины 6 жесткое. Это позволяет более эффективно производить обработку вязких материалов. Амплитуда колебаний круга зависит от величины электрического напряжения, подаваемого на электроды для электрического разряда, а частота колебаний – от частоты подаваемых импульсов на электроды. Поэтому, используя данное устройство, достаточно просто выбрать опти-

мальный режим обработки практически любого пластичного и вязкого материалов. Система может работать в “мягком” режиме с неопределенной амплитудой, если между подшипником 3 и штоком гидроцилиндра поместить пружину, т.е. колебания на круг будут подаваться через пружину.

Система перемещения вращающегося круга гидравлическими ударами может работать совместно с механической, пьезокристаллической и магнито-стрикционной системами (рис. 4.81 и рис. 4.82).

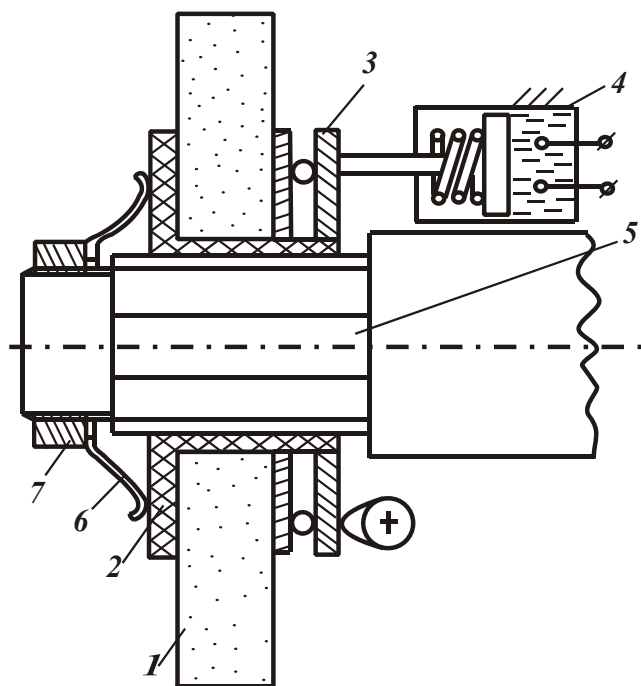


Рис. 4.81. Устройство для абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов с механическими перемещениями эксцентриком: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 - гидравлический цилиндр с поршнем-штоком, возвратной пружиной, электродами для гидравлического удара; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – эксцентрик.

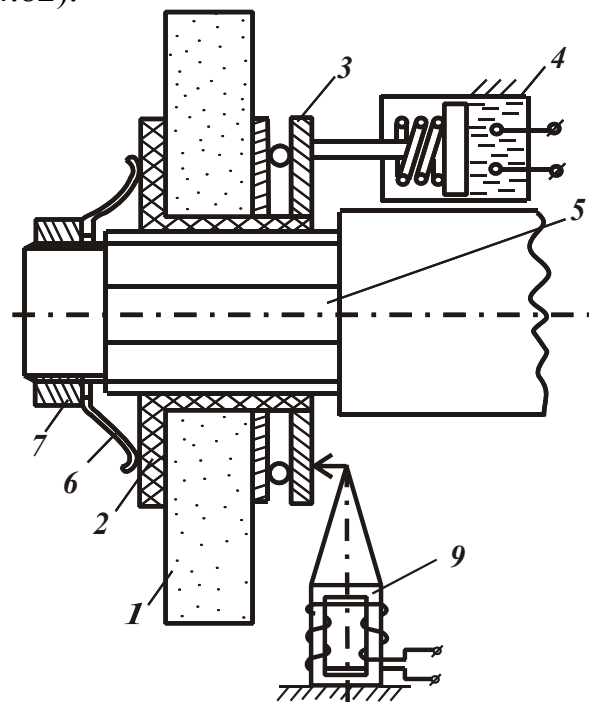


Рис. 4.82. Устройство для абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов с магнито-стрикционной колебательной системой: 1 – круг; 2 – шлицевая втулка; 3 – подшипник; 4 - гидравлический цилиндр с поршнем-штоком, возвратной пружиной, электродами для гидравлического удара; 5 – шлицевый вал; 6 – пружина; 7 – гайка; 8 – эксцентрик; 9 – магнито-стрикционная колебательная система.

Система может успешно использоваться совместно с пьезоэлектрическими элементами, обеспечивающими перемещение круга, а так же осуществляющими контроль за его состоянием и перемещением по обрабатываемой поверхности.

Таким образом, применяя новые принципы и методы колебательных перемещений вращающихся кругов, можно повысить эффективность абразивно-шлифовальной обработки.

4.25. УСТРОЙСТВО ДЛЯ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ВРАЩАЮЩИМСЯ КРУГОМ С ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ КРУГА ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ УДАРАМИ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

Рассмотрим схему устройства для абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов (рис. 4.83).

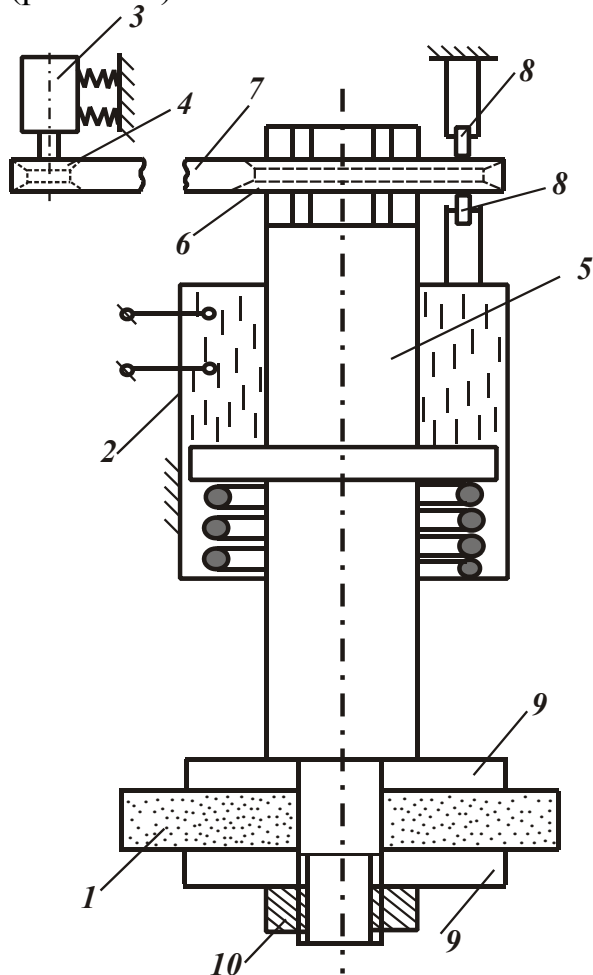


Рис. 4.83. Устройство для абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов: 1 – круг; 2 – гидравлический цилиндр со шлицевым валом, передающим вращение круга, поршнем, возвратной пружиной, электродами; 3 – электродвигатель; 4 – шкив ведущий; 5 – шлицевый вал с поршнем, передающий вращение на шлифовальный круг; 6 – шкив ведомый со шлицами; 7 – ремень клиновой; 8 – ролики, фиксирующие шкив; 9 – шайбы; 10 – гайка.

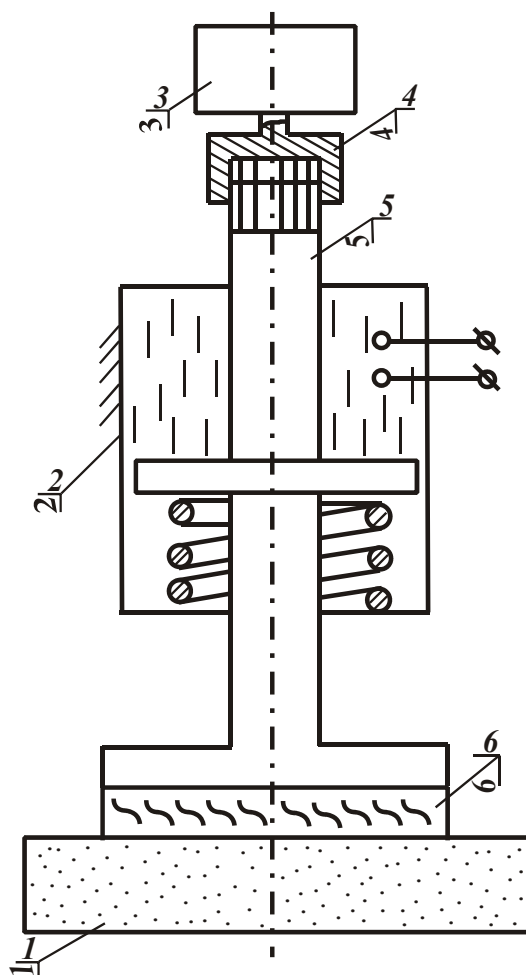


Рис. 4.84. Устройство абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов: 1 – круг; 2 – гидравлический цилиндр со шлицевым валом, передающим вращение на круг, поршнем, возвратной пружиной и электродами; 3 – электродвигатель; 4 – шлицевая муфта; 5 – шлицевый вал с поршнем, передающий вращение на шлифовальный круг; 6 – пьезоэлектрический диск.

Круг 1 крепится жестко с помощью шайб 9 и гайки 10 на передающем вращение шлицевом вале с поршнем 5, который проходит через гидроцилиндр 2, разделенный поршнем вала 5 на две камеры. В камере со стороны круга находится возвратная пружина. Смежная камера заливается диэлектрической жидкостью. В камере установлены электроды для проведения электрических разрядов. На шлицевой конец вала 5 установлен шлицевой шкив 6, который от смещения фиксируется опорами с роликами 8. Шкив 6 соединяется с шкивом 4 (установленным на вал электродвигателя 3) клиновым ремнем 7. При включении электродвигателя 3, вращение посредством ременной передачи 7 передается со шкива 4 на шкив 6, а через шкив 6 получает вращение вал 5. На валу 5 закреплен круг 1, который совершает вращательное движение и возвратно-поступательное перемещение в направлении оси вала 5. Перемещение круга происходит за счет гидравлических ударов от электрического разряда между электродами. На электроды подается импульс высокого напряжения, в результате происходит гидравлический удар, жидкость увеличивается в объеме и от давления на поршень вал 5 с кругом 1 перемещается по обрабатываемой поверхности. После гидравлического удара круг 1 с помощью возвратной пружины занимает исходное положение. Вал 5 перемещается по шлицам в шлицевом шкиве 6. Таким образом, цикл повторяется. Частота перемещений круга 1 зависит от частоты подачи импульсов на электроды.

Принцип работы устройства абразивно-шлифовальной обработки с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов, показанного на рис. 4.84, аналогичен работе устройства, показанного на рис. 4.83. Отличие заключается в том, что вращение с электродвигателя 3 передается на вал 5 с помощью шлицевой муфты 4. Между кругом 1 и валом 5 установлен пьезоэлектрический диск, который может использоваться в качестве высокочастотного вибратора или датчика, контролирующего процесс обработки как с применением гидравлических ударов, так и без них.

Пьезоэлектрический диск 6 крепится к фланцу вала 5 на клей или специальную смолу. Точно так же крепится круг 1 к пьезоэлектрическому диску 6. С помощью пьезоэлектрического диска можно шлифовать твердые и хрупкие материалы (без применения гидравлических ударов), а также пластичные и вязкие материалы (применяя гидравлические удары). Устройство с пьезоэлектрическим диском расширяет возможности эффективного шлифования разных материалов. Способы установки кругов на устройства могут быть самые разные. При этом амплитуда перемещения круга зависит от величины приложенного напряжения и продолжительности импульса, а частота колебаний – от количества импульсов в единицу времени.

Устройства, изображенные на рис. 4.83 и рис. 4.84, обеспечивают выполнение процесса шлифования вращающимся кругом с ультразвуковыми перемещениями круга. Такие устройства могут работать с разными пьезоэлектрическими элементами, управляющими и контролирующими перемещениями круга в процессе обработки. С помощью устройства, изображенного на рис. 4.84, можно производить шлифование торцовой или боковой поверхностью круга 1, или боковой и торцовой поверхностями одновременно. В зависимости от этого,

а также марки обрабатываемого материала можно применять (или не применять) ультразвуковые перемещения круга от гидравлических ударов или пьезоэлектрического элемента, которые можно использовать в разных комбинациях.

4.26. РАЗРАБОТКА СЛОЖНЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ АБРАЗИВНО-ШЛИФОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Для повышения эффективности обработки твердых хрупких и вязких материалов нужен новый подход к созданию абразивно-шлифовального инструмента и шлифовальных кругов. Нужны новые системы ультразвуковых колебательных перемещений, позволяющие колебательные перемещения режущих зерен осуществлять в разных направлениях с достаточно большой амплитудой. Ультразвуковые перемещения всего круга или обрабатываемой детали требуют больших энергетических затрат и контроля автоколебаний, поэтому необходимы новые круги, в которых колебательные перемещения режущих зерен организуются группами в разные стороны. На это тратится значительно меньше энергии. Эти колебания взаимно уравниваются, не вызывают автоколебаний круга, изменяют направления режущих зерен, что повышает эффективность обработки. Такие круги могут обеспечить мгновенное чередование рисков и чередование реверсивного резания под любыми углами. Они позволят расширить технологические возможности как при обработке разных материалов, так и при осуществлении контроля и реализации обратных связей. Переходя к

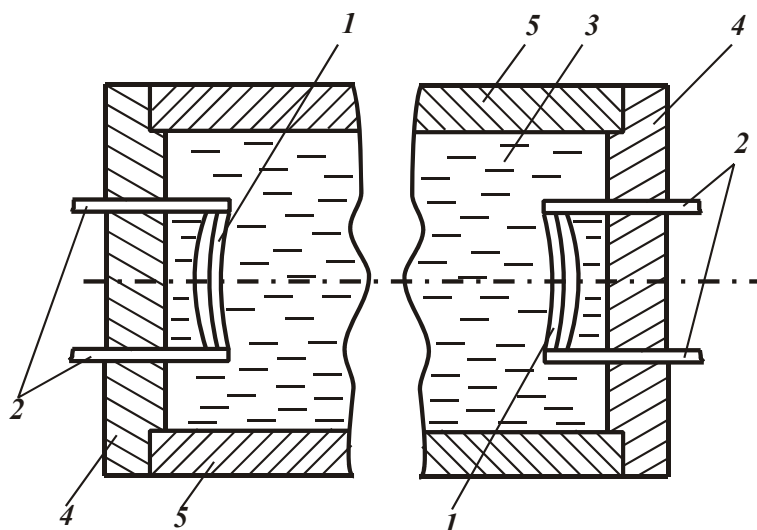


Рис. 4.85. Ультразвуковое шлифование и обработка поверхностей пьезоэлектрическими элементами: 1 – пьезоэлектрический элемент; 2 – держатели-электроды, через которые подводится электрический ток к пьезоэлектрическим элементам; 3 – обрабатывающая жидкость с абразивным материалом; 4 – заглушки; 5 – обрабатываемая труба.

разработке новых сложных абразивных инструментов, рассмотрим первоначально приведенные выше, но более усложненные пьезоэлектрические системы для ультразвуковых колебаний при абразивно-шлифовальной обработке.

Проведем анализ устройства, показанного на рис. 4.85. Подавая разные потенциалы на пластины и диски пьезоэлектрических элементов, обеспечиваются их колебательные движения в абразивной жидкости, что приводит к движению жидкости в трубке и цилиндре и шлифованию поверхностей.

Возникает вопрос:

нужны ли нам такие шлифовальные системы? В настоящее время шлифование труб осуществляется пропуском абразивной жидкости под большим давлением. Да, нужны! Во-первых, не все трубы можно шлифовать под большим давлением. Например, тонкостенные трубы просто не выдержат, да и толстостенные трубы не из всяких материалов можно подвергать большому давлению.

Шлифование труб пропуском жидкости под давлением требует специальных насосов, вращение трубы во время обработки весьма затруднительно – обработка происходит неравномерно в начале подачи жидкости и в конце, а также по всей поверхности трубы. Движение потока абразивной жидкости идет в одном направлении. Обработка труб малых диаметров также затруднительна. Всех этих недостатков можно избежать, применяя пьезоэлектрические элементы (рис. 4.85) и изменяя за счет этого направления потоков абразивной жидкости в любых направлениях. Например, пьезоэлектрические элементы работают в такт (рис. 4.85) и совсем другой поток и воздействие абразивной жидкости будет, если пьезоэлектрические элементы будут работать в противофазе. При изменении углов пьезоэлектрических элементов изменяется направление потока абразивной жидкости. Кроме этого, во время обработки отсутствуют проблемы, связанные со способом вращения обрабатываемой трубы. Пьезоэлектрические элементы можно приближать и удалять друг от друга, устанавливая их под разными углами, выдвигая один электрод на большую величину, чем другой, что значительно изменяет направление потока. Пьезоэлектрические элементы можно устанавливать параллельно обрабатываемой поверхности, т.е. направлять поток абразивной жидкости от элемента прямо на обрабатываемую поверхность. Частоту и амплитуду колебаний также легко изменять. Изменением частоты колебательных движений в жидкости можно вызвать образование кавитационных пузырьков, что очень эффективно при обработке пластичных и вязких материалов, т.к. одновременно с процессом шлифования упрочняется обрабатываемый слой материала. Этот способ можно использовать для обработки труб с очень маленьким диаметром, зигзагообразных труб и отверстий разной кривизны.

Пьезоэлектрические элементы на подвижных держателях-электродах можно применять для ультразвуковой размерной обработки с целью формирования разных криволинейных отверстий малых размеров в различных деталях из определенных материалов.

С помощью пьезоэлектрических элементов также можно производить шлифование не только закрытых поверхностей (как показано на рис. 4.85), но и любых открытых. В этом случае пьезоэлектрический элемент подводится к поверхности обрабатываемой детали, покрытой абразивной жидкостью. Абразивная жидкость под действием пьезоэлектрического элемента совершает колебательные движения, а сам элемент перемещается по обрабатываемой поверхности в нужном направлении. Обработка может проводиться с кавитационными явлениями или без них.

С помощью пьезоэлектрического элемента эффективно выполнять дошлифовальную и послешлифовальную обработку поверхностей. Для этого подбирается соответствующая жидкость без абразива.

Дошлифовальная обработка может проводиться с целью очистки поверхности, предварительной эрозионной обработки агрессивной жидкостью с кавитационными явлениями, образования микротрещин на обрабатываемой поверхности или образования уплотнений и наклепа вязких материалов.

Послешлифовальная обработка поверхностей в соответствующих жидкостях может проводиться с целью упрочнения пластичных вязких материалов, уменьшения шероховатости, отрыва и устранения отдельных микрочастиц абразивного и обрабатываемого материала с поверхности, образования защитных пленок покрытий и т.д.

Применяя одновременно пьезоэлектрические элементы и гидравлические удары от электрических разрядов, приходим к новому виду обработки внутренних

поверхностей закрытых емкостей.

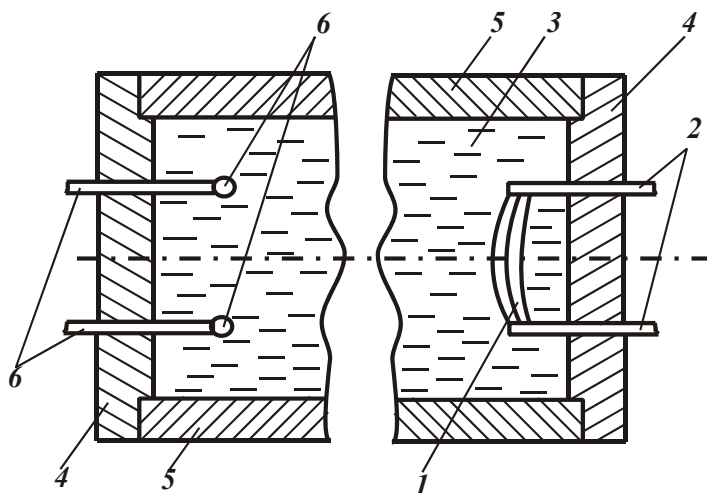


Рис. 4.86. Ультразвуковое шлифование и обработка поверхностей пьезоэлектрическими элементами и гидравлическими ударами от электрических разрядов: 1 – пьезоэлектрический элемент; 2 – держатели-электроды, через которые подводится электрический ток к пьезоэлектрическим элементам; 3 – обрабатывающая жидкость с абразивным материалом; 4 – заглушки; 5 – обрабатываемая труба; 6 – электроды для гидравлических ударов от электрических разрядов.

ная жидкость, а пьезоэлектрический элемент создает более благоприятные условия для образования кавитационных пузырьков в насыщенной газом жидкости.

Таким образом, при разработке новых абразивно-шлифовальных способов обработки очень важно использовать все возможные положительные и отрицательные явления существующих способов, совмещать и управлять ими.

Данная тема достаточно большая, поэтому разделим ее на отдельные части. Учитывая то, что многие описанные ранее устройства применимы и к новым разработкам, не будем их подробно рассматривать, тем более, что применение устройств понятно из приведенных на рисунках схем.

4.26.1. УСТРОЙСТВО ИЗ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ПРУЖИН И ШАРОВ ДЛЯ ШЛИФОВАНИЯ

Устройство, показанное на рис. 4.87, работает следующим образом. Подводя разные потенциалы и изменяя их на пластинах (дисках) пьезоэлектрического элемента, происходит изгиб этого элемента в двух противоположных направлениях. С одной стороны, пружина сжимается и толкает шар, а с другой стороны, она растягивается и притягивает шар. Очевидно, что шар и пружина обладают определенной массой и имеют инерцию, т.е. система имеет частоту собственных колебаний. Поэтому, когда частота пьезоэлектрического элемента



Рис. 4.87. Устройство из пьезоэлектрических элементов, пружин и шаров для шлифования: 1 – пьезоэлектрический элемент; 2 – пружина; 3 – шар.

совпадает с частотой собственных колебаний, в системе возникают резонансные колебания, которые характеризуются наибольшей амплитудой и могут привести к разрушению пьезоэлектрического элемента и всей системы в целом. Поэтому, изменяя частоту колебаний на пьезоэлементе, можно вывести систему из резонансного состояния и обеспечить работу на оптимальных частотах, близких к резонансным частотам.

Рассмотрим частные варианты устройства и области его применения.

1. К пьезоэлектрическому элементу непосредственно крепятся шлифовальные шары.
2. К пьезоэлектрическому элементу крепятся одни шлифовальные пружины (на поверхности пружин расположены абразивные зерна).
3. К пьезоэлектрическому элементу крепятся обычные пружины и шлифовальные шары.
4. К пьезоэлектрическому элементу крепятся шлифовальные пружины и обычные шары.
5. К пьезоэлектрическому элементу крепятся шлифовальные пружины и шлифовальные шары.
6. Цепочка из шлифовальных пружин, шаров и пьезоэлементов может быть продолжена.
7. Пьезоэлектрический элемент может периодически измерять частоту колебаний системы и ее амплитуду.
8. Шары имеют постоянные магниты или могут намагничиваться и управляться внешним электромагнитным полем.

Способы подачи электрических потенциалов и съема контрольных параметров зависят от условий применения данного устройства и обрабатываемого материала. Подача потенциалов на пьезоэлектрические элементы, если они находятся внутри изделия, может осуществляться через специальные отверстия в обрабатываемой трубе или через отверстия в шарах, через которые подводит-

ся провод, и через пружину. Через один из шаров, к которому крепится специальный стержень, система может получать вращательные движения. Такими системами можно шлифовать отверстия разных диаметров с разными изгибами, осуществлять чистку труб, шлифовать сферические желобы.

Управление системой через намагничивающиеся шары внешним магнитным полем имеет большую перспективу.

Как отдельный шлифовальный инструмент, рассмотрим гибкий пружинный вал. На него наносится упругое резиновое покрытие или другое искусственное упругое покрытие. В покрытие добавляются абразивные зерна. В результате получается гибкий вал с абразивным покрытием, которым можно шлифовать различные отверстия с разной кривизной, сообщая валу вращательное и возвратно-поступательное движения. В зависимости от диаметра и материала гибкого пружинного вала, зерна могут крепиться к валу эластичными клеевыми составами и смолами, они могут вдавливаться в поверхность вала при изготовлении в горячем состоянии, обрабатываться материалом, обладающим адгезионной способностью к абразивному зерну, а затем припаиваться или привариваться. Можно также использовать и намагничивающие свойства вала и обработанных зерен.

В скором будущем эти инструменты найдут свое применение. Абразивно-шлифовальная обработка осознанно применяется столько, сколько существует человек, и нет пока ни одного абразивно-шлифовального инструмента, который был бы отвергнут и не применяется в настоящее время.

4.26.2. ШЛИФОВАЛЬНЫЙ БРУС, КРУГ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ОТ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

На рис. 4.88 показана схема передачи ультразвуковых колебательных движений на брус. Конструкции схемы могут быть совершенно разными. Например, брус имеет штыри с роликовыми опорами на стойки или салазки, движущиеся по стойке со смазкой. Такие устройства могут применяться самостоятельно с брусками разной формы. Они могут быть односторонними или двухсторонними, в которых бруски соединены штырями или каждый брусок имеет свои штыри для колебательных перемещений.

На рис. 4.89 показан круг, который собран на основе конструкции, приведенной на рис. 4.88. Данный круг выполнен как чашечный или тарельчатый, т.е. с полый центральной частью. Перемещение секторов в круге может быть выполнено с любыми вариантами и частотой в зависимости от поставленной задачи. Один из вариантов перемещения одинаковых секторов в противофазе позволяет свести к минимуму колебания всей системы.

Круг, показанный на рис. 4.90, собран на основе конструкции, приведенной на рис. 4.88, из цельных брусков, проходящих через всю его поверхность. Обработку можно вести боковой и торцовой поверхностями данного круга с ультразвуковыми колебаниями секторов.

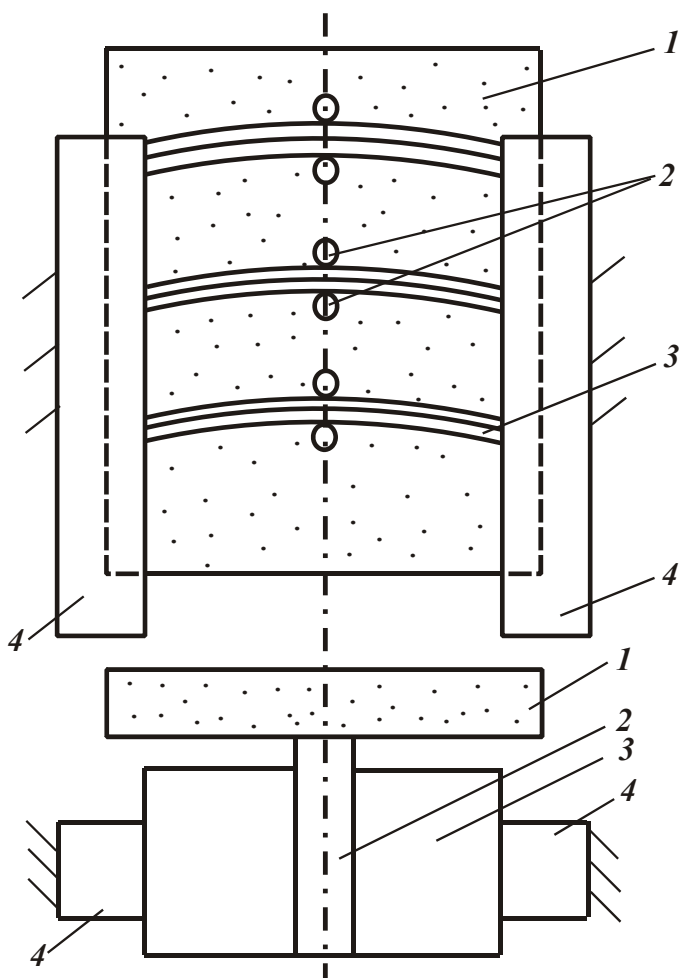


Рис. 4.88. Шлифовальный брусок с ультразвуковыми колебательными перемещениями от пьезоэлектрических элементов: 1 – брусок; 2 – штыри; 3 – пьезоэлектрический элемент; 4 – стойки.

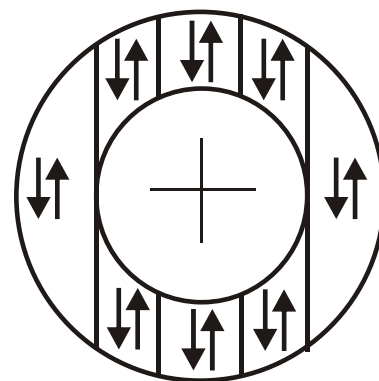


Рис. 4.89. Шлифовальный круг с ультразвуковыми колебательными перемещениями секторов от пьезоэлектрических элементов с полой центральной частью.

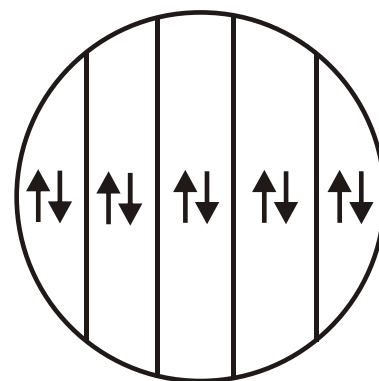


Рис. 4.90. Шлифовальный круг с ультразвуковыми колебательными перемещениями секторов от пьезоэлектрических элементов.

4.26.3. РАЗНОВИДНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В зависимости от конструкций устройств, условий применения систем передвижения кругов и брусков, эластичных кругов, качающихся шлифовальных систем, возникают задачи по разработке новых пьезоэлектрических элементов. Цельный пьезоэлектрический элемент диаметром более 100 мм изготовить пока трудно, поэтому для решения всех вышеописанных задач могут успешно применяться секторные, кольцевые и другие элементы.

Кольцевые пьезоэлектрические диски могут быть односторонними и двухсторонними, рис. 4.91. Кольца могут располагаться на диэлектрическом материале или на металлическом диске.

Секторный пьезоэлектрический элемент может быть односторонним и двухсторонним, выполненным на диэлектрическом основании или токопроводящим, рис. 4.92.

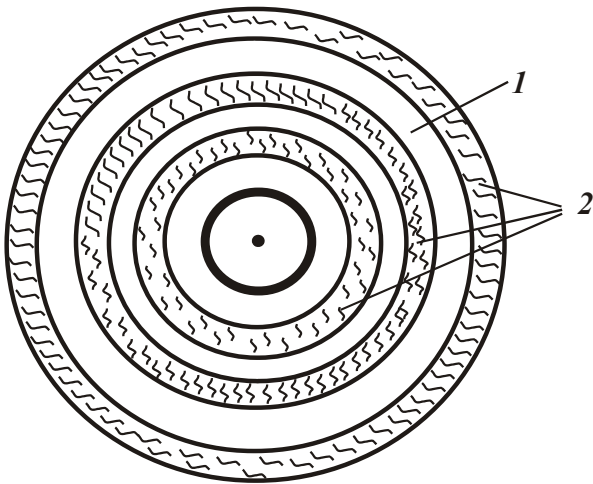


Рис. 4.91. Кольцевой пьезоэлектрический элемент: 1 – основание диска; 2 – пьезоэлектрические кольца.

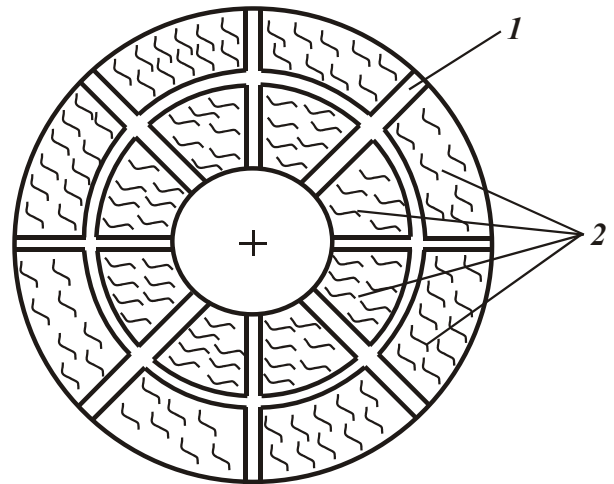


Рис. 4.92. Двухрядный секторный пьезоэлектрический элемент: 1 – основание диска; 2 – пьезоэлектрические сектора.

Секторный электрический элемент может быть многорядным. Кольцевые и секторные пьезоэлектрические элементы применяются для ультразвуковых колебательных перемещений кругов и брусков, а также для контроля и управления процессом шлифования.

Для обеспечения колебательных перемещений кругов с большими амплитудами и ультразвуковых колебательных перемещений кругов большого размера существует несколько решений, связанных как с применением новых материалов, так и с новым использованием уже существующих. Это направление очень перспективно, однако, требует тщательной разработки и проверки. Разработка новых пьезоэлектрических элементов – это качественно новый уровень абразивно-шлифовальной обработки и технологии машиностроения в целом.

4.26.4. ШЛИФОВАЛЬНЫЕ КРУГИ ИЗ ОТДЕЛЬНЫХ БРУСКОВ, СПОСОБНЫХ ПРОИЗВОДИТЬ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧАСТОТОЙ В РАЗНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ

Шлифовальный круг (рис. 4.93) может собираться из отдельных элементов с помощью клеев и смол. При подаче переменных потенциалов на пьезоэлементы 2, шлифовальные бруски 4 одновременно совершают колебательные движения, увеличивая и уменьшая диаметр круга.

Шлифовальный круг, показанный на рис. 4.94, собирается с помощью клеевых составов и смол. Каждый пьезоэлектрический элемент может работать через выведенный контакт на диэлектрическое основание круга, например, текстолитовое, керамическое, пластмассовое и т.д. Подвод и съем электрических сигналов осуществляется токоподводящими и токосъемными щетками. Для токопроводящей связки, электрические потенциалы могут подаваться через обрабатываемое изделие. Круг с выведенными контактами от пьезоэлектрических элементов на основание используется при обработке как для проведения ульт-

тразвуковых колебательных перемещений, так и для контроля процесса обработки и внесения в него корректировки. От каждого бруска получаем информацию о процессе взаимодействия с обрабатываемым материалом.

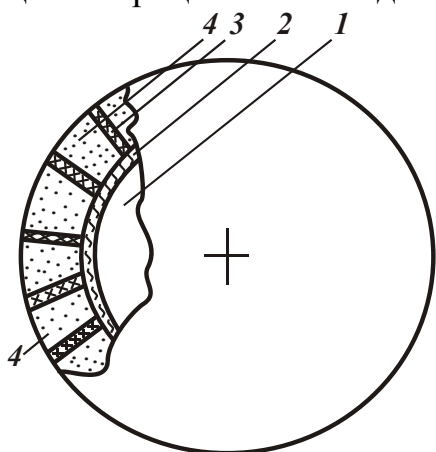


Рис. 4.93. Шлифовальный круг из отдельных брусков с изменением диаметра круга при колебаниях: 1 – корпус круга, основание; 2 – пьезоэлектрический элемент в виде цилиндра; 3 – упругие эластичные элементы; 4 – шлифовальные бруски.

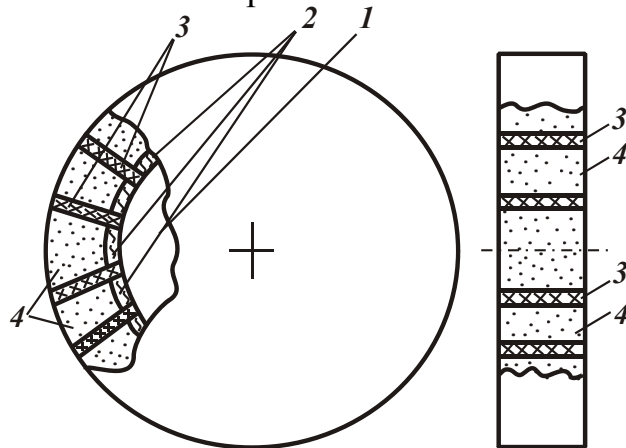


Рис. 4.94. Шлифовальный круг из отдельных брусков с возможностью радиального ультразвукового колебания каждого: 1 – корпус круга, основание; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – упругие эластичные элементы; 4 – шлифовальные бруски.

Особенности шлифовального круга, изображенного на рис. 4.95, заключаются в том, что при подаче электрического потенциала на пьезоэлектрический элемент в движение приводятся сразу два бруска, один из которых перемещается в направлении вращения круга, а другой – в противоположном направлении. С помощью этого круга так же можно собирать информацию о процессе обработки.

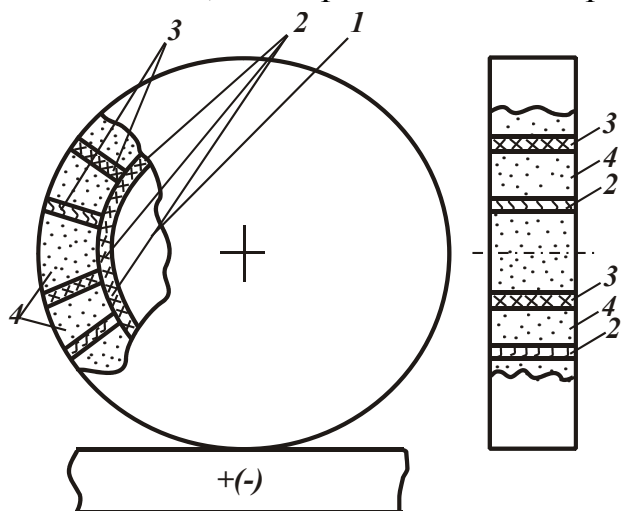


Рис. 4.95. Шлифовальный круг из отдельных брусков с ультразвуковыми колебательными перемещениями их по окружности: 1 – корпус круга, основание; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – упругие эластичные элементы; 4 – шлифовальные бруски.

Шлифовальный круг, показанный на рис. 4.96, имеет большие возможности в связи с тем, что бруски круга имеют связь между собой через пьезоэлектрические элементы и упругий эластичный материал. Круг используется при шлифовании с ультразвуковыми колебаниями брусков в разных направлениях и для контроля за параметрами обработки. Вариантов организации этих двух процессов достаточно

много. Рассмотрим некоторые из них.

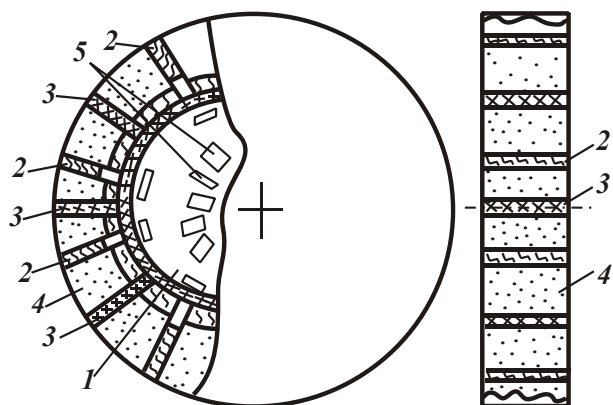


Рис. 4.96. Шлифовальный круг из отдельных брусков с радиальными и круговыми перемещениями: 1 – корпус круга, основание; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – упругие эластичные элементы; 4 – шлифовальные бруски; 5 – токоподводящие и токосъемные контакты.

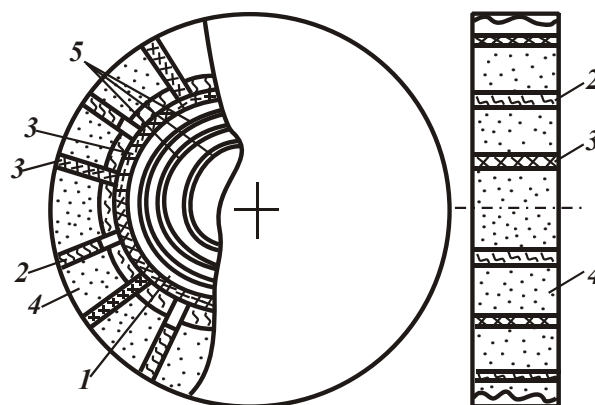


Рис. 4.97. Шлифовальный круг из отдельных брусков с радиальными и круговыми перемещениями, токосъемными и токоподводящими дорожками: 1 – корпус круга, основание; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – упругие эластичные элементы; 4 – шлифовальные бруски; 5 – токоподводящие и токосъемные дорожки.

При подаче электрического потенциала на радиальный пьезоэлектрический элемент происходит сдвиг двух брусков: они сдвигаются в разные стороны и расходятся, поворачиваясь на некоторый угол за счет того, что основания их лежат на круговых сегментах пьезоэлектрических элементов, а последние – на цельном упругом эластичном материале. При подаче сигнала на один круговой пьезоэлектрический элемент происходит сдвиг двух связанных между собой брусков через радиальный пьезоэлектрический элемент и их поворот на некоторый угол. Амплитуды колебаний и углы поворота весьма малы, но это дает положительный эффект при шлифовании труднообрабатываемых материалов.

Шлифовальный круг, изображенный на рис. 4.97, отличается от круга, показанного на рис. 4.96, тем, что он имеет токоподводящие и токосъемные дорожки, к которым подключаются определенные радиальные и круговые пьезоэлектрические элементы. К токоподводящим и токосъемным дорожкам могут подключаться только круговые пьезоэлектрические элементы, а радиальные пьезоэлектрические элементы приводятся в работу через переменные потенциалы, снимаемые при обработке с изделия.

Система подключений и переключений радиальных и круговых пьезоэлектрических элементов к токосъемным и токоподводящим дорожкам может быть установлена в основание круга и управляться магнитным полем или ультразвуком, или световым лучом. Токосъемные и токоподводящие дорожки могут использоваться для контроля вибрации круга. Количество вариантов использования радиальных и круговых пьезоэлектрических элементов при шлифовании и контроле зависит от количества элементов, участвующих в работе.

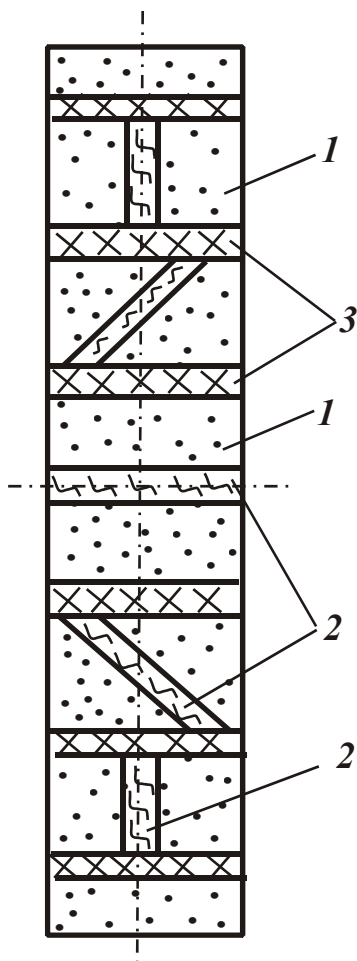


Рис. 4.98. Шлифовальный круг с ультразвуковыми колебаниями брусков от пьезоэлектрических элементов в разных направлениях: 1 – шлифовальные бруски; 2 – пьезоэлектрические элементы; 3 – упругие эластичные элементы.

Поскольку их много, то нет смысла все здесь приводить. Разработка вариантов должна проводиться для определенных материалов и режимов обработки, лучше с помощью компьютера. Положительный эффект при шлифовании труднообрабатываемых материалов этими кругами достигается за счет применения колебательных движений брусков с высокой ультразвуковой частотой.

Изменяя материалы под пьезоэлементами и брусками, можно получить большое количество разных кругов. При этом надо внимательно следить за возможностью и порядком подачи потенциалов на пьезоэлементы, чтобы не вывести круг из строя. Для достижения наибольшей амплитуды пьезоэлементы надо располагать на твердой основе. Однако в этом случае совместная работа нескольких элементов, связанных брусками, очень проблематична. Проигрывая в амплитуде, выигрываем в степенях свободы перемещений бруска.

Шлифовальный круг, показанный на рис. 4.98, позволяет перемещать бруски с ультразвуковыми колебаниями в разных противоположных направлениях. Это позволяет достичь высокой эффективности обработки за счет очень большой частоты смены направлений рисок (гребней) на обрабатываемом материале. Это новый принцип обработки материалов.

Возникает вопрос, для чего нужны такие сложные дорогостоящие круги? Они нужны хотя бы для того, чтобы изучить возможности процессов шлифования с применением ультразвуковых колебаний и не оказаться на обочине технического прогресса.

4.26.5. КРУГИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ ВРАЩЕНИЯ ПО КОНСТРУКТИВНЫМ СООБРАЖЕНИЯМ

В жизни закономерно случается так, что чем более абсурдна идея, тем более она жизнеспособна и быстрее получает свое развитие. Не будем делать исключений и в абразивно-шлифовальной обработке.

Рассмотренные выше круги с ультразвуковыми колебаниями брусков от пьезоэлектрических элементов (рис. 4.89, рис. 4.90, рис. 4.93, рис. 4.94, рис. 4.95, рис. 4.96, рис. 4.97, рис. 4.98 и нижеприведенные), могут работать с об-

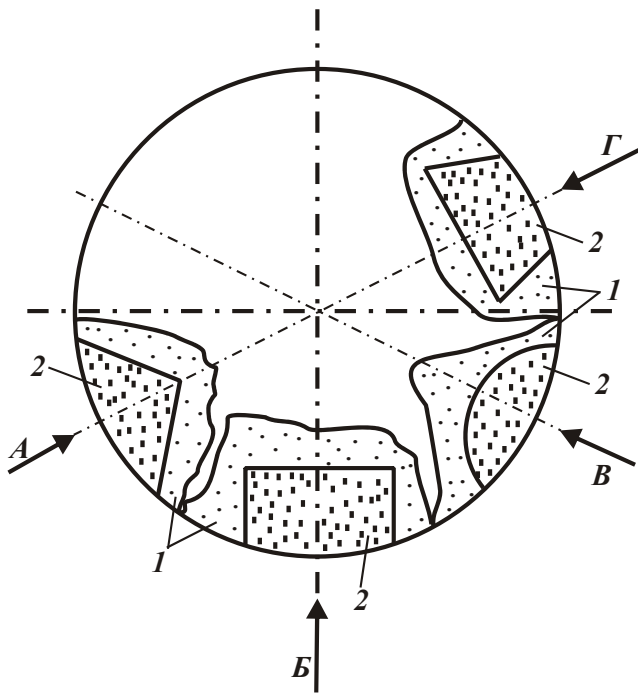


Рис. 4.99. Шлифовальный круг с вставленными брусками: 1 – основание круга; 2 – шлифовальные бруски; А – треугольные сегменты; Б – прямоугольные сегменты; В – эллипсовидные и круговые сегменты; Г – сегменты типа “ласточкин хвост”.

быть недостатками, а при обработке других материалов, наоборот, преимуществами. Не рассматривая особенности обработки различных материалов, сравним прерывистый и обычный круги. Площадь поверхности прерывистого круга меньше, поэтому нагрузки, действующие на отдельные зерна, и их износ увеличиваются. Учитывая то, что прерывистый круг работает в условиях ударного взаимодействия с обрабатываемым материалом, режущие зерна возле канавок быстрее выкрашиваются. Все эти недостатки можно устранить и при этом повысить производительность обработки, если применить конструкции шлифовальных кругов, состоящих из брусков.

Какие преимущества дает этот круг? Исключаются динамические удары по краям круга, исключается необоснованная потеря (выкрашивание и выбивание) зерен, постоянно изменяется режущий рельеф, что снижает нагрузки на зерна и повышает производительность обработки.

Рассмотрим возможные варианты установки брусков на круг по форме в соответствии с рис. 4.99. Наиболее сложно удержать в круге треугольные, эллипсовидные и круговые сегменты, поэтому для их крепления нужны прочные клеи и смолы, а скорость вращения круга должна быть не высокой и гарантировать определенный запас прочности. Сегменты прямоугольные и типа “ласточкин хвост” более устойчивы в шлифовальном круге, но и здесь нельзя пренебрегать техникой безопасности и необходимо ограничивать скорость вращения круга. Клеи и смолы должны быть достаточно эластичными, а температурные

щими колебательными системами на круге: пьезоэлектрическими элементами, магнитострикционными системами, механическими и гидравлическими устройствами. Какие сложные колебательные движения при этом совершает зерно, с какими скоростями и ускорениями при этом идет обработка материала – можно только представить. От сложных кругов перейдем к более простым кругам, т.к. и здесь так же есть “пустые ниши”. Затем от простых кругов опять перейдем к более сложным.

Рассмотрим шлифовальный круг, показанный на рис. 4.99. Известен шлифовальный круг для прерывистого шлифования. Он имеет много как преимуществ, так и недостатков. Преимущества и недостатки – понятия относительные. При обработке одних материалов преимущества могут

коэффициенты связок круга и бруска близкими. Зазоры установки должны строго определяться для каждого круга. Бруски в круг могут устанавливаться через эластичную прокладку как перпендикулярно, так и под разными углами к торцовой поверхности круга.

Варианты по связке круга и брусков (в любом случае связки круга и брусков должны быть изготовлены из разных материалов):

1. Связка круга более эластичная, чем связка брусков.
2. Связка круга более твердая, чем связка брусков.

Варианты по зернистости:

1. Зернистости круга и брусков одинаковые.
2. Зернистость круга меньше, чем зернистость брусков.
3. Зернистость круга больше, чем зернистость брусков.

Варианты по плотности зерен на поверхности круга:

1. Плотности зерен на круге и брусках одинаковые.
2. Плотность зерен на круге больше, чем на брусках.
3. Плотность зерен на круге меньше, чем на брусках.

Варианты по материалу зерен:

1. Материалы зерен круга и брусков одинаковые.
2. Материалы зерен круга и брусков разные.

Варианты по форме брусков в круге:

1. Бруски одинаковой формы.
2. Бруски разной формы.

Форма брусков оказывает большое влияние на износ круга в процессе шлифования.

Варианты по площади рабочей поверхности круга и брусков:

1. Площадь поверхности круга больше площади поверхности брусков.
2. Площади поверхности круга и брусков одинаковые.

Варианты по установке брусков в круге на материал по жесткости:

1. Жестко.
2. На эластичных прокладках.

Варианты по углу установки брусков в круг:

1. Перпендикулярно к торцовой поверхности круга.
2. Под углом менее 90° к торцовой поверхности круга.

Комбинации из этих вариантов дают большое количество решений технологических задач обработки разных материалов. Основное преимущество указанных кругов – это постоянное изменение рельефа резания, который зависит от количества брусков в круге, одинаковых или разных, отличающихся связкой, зернами и структурой. При этом исключается засаливание круга, т.к. обеспечивается самоочистка разными зернами и самозатачивание круга и брусков.

Рассмотрим возможности шлифовальных кругов с установленными в них брусками на пьезоэлектрических пластинах. Колебания таких брусков измеряются в микронах, но частота колебаний может быть очень высокая.

Рассмотрим круги с брусками по форме треугольного сегмента, рис. 4.100, рис. 4.101. Такая установка брусков (рис. 4.100) без упругих эластичных прокладок возможна только на кругах с эластичной связкой.

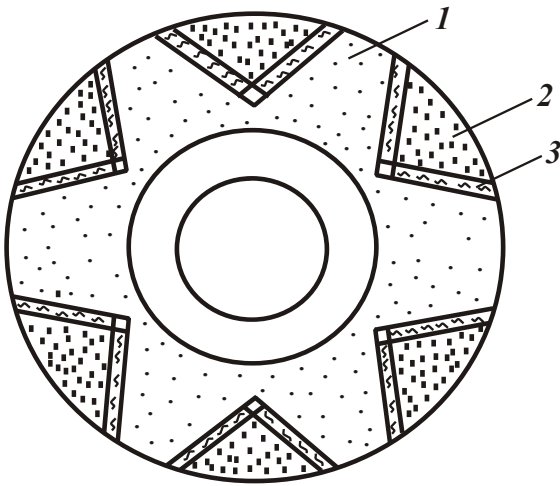


Рис. 4.100. Шлифовальные круги с вставными брусками треугольного сегмента с пьезоэлектрическими пластинами: 1 – круг-основание; 2 – треугольный сегментный брусок; 3 – пьезоэлектрические пластины.

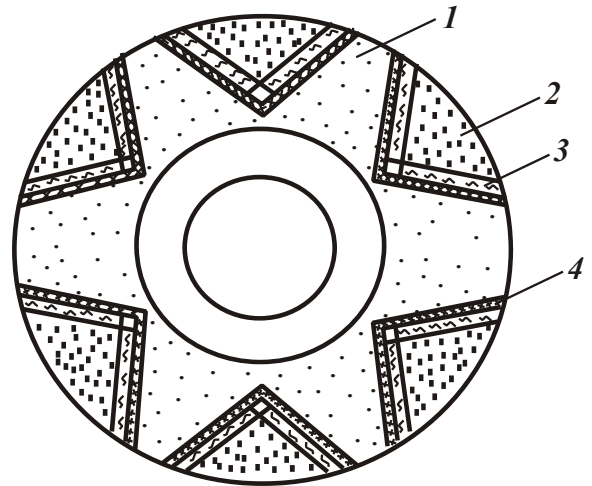


Рис. 4.101. Шлифовальный круг с вставленными брусками треугольного сегмента с пьезоэлектрическими пластинами и упругими эластичными прокладками: 1 – круг-основание; 2 – треугольный сегментный брусок; 3 – пьезоэлектрические пластины; 4 – упругие эластичные прокладки.

Шлифовальный круг, показанный на рис. 4.101, собирается на очень прочных клеях и смолах.

Бруски приводятся в ультразвуковые колебательные движения через токопроводящий обрабатываемый материал или от специально выведенных токо-

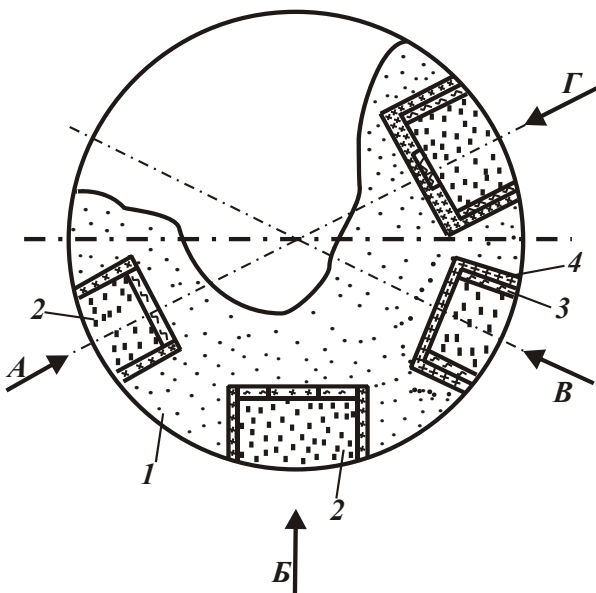


Рис. 4.102. Шлифовальный круг с установленными брусками прямоугольного сегмента: 1 – круг-основание; 2 – прямоугольные сегментные брусочки; 3 – пьезоэлектрические пластины; 4 – упругие эластичные прокладки.

подводящих и токосъемных контактов на основании круга с помощью щеток. В этом круге возможно осуществить три варианта вынужденных колебаний. В-первых, это поочередная подача потенциалов на пьезоэлектрические пластины, что вызывает смещение и поворот сегмента. Во-вторых, одновременная подача разных потенциалов на пьезоэлектрические пластины, что усиливает смещение и поворот сегмента. В-третьих, одновременная подача одинаковых потенциалов на пьезоэлектрические пластины одного бруска, в результате чего происходит выдвигание сегмента из круга, а при изменении потенциала – втягивание его внутрь круга.

Рассмотрим работу круга с установленными брусками прямоугольного сегмента, рис. 4.102. Круг собирается

на высокопрочных эластичных клеях и смолах.

Вид А – прямоугольные сегментные бруски устанавливаются основанием в круге на пьезоэлектрическую пластину, а по сторонам – на упругие эластичные элементы. При подаче разных потенциалов на пьезоэлектрическую пластину происходит выдвигание сегмента из круга и втягивание его в круг.

Вид Б – в отличие от конструкции установления по виду А, круг устанавливается основанием на две пьезоэлектрические пластины. Такое установление возможно только для кругов на эластичных связках и на прочные эластичные смолы и клеи. Жесткий круг можно устанавливать только с упругой эластичной прокладкой. Работа круга такая же, как и круга с треугольными сегментными брусками.

Вид В – бруски с боковыми пьезоэлектрическими пластинами устанавливаются на упругие эластичные прокладки со всех сторон. В этой конструкции существует только два варианта подачи потенциалов на пластины: 1 – поочередная подача потенциалов на пластины; 2 – одновременная подача разных потенциалов на пластины.

Вид Г – бруски с пьезоэлектрическими пластинами с трех сторон устанавливаются на упругие эластичные прокладки. К двум вариантам работы круга по виду В добавляется еще три варианта – от пластины на основании бруска: выдвигание бруска пластиной основания; работа пластины основания поочередно с боковыми пластинами и одновременная работа пластины основания с боковыми пластинами при подаче на них разных потенциалов.

Вид Г – бруски с пьезоэлектрическими пластинами с трех сторон устанавливаются на упругие эластичные прокладки. К двум вариантам работы круга по виду В добавляется еще три варианта – от пластины на основании бруска: выдвигание бруска пластиной основания; работа пластины основания поочередно с боковыми пластинами и одновременная работа пластины основания с боковыми пластинами при подаче на них разных потенциалов.

Работа круга, показанного на рис. 4.103, аналогична работе рассмотренных выше кругов, поэтому не будем повторяться. Преимущество кругов, изображенных на рис. 4.100, рис. 4.101, рис. 4.102, рис. 4.103, заключается в том, что с помощью пьезоэлектрических пластин можно собирать информацию о контакте брусков с обрабатываемым материалом. Если на один круг установить разные бруски, то поступающая информация возрастает многократно.

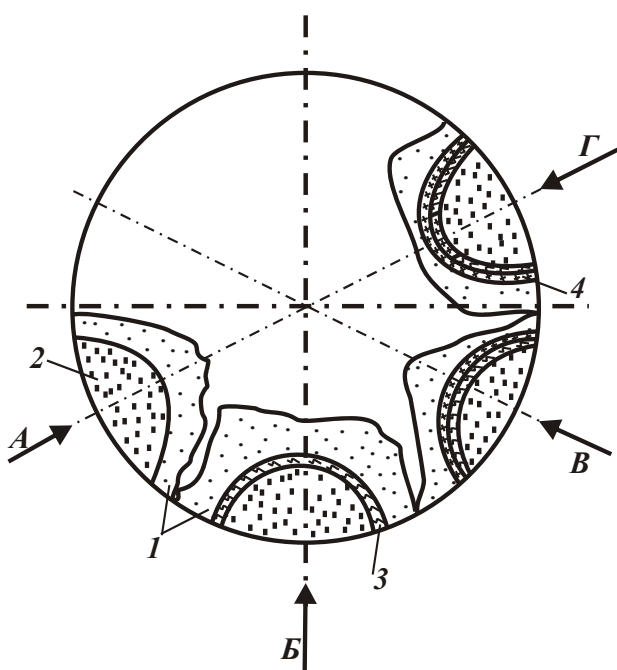


Рис. 4.103. Шлифовальные круги с вставленными брусками эллипсоидных и круговых сегментов: 1 – круг-основание; 2 – эллипсоидный (круговой) сегментный брусок; 3 – пьезоэлектрическая пластина; 4 – упругая эластичная прокладка; А – брусок без пьезоэлектрических пластин и упругих эластичных прокладок; Б – брусок установлен на пьезоэлектрическую пластину; В – брусок установлен на пьезоэлектрическую пластину и упругую эластичную прокладку; Г – брусок установлен на две пластины и упругие эластичные прокладки.

4.27. КРУГИ, СОБРАННЫЕ ИЗ БРУСКОВ

Технология изготовления сборных кругов отличается от технологии изготовления монолитных (сплошных) кругов, прежде всего, низкой технологичностью, т.к. монолитный круг легче изготовить, чем собрать из отдельных брусков. Если собирать их вручную, то вряд ли можно получить качественное, пригодное к работе изделие. Поэтому для изготовления сборных кругов нужна новая технология. Раскроем некоторые преимущества сборных кругов по сравнению с монолитными кругами.

Круги, собранные из отдельных брусков по технологии изготовления фанеры, могут иметь скорости вращения в десятки раз большие, чем обычные монолитные круги. Они более устойчивы к разрушающим нагрузкам. Круги изготавливаются из брусков, которые собираются на сверхпрочных эластичных смолах послойно. Каждый слой накладывается на другой под определенным углом или перпендикулярно. Изготовление таких кругов имеет много вариантов и целей.

Например, при плоском и врезном шлифовании круг быстро изнашивается по краям, приобретает определенный радиус и теряет форму рабочая поверхность. Дальнейшая работа таким кругом кроме как к браку обрабатываемого изделия, ни к чему не приведет. Поэтому круг надо править. Круг, собранный из дисков или брусков, у которых на краях находятся более устойчивые элементы, будет служить намного дольше без правок. Шлифование такими кругами с колебательными перемещениями не требует их правки, т.к. технология изготовления кругов в процессе работы обеспечит непрерывную правку.

Набранные слои, в которых каждый брусок изготовлен из разного материала, а бруски в слоях расположены под углом друг к другу или перпендикулярно (метод слоеной фанеры), наилучшим образом обеспечивают изменение рельефа резания, а удачно подобранные материалы в брусках и оптимальный режим обработки обеспечивают самоочистку и самозатачивание круга. Круги препятствуют распространению трещин.

Прочность кругов увеличится во много раз за счет армирования послойно композиционными материалами (специальными тканями, нитями). Полосками можно формировать не только послойно, но и выходить или пересекать другие слои. Армирование может быть двойным, когда армируются бруски с выходом армирующего материала на поверхность. Так можно создать круги, которые будут работать со скоростями в десятки раз большими, чем обычные круги.

Армирование круга может проводиться для разных целей или для решения многоцелевой задачи, например, изготовления кругов со звукопоглощающими материалами; армирование для согласования коэффициентов расширения; армирование материалами и трубками, обеспечивающими подачу СОЖ и газов с внутренней части круга.

4.28. ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Многие круги должны покрываться защитными пленками, которые обеспечивают наилучшие аэродинамические характеристики круга, уменьшают вихреоб-

разование на поверхности круга и шумы. Они защитят круг от загрязнения и засаливания, которым он подвергается во время работы; уменьшат отбрасывание СОЖ от круга и т.д. Кроме того, защитные пленки и покрытия на круге могут выполнять роль звукопоглотителя, обеспечат сохранение маркировки круга, улучшат условия хранения и транспортировки, сохранят зерна от ненужных контактов и выкрашиваний, а так же обеспечат контакт приборов с поверхностью круга во время работы для контроля вибраций и перемещений круга.

Защитное покрытие круга может служить для информации о температуре поверхности круга во время работы по изменению своего цвета или реагировать на состав окружающего газа, загрязнения СОЖ, на сверхдопустимые напряжения в круге. Это направление требует изучения. Защитное покрытие должно наноситься один раз и служить до полного износа круга. Оно может меняться в зависимости от условий работы, состава СОЖ. Покрытие круга может увеличивать токопроводящие или диэлектрические свойства, иметь разные теплопроводящие, звукопоглощающие или звукоотражающие свойства, разную смачиваемость СОЖ.

В зоне работы круга покрытия должны использоваться для улучшения обработки материала: плавясь и нагреваясь до определенных температур, выделять защитные или активные газы, растворяясь в СОЖ, увеличивать качество и производительность обработки.

Особое место занимают многофункциональные однослойные и многослойные покрытия. В многослойных покрытиях проявление функции покрытия зависит не только от собственной толщины и свойств, но и от расположения слоя, взаимодействия слоев и характера воздействия на круг. Как видим, покрытие круга должно улучшить условия эксплуатации круга, повысить производительности труда и снизить себестоимость продукции. С помощью покрытий на круге можно крепить разные микродатчики и приборы.

РАЗДЕЛ 5 РОБОТОТЕХНИКА

5.1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ

История развития роботов – это отражение и воплощение самых передовых идей научно-технического прогресса. Первые промышленные роботы появились в 1962 году в США. Робот “Юнимайт” применялся в автоматизации процесса сварки кузовов легковых автомобилей. Робот, как продукт интеллектуальной деятельности человека, появился для замены человека на тяжелых и однообразных операциях.

Что же представляет собой робот? Это автоматическое устройство, имеющее механический аналог человеческой руки – манипулятор, и систему управления манипулятором.

В развитии робототехники можно выделить три этапа создания роботов: промышленные – механические роботы, которые выполняли простые операции по жесткой программе при неизменных условиях, адаптивные роботы и роботы с искусственным интеллектом.

Адаптивные роботы могут изменять свои действия в зависимости от изменения окружающей обстановки, среды в определенных пределах. Система управления таких роботов строится на обратной связи. В нее входят различные датчики: температурные, тензометрические, фотометрические, сенсорные системы, локационные системы и другие.

Адаптивные роботы могут выбирать объект, ориентировать его в пространстве и выполнять с ним определенные действия. Для этого в компьютер робота закладывается базовая программа и пакет программ на изменяющиеся условия.

Работая по базовой программе, робот переходит на программу, более соответствующую изменяющимся условиям.

И, наконец, роботы с искусственным интеллектом, над которыми сейчас интенсивно работают в Японии, США и других развитых странах. Это роботы, которые способны выполнять работу в сложной изменяющейся обстановке, среде, где невозможно предусмотреть и составить все варианты программы. Робот с искусственным интеллектом способен анализировать сложившуюся ситуацию и составлять себе дальнейшую программу, выбирая оптимальный путь достижения цели. У такого робота постоянно идет опережающая корректировка программы, в зависимости от изменяющейся обстановки, среды и других условий, способных повлиять на достижение цели.

Проанализировав этапы развития робототехники, видим, что каждый этап развития робототехники не исключает предыдущий, а дополняет его. Если промышленный - механический робот выполняет работу с помощью замыкающих и размыкающих контактов в определенной последовательности, то адаптивный робот, имея обратную связь, может выбирать наиболее оптимальную

программу, соответствующую изменяющимся условиям, а робот с искусственным интеллектом составляет программу самостоятельно.

Какие же пути дальнейшего совершенствования робототехники?

Первый – это совершенствование механической части манипулятора – механического аналога человеческой руки. Второй – это совершенствование системы управления. Третий – это совершенствование программных средств. Четвертый – это новая постановка задач по развитию искусственного интеллекта робота.

Совершенствование механических и адаптивных роботов, а также роботов с искусственным интеллектом остается актуальной задачей, так как целесообразность применения тех или иных роботов прежде всего определяется экономически. Развитие робототехники позволяет продвигаться в познании Космоса, Океана, Земли и ее недр, Человека, производить сложнейшие операции на человеческих органах через небольшие надрезы. Поэтому совершенствование роботов будет продолжаться на всех стадиях. Та страна, где развитию робототехники уделяется большее внимание, непременно выйдет на передовые рубежи научно-технического прогресса, на новый жизненный уровень.

Роботы становятся незаменимыми помощниками человека. От первых промышленных роботов в робототехнике пройден путь до бытовых роботов, предназначенных для какой-то конкретной работы или для выполнения многофункциональных работ. Это роботы, которые могут подметать и мыть пол, вытирать пыль на мебели, пылесосить, подавать на стол, убирать посуду, косить газоны, включать и выключать телевизор и другую бытовую технику, снимать телефонную трубку, охранять и контролировать дом, нестандартные ситуации снимать на видеокамеру и отсылать по электронной почте информацию, получать и обрабатывать электронную почту и сообщать ее владельцу, узнавать людей по лицам, способны говорить с человеком на отдельные темы, общаться через Интернет.

Появляются интеллектуальные игрушки: электромеханический робот-собачка АЙБО фирмы "Сони" и робот-котенок Тато японской корпорации "Мацушита Электрик". Эти игрушки позволяют общаться на эмоциональном уровне, взрослея и совершенствуясь по мере общения. Они приобретают алгоритм подстройки под конкретного хозяина, выражая до 6 эмоций: радость, злость, грусть, удивление, неприязнь, страх. Такие игрушки обладают обучающим, воспитывающим и терапевтическим эффектом. Они имеют объем до 16 Мбайт встроенной памяти, 16000 нейросетевых модулей, что позволяет выполнять 100 миллиардов операций в секунду. Ведется работа по созданию искусственного мозга мощностью в один миллиард искусственных нейронов.

Развитие роботов всего за 45 лет прошло эволюционный путь: от простых механических роботов до роботов с искусственным интеллектом, используемых в промышленной, военной и бытовой сферах. В основном развитие робототехники велось для решения нужд промышленности и удовлетворения потребностей здоровых людей. А вот перед больными людьми робототехника пока остается в долгу. Почему бы сегодня не создавать роботов – медицинских сестер, обслуживающих определенные категории больных, немощных людей;

роботов, обслуживающих больных, не имеющих конечностей и с ограниченным передвижением; роботов-поводырей для слепых, а для глухих – роботов-переводчиков, переводящих речь в азбуку жестов и наоборот; роботов, выполняющих массаж, отпуск грязевых процедур и т.д.

Вернемся от общих задач и проблем в развитии робототехники к конкретным задачам и проблемам. Любой робот должен выполнять какую-то работу или операцию. Для этого чаще всего применяется механический аналог человеческой руки – манипулятор, состоящий из шарнирно соединенных звеньев, которые приводятся в движение электродвигателями или пневмогидродвигателями. Звенья манипулятора друг относительно друга совершают вращательные и поступательные движения. Манипулятор заканчивается схватом или может иметь какой-либо инструмент: ключ, отвертку, сварочную горелку и т.д.

В чем заключается недостаток существующих манипуляторов?

1. Каждое звено имеет электро-, или пневмо-, или гидродвигатель, что является недостатком. Для его устранения необходимо убрать шарнирные соединения, выполнить манипулятор гибким “стержнем”, заменить традиционные двигатели на новые двигатели.
2. «Схват» или конкретный инструмент – это далеко не рука человека – может выполнять лишь какую-то конкретную операцию. Для выполнения более сложной комплексной работы по сборке, контролю, укладке, выполнению хирургических операций и т.д. нужен более совершенный механизм, близкий к руке человека.

Совершенствование адаптивных роботов будет проводиться по следующим направлениям: 1) совершенствование обратных связей и их комплексное использование; 2) отыскание новых обратных связей; 3) совершенствование программного обеспечения; 4) совершенствование работы датчиков и сенсорных систем; 5) совершенствование технического зрения; 6) совершенствование систем сравнения и узнавания; 7) совершенствование точности выполнения команд и самоконтроля внутреннего состояния систем и механизмов.

Совершенствование роботов с искусственным интеллектом будет проводиться по следующим направлениям: 1) совершенствование связи и общения через Интернет; 2) совершенствование навигационных систем; 3) совершенствование компьютерного обеспечения; 4) совершенствование аналитических функций; 5) совершенствование прогнозирования изменяющихся условий, среды, учета влияния прошедших событий с настоящим и прогнозируемым; 6) совершенствование стабилизации ситуаций, предварительного изменения среды, свойств объекта, которые компенсируют стихийно складывающиеся изменения; 7) совершенствование в выборе и смене инструмента, привода, рабочего тела, среды и т.д.; 8) совершенствование возможностей робота управлять бытовыми приборами: кондиционером, пылесосом, телевизором, стиральной машиной, посудомоечной машиной, соковыжималкой и другими; 9) совершенствование многофункциональности робота; 10) совершенствование систем отслеживания обстоятельств, отрицательно и положительно влияющих на процесс, систем отслеживания комплексных обстоятельств, влияющих на процесс; 11) совершенствование программных модулей и их самообновления и самопрограммирования.

ния; 12) совершенствование аппарата принятия решения, анализа неудач, составления программ с одновременным проектированием новых форм, размеров, материалов, отвечающих установленным целям, имеющих лучшее качество и более длительный срок службы; проектирования деталей из материалов с искусственным интеллектом, обладающих “памятью”, изменяющим характеристики в зависимости от условий эксплуатации, из материалов, компенсирующих, самовосстанавливающих износ и т.д.; 13) совершенствование самопрограммирования и самопроектирования, создание нового более совершенного робота; 14) совершенствование нейросетевых модулей, нейронных сетей, уход от программирования путем замены его нейросистемой.

Подводя итоги, можно отметить, что совершенствование робототехники является успешным залогом развития научно-технического прогресса, науки, экономики, социальной жизни и благосостояния общества. Поэтому Государство должно обратить внимание на развитие этой отрасли, выбрать свою тактику и стратегию в робототехнике и, основываясь на передовых разработках, создавать отечественные роботы.

5.2. ПАЛЕЦ РОБОТА

Японским концерном “Тошиба” разработан миниатюрный палец для робота, который представляет собой гибкий силиконовый стержень с тремя параллельными изолированными камерами, в которые подается под разным давлением жидкость или воздух. Изменяя давление в камере, можно заставить

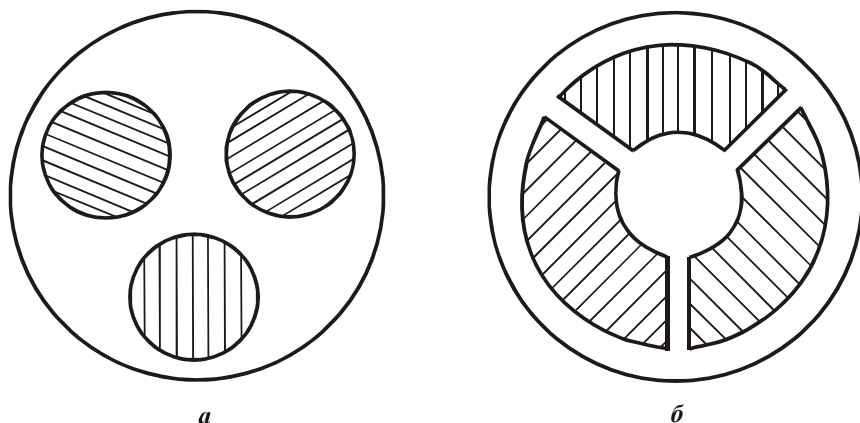


Рис. 5.1. Палец робота.

палец изгибаться и выполнять плавные и точные движения: укладывать фрукты, мелкие хрупкие детали, выполнять хирургические операции.

Недостатком данного устройства является то, что палец робота работает от регулируемой по-

дачи воздуха или жидкости, что не обеспечивает заданную точность движения пальца робота, не обеспечивает требуемую жесткость, устойчивость, твердость устройства, сложное управление. Все это ограничивает применение данного устройства.

Предлагаемый палец представляет собой закрытую трубочку из гибкого силиконового полимера. В трубочке расположены три пьезокристаллических стержня, изолированные друг от друга силиконовым полимером. Через один конец трубочки к каждому пьезокристаллическому стержню (к двум его кон-

цам) подводятся гибкие проводники электрического тока, через которые на стержнях изменяются электрические потенциалы, в результате чего каждый стержень в зависимости от потенциала увеличивается или уменьшается в размере, что вызывает изгиб пальца и его тонкие и плавные движения. Форма стержней может быть цилиндрической или возможна схема, когда три стержня в виде сегментных колец образуют в сечении цилиндрическую трубу.

На рис. 5.1 показаны сечения стержней: три цилиндрических стержня (а) и три сегментных стержня (б).

Палец может состоять из нескольких секций пьезокристаллических стержней, расположенных последовательно и (или) внахлест. Управление пальцем осуществляется через компьютер мышью и (или) по заданной программе. Такое устройство обеспечивает пальцу четкую координацию движений, требуемую жесткость, твердость и устойчивость, а также точную работу при сборке микросхем, проведении хирургических операций и других высокоточных работ.

Возможность осуществления данного технического решения обусловлена тем, что свойства пьезокристаллов изменять свои размеры в зависимости от приложенного электрического потенциала широко применяются в щупах дефектоскопов, эхолотов и других приборах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: Справочник / Под ред. проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 390 с.
2. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / Харьк. гос. техн. ун-т. – Харьков, 1995. – 56 с.
3. Говоркян В.Г. Основы сварочного дела: Учебник для строит. спец. техникумов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 168 с.
4. Дуговая и газовая сварка / В.М. Рыбаков. Учебник для сред. проф. техн. училищ. – М.: Высшая школа, 1981. – 256 с. – (Проф. техобразование. Сварка. Резка.).
5. Дудин А.Т. Направления совершенствования термической и химико-термической обработки металлов // Труды 8-й Межд. научн.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 9–10 декабря 2003г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – С. 205-207.
6. Дудин А.Т. Двигатель внутреннего сгорания (работающий на газообразном, жидком и твердом топливе) // Труды 9-й Межд. научн.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 3-4 июня 2004г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – С. 151-153.
7. Дудин А.Т. Перспективные конструкции автомобильных двигателей // Труды 10-й Межд. научн.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 28–30 сентября 2004г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – С. 178-183.
8. Дудин А.Т. Теоретическое обоснование условий повышения эффективности абразивно-шлифовальной обработки // Труды 11-й Межд. научн.-техн. конф. “Физические и компьютерные технологии”, 2-3 июня 2005г. – Харьков: ХНПК “ФЭД”. – С. 147-154.
9. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением: учебник для машиностроительных техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1978 г. – 368 с.
10. Захаренко И.П. Алмазные инструменты и процессы обработки. – К.: Техніка, 1980. – 212 с.
11. Кащук В.А., Мелехин А.Д., Бармин Б.П. Справочник заточника. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
12. Маслов Е.Н. Теория шлифования металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – 319 с.
13. Новиков Ф.В. Физические и кинематические основы высокопроизводительного алмазного шлифования: Автореф. дис. ... докт. техн. наук / Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса, 1995. – 36 с.
14. Подураев В.Н. Технология физико-химических методов обработки. – М.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
15. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні: Навч. посібник / За редакцією А.І. Грабченко. – Харків: ХДПУ, 1999. – 436 с.

16. Сапиро Л.С. Справочник сварщика: Пособие для сварщиков, мастеров, технологов, конструкторов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: Донбасс, 1978.
17. Справочник сварщика / Под ред. В.В. Степанова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983 – 560 с.
18. Стеклов О.И. Основы сварочного производства: Учебное пособие для техн. училищ. – Высш. школа, 1981. – 160 с.
19. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. Пособие / Якимов А.В., Новиков Ф.В., Новиков Г.В., Серов Б.С., Якимов А.А. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
20. Теоретические основы технологии машиностроения: Учебник /Якимов А.В., Новиков Ф.В., Якимов А.А., Новиков Г.В., Решетнев Н.И. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 491 с.
21. Технология металлов и конструкционные материалы: Учебник для машиностроительных техникумов / Б.А. Кузьмин, Ю.Е. Ефремов и др. Под ред. Б.А. Кузьмина. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
22. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. "Механика резания материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
23. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов" – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с.
24. Фоминых В.П., Яковлев А.П. Ручная дуговая сварка: Учебное пособие для техн. училищ. – М.: Высш. школа, 1981. – 256 с.
25. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
26. Ящерицын П.И., Жалнерович Е.А. Шлифование металлов. – Минск: Беларусь, 1970. – 464 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
Раздел 1. Проблемы автомобилестроения	5
1.1. Пути развития автомобильного транспорта на Украине	6
1.2. Автомобиль, работающий на воде, - это возможно уже сегодня	11
1.3. Двигатель ПАВ	15
1.4. Пьезоэлектрический двигатель	18
Раздел 2. Новые конструкции двигателей внутреннего сгорания	22
2.1. Общее устройство и работа двигателя	22
2.2. Двигатель внутреннего сгорания с последовательно рас- положенными цилиндрами, между которыми располо- жена камера для размещения клапанов	24
2.3. Двигатель внутреннего сгорания с соединением поршней на оппозиционные штоки, которые имеют связь с общим коленчатым валом через оппозиционные шейки	25
2.4. Двигатель внутреннего сгорания с газораспределительным механизмом – шаровой вал, с системой пьезозажигания и очистителем выхлопных газов	30
2.5. Двигатель внутреннего сгорания, работающий на газообразном, жидком и твердом топливе	42
2.6. Клапанная система для двигателя внутреннего сгорания	44
2.7. Двигатель внутреннего сгорания с пьезоэлектрическими клапанами	48
2.8. Двигатель внутреннего сгорания с пневмоклапанами	52
Раздел 3. Перспективные направления развития технологии ме- таллов	70
3.1. Способы изменения свойств металлов и сплавов с помо- щью магнитных и электромагнитных силовых полей	70
3.2. Диффузия в металлах и ее практическое применение	71
3.3. Использование межзерновой диффузии в металлургиче- ском производстве	76
3.4. Новые направления термической и химико-термической обработки	80
3.5. Некоторые концепции развития технологии металлов и сплавов	84
3.6. Новые технологии изготовления и повышение срока службы зубчатых венцов шаровых мельниц	91
3.7. Некоторые взгляды на механику разрушения	95
3.8. Совершенствование сварочного производства	105
3.8.1. Новые ресурсосберегающие электроды для дуго- вой сварки	105

3.8.2.	Пути поиска новых видов сварки и резки металлов и их сплавов.....	106
3.8.3.	Сварка структурными и фазовыми изменениями	108
3.8.4.	Проблемы техники безопасности для электросварщиков и пути их решения	109
3.9.	Прогрессивные методы сварки.....	111
3.9.1.	Сварка труб взрывом.....	111
3.9.2.	Сварка гидравлическими ударами	113
3.9.3.	Сварка фрикционно–контактная, виброфрикционно–контактная, индукционно–фрикционно–контактная	115

Раздел 4. Перспективные направления развития металлообработки и технологии машиностроения

	ботки и технологии машиностроения	117
4.1.	Новые аспекты абразивно-шлифовальной обработки.....	117
4.1.1.	Общие положения.....	117
4.1.2.	Общая характеристика абразивно-шлифовальных видов обработки и их недостатков.....	118
4.1.3.	Засаливание круга.....	122
4.1.4.	Затупление круга.....	122
4.1.5.	Проблема применения смазочно-охлаждающей жидкости	124
4.1.6.	Проблема увеличения скорости обработки	124
4.1.7.	Проблема шлифовального оборудования	125
4.1.8.	Проблемы контроля и обратных связей	126
4.1.9.	Проблема применения новых материалов в абразивно-шлифовальном производстве	126
4.2.	Общая характеристика абразивно-шлифовальных инструментов	126
4.2.1.	Абразивные материалы и инструменты	126
4.2.2.	Алмазные материалы и порошки	127
4.2.3.	Эльборовые круги.....	128
4.3.	Новые материалы, применяемые в конструкциях абразивно-шлифовального инструмента.....	129
4.4.	Магнитные материалы, применяемые в абразивно-шлифовальной обработке	130
4.5.	Теоретическое обоснование некоторых видов обработки.....	131
4.5.1.	Обкатка	131
4.5.2.	Движение срезаемой стружки по заготовке и абразивному кругу.....	134
4.5.3.	Преимущества вибрационно-абразивно-шлифовальной обработки.....	138
4.5.4.	Причины возникновения автоколебаний и условия обеспечения вибрационной обработки.....	138
4.5.5.	Абразивно-шлифовальная обработка с наложением ультразвуковых колебаний на среду	140

4.5.6. Ультразвуковое шлифование.....	142
4.6. Новые подходы к теории абразивно-шлифовальной обработки.....	143
4.7. Ударные нагрузки в абразивно-шлифовальной обработке.....	149
4.8. Дополнительные перемещения шлифовального круга и режущих зерен – новый взгляд на теорию резания.....	153
4.9. Правка абразивного инструмента лазером.....	161
4.10. Применение лазерного луча для контроля за состоянием круга, процессом резания и использование его для создания обратной связи.....	164
4.11. Применение и использование инфразвука, звука и ультразвука при шлифовании.....	168
4.12. Шлифовальные круги и микрочипы.....	169
4.13. Использование электромагнитных полей при абразивно-шлифовальной обработке.....	170
4.14. Влияние условий подвода СОЖ на качество и производительность обработки.....	173
4.15. Новый абразивно-шлифовальный инструмент.....	177
4.16. Комбинированный инструмент.....	179
4.17. Конструктивное обеспечение новым технологиям и инструментально-структурным связям.....	180
4.17.1. Схемы шлифования чашечными и тарельчатыми кругами.....	180
4.17.2. Схемы шлифования плоскими кругами прямого профиля.....	183
4.17.3. Обкатка и шлифование.....	184
4.17.4. Шлифовальный инструмент – пружина.....	187
4.17.5. Шлифовальный инструмент – шар.....	188
4.17.6. Инструмент для очистки и шлифования внутренних поверхностей.....	191
4.17.7. Инструмент для шлифования наружных поверхностей.....	193
4.17.8. Конструкции шлифовального инструмента для обработки фасонных поверхностей.....	194
4.17.9. Шлифовальный круг с возможностью двухстороннего осевого перемещения.....	195
4.17.10. Устройство для обработки поверхностей шлифованием под разными углами.....	196
4.17.11. Устройство с осевым перемещением шлифовального круга.....	196
4.17.12. Применение пьезоэлектрических материалов для дополнительных перемещений круга.....	197
4.17.13. Новые технологии и конструктивные решения по применению пьезоэлектрических элементов и дисков.....	200

4.17.14. Шлифовальный круг с пьезоэлектрическим диском	203
4.17.15. Секторный пьезоэлектрический элемент и секторные диски	204
4.18. Использование магнестрикционного эффекта при шлифовании	207
4.18.1. Существенные ограничения применения магнестрикционных методов при шлифовании	214
4.18.2. Новые конструктивные решения, обеспечивающие шлифовальную обработку с применением ультразвука от магнестрикционных вибраторов	215
4.18.2.1. Устройство для шлифования с вибрациями	215
4.18.2.2. Магнестрикционный вибратор для шлифования	217
4.18.2.3. Магнестрикционный вращающийся вибратор с разными системами колебаний	219
4.18.2.4. Магнестрикционные вибраторы с колебаниями вдоль оси вращения	221
4.18.3. Проблемы применения вращающихся магнестрикционных вибраторов при шлифовании и пути их решения	223
4.18.4. Конструкции концентраторов и волноводов, применяемых при ультразвуковой обработке материалов	227
4.18.5. Некоторые варианты применения вращающихся кругов с ультразвуковыми колебаниями на основе магнестрикционного эффекта	228
4.19. Вопросы, связанные с уровнем частот колебаний круга и комбинированных колебаний	233
4.20. Новые виды струйно-абразивной обработки	235
4.20.1. Струйно-абразивно-шлифовальная обработка	235
4.20.2. Многоструйная абразивная обработка	236
4.20.3. Струйно-абразивно-шлифовальная обработка с помощью диска	237
4.20.4. Струйно-абразивно-шлифовальная обработка с помощью цилиндра	238
4.20.5. Струйно-абразивно-шлифовально-электроэрозионно-дуговые методы обработки	239
4.21. Щетки, как абразивный инструмент	240
4.22. Совмещение электрофизических и электрохимических методов обработки с ультразвуковым шлифованием	240
4.23. Роль кавитации при шлифовании	244

4.24. Абразивно-шлифовальная обработка с новым устройством для перемещения шлифовального круга	248
4.25. Устройство для абразивно-шлифовальной обработки вращающимся кругом с перемещением круга гидравлическими ударами от электрических разрядов	250
4.26. Разработка сложных колебательных пьезоэлектрических систем для абразивно-шлифовальной обработки.....	252
4.26.1. Устройство из пьезоэлектрических элементов, пружин и шаров для шлифования.....	255
4.26.2. Шлифовальный брус, круг с ультразвуковыми колебательными перемещениями от пьезоэлектрических элементов	256
4.26.3. Разновидности пьезоэлектрических элементов.....	257
4.26.4. Шлифовальные круги из отдельных брусков, способных производить колебательные перемещения с ультразвуковой частотой в разных направлениях	258
4.26.5. Круги с ограниченными скоростями вращения по конструктивным соображениям	261
4.27. Круги, собранные из брусков	266
4.28. Защитные покрытия.....	266
Раздел 5. Робототехника	268
5.1. Совершенствование робототехники.....	268
5.2. Палец робота.....	271
Литература.....	273

Учебное издание

**Александр Тимофеевич Дудин
Федор Васильевич Новиков**

ДВИГАТЕЛИ И ТЕХНОЛОГИИ

Учебное пособие

*Под общей редакцией
Ф.В. Новикова и А.В. Якимова*

**Редактор Лучнева Т.И.
Корректор Мищенко Н.В.**

ISBN 966 – 549 – 817 – 8

Подписано к печати 12.01.2004. Формат 60 84/16.
Бумага белая. Печать – ризография. 17,5 усл. печ. л. 14,7 уч.– изд. л.
Тираж 500 экз. Заказ № 22. Цена договорная.

Одесский Национальный политехнический университет
г. Одесса, проспект Шевченко, 1
