

Министерство высшего образования УССР  
ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. В. И. ЛЕНИНА

---

П. Д. ДУДКО

**И С С Л Е Д О В А Н И Е**  
**ПРОЦЕССА ДОВОДКИ СТАЛЬНЫХ**  
**ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМ**  
**АБРАЗИВОМ С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМ ДВИЖЕНИЕМ**  
**ПРИТИРА**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Харьков

1959 /

Экспериментальная часть работы проведена в лаборатории кафедры технологии металлов Харьковского политехнического института им. В. И. Ленина.

Решениями XXI съезда КПСС предусматривается «Коренное улучшение технологии производства, а также «повышение технико-экономических характеристик и показателей изготавливаемых машин и оборудования...».

В связи с этим приобретают большое значение методы отделочной механической обработки, обеспечивающие высокое качество рабочих поверхностей деталей машин.

Среди различных отделочных методов механической обработки наиболее высокую точность и качество поверхности обеспечивает доводка металлов абразивами.

За последние годы в технологии обработки металлов и других материалов процессы абразивной отделки находят все более широкое применение.

Поставленная в настоящее время задача широкого применения технологических процессов, исключаящих большие припуски как-то штамповки, литья под давлением и точного литья, а также все более широкое применение твердых и прочных материалов, обработка которых связана с обязательным применением абразивных инструментов, требует особого внимания к изучению абразивных процессов обработки.

Основные исследования процессов холодной обработки металлов резанием касаются точения, фрезерования, сверления и в значительно меньшей степени шлифования. Процессы же отделочной обработки, несмотря на большую важность этого вопроса, исследованы крайне недостаточно. До настоящего времени отсутствует строго установленная терминология по отделочным операциям.

Имеющиеся исследования по доводке металлов свободным абразивом С. М. Кедрова, М. Я. Шегал, И. Н. Хабарина, П. П. Панасова носят преимущественно экспериментальный характер и не охватывают всех вопросов, относящихся к этому процессу.

Поэтому теоретическое и экспериментальное исследование абразивных процессов доводки деталей машин, а также механизация этих чрезвычайно трудоемких процессов, часто осуществляемых вручную, является в настоящее время весьма актуальным вопросом.

Доводка деталей машин может производиться абразивными брусками или свободным абразивом. При доводке абразивными брусками деталей, особенно с прерывистыми поверхностями, нередко отмечается интенсивный износ брусков, их выкрашивание и образование на обработанных поверхностях глубоких царапин. В этом случае более приемлемой является доводка свободным абразивом, т. к. при правильном подборе материала притира и режима обработки в первую очередь изнашиваются сами абразивные зерна, а притир продолжительное время сохраняет форму, что повышает точность обработки.

Процесс доводки металлов свободным абразивом является чрезвычайно сложным процессом резания, имеющим свои особенности, которыми он отличается как от процессов резания металлов металлическим инструментом с определенной геометрией, так и от шлифования. Сложность процесса и свободное перемещение абразивных зерен в зоне резания создают большие трудности при экспериментальном и теоретическом его исследовании. Это является причиной многих противоречивых результатов исследований, приведенных в литературе, что затрудняет выбор оптимального режима обработки при доводке металлов свободным абразивом.

Представляет значительный интерес исследование процесса доводки деталей машин с применением осциллирующего движения притира, которое способствует повышению производительности процесса доводки металлов и улучшению чистоты обработанной поверхности.

Выяснение механизма резания-царапания при доводке металлов свободным абразивом позволит установить условия получения повышенного съема металла и высокой чистоты поверхности, определить оптимальный режим обработки.

В настоящей работе подвергнуты рассмотрению следующие вопросы:

1. Состояние вопроса о методах отделочной обработки металлов.
2. Влияние качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин.
3. Кинематика абразивных зерен в процессе доводки свободным абразивом цилиндрических деталей с осциллирующим движением притира.
4. Выяснение механизма процесса резания-царапания при доводке металлов свободным абразивом.
5. Исследование процесса доводки цилиндрических стальных деталей свободным абразивом с осциллирующим движе-

нием притира с целью выяснения условий повышенного съема металла и достижения высокой частоты поверхности.

6. Изменение геометрической формы детали в процессе доводки свободным абразивом с осциллирующим движением притира.

7. Влияние жидкости, входящей в состав абразивной смеси, на съем металла и чистоту поверхности при доводке деталей свободным абразивом.

8. Влияние материала притира на съем металла и чистоту поверхности при доводке металлов.

Исследования производились с учетом влияния следующих основных факторов процесса:

- а) физико-механических свойств обрабатываемого материала;
- б) физико-механических свойств материала притира;
- в) свойства абразивной смеси;
- г) удельного давления притира;
- д) скорости вращения обрабатываемой детали;
- е) скорости и характера движения притира;
- ж) величины микронеровностей от предшествующей обработки;
- з) продолжительности обработки.

---

В процессе исследования необходимые опыты проводились на специальной установке, смонтированной на круглошлифовальном станке, у которого вместо шлифовальной бабки была установлена гидравлическая головка. Гидравлическая головка имела широкий диапазон плавного регулирования как числа колебаний притира от 0 до 1500 двойных ходов в минуту с длиной хода от 2,5 до 10 мм, так и продольной подачи каретки с притиром от 0 до 200 двойных ходов в минуту с величиной хода от 10 до 150 мм.

Для возможности плавного регулирования скорости вращения детали был установлен электрический привод бесступенчатого регулирования числа оборотов детали в широком диапазоне скоростей. Кроме бесступенчатого регулирования числа оборотов шпинделя была предусмотрена возможность обработки деталей в два перехода путем автоматического изменения числа оборотов шпинделя в процессе обработки. Для опытов использовались производственные детали и специальные образцы. Образцы перед доводкой подвергались термообработке с последующим шлифованием. Твердость образцов

после термической обработки составляла: для стали 20X  $R_c = 61-64$ , для стали 40X  $R_c = 53-56$  и для стали 45  $R_c = 51-54$  и 34—36.

При доводке применялись порошки белого электрокорунда зернистостью от 100 до M7, зеленого карборунда и карбида бора. В качестве жидкости, входящей в состав абразивной смеси, использовались керосин, веретенное масло № 2, смеси этих жидкостей и активные добавки.

Абразивные смеси в зону резания подавались через полый притир из смесительного бака. Материалом притиров был серый чугун перлитно-ферритовой структуры твердостью Нв = 150.

---

Процесс доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллирующим движением притира имеет сложную кинематику. Для случая, когда деталь совершает вращательное движение, а притир одновременно возвратно-поступательное движение вдоль оси детали и осциллирующее движение в том же направлении, траекторией абразивных зерен, шаржированных на рабочей поверхности притира, будет синусоида с большим периодом от возвратно-поступательного движения притира, на которую накладывается синусоида с меньшим периодом от осциллирующего движения притира. Однако, учитывая, что большая часть зерен, находящихся в зоне резания, не шаржирует поверхность притира, а свободно перекатывается, траектория их движения будет отличаться от синусоиды в сторону неопределенности (хаотичности).

Сложный характер траектории движения абразивных зерен при доводке с осциллирующим движением притира должен оказать положительное действие на процесс обработки. При этом более полно используются режущие свойства абразивных зерен, что должно способствовать увеличению съема металла. Кроме того, изменение направления движения зерен обеспечивает частичное освобождение их от налипающей стружки, обеспечивает пересекание микроцарапин и интенсивное обламывание острых царапающих элементов зерен, что должно вызывать повышение чистоты обрабатываемой поверхности.

Скорость рабочего движения при доводке цилиндрических деталей с осциллирующим движением притира является величиной переменной. Средняя скорость рабочего движения может быть вычислена по следующей формуле:

$$V = \sqrt{\left(\frac{\pi D_n \cdot n_n}{1000}\right)^2 + \left(\frac{2 H_k \cdot n_k}{1000} + \frac{2 a \cdot n_{осц}}{1000}\right)^2} \text{ м/мин}$$

где:  $D_n$  — диаметр обрабатываемой поверхности в мм.  
 $n_n$  — число оборотов детали в минуту;  
 $H_k$  — длина хода каретки в мм;  
 $n_k$  — число двойных ходов каретки;  
 $a$  — длина хода притира при осциллирующем движении в мм.  
 $n_{осц}$  — число двойных ходов притира при осциллирующем движении в мм.

Выполненное исследование подтверждает, что абразивные зерна, находящиеся в зоне резания при доводке металлов свободным абразивом при непрерывной подаче абразивной смеси, имеют самый разнообразный характер движения относительно обрабатываемой поверхности и рабочей поверхности притира. Однако из всего многообразия этого движения можно выделить две основные схемы:

1-я схема — абразивные зерна совершают скольжение относительно обрабатываемой поверхности, шаржируя поверхность притира;

2-я схема — абразивные зерна совершают качение, притормаживаясь поверхностью притира или поверхностью детали.

Зерна абразивов, применяемых при доводке металлов, имеют форму неправильных многогранников с округленными вершинами, которые являются режуще-царапающими элементами.

При доводке металлов зерна срезают особо тонкие слои металла. При этом резание-царапание осуществляется преимущественно округленной частью царапающего элемента абразивного зерна при большом отрицательном переднем угле.

Фактический передний угол режуще-царапающего элемента зерен зависит от толщины срезаемого слоя, радиуса закругления округленной части.

В зависимости от отношения толщины срезаемого слоя металла к радиусу закругления царапающего элемента зерна и физико-механических свойств обрабатываемого металла может происходить два совершенно различных процесса. Процесс смятия металла, когда образуется царапина без снятия стружки, и процесс царапания, когда образуется царапина путем срезания стружки.

При доводке пластичных металлов получает большое развитие процесс смятия, что приводит к увеличению высоты

выступов (навалов) по краям царапины и ухудшению чистоты поверхности.

При доводке металлов режуще-царапающие элементы абразивных зерен всегда имеют большие передние отрицательные углы, а поэтому вертикальная составляющая усилия резания значительно больше горизонтальной. Это приводит к тому, что процесс стружкообразования совершается путем сжатия металла в радиальном направлении по контуру окруженной части царапающего элемента зерна. В срезаемом слое металла при доводке в основном будут возникать сжимающие напряжения.

При доводке металлов свободным абразивом зерна перекатываются, врезаются в обрабатываемую поверхность царапающими элементами с различной заостренностью, а имеющиеся микровыступы на поверхности детали способствуют постоянному изменению толщины царапаемого слоя металла. В результате отношение толщины среза к радиусу закругления царапающего элемента будет величиной переменной. Это приводит к тому, что царапающие элементы зерна совершают попеременно и скольжение по обрабатываемой поверхности, сминая металл, и резание-царапание.

Из-за значительного развития процесса сминания металла поверхностный слой чрезвычайно малой толщины при доводке испытывает высокую степень деформации.

Степень углубления абразивных зерен в обрабатываемый металл при одинаковом давлении притира зависит от размера абразивных зерен, так как изменяется давление, испытываемое отдельными зернами. Произведенный нами расчет показывает, что если принять давление, испытываемое каждым активным зерном, абразива М7 при постоянном давлении притира за единицу, то для абразива № 320 оно будет равным примерно 31, для абразива № 180 примерно 162 и для абразива № 100 примерно 420. Эти числа отражают характер относительного изменения давления, под действием которого зерна врезаются в обрабатываемый материал, а от степени углубления зерен зависит сьем металла и чистота обработанной поверхности.

Следовательно, размер абразивных зерен является особо важным фактором, оказывающим влияние на эффект доводки металлов свободным абразивом.

---

Исследования показали, что сьем металла и чистота обработанной поверхности при доводке металлов свободным аб-



разивом с осциллирующим движением притира зависят от ряда технологических факторов, из которых основными являются: свойства обрабатываемого металла, удельное давление притира, скорость резания, принятая кинематика станка, род и зернистость абразивных порошков, жидкость, входящая в состав абразивной смеси, и продолжительность обработки.

При доводке деталей из закаленных сталей марок 20X, 40X и 45 установлено, что съем металла с увеличением твердости обрабатываемого материала уменьшается, а чистота обработанной поверхности улучшается. Однако нет прямой зависимости между твердостью обрабатываемого материала и достигаемым съемом металла и чистотой поверхности. Необходимо учитывать химический состав и структуру материала. Так, при доводке образцов из сталей 45 и 40X, термически обработанных примерно до одной и той же твердости, более высокий съем металла и хуже чистота поверхности достигались на образцах из стали 45. Наличие в стали хрома способствовало уменьшению съема металла.

Влияние удельного давления притира при доводке зависит от размера абразивных зерен. На основании проведенных опытов можно сделать вывод, что существует оптимальное давление притира по съему металла, которое определяется в основном динамической прочностью абразивных зерен и условиями проникания абразивной смеси в зазор между притиром и обрабатываемой поверхностью. Опыты показали, что при применении абразивной смеси, состоящей из порошка электрокорунда и керосина, в зависимости от размера абразивных зерен наибольший съем металла достигался при следующих удельных давлениях притира: для порошка зернистостью № 100 примерно при  $2 \text{ кг/см}^2$ , для порошка № 180 примерно при  $3 \text{ кг/см}^2$  и для порошков зернистостью № 320, M28 и M7 при  $4 \text{ кг/см}^2$ . Однако следует учитывать, что с повышением удельного давления притира выше определенного предела, чистота обработанной поверхности ухудшается.

Изменение составляющих скорости рабочего движения, как показали опыты, влияет на результаты обработки следующим образом.

Увеличение окружной скорости детали при доводке повышает съем металла, т. к. увеличивается длина пути, пройденного абразивными зернами относительно обрабатываемой поверхности, а также возрастает динамическое воздействие абразивных зерен на обрабатываемую поверхность. Однако повышение окружной скорости выше 25 м/мин. вызывает нагрив обрабатываемой поверхности и неравномерное поступле-

ние абразивной смеси в зону резания, что ухудшает чистоту обработанной поверхности.

В связи с этим, с целью повышения производительности, можно рекомендовать ступенчатый процесс доводки, при котором вначале обработка производится при повышенной окружной скорости детали порядка 50-75 м/мин., а затем окончательная обработка при окружной скорости порядка 25 м/мин.

Наличие возвратно-поступательных движений притира вдоль оси обрабатываемой детали способствует увеличению съема металла, т. к. увеличивается скорость рабочего движения и более полно используются режущие свойства абразивных зерен за счет изменения направления резания. Особенно повышается съем металла и улучшается чистота обработанной поверхности с введением осциллирующего движения притира, обеспечивающего сложный характер траектории движения абразивных зерен относительно обрабатываемой поверхности.

Увеличение частоты колебаний осциллирующего движения притира до 800 колебаний в минуту при амплитуде 5 мм повышает съем металла. Дальнейшее увеличение частоты колебаний не приводит к росту съема металла, т. к. чрезмерно усиливается процесс дробления абразивных зерен.

Эффект от введения осциллирующего движения притира понижается с увеличением размера абразивных зерен, входящих в состав абразивной смеси. Это объясняется меньшей относительной динамической прочностью более крупных зерен, что приводит к интенсивному их дроблению в процессе доводки, трудностью их шаржирования на поверхности притира, а также худшим проникновением крупных зерен в зазор между притиром и обрабатываемой поверхностью.

Так, введение осциллирующего движения притира для оптимальных условий обработки закаленной стали 20X повышает съем металла при доводке абразивом ЭБ № 100 примерно в 1,1 раза, абразивом ЭБ М28 в 1,5 раза и абразивом ЭБ М7 в 2 раза.

Введение осциллирующего движения при доводке способствует также улучшению чистоты поверхности, последняя имеет более равномерную сетку рисок, чем при доводке без осциллирования.

Чистота поверхности при доводке закаленных сталей с введением осциллирующего движения улучшается примерно на один класс по ГОСТу 2789-51.

Род и зернистость абразивных порошков, а также жид-

кость, входящая в состав абразивной смеси, оказывают значительное влияние на съём металла и чистоту обработанной поверхности.

В зависимости от размера зерен абразива, входящего в состав смеси, при доводке закаленных сталей с осциллирующим движением притира, съём металла заметно повышается для абразивов от ЭБ М7 до ЭБ М28 при применении в качестве жидкости керосина. Для абразивных смесей с веретенным маслом № 2 съём металла повышается от ЭБ М7 до ЭБ № 280. Более крупнозернистые абразивы обеспечивают незначительное повышение съема металла.

Чистота обработанной поверхности ухудшается с увеличением размера абразивных зерен.

Выбор зернистости абразивов при доводке закаленных сталей следует производить, исходя из требований чистоты поверхности.

При доводке детали с непрерывной подачей абразивной смеси в зону резания отсутствует оптимальное содержание абразива в смеси для каждого конкретного условия доводки.

Физическая сущность оптимального содержания абразива в смеси состоит в том, что в этом случае зазор между обрабатываемой поверхностью и притиром заполняется абразивными зёрнами с максимально возможной плотностью для данных условий обработки.

Для применявшихся в проведенном исследовании условий доводки установлено, что устойчивые результаты по производительности процесса получаются при содержании абразива не менее 60 гр. на один литр керосина.

Повышение съема металла достигается изменением вязкости жидкостей. При исследовании влияния вязкости смеси керосина с веретенным маслом № 2 на съём металла при доводке закаленной стали 20Х наибольший съём металла был получен при вязкости смеси Е—2, 48, состоящей из 34% керосина и 66% веретенного масла № 2. По сравнению с чистым керосином съём металла повышается до 1,3 раза.

Степень влияния вязкости жидкости на съём металла зависит от размера абразивных зерен, входящих в состав смеси. С уменьшением размера абразивных зерен при применении жидкости повышенной вязкости съём металла уменьшается.

Введение поверхностно-активных веществ в состав жидкости также значительно повышает съём металла. При применении керосина с оптимальным содержанием олеиновой кислоты, равном 2%, съём металла повышается почти в 1,5 раза.

Осциллирующее движение притира усиливает действие поверхностно-активных веществ в процессе резания-царапания металлов свободным абразивом, повышая съём металла.

Так, например, при доводке закаленной стали 20X применение жидкостей, содержащих поверхностно-активные вещества, обеспечивало повышение съёма металла в среднем на 19—20% при обработке без осциллирования притира, а при обработке с осциллированием притира на 27—33%.

В зависимости от состава жидкости чистота обработанной поверхности при доводке изменяется в пределах двух разрядов ГОСТа 2789-51. Введение в жидкость поверхностно-активных веществ ухудшает чистоту поверхности.

Продолжительность обработки при оптимальных условиях оказывает влияние на съём металла и чистоту обработанной поверхности в первые минуты доводки, когда происходит снятие начальной шероховатости. Затем процесс доводки стабилизируется и съём металла в равные отрезки времени становится одинаковым, а чистота поверхности практически не изменяется.

Материал притира, обладая различной износостойкостью и шаржируемостью, оказывает существенное действие на процесс доводки металлов свободным абразивом. Высокая точность и чистота поверхности при доводке достигается притирами из серого чугуна с мелкими графитовыми включениями и прочной металлической основой.

В проведенном исследовании хорошие результаты получены при доводке закаленной стали притиром из серого чугуна твердостью  $H_v = 150$  с перлитно-ферритовой структурой.

В процессе доводки с осциллирующим движением притира, за счет большой площади соприкосновения притира с обрабатываемой поверхностью и правильной его установки на станке, исправляются погрешности геометрической формы деталей.

Овальность уменьшалась в среднем на 45%, конусность на 33% и полностью устранялась гранность.

Поверхности, доведенные свободным абразивом с осциллированием притира, при оптимальной высоте шероховатости обладают повышенной износостойкостью из-за благоприятного расположения обработочных рисок, хорошо удерживающих масляную пленку.

Обработка результатов экспериментального исследования позволила установить ряд зависимостей, представленных в виде графиков и формул, облегчающих их использование в производственных условиях, так, например: для стали 20X

твердостью  $R = 61-64$  съем металла в зависимости от зернистости абразивов при доводке с осциллирующим движением притира может быть определен по следующей формуле:

$$\delta = 10,6 \cdot d_3^{0,18},$$

а средняя высота микронеровностей:

$$H_{\text{ср}} = 0,14 d_3^{0,54},$$

где:  $\delta$  — съем металла по диаметру в мк;

$d_3$  — средний размер зерен абразива в мк;

$H_{\text{ср}}$  — средняя высота микронеровностей в мк.

Аналогичные зависимости были получены и для других исследованных марок сталей.

## ВЫВОДЫ

Результаты теоретического и экспериментального исследования сводятся к следующему.

1. Доводка металлов свободным абразивом — сложный процесс резания, зависящий от большого числа факторов. Наиболее сильное влияние на процесс оказывают: физико-механические свойства материала обрабатываемой детали, состав абразивной смеси, удельное давление притира, скорость рабочего движения, а также характер движения притира.

2. Среди разновидностей этого метода обработки доводка металлов свободным абразивом с применением металлических притиров обеспечивает наиболее высокую точность и чистоту поверхности. Особенно эффективен этот процесс при доводке деталей с прерывистыми поверхностями, обработка которых абразивными брусками большей частью не дает хороших результатов из-за интенсивного износа брусков.

3. На основании проведенного анализа выяснена кинематика доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллирующим движением притира, а также исследован механизм резания-царапания металлов с учетом особенностей геометрии абразивных зерен, шаржируемости притира, влияния на процесс жидкости, входящей в состав абразивной смеси, удельного давления и характера движения притира.

4. Для определения скорости резания при доводке свободным абразивом предложена формула.

5. Установлено, что при доводке свободным абразивом цилиндрических деталей с прерывистыми поверхностями, осциллирующее движение притира значительно превышает съем металла и улучшает чистоту поверхности. Погрешности гео-

метрической формы деталей исправляются: уменьшаются овальность, конусность и полностью устраняется гранность.

6. Установлена степень влияния основных технологических факторов на съём металла и чистоту поверхности. Выбран рациональный режим обработки для доводки деталей из закалённых сталей марок 20X, 40X и 45.

7. Проведённые исследования влияния состава жидкости на процесс доводки показали возможность повышения съёма металла в 1,5 раза за счёт применения поверхностно-активных жидкостей.

8. Обработка результатов экспериментального исследования позволила установить ряд зависимостей, представленных в виде графиков и формул, которые могут быть использованы при составлении руководящих материалов по выбору оптимальных режимов доводки свободным абразивом деталей из закалённых сталей.

9. Результаты работы опубликованы в виде отдельных статей:

1. «Исследование влияния твердости стали на производительность при доводке свободным абразивом стальных деталей», Труды ХПИ им. В. И. Ленина, т. XXI, вып. 4, 1959.

2. «Доводка с осциллированием притира и непрерывной подачей абразивной смеси», «Станки и инструмент», № 12, 1958.

3. «Влияние материала притира на эффект доводки свободным абразивом стальных деталей», Труды ХПИ им. В. И. Ленина, т. XXI, вып. 4, 1959.

4. «Влияние механической обработки на износостойкость стальных деталей машин», Труды ХПИ им. В. И. Ленина, т. IX, вып. 1, 1957.

5. «К вопросу о схватывании при граничном трении деталей машин», Труды ХПИ им. В. И. Ленина, т. XXI, вып. 4, 1959.

6. «Доводка абразивными порошками деталей из стали 4X13», Труды ХПИ им. В. И. Ленина, т. XXI, вып. 4, 1959.

7. «Способ доводки цилиндрических прерывистых поверхностей с осциллированием притира и устройством для непрерывной подачи абразивной смеси в зону резания», авторское свидетельство по заявке от 2/VII-1958 г. № 603045, кл. 67, подкл. а, гр. 9.

Ответственный за выпуск **Е. Л. Цента.**

БЦ 01711 от 23/V-59 г.      Объем 1 п. л.      Зак. 915.      Тир. 120.

---

Тип. ХПИ им. В. И. Ленина, Краснознаменная, 16.