

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

В.Г. Шкурупий, П.Д. Дудко, Ю.Ф. Назаров

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Киев  
Общество "Знание" Украинской ССР  
1979

В брошюре изложены вопросы совершенствования финишных процессов обработки деталей машин и приборов. Отмечены особенности формирования микронеровностей при использовании абразивного и лезвийного инструментов, а также при электрохимическом полировании.

Шероховатость обработанных поверхностей изучается в связи с их светоотражательной способностью.

На основе обобщения опыта технологического обеспечения деталей заданными эксплуатационными свойствами авторами предложены технологические рекомендации по обработке отражающих поверхностей.

© Общество "Знание" Украинской ССР,  
1979 г.

## Введение

Важными условиями выполнения намеченных партией путей повышения производительности труда в машиностроении, увеличения объёма и качества выпускаемой продукции являются совершенствование и интенсификация технологических процессов на основе применения прогрессивных конструкций инструментов и оптимизация технологического маршрута изготовления деталей. Кроме того, изыскание и реализация новых методов финишной обработки деталей позволяют обеспечить необходимую точность, шероховатость и физико-химические свойства обработанных поверхностей при повышении производительности.

Авторами в течение ряда лет ведутся работы по внедрению в производство новых способов, устройству инструментов для окончательной обработки поверхностей деталей машин, а также отрабатываются методики назначения наиболее выгодных режимов обработки с целью обеспечения требуемых точности, шероховатости и физико-химических свойств поверхностей.

Работы проводились по следующим основным направлениям:

- исследование влияния технологических факторов на шероховатость и физико-химические свойства поверхностей в процессе их обработки;
- выбор оптимальных режимов обработки в связи с работоспособностью деталей машин с учетом технологической наследственности;
- совершенствование способа обработки поверхностей с целью создания оптимального микрорельефа, обеспечивающего заданные эксплуатационные характеристики.

Брошюра написана по такому плану:

1. Особенности финишных методов обработки деталей машин;
2. Контроль обработанных поверхностей;
3. Совершенствование процессов финишной обработки металлических поверхностей.

## ОСОБЕННОСТИ ФИНИШНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В настоящее время финишные операции механической и электрофизической обработок з а тся к основным методам окончательного формирования поверхностей деталей машин. Финишные процессы - это операции доведения до требуемых значений контролируемых параметров, характеризующих функциональные свойства деталей, их поверхностей. Эти операции отличает незначительный съём, минимальное наличие на обрабатываемых поверхностях химически активных веществ, стабильность функциональных свойств в процессе длительного хранения и эксплуатации и т.д.

Механическая обработка деталей из различных материалов находит широкое применение в машиностроении при получении поверхностей с высокой светоотражательной способностью. При выборе метода обработки поверхностей для получения высокой отражательной способности учитывают конструкцию детали, химический состав и физико-химические характеристики ее материала.

Среди методов механической обработки поверхностей, применяемых для получения высокой отражательной способности, следует выделить механическое полирование алмазно-абразивными составами, пастами, суспензиями и обработку лезвийным инструментом из различных материалов. Особенно эффективно применение таких материалов, как природные и синтетические алмазы, кубический нитрид бора и др. Следует отметить, что обработка лезвийным инструментом в некоторых случаях может обеспечить коэффициент отражения гораздо больше, чем механическое полирование. Однако механическое полирование алмазными пастами является незаменимым технологическим процессом при обработке отражающих поверхностей упругих элементов ив лент дисперсионно-твердеющих сплавов толщиной от 0,1 до 0,5 мм.

Методы и режимы обработки поверхностей деталей из исследуемых сплавов выбирались из ус 4 обеспечения оптимальной ше-

роховатости и заданных излучательных свойств обработанных поверхностей.

### КОНТРОЛЬ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Изменения в поверхностном слое изучали оценкой: экспериментальных значений коэффициентов отражения, поглощения и излучения на стандартных приборах ФМ-59, . ФМ-85, ТИС и ТЕРМ-1; шероховатости поверхности на профилографах-профилометрах мод.201 и 252, биологических, металлографических МИМ-7, МИМ-8 и электронных ЭМВ-100 Л и РЭМ-200 микроскопах; работы выхода электронов , измерением контактной разности потенциалов КРП по методу статического конденсатора. Анализ шероховатости поверхностей производили также путем оценки фактора шероховатости по разработанной методике с учетом критерия оценки формы профиля шероховатости. Для диффузных поверхностей - песко-струйная обработка и др.

Оценку формы производили по формуле:

$$F = \frac{2H_{i\min} - R_a}{2\sqrt{X_{цтв}^2 + H_{i\min}^2}}, \text{ где } X_{цтв} = 0.$$

Для поверхностей после выглаживания:

$$F = 1 - \frac{R_a}{2H_{i\min}}, \text{ где } X_{цтв} = 0.$$

Идентификацию исследуемых областей обработанных поверхностей осуществляли по меткам, полученным на приборе ПМТ-3.

Изучение химического состава окисных пленок, образующихся в процессе обработки, осуществляли на масо-спектрометре при бомбардировке пучком ионов аргона.

При обработки деталей из стали 40Х применяли фрезерование инструментом из твердого сплава, шлифование и полирование, а из алюминиевых и титановых сплавов - фрезерование, точение, полирование и выглаживание. Механическое и электрохимическое полирование применяли при обработке сплава 36НХТЮ и бериллиевых бронз типа БрБНТ 1,7 [5 ]

Фрезерование титановых сплавов осуществляли инструментом ив эльбора-Р после предварительной обработки фрезами с пластинками из ВК-8. Режим обработки инструментом из эльбора-Р: скорость резания 350-400 м/мин; подача  $S = 0,05$  мм/зуб; глубина 0,1 мм.

Точение осуществляли резцами ив твердых сплавов, природных и искусственных алмазов ВК-8, А, АСПК, гексанит-Р. Резцы имели радиусную форму режущих кромок с механическим креплением алмаза ОСТ 180106-73, ОСТ 1261-128-73.

Точение алюминиевых сплавов природным алмазом без СОЖ осуществляли на станке 16Б16А по режиму: скорость резания 400 м/мин; подача 0,02 мм/об; глубина 0,01 мм.

Для выглаживания плоских и цилиндрических поверхностей были изготовлены приспособления с использованием сменных накопечников из АСПК нормаль ВНИИАЛМАЗ ОН-О37-103-67 и шаров сталь ШХ-15 диаметром 5÷8 мм. Приспособления могут устанавливаться на стол фрезерного или токарного станка.

Технические характеристики приспособления для вибровыглаживания:

- частота колебаний инструментальной головки 0 ÷ 5 кГц;
- форма колебаний - синусоидальная;

- амплитуда колебаний 0÷7 мм.;
- радиальное усилие 0÷25 кг<sup>с</sup>

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Режим обработки при выглаживании поверхностей деталей из алюминиевых сплавов, наконечники из АСПК с радиусом 3 мм: скорость выглаживания  $80 \div 100$  м/мин.; подача 0,04 мм/об; радиальное усилие 12 кГс.

Режим обработки при выглаживании поверхностей деталей из титановых сплавов /шар  $5 \div 8$  мм из стали ШХ-15, масло "Индустриальное 20М"; скорость выглаживания 100 м/мин; радиальное усилие 15 кГс; подача 0,07 мм/об.

Механическое полирование алюминиевых сплавов осуществляли войлочными полировальниками с использованием суспензии, состоящей из карбида кремния и электрокорунда зернистостью 1-3 мкм, дистиллированной воды и добавок сульфаминовых соединений типа ОП-10. Обработку производили также пастами на основе окиси хрома и алмазного микропорошка АМЗ/2.

Обработку поверхностей деталей из сплава ЗбНХТЮ и бериллиевых бронз типа БрБНТ 1,7 осуществляли с применением паст на основе алмазного микропорошка АМ 2/1/в среде масла "Индустриальное 20М". Режим обработки: скорость резания  $25 \div 30$  м/сек; подача войлочного полировальника 4 мм/об; удельное давление 2 кГс/см<sup>2</sup>

Режимы обработки при электрохимическом полировании поверхностей деталей:

— из сплава ЗбНХТЮ сернофосфорный электролит удельным весом 1,74; плотность тока 80 А/дм<sup>2</sup>; температура электролита 50°С; продолжительность обработки 1 мин.;

— из сплава БрБНТ 1,7 фосфорнохромовый электролит удельным весом 1,58; плотность тока  $50 \div 70$  А/дм<sup>2</sup>; температура электролита 30°С; продолжительность обработки после предварительного механического полирования 10-15 сек.

Анализ результатов исследований подтверждает влияние вида обработки и излучательные св 7 поверхностей.

В таблице 1 приведены значения параметров шероховатости и светоотражательной способности поверхностей деталей из стали 40Х после различных обработок.

Таблице 1.

Вид обработки	Среднее арифметическое отклонений шероховатости Ra, мкм	Коэффициент отражения, R <sub>s</sub>
Механическое полирование	0,05	0,74
Тонкое шлифование	0,06	0,51
Черновое шлифование	0,35	0,25
Фрезерование	0,52	0,25
Черновое фрезерование	1,03	0,20

Изучение профилограмм обработанных поверхностей и фотографий различных увеличений позволило установить на всех стадиях обработки изменение высоты и формы неровностей, которые в значительной степени будут определяться размерами и формой неровностей тела, участвующего в резании, его природой. Увеличению отражательной способности поверхности способствует обработка, обеспечивающая однородность и регуляризацию микрорельефа, уменьшение количества неоднородностей геометрического характера, соизмеримых с длинами волн падающего излучения. Таким условиям больше отвечает механическое полирование, особенно с применением паст на основе алмазных микропорошков. Снижение их зернистости благоприятно сказывается на повышении отражательной способности обработанной поверхности, на уменьшении количества неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения.

При механическом полировании, наряду с процессом резания, происходит процесс пластического деформирования поверхностного слоя, который приводит к сгла 8 ю неровностей и частичному

перетеканию металла выступов во впадины. Это позволяет уменьшить высоту неровностей до предельных значений [10].

При шлифовании форма и размеры выступов и впадин профиля шероховатости различаются в зависимости от направления ощупывания. Порядок рамеров неровностей имеет больший, чем при механическом полировании, диапазон изменения. Количество неоднородностей геометрического характера, соизмеримых с длинами волн падающего излучения, больше при шлифовании, что можно объяснить снижением эффекта микрорезания, увеличением усилий резания. Изменение условий резания при фрезеровании по отношению к черновому шлифованию приводит к еще большему увеличению высоты неровностей, однако форма и количество неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения, изменяются незначительно. Это, возможно, является одной из причин незначительного отличия значений коэффициентов отражений  $R_s$  поверхностей после грубого шлифования и фрезерования.

Некоторые особенности имеет обработка алюминиевых сплавов [12]. Значения параметров шероховатости и отражательной способности поверхностей из сплава АМг3 после различных обработок представлены в таблице 2.

Вид обработки	Среднее арифметическое отклонений шероховатости $R_a$ , мкм	Коэффициент отражения, $R_s$
1	2	3
Гидроабразивная	1,1	0,35
До обработки	0,41	0,42
Фрезерование твердым сплавом	0,62	0,52

	1	2	3
Точение твердым сплавом		0,56	0,63
Фрезерование альбом-Р		0,68	0,76
Выглаживание АСПК		0,1	0,79
Точение гекоавитом-Р		0,12	0,80
Механическое полирование		0,06	0,81
Точение природным алмазом		0,08	0,88

Различные технологические операции определяют характерные физико-химические свойства и геометрические характеристики поверхностного слоя, то есть приводят к различным неоднородностям на поверхности физическим, геометрическим и индуцированным. Это подтверждается и оценкой работы выхода электронов, путем измерения КРП. Изменение величины работы выхода электронов с поверхности связано с остаточными нарушениями в двойном электрическом слое, образовавшимися в процессе обработки. Характерными являются такие изменения для поверхностей из сплава АМг4 после механического полирования и обработки резцом из природного алмаза без применения СОЖ. При наличии равных значений среднего арифметического отклонения профиля шероховатости  $R_a = 0,05 \div 0,08$  мкм, эти поверхности после различных обработок имели различные значения КРП, отражательной и излучательной способностей. После алмазного точения поверхности имели отражательную способность 0,90, излучательную 0,05 и КРП 1280 мВ, а после механического полирования соответственно 0,76 - 0,78, 0,08 и 800 мВ.

Повышению отражательной способности поверхностей, обработанных точением алмазным инструментом, способствует благо-

приятное сочетание физико-химических свойств природного алмаза и обрабатываемых поверхностей, снижение интенсивности воздействия химически активных веществ при отсутствии СОЖ, что приводит к уменьшению различного рода неоднородностей.

При полировании обрабатываемая поверхность адсорбирует химически активные вещества, содержащиеся в пастах, и кислород воздуха, что оказывает влияние на развитие химико-механических явлений, сопровождающих пластическое деформирование микроступов поверхности. Процесс адсорбции интенсифицируется при механическом снятии пленок окислов с поверхности, что обеспечивается относительным изменением контакта полировальника и обрабатываемой поверхности.

При изучении фотографий, полученных на оптических и электронных микроскопах, поверхностей образцов из сплава АМг4 после точения алмазным инструментом и механического полирования обнаружены значительные различия. На полированных поверхностях, кроме следов абразивных зерен, имеется большое количество мелких точек "ряби", которые отсутствуют на поверхности, обработанной точением. Наличие "ряби", видимо, является результатом взаимодействия органических компонентов полирующих составов, абразивных зерен и обрабатываемой поверхности. На поверхности, обработанной точением алмазным инструментом, наблюдаются следы резца глубиной 0,2 мкм и шириной 60 мкм, склоны гладкие, почти отсутствуют неровности, соизмеримые с длинами волн падающего излучения. Отражение имеет зеркальный характер.

Значительные различия состояния поверхностей после точения и полирования подтверждаются и рентгенографическими исследованиями. После механического полирования абразивными составами поверхность сильно деформирована и структура поверхностного слоя может быть представлена схематически как конгломерат сильно раздробленных осколков зерен, среди которых встречаются и крупные осколки сильно деформированных зерен.

Поверхность, обработанная точением алмазным инструментом, деформирована в меньшей степени: субструктура должна иметь более крупные зерна с небольшими, в отдельных местах, включениями измельченных осколков. Меньшей степени деформации обработанной поверхности способствует более низкая теплонапряженность процесса точения алмазным инструментом по сравнению с процессом полирования.

Для определения гетерогенных веществ и других примесей, не относящихся к основному материалу, а образующихся в процессе обработки поверхности, применяли массоспектрометрический анализ.

Результаты массоспектрометрических исследований также подтверждают значительные различия физико-химических свойств поверхностных слоев после точения и полирования. Поверхности образцов покрыты сложной пленкой химических соединений, состав которой зависит от способа и условий обработки.

На поверхности образца, обработанного алмазным резцом, образуется в основном пленка окислов алюминия и магния небольшой толщины.

На поверхности после механической полировки образуется более толстая, чем на первом образце, пленка сложного химического состава, в состав которой, помимо окислов алюминия и магния, входят различные соединения объемных примесей материала образца соединения щелочных металлов, их окислы и др.

Таким образом, уменьшение отражательной способности при полировании, по сравнению с алмазным точением, вызвано более интенсивным образованием различного рода окислов и других химических соединений.

При достижении высокой отражательной способности, кроме точения алмазным инструментом и механического полирования, эффективным является выглаживание. При обработке на различных режимах может образовываться различный рисунок рельефа, не изменяющий интегральную отражательную способность поверхности.

Режимы выглаживания, радиальная сила, подача, скорость обработки зависят от ряда параметров процесса: механических свойств обрабатываемой поверхности, исходной шероховатости поверхности, способа обработки, геометрии и размеров инструмента, СОЖ. В практике выглаживания применяют подачи 0,01 - 0,10 мм/об. Как правило, чем меньше величина подачи, тем выше отражательная способность. Чрезмерно малые значения подачи менее 0,005-0,01 мм/об, а также большое число проходов могут снизить качество обработки. Окружная скорость выглаживания в диапазоне 10 - 300 м/мин. оказывает незначительное влияние на шероховатость поверхности и отражательную способность обрабатываемых деталей. При больших скоростях обработки более 300-500 м/мин ухудшается качество поверхности за счет появления цветов побежалости, что является следствием высоких контактных температур.

Таким образом, величина скорости выглаживания до 300 м/мин мало влияет на излучательные свойства деталей из алюминиевых и титановых сплавов.

Следует отметить, что увеличение радиального усилия от 12 до 20 кгс приводит к увеличению  $R_s$  от 0,43 до 0,62, а значение уменьшается незначительно с 0,15 до 0,11. Это обусловлено усилием, с которым деформирующий элемент - шар или алмазный наконечник вдавливаются в обрабатываемый материал при выглаживании. В этом случае остаточная деформация тем больше, чем больше усилие вдавливания и чем меньше сопротивление обрабатываемого материала пластическому деформированию. При малых усилиях вдавливания шара происходит сглаживание микронеровностей исходной поверхности за счет деформации вершин выступов аналогично обкатыванию; с увеличением усилия образуется ровный микрорельеф со следами невыглаженных исходных микронеровностей на участках наиболее глубоких впадин. Дальнейшее увеличение усилия виброобкатывания приводит к полному выглаживанию исходных микронеровностей и образованию полностью нового микрорельефа, высота, форма и расположение которого будут определяться не только величиной усилия, но и другими параметрами виброобкатывания.

Изменение структуры обработанной поверхности, наклона, а также появление в поверхностном слое сжимающих напряжений приводит к уменьшению количества неоднородностей поверхностного слоя и увеличению отражательной способности выглаженной поверхности.

Снижение отражательной способности и увеличение, излучательной наиболее эффективно обеспечивается при применении гидроабразивной обработки. Эффект гидроабразивной обработки зависит от толщины и других свойств окисной пленки поверхности проката и снижается при увеличении толщины этой пленки.

В таблице 3 представлены значения параметров шероховатости и отражательной способности поверхности деталей из титанового сплава ВТ6.

Таблица 3

Вид обработки	Среднее арифметическое отклонений шероховатости $R_a$ , мкм	Коэффициент отражения, $R_s$
Фрезерование эльбором	0,6	0,44
Выглаживание стальным шаром	0,1	0,51
Точение гексанитом	0,4	0,49

Фрезерование эльбором, выглаживание стальным шаром и точение гексанитом обеспечивают максимальные значения отражательной способности, как и после механического полирования, однако, их производительность выше. Кроме того, окисление поверхности происходит в меньшей степени, чем при полировании.

Механическое полирование упругих элементов из сплавов 36НХТЮ и БрБНТ 1,7 алмазными пастами АСМ 2/1 позволило увеличить коэффициент отражения с  $0,2 \div 0,24$  до 0,62 36НХТЮ

и с  $0,44 \div 0,50$  до  $0,78$  БрБНТ 1,7. Высота неровностей  $R_a$  снизилась с  $0,65$  мкм до  $0,05$  мкм. Применение абразивных составов для обработки подобных деталей из сплавов 36НХТЮ не дало положительных результатов состава на основе окиси хрома МЗ, окиси алюминия МЗ. Коэффициент отражения после обработки был ниже  $0,58 \div 0,54$ , высота неровности  $R_a$   $0,32 \div 0,48$  мкм. Это можно объяснить тем, что применение абразивных составов не обеспечивает равномерной обработки из-за резвития процесов трения при незначительном режущем-царапающем эффекте. На поверхности обрабатываемого материала формируются микронеровности, наличие которых значительно снижает отражательную способность.

Как показали исследования на электронном микроскопе, на поверхностях деталей из сплава 36НХТЮ, обработанных абразивными составами, обнаружены продолговатые углубления, которые можно объяснить повышением локальных температур в связи с плохой окисляемостью этого сплава [12].

Различие формирования поверхностного слоя, видимо, определяется разной геометрией зерен алмазных и абразивных микропорошков на уровне субмикрорельефа поверхностей граней, от которой зависит эффективность процесса резания-царапания, развитие локальных температур и др. Для микрограней алмазных зерен более характерно микрорезание, а для электрокорунда - микросмятие с локализацией и увеличением затрачиваемой энергии, возникновение на полированной поверхности кометообразных углублений.

Локальное активное контактирование абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью эффективно, как нам кажется, до тех пор, пока геометрические размеры зерен не становятся соизмеримыми с отделившимися частицами обрабатываемого металла, что в последующем приводит к потере эффекта полирования.

Полнота и форма выступов и впадин на уровне неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения, видимо, определяется в осн

образцов в процессе обработки, особенно при наличии большого количества химически активных веществ. Это обстоятельство необходимо учитывать при назначении режимов обработки деталей для получения необходимых излучательных свойств.

При термической обработке лент из сплава 36НХТЮ и БрБНТ 1,7 образуется поверхностный слой, обедненный легирующими элементами, что увеличивает геометрическую неоднородность материала окисной пленки. В дальнейшем, при электрохимическом полировании, видимо, происходит разрушение наиболее неустойчивых локальных электромагнитных полей кристаллов, поэтому выравнивание на поверхности определяется природой материала, его строением, неоднородность, величина и направленность осей структурных образований и степень локализации их электромагнитных полей, спектральная плотность их распределения, флуктуации и масштабные плотности, и другими геометрическими факторами. Поэтому мы имеем предел по сглаживанию для каждого материала при соответствующей активности электролита. На первой стадии обработки происходит структурное травление поверхностного слоя, обладающего большой геометрической неоднородностью. Интенсивность растворения более активных в электрохимическом отношении включений окисной пленки значительно выше, поэтому в начальный период происходит резкое увеличение реальной поверхности за счет увеличения пористости окисной пленки. В дальнейшем начинает растворяться основной металл и пористая часть окисной пленки отслаивается. Происходит увеличение значений фактора шероховатости – площадь реальной поверхности уменьшается.

При увеличении времени обработки может произойти снижение значений фактора шероховатости за счет уменьшения коэффициента

формы, что можно объяснить изменением геометрической формы выступов-впадин в результате более интенсивного растворения мелкодисперсной фазы.



При повышенных плотностях тока и большой продолжительности течения процесса в анодном слое может произойти нарушение соотношения скоростей диффундирования ионов с матрицы и мелкодисперсной фазы, что, видимо, и наблюдается в нашем случае.

Превышение скорости диффундирования ионов с мелкодисперсной фазы приводит к уменьшению значений фактора шероховатости. Для его повышения необходимо обеспечить стабильность процесса полирования, то есть равные скорости растворения матрицы и фазы, что достигается увеличением интенсивности отвода продуктов анодного растворения путем принудительного обновления приводного слоя.

Сравнение профилограмм показывает, что частотный состав неровностей с увеличением плотности тока и продолжительности полирования уменьшается и амплитуда снижается, а с увеличением плотности тока - при нарушении стабильности режима - частотный состав увеличивается и периодическая составляющая незначительна.

Применение электрополирования при изготовлении пружин из хромоникелевых и меднобериллиевых сплавов позволило не только уменьшить значения излучательных характеристик, но и улучшить их упругие характеристики. Так, для меднобериллиевых сплавов значение предела упругости  $\sigma_{0,002}$  увеличилось на 9 процентов.

Повышение предела упругости при электрополировании объясняется тем, что устраняются концентраторы напряжений, снижается слой с повышенными остаточными напряжениями и микродефектами, а также тем, что на поверхности оказывается слой с благоприятной тонкой структурой.

Следует отметить особенности электрохимической обработки деталей из бериллиевой бронзы.

При формировании таких деталей в процессе дисперсионного твердения происходит образование стойкой окисной пленки, а сам материал приобретает гетерогенное сочетание с мелкодисперсными включениями частиц ив интерметаллидов [13].

Для обеспечения высокой отражательной способности необходимо удалить с поверхностей деталей окисную пленку. Как показали исследования, наиболее приемлемым технологическим процессом является электрохимическое полирование. Полирование алмазными или абразивными пастами, с точки зрения достижения высокой отражательной способности поверхности, является конкурирующим методом обработки. Однако механическое полирование не обеспечивает стабильности свойств поверхности в процессе длительного хранения и эксплуатации деталей из бериллиевой бронзы.

Важным моментом процесса электрохимической обработки является удаление окисной пленки с поверхности деталей. Из-за высокой химической стойкости пленки и ее неравномерности по толщине, гетерогенности материала после термической обработки возможны дефекты поверхностной обработки. В частности, при форсированном режиме обычно происходит местное растравливание поверхности.

Для обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей из тонколистового материала предлагается проводить обработку поверхностей в две операции. Вначале, при механическом полировании, достигается удаление окисной пленки и сглаживание поверхности. Последующая электрохимическая обработка придает поверхности свойства высокой отражательной способности и ее устойчивости при последующей эксплуатации за счет пассивирующей анодной обработки.

Повышенная активность поверхности после механического полирования практически исключает возможность очистки границы раздела металл - окружающая среда от остатков обрабатываемых материалов, что заметно снижает на 4÷15 процентов ее отражательную способность. Это подтверждается и оценкой работы выхода электронов обработанных поверхностей. После электрохимического полирования она значительно ниже, чем после механического. Значение КРП, характеристики работы выхода электронов, поверхностей из сплава БрБНТ 1,7 и различных обработок, полученные по методу статического конденсатора представлены в таблице 4.

Таблица-4.

Вид обработки	КРП, мВ	Коэффициент отражения $R_s$	Коэффициент излучения $\varepsilon$
Электрическое полирование	+250 ÷ +300	0,76 ÷ 0,71	0,05 ÷ 0,06
Механическая полирование	-100	0,62	0,07
Термическая обработка на воздухе при 400°С в течение 50 мин	-180 ÷ -300	0,25 ÷ 0,27	0,18 ÷ 0,19

Корреляция между значениями КРП и отражательной способности обработанной поверхности позволяет наметить требования к технологическим методам обработки: при обработке поверхностей деталей, предназначенных для высокоотражательных систем, они должны обеспечивать минимальное количество физических, химических и индуцированных неоднородностей обработанной: при обработке деталей для противотанковых необходимо обеспечивать особенно индуцированных неоднородностей, которые могут оказать заметное влияние на изменение излучательных свойств в процессе длительного хранения и эксплуатации.

Кратковременная анодная обработка позволяет удалить загрязнение с поверхности и уменьшить площадь реальной поверхности. Максимальное значение коэффициента формы профилей шероховатости достигается после электрохимического полирования.

Применение электрохимического полирования электроконтактным способом предпочтительно ваннам. При первом более интенсивно обновляется пленка и области контакта микронеровностей тампона с микровыступами обрабатываемой поверхности. Возникающая прианодная пленка менее насыщена ионами металла и об-

ладает меньшим сопротивлением, чем при ванном способе для направленного движения ионов. Характерная особенность процесса - незначительная продолжительность жизни прианодного слоя, что позволяет интенсифицировать процесс обработки.

Обработка режимов электрохимического полирования поверхностей лент из сплава БрБНТ 1,7 с целью достижения их максимальной интегральной отражательной  $R_s$  способности позволила представить результаты эксперимента в виде эмпирической зависимости:

$$R_s = \frac{0,8}{1} - 0,335 \cdot 1,02^{-I} \cdot 1,27^{-T}.$$

Статистический анализ уравнений регрессии подтвердил соответствие интерполяционной модели физическому процессу электрохимического полирования поверхностей из меднобериллиевого сплава. В одинаковой степени на отражательную способность  $R_s$  влияет изменение плотности тока  $I$  ка 3 и продолжительности обработки  $T$ .

Результаты исследований позволили выделить при окончательной обработке высокоотражательных поверхностей: как более предпочтительные алмазное точение, выглаживание алмазным инструментом или шаром и электрохимическое полирование.

Точение и фрезерование обычным инструментом незначительно увеличивают отражательную способность обработанной поверхности и поэтому могут применяться как промежуточные или подготовительные операции. На окончательных операциях следует применять алмазный инструмент.

Механическое полирование у 20 дает отражательную способность обработанной поверхности, однако не может быть рекомендовано для ряда исследуемых сплавов в качестве операции окончательной обработки.

Если конструктивные особенности деталей не позволяют применить тонкое точение алмазным инструментом, то обрабатываемую поверхность, после механического полирования, необходимо тщательно обезжирить или применить анодную обработку для создания

на поверхности плотной однородной анодной пленки, снижающей в процессе длительного хранения и эксплуатации, интенсивность изменения излучательных свойств.

Изучение процессов выглаживания алюминиевых сплавов алмазным наконечником, алюминиевых и титановых сплавов шаром позволило их рекомендовать на окончательных операциях, так как эти методы обеспечивают минимальное наличие адсорбентов на границе раздела металл-окружающая среда.

Для диффузных поверхностей наиболее четкая корреляция шероховатости и отражательной способности будет наблюдаться у характеристики степени искажения формы микронеровностей, соизмеримых с длинами волн издающего получения.

$$F = 1 - \frac{R_a}{2H_{i \min}}$$

Обработка органическими растворителями перед травлением интенсифицирует процесс с образованием неровностей, соизмеримых с длинами волн падающего излучения. Следует отметить, что после химического воздействия на поверхность оценка шероховатости и формы микронеровностей контактными методами затруднена и не дает достоверных результатов, что подтверждается исследованием топографии на оптических и электронных микроскопах. Дешифрирование электронных снимков и изучение излучательных свойств поверхностей подтверждает наличие окисной пленки на поверхности с очень низкой плотностью распределения материала. Структурные ее элементы имеют резко выраженный анизотропный характер распределения плотности веществ 21

Существенным недостатком поверхностей из бериллиевых бронз является их потускнение при хранении в атмосферных условиях. Для повышения стабильности свойств применяют различные ингибированные среды. Нами было изучено воздействие таких сред. Это один из аффективных способов воздействия на поверхность путем создания управляемой границы раздела металл - окружающая среда. Мы провели испытания легкоъемных ингибированных по-

крытий АБЦ-2, АБЦ-3, АБЦ-4 и АБЦ-7, различные системы на основе ацетобутирата целлюлозы- разработки МГПИ и И-И-Е /Ярославского НИИМСК/. Значение коэффициентов поглощения  $A_s$  и излучение  $\varepsilon$  поверхности образцов из сплава БрБНТ 1,7 после хранения в различных ингибированных средах представлены в таблице 5.

Таблица 5

Название покрытия (ингибированная среда)	Исходный		После хранения		Сроки хранения, сутки
	$A_s$	$\varepsilon$	$A_s$	$\varepsilon$	
ИФХАН - I	0,61	0,07	0,61	0,08	90
	0,53	0,08	0,56	0,08	120
	0,53	0,07	0,6	0,1	150
И-И-Е	0,53	0,06	0,58	0,06	90
	0,46	0,08	0,61	0,09	120
	0,48	0,07	0,6	0,08	150
	0,47	0,05	0,63	0,08	180
АБЦ-3	0,48	0,06	0,49	0,07	30
	0,45	0,08	0,49	0,08	60
	0,46	0,07	0,5	0,08	90
АБЦ-4	0,24	0,05	0,28	0,09	90
	0,24	0,06	0,27	0,07	120
	0,24	0,05	0,26	0,09	160
1	2	3	4	5	6
АБЦ-7	0,22	0,05	0,25	0,09	120
	0,23	0,05	0,24	0,06	150
	0,24	0,22	0,28	0,07	180
АБЦ-2	0,23	0,05	0,24	0,05	150
	0,23	0,06	0,27	0,06	180
	0,23	0,06	0,28	0,06	210

После снятия покрытий, при визуальном осмотре по всей поверхности были обнаружены пятна окислов, имеющие островковый характер. Интенсивнее окислилась поверхность в присутствии инги-

битора коррозии И-И-В. Из ингибированных сред лучшими являются легкоъемные ингибированные покрытия ЗИП-2ПУ - ингибированная многокомпонентная система на основе этилцеллюлозы и Лак-Л, изготовленный из лака ХС-567 и модифицированный пластификатором и ингибитором коррозии - разработки МГПИ.

Технологические рекомендации и результаты исследований нашли отражение и реализованы при изготовлении реальных деталей с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что дало значительный технико-экономический эффект.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXV съезда КПСС. М. Политиздат, 1976.
2. Доводка прецизионных деталей машин./Под ред. Г.М.Ипполитова, М., Машиностроение, 1978.
3. Технологические методы повышения качества поверхностей деталей машин. Л., Изд-во при ЛГУ, 1978.
4. Соколов А.В. Оптические свойства металлов. М.,Фиапатгив, 1961.
5. Назаров Ю.Ф., Шкурупий В.Г., Рахштадт А.Г., Колоскова Е.К., Свойства упругих элементов из пружинных материалов.МИТОМ, 1978, №6.
6. Шкурупий В.Г. Особенности анализа шероховатости отражающих поверхностей. Киев, Знание, 1977, с. 7.
7. Шкурупий В.Г., Назаров Ю.Ф., Колоскова Е.К. Эксплуатационные свойства деталей после абразивной обработки., 1976, с. 138-140;
8. Хрульков В.А., Головань А.Я., Федотов А.И. Алмазные инструменты в прецизионном приборостроении, "Машиностроение", 1977.
9. Шнейдер Ю.Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л., "Машиностроение", 1972.

10. Дудко П.Д., Невлюдов И.Ш., Назаров Ю.Ф. Эффективность применения алмазных паст при обработке прецизионных деталей. Тезисы международной конференции. Киев, 1971.
11. Поверхностные свойства твердых тел./Под ред. Грина . М., "Мир", 1972.
12. Шкурупий В.Г. Светопоглощательная способность поверхностей после полирования алмазно-абразивными пастами. Алмазы и сверхтвердые материалы 1978, №10.
13. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы. М., "Металлургия", 1972.

24

### Содержание

Введение	3
<u>Особенности финишных методов обработки деталей машин</u>	<u>4</u>

----- <u>Контроль обработанных поверхностей</u> -----	5
----- <u>Совершенствование процессов финишной обработки</u> <u>металлических поверхностей</u> -----	6
Литература	23

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

Валентин Григорьевич Шкуруй,  
Петр Дмитриевич Дудко,  
Юрий Федорович Назаров

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНИШНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Материал подготовлен Республиканским  
Домом экономической и  
научно-технической пропаганды

Ответственный за выпуск Л.Г.Бурлачук  
Научный редактор И.В.Романов  
Редактор И.Н.Западовский  
Корректор Н.П.Фасенко

Подписано к печати 27.07.1979  
БФ 01371 Заказ 2206 Тираж 170 Объем I УЧ.-ИЗД,  
РДАНТП, Киев, бульвар Шевченко, 16

Цена 5 коп.