

УДК 621.9

**Ф.В. Новиков, проф., д-р техн. наук,**

**В.Г. Шкурупий, доц., канд. техн. наук**

*Харьковский национальный экономический университет*

*пр. Ленина 9а, г. Харьков, Украина, 61001*

[fokusnic1@rambler.ru](mailto:fokusnic1@rambler.ru) [kaftech@hneu.edu.ua](mailto:kaftech@hneu.edu.ua)

## **АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА – ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТАЛЕЙ**

**Введение и постановка проблемы.** Рабочие поверхности алюминиевых подложек электронных приборов, деталей адаптивной оптики и гироскопических устройств должны иметь нанометрические размеры неровностей на поверхности. Поэтому проблема эффективного применения абразивной обработки, обеспечивающей необходимые параметры поверхностного слоя деталей, является весьма актуальной.

Бурное развитие космической лазерной техники, гелиотехники поставило перед машиностроением ряд новых задач, связанных с обеспечением таких важнейших эксплуатационных свойств деталей машин, как способность отражать (поглощать) электромагнитные волны оптического диапазона спектра излучения Солнца. Эти детали нашли широкое применение в конструкциях космических аппаратов, лазерной техники, в отражателях различных гелиосистем [1 – 3]. Решение задач терморегулирования летательных аппаратов при их эксплуатации требует разработки технологического обеспечения поверхностей деталей заданной поглощательной и излучательной способностью.

К группе деталей, для которых актуальны вопросы технологического обеспечения высокой отражательной способности, относятся зеркала лазерных установок. Такие зеркала изготавливают из меди и ее сплавов, молибдена, бериллиевых и других сплавов. Зеркала могут быть плоскими, сферическими, вогнутыми и достигать размеров 1000 мм и более. В связи с этим представляются важными и актуальными вопросы их абразивной обработки с обеспечением требуемых показателей качества поверхностного слоя и в первую очередь шероховатости обработанных поверхностей. Исследования проводились в рамках тематического плана работ Харьковского национального экономического университета.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Работы [4 – 6] посвящены повышению эксплуатационных характеристик деталей технологическими методами. Достижению минимальной шероховатости поверхности посвящены работы Гребенщикова И. В., Орлова П. Н., Федотова А. И. и др. Однако, лишь в некоторых работах обращается внимание на необходимость сглаживания поверхностного слоя детали с целью повышения отражательной способности. Установлено, что наибольший эффект сглаживания достигается при абразивном полировании. При этом основное влияние на съем металла и на формирование поверхностного слоя полированных деталей оказывают абразивные материалы. Чем выше абразивная способность микропорошков, тем интенсивнее съем материала и выше качество поверхностного слоя обрабатываемых деталей. Вместе с тем, все возрастающие требования к показателям шероховатости поверхности ответственных деталей с оптическими характеристиками предопределяют необходимость поиска новых технологических решений, связанных с научно обоснованным выбором эффективных методов и условий абразивной обработки. Поэтому настоящая статья посвящена вопросам технологического обеспечения сглаживания неровностей поверхности для достижения весьма малых значений высотных параметров шероховатости поверхности деталей в связи с их оптическими свойствами.

**Цель работы.** Обоснование условий существенного уменьшения шероховатости поверхности при абразивной обработке деталей с оптическими характеристиками.

**Результаты исследований.** На основании анализа работ в области абразивной обработки разработана классификация способов обработки свободными абразивами по характеру воздействия абразивной частицы (рисунок 1).

Способы обработки свободными абразивами разработаны сравнительно недавно и изучены в меньшей мере по сравнению с методами обработки закрепленным абразивом. При этом нормативы выбора режимов обработки практически отсутствуют, а практические рекомендации противоречивы.

Абразивное полирование является наиболее изученным и широко распространенным способом обработки незакрепленными абразивными частицами. Абразивные частицы удерживаются полировальником, который обеспечивает направленное перемещение рабочей среды. Существуют рекомендации по выбору материалов для полировальника, выбору абразивных частиц для рабочего состава, выбору поверхностно-активных веществ, выбору режимов обработки, однако эти данные не систематизированы и не всегда находят практическое применение. Сущность способа заключается в механическом воздействии на обрабатываемую поверхность шаржированных в полировальник и перекатывающихся зерен, осуществляющих микрорезание, царапание и поверхностное микропластическое деформирование.

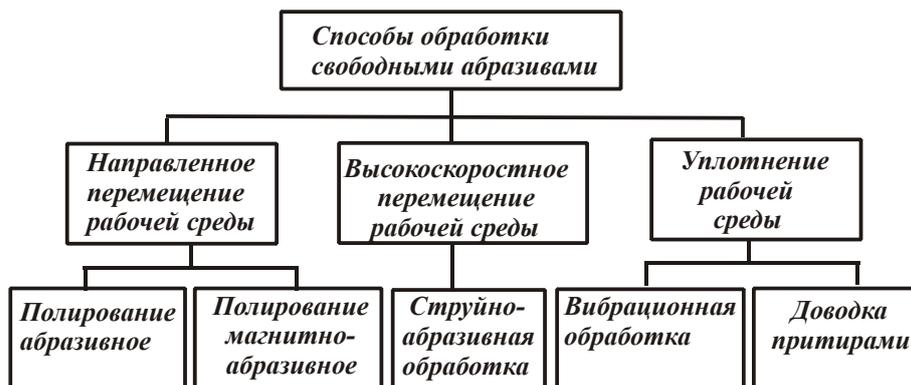


Рисунок 1 – Классификация способов обработки свободными абразивами по характеру воздействия абразивной частицы

Особое место среди полировальников занимают композиционные полировальники, а также полировальники из замши, которые в настоящее время нашли наибольшее применение для обработки лазерных зеркал, магнитных дисков, подложек микросхем. Композиционные полировальники на смоляной основе могут обеспечить хорошее качество поверхности при длительной полировке абразивными суспензиями, так как их поверхностный слой быстро насыщается шаржированными частицами абразива и практически мало изнашивается, они легко принимают требуемую форму.

Основные требования, предъявляемые к полировальникам: высокая износостойкость; оптимальный модуль упругости материала; оптимальная текстура, обеспечивающая хорошее закрепление абразивных зерен и их подачу в зону обработки; оптимальная толщина, обеспечивающая необходимую форму обрабатываемой поверхности и ее физико-химические свойства; стойкость к агрессивным полирующим составам.

При полировании незакрепленным абразивом поверхностей деталей с высокой отражательной способностью применяют различные полировальники, например, из технической шерсти, фторопласта, полихлорвинила или пеко-канифольной смолы. Основными методами, обеспечивающими снижение эффекта шаржирования, является применение смоляных полировальников и повышение качества поверхности при предварительной обработке лезвийными инструментами. При этом целесообразно использовать фракции абразива 5/3 и 3/2.

Работа предварительно шаржированными полировальниками позволяет уменьшить количество внедренных в изделие частиц. Однако этот способ обработки характеризуется меньшей производительностью, чем способ обработки свободным абразивом, который позволяет несколько уменьшить шаржирование соответствующим подбором технологических режимов полирования (уменьшение давления и выбор свойств смоляного полировальника и концентрации абразива, приготовление смолы). Уменьшить шаржирование можно применением «узко классифицированных» абразивных порошков, а также их овализацией, так как содержание основной фракции в поставляемых промышленностью алмазных порошках составляет 60 или 35% измельченной и 5% укрупненной части фракции. Наличие укрупненной фракции ведет к царапанию обрабатываемой поверхности, а измельчение - к шаржированию. Следует отметить, что фракции алмазного порошка размером 1 мкм и менее легко агрегируются, что также повышает возможность увеличения шаржирования.

Для повышения равномерности абразивных фракций используют методы замораживания суспензии после центрифугирования применением виброщелевых измельчителей. Применение таких измельчителей позволяет получать узкие тонкоизмельченные фракции состава от 2/1 до 0,1/0 мкм. Значительный эффект можно достичь за счет овализации абразивных порошков, например термическим или другими методами [3]. При термическом методе происходит выгорание мелкой фракции, закрепление узлов в основной фракции, а также сгорание примесей, содержащихся в порошках.

Уникальными свойствами обладают абразивные порошки, полученные газодисперсным синтезом. Они обладают следующими преимуществами по сравнению с выпускаемыми промышленностью и полученными другими методами овализации:

1. Минимальной величиной фракции (около 0,01 мкм).
2. Равномерностью фракции (от 0,07 до 1,04 мкм).
3. Сферической формой абразива.
4. Наличием окиси алюминия ( $Al_2O_3$ ) до 99,9%.

Технология получения этих абразивов позволяет изготавливать их из отходов промышленности одновременно с обеспечением экологической чистоты. Кроме того, одним из методов, позволяющим избежать шаржирования поверхности, а также уменьшить толщину оксидной пленки является использование полирования по схеме, приведенной на рисунке 2 (условные обозначения: 1 – нагрузка; 2 – полиуретановый круг; 3 – обработанная поверхность; 4 – подача по оси Z; 5 – деталь; 6 – водная суспензия

на основе ультрадисперсного порошка; 7 – взвесь (вода и частицы металла); 8 – поверхность детали до обработки).

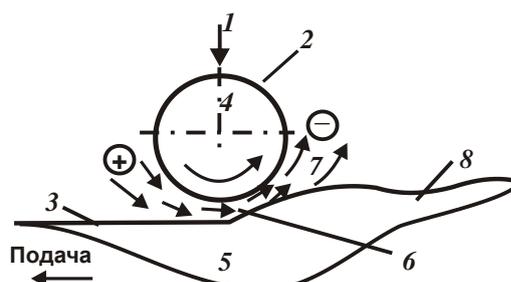


Рисунок 2 – Схема полирования суспензией на основе ультрадисперсного порошка

При обработке использовали неабразивную составляющую в виде дистиллированной воды с концентрацией абразива (на одну часть абразива – четыре части дистиллированной воды). Добавки поверхностно-активных веществ позволят улучшить характеристики поверхности. В процессе такой обработки изломы в кристаллических зонах, расположенных между дефектами, становятся эластичными и могут разрушить идеальные связи между атомами. Минимальный участок излома может иметь размеры порядка размера атома.

Проведенное исследование имеет целью реализовать сверхпрецизионную эластичную эмиссионную обработку с программным управлением, с помощью которой можно легко выполнять отделку поверхностей произвольной формы с помощью единого устройства.

Вращающийся полиуретановый круг (рисунок 2) находится в среде взвеси на некотором расстоянии от поверхности детали. Между ними создается состояние жидкой смазки. Сверхмелкие частицы абразива и металла захватываются потоком жидкости и ударяют по обрабатываемой поверхности, благодаря чему обеспечивается сьем материала. Обработка всей поверхности происходит в результате движения подачи вращающегося круга.



Рисунок 3 – Схема управления процессом формообразования поверхностных слоев деталей

Для наноабразивной обработки разработаны технологические среды на основе ультрадисперсных абразивов оксида алюминия (УДА), которые получают газодисперсным синтезом (ГДС), суть которого заключается в синтезе УДА в зоне горения ламинарного двухфазного факела газозвесей металлических порошков в кислородосодержащем газе. При этом реализуются возможности системы металл-кислород и достигаются высокие температуры, необходимые для синтеза оксидов металлов за счет тепловыделения от собственных химических реакций. Частицы УДА имеют сферическую форму диаметром около 100 нм. Сглаживающий эффект, который оказывает абразивная суспензия с наличием сферического абразива,

позволяет уменьшить резание-царапание поверхности и перейти к эффекту микровыкатывания, обеспечивая тем самым высоту шероховатости 5-3 нм.

Система ЧПУ позволяет периодически давать команду на остановку подачи (рисунок 3). Причем, время остановки в каждой точке (X, Y) автоматически изменяется в соответствии с требуемой величиной съема материала. При этом возможны два варианта сопоставления с эталоном: первый приведен на рисунке 4, а второй заключается в сопоставлении по профилю шероховатости поверхности в координатах X и Y [7]. Зная значение  $V_{ц.т.2э}$  условного центра тяжести профиля шероховатости поверхности эталона, его сопоставляют с текущим значением  $V_{ц.т.1д}$  обработанной поверхности. При этом должно выполняться условие  $(V_{ц.т.1д} - V_{ц.т.2э})_{i-1} > (V_{ц.т.1д} - V_{ц.т.2э})_i \rightarrow 0$ .

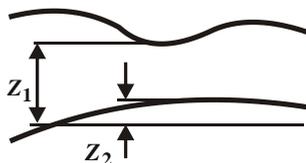


Рисунок 4 – Схема сопоставления с эталоном

При обработке поверхностей свободные электроны при нарушении кристаллической решетки в граничном слое выходят на поверхность и образуют так называемый двойной электрический слой, который и определяет свойства (проводимость) верхнего граничного слоя. Причем, наличие двойного электрического слоя определяет и процессы окисления на поверхности металла, т.е. образование пленок неметаллической проводимости, от которых и зависят свойства верхнего граничного слоя металлической поверхности. Они могут быть значительно больше по толщине, чем высота шероховатости обрабатываемой поверхности (рисунок 5). Эти изменения на поверхности можно количественно оценить с помощью измерения работы выхода электрона, которая определяет величину работы по перемещению электронов на поверхности металла.

При установлении взаимосвязей в качестве геометрических параметров были выбраны регламентированные ГОСТом параметры шероховатости и предложенный в работе [7] критерий шероховатости  $F$ . В качестве параметров физико-химического состояния обработанной поверхности приняты: структура, фазовое состояние, химический состав фаз и толщина неметаллической пленки.

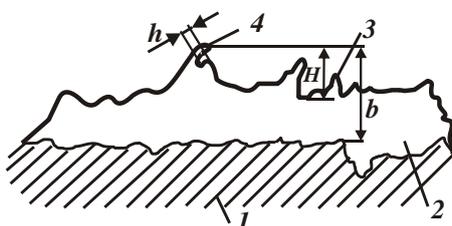


Рисунок 5 – Параметры граничного слоя металлической поверхности: 1 – деталь; 2 – неметаллическая пленка; 3 – микронеровность; 4 – субмикронеровность;  $h$  и  $H$  – высоты соответственно микронеровности и субмикронеровности;  $b$  – средняя толщина неметаллической пленки

Интегральными параметрами для контроля качества обработки приняты: для геометрических характеристик – критерий шероховатости поверхности  $F$ , для физико-химических – величина работы выхода электрона (РВЭ). Исследования показали, что величина РВЭ может оценивать любое изменение физико-химического состояния в результате обработки поверхности [7].

Частицы ультрадисперсных абразивов оксида алюминия (УДА) имеют сферическую форму диаметром около 100 нм. Сглаживающий эффект, который оказывает абразивная суспензия с наличием сферического абразива, позволяет уменьшить резание-царапание поверхности и перейти к эффекту микровыкатывания. Как установлено экспериментально, при этом обеспечивается высота шероховатости на уровне 5–3 нм.

**Выводы.** 1. Применяемые в промышленности процессы абразивной обработки и практические рекомендации по их эффективному использованию не обеспечивают требуемого сглаживания неровностей поверхности и достижения весьма малых значений высотных параметров шероховатости поверхности деталей с оптическими характеристиками.

2. Перспективными направлениями дальнейшего развития абразивной обработки с целью достижения сверхгладких поверхностей деталей с оптическими характеристиками следует рассматривать метрологическое обеспечение контроля качества обработки, выбор соответствующей технологической среды и разработка системы управления процессом формообразования поверхностных слоев деталей.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Елисеев А. С. Техника космических полетов. М.: Машиностроение, 1983. – 312 с.

2. Инженерный справочник по космической технике /Алатырцев В.А., Алексеев А.И., Байков М.А. и др. – М.: МО СССР, 1977. – С.142.
3. Космическое оружие: дилемма безопасности. /Арбатов А.Г., Васильев А.А., Велихов Е.П. и др.– М.: Мир, 1986. – 182 с.
4. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / Э.В. Рыжов. – К.: Наук. думка, 1984. – 272 с.
5. Ящерицын П.И. Технологическая наследственность в машиностроении / П.И. Ящерицын, Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – Минск: Наука и техника, 1977. – 240 с.
6. Сулима А.М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных титановых сплавов / А.М. Сулима, М.И. Евстигнеев. – М.: Машиностроение, 1974. – 256 с.
7. Шкурупій В.Г. Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / В.Г. Шкурупій . – Одеса, 2006. – 21 с.

***Поступила в редакцію 15.03.2013г.***