

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Шкурупий В. Г.**, канд. техн. наук  
(Харьковский национальный экономический университет)

*В статье рассматриваются технологические возможности метода обработки свободным абразивом по сглаживанию шероховатости поверхности в процессе обработки*

**Введение и постановка задачи.** Обеспечение высокой эффективности производства возможно путем разработки и внедрения новых технологических процессов обработки. В настоящее время известно, что шероховатость поверхности ответственных деталей оказывает существенное влияние на эксплуатационные свойства готовых изделий. Требуемые значения параметров шероховатости поверхности обеспечиваются на финишных операциях обработки. Для этого существует большое количество способов обработки [1,2]. Из физических методов наибольшее распространение получила абразивная обработка. Ее подразделяют на обработку связанным абразивом (шлифование, хонингование, обработка лентами, лепестковыми кругами и др.) и свободным абразивом.

Для обобщения результатов проводимых исследований необходимо разработать классификацию способов обработки свободными абразивами. Существенным недостатком процесса обработки, закрепленным абразивом, является невозможность обработки сложных по форме пространственных поверхностей деталей. Первое направление достаточно хорошо изучено, имеется большое количество рекомендаций по их применению, чего не скажешь о втором направлении. Рекомендации здесь иногда противоречивы, что затрудняет их использование при обработке. Разработано большое количество схем обработки и реализовано ряд способов обработки свободным абразивом. Учитывая широкие технологические возможности и большое количество технологических параметров, можно классифицировать рассматриваемые способы по характеру воздействия абразивных частиц на поверхность обрабатываемой детали.

**Цель работы** – разработка рекомендаций по выбору способа обработки для сглаживания поверхностного слоя в процессе обработки.

**Материалы исследований.** На основании анализа работ в области абразивной обработки разработана классификация способов обработки (рис.1).

Способы обработки свободными абразивами разработаны сравнительно недавно и изучены менее, чем методы обработки закрепленным абразивом. Нормативы выбора режимов обработки практически отсутствуют, а рекомендации противоречивы. Рассмотрим физико-технологические особенности этих способов обработки. Абразивное полирование давно известный и широко распространенный способ 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.



Рис.1. Классификация способов обработки свободными абразивами по характеру воздействия абразивной частицы.

Вкратце о существующем технологическом оснащении способов обработки свободным абразивом (в соответствии с классификацией, рис.1).

Направленное перемещение рабочей среды осуществляется при магнитно-абразивной обработке. Сущность способа магнитно-абразивного полирования, при обработке по схеме с механическим приводом, заключается в том, что обрабатываемой поверхности детали или порошку с магнитными и абразивными свойствами, помещенным в магнитное поле, сообщают принудительное движение относительно друг друга. Съем металла осуществляется в результате силового воздействия порошка на поверхность детали и указанных относительных движений. Принципиальная схема обработки приведена на рис. 2.

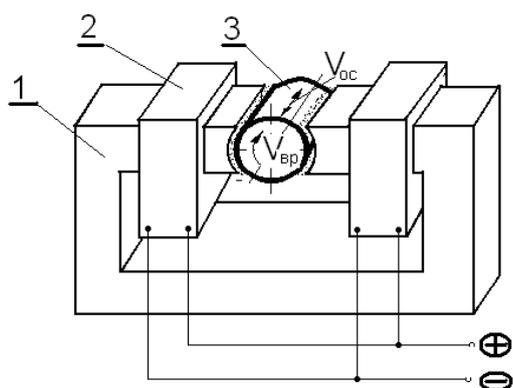


Рис. 2. Схема магнитно-абразивного полирования цилиндрической поверхности: 1 – магнитопровод; 2 – катушка электромагнита; 3 – деталь.

Особенность способа, предложенного в работе [1], применение пульсирующего магнитного поля, радиальное относительно оси расположения полюсов и осцилляция детали вдоль оси. Обрабатываемая деталь помещается между полюсными наконечниками элект-

ромагнита. Деталь совершает осевое и вращательное движение. Съем металла осуществляется в результате силового воздействия порошка на поверхность детали и указанных относительных движений. Принципиальная схема обработки приведена на рис. 2.

ромагнита с некоторыми зазорами, в которые подается порошок, обладающий магнитными и абразивными свойствами. Механическим приводом сообщается детали вращательное и осциллирующее вдоль оси движение. Силами магнитного поля зерна порошка удерживаются в рабочих зазорах, прижимаются к поверхности детали и производят ее обработку. В рабочие зазоры подается технологическая жидкость.

Технологические факторы: величина магнитной индукции в рабочем зазоре, материалы магнитно-абразивного порошка и обрабатываемой детали, величина рабочего зазора, скорость относительного движения порошка и детали, наличие вспомогательного рабочего движения (движения осцилляции), состояние исходной поверхности (физико-механические свойства и микрогеометрические характеристики), наличие и вид технологической жидкости, размеры зерен порошка.

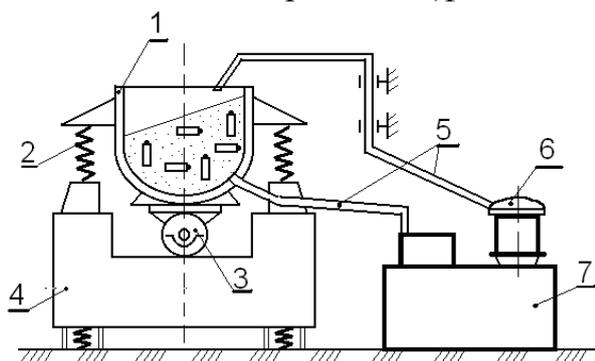


Рис. 3. Схема процесса вибрационной обработки: 1 – рабочая камера; 2 – пружины; 3 – вибратор; 4 – основание; 5 – шланги для подачи и слива технологической жидкости; 6 – насос; 7 – бак для отстоя жидкости.

Одним из распространенных способов является вибрационная обработка. Вибрационная обработка в зависимости от характера применяемой рабочей среды представляет собой механический или химико-механический процесс съема мельчайших частиц металла и его окислов с обрабатываемой поверхности, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими в процессе работы колебательное движение (рис. 3).

Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру, заполненную рабочей средой с абразивными частицами. Рабочая камера, установленная на упругой подвеске, может колебаться в различных направлениях (рис.3). Привод рабочей камеры получает от инерционного вибратора с частотой до 50 Гц и амплитудой от 0,5 до 6 – 8 мм. В процессе обработки детали и частицы рабочей среды относительно перемещаются, совершая два вида движений: колебания и медленное вращение всей массы загрузки (циркуляционное движение). От стенок рабочей камеры вибрация передается прилегающим слоям рабочей среды, которые сообщают ее следующим слоям и т.д. В процессе обработки детали занимают различные положения в рабочей среде, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей. Большое количество воздействий частиц, действующих на обрабатываемую деталь одновременно в различных направлениях, способствует в некоторой степени удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая грубые забоины и повреждения. Это позволяет обрабатывать детали малой жесткости. В результате циркуляции обработка происходит во всех зонах рабочей камеры, наиболее эффективно около дна камеры, где давление рабочей среды выше.

Большинство операций производится с непрерывной или периодической подачей технологической жидкости, что обеспечивает удаление продуктов из-

Большинство операций производится с непрерывной или периодической подачей технологической жидкости, что обеспечивает удаление продуктов из-

носа (частиц металла и абразива) с поверхности деталей и частиц рабочей среды, смачивает детали и среду, помогает их разделению и равномерному распределению деталей в рабочей среде, способствует охлаждению обрабатываемых деталей. Конструкции вибрационных станков позволяют применять различные сочетания твердых, жидких и смешанных компонентов рабочих сред. Это создает условия протекания химических и электрохимических процессов.

Основными технологическими факторами являются амплитуда и частота колебаний, характеристики рабочей среды, материала деталей и время обработки.

Особенности вибрационной обработки – одновременная обработка большого количества деталей без закрепления, возможность обработки деталей различных размеров, возможность обработки деталей малой жесткости. Обработка производится в основном в пределах профиля исходной шероховатости, т.е. является "безразмерной", однако при необходимости удаления дефектного слоя можно снимать большой припуск за счет увеличения времени обработки.

Способ объемной центробежно-ротационной обработки заключается в том, что абразивная обрабатывающая среда и детали приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что приобретают форму тора, в котором частицы движутся по спиральным траекториям. Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры станка (рис. 4), состоящей из неподвижной обечайки и примыкающего к ней вращающегося ротора, имеющего в наиболее распространенном варианте форму тарелки.

Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру и перемещаются вместе с рабочей средой. Съем металла осуществляется за счет относительного перемещения и взаимодействия абразивных частиц и деталей, смачиваемых жидкостью, непрерывно подаваемой в рабочую камеру. Таким образом, могут обрабатываться детали различной геометрической формы, имеющие достаточную жесткость, чтобы не деформироваться в тороидальном винтовом потоке. Обработка является "безразмерной".

Высокую интенсивность обработки получают за счет больших скоростей перемещения компонентов тороидального винтового потока. Свободное перемещение и циркуляция деталей в потоке способствуют их равномерной обработке. Технологическая жидкость обеспечивает удаление стружки и шлама с поверхности деталей и частиц рабочей среды, смачивает их, способствует охлаждению обрабатываемых деталей.

Технологическими факторами являются скорость вращения ротора и продолжительность обработки, размеры частиц рабочей среды, объем рабочей камеры, механические свойства материала обрабатываемых деталей. Конструкция станков позволяет применять различные сочетания твердых и жидких компонентов, создавать условия для протекания химических и электрохимических процессов.

Особенности обработки - высокая интенсивность процесса, повышенный износ рабочей среды, одновременная обработка партии деталей, обработка деталей небольших размеров, возможность деформации деталей малой жесткости.

Способ струйно-абразивной обработки заключается в использовании эффекта удара частиц обрабатывающего материала об обрабатываемую поверхность. Физическая картина процесса аналогична изнашиванию материалов,

находящихся под действием потока частиц. При этом, кроме съема металла с поверхности, наблюдается ее упрочнение и изменение шероховатости, а в тонких поверхностных слоях возникают остаточные напряжения сжатия.

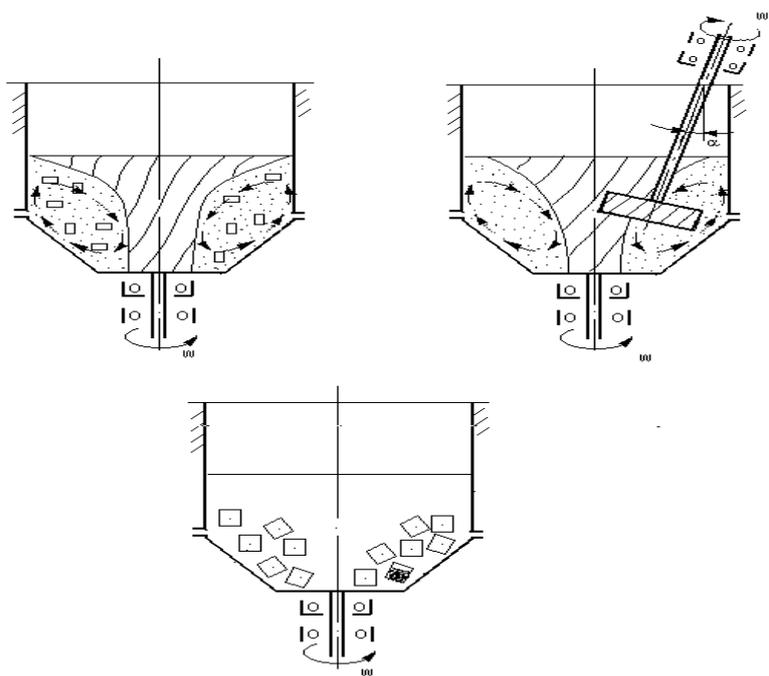


Рис. 4. Схема процесса центробежно-ротационной обработки.

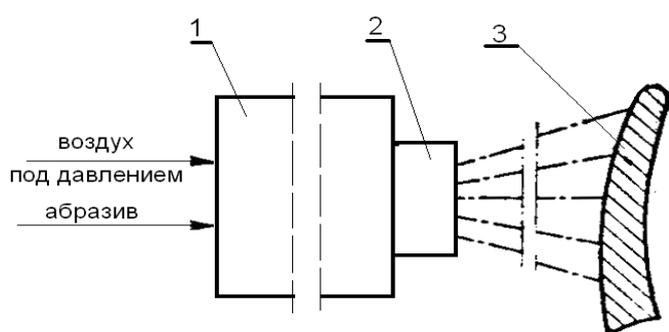


Рис. 5. Принципиальная схема струйно-абразивной обработки.

Принципиальная схема приведена на рис. 5. Перемешанные с жидкостью и соответствующими антикоррозийными присадками частицы абразивного материала поступают в струйный аппарат, где посредством энергии сжатого воздуха разгоняются до скорости 100 – 200 м/с и распыляются соплом в виде струи. Последняя, направляется на деталь, обрабатывает ее при соударении с поверхностью.

Основными технологическими факторами, влияющими на результаты обработки, являются: давление сжатого воздуха, вид абразивного материала и его зернистость, концентрация и состав суспензии, угол атаки струи, длина струи и время обработки. На эффективность процесса влияет также и конструкция струйного аппарата. Производительность обработки и качество обработанной поверхности зависят от вышеуказанных факторов, а также от исходного состояния обрабатываемой поверхности (шероховатости, механических свойств). Обработка также является "безразмерной".

Особенности струйно-абразивной обработки – обработка одной или нескольких закрепленных деталей, необходимость перемещения сопла вдоль детали, обработка деталей различных размеров, необходимость устройства для сбора и возврата в струйный аппарат абразивных частиц.

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 заготовок: деталей с высокой отражательной способностью применяют различные полировальники, например, из технической шерсти, фторопласта, полихлорвинила или пекоканифольной смолы. Одним из методов снижения эффектов шаржирования является применение смоляных полировальников, а также повышения качества поверхности при предварительной обработке лезвийным инструментом. При этом можно использовать фракции 5/3 и 3/2 из технологического маршрута и при последующем полировании снизить эффект шаржирования.

Работа предварительно шаржированными полировальниками позволяет уменьшить количество внедренных в изделие частиц, но этот способ имеет меньшую производительность, чем метод свободного абразива. В то же время метод свободного абразива позволяет несколько уменьшить шаржирование соответствующим подбором технологических режимов полирования (уменьшение давления и выбор свойств смоляного полировальника, концентрация 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 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 виброшелевых измельчителей. Применение таких измельчителей позволяет получать узкие тонкоизмельченные фракции состава от 2/1 до 0,1/0 мкм. Хороший эффект может дать применение овализирования абразивных порошков, например термическим или другими методами [3]. При термическом методе происходит выгорание мелкой фракции, закрепление узлов у основной фракции, а также стокание примесей, содержащихся в порошках.

Уникальными свойствами обладают абразивные порошки, полученные газодисперсным синтезом. Они обладают следующими преимуществами перед 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 данных абразивов позволяет изготавливать их из отходов промышленности непрерывно с экологической чистотой. Кроме этого, одним из методов, позволяющих избежать шаржирования поверхности, а также уменьшить толщину оксидной пленки, является использование полирования по схеме, приведенной на рис. 6. При обработке использовали неабразивную составляющую в виде дистиллированной воды с концентрацией абразива. Его соотношение на одну часть абразива четыре части дистиллированной воды. Добавки поверхностно-активных веществ в виде Аэросила могут дать улучшенные 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.



Рис. 6. Схема полирования суспензией на основе ультрадисперсного порошка.

1 – груз; 2 – полиуретановая сфера; 3 – обработанная поверхность; 4 – подача по оси Z; 5 – деталь; 6 – состояние жидкой смазки (контакт отсутствует); 7 – взвесь (вода и частицы металла); 8 – поверхность детали до обработки.

Вращающаяся сфера из полиуретановой резины находится в среде взвеси на некотором расстоянии от поверхности детали. Между ними создается состояние жидкой смазки. Сверхмелкие частицы металла захватываются потоком жидкости и ударяют по обрабатываемой поверхности, благодаря чему обеспечивается съем материала. Обработка всей поверхности происходит благодаря движению подачи вращающейся сферы.

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 металличе-

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.

На рис. 6 показана схема эластичной эмиссионной обработки, где обозначено: 1 – груз; 2 – полиуретановая сфера; 3 – обработанная поверхность; 4 – подача по

ских порошков в кислородосодержащем газе. При этом полностью 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 и тем самым обеспечивает высоту шероховатости 5 -3 нм.

**Выводы.** 1. Действующие в промышленности процессы абразивной обработки не могут быть использованы в таком виде для достижения очень малых значений высотных параметров шероховатости поверхности деталей.

2. Основные направления перспективного развития абразивной обработки для достижения сверхгладких поверхностей, на наш взгляд, есть: метрологическое обеспечение контроля качества обработки, выбор соответствующей технологической среды и разработка системы управления процессом формообразования поверхностных слоев деталей, которые обрабатываются.

### **Список литературы**

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов [Текст] / Ю.М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1988. – 176 с.
2. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей [Текст] / А.П. Бабичев. – М.: Машиностроение, 1974. – 134 с.
3. Кузаконь В.М. Исследование центробежного метода обработки деталей свободным абразивом и определение оптимальных технологических режимов и параметров оборудования: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 [Текст]/ В.М. Кузаконь. – Одесса, 1977. – 260 с.
4. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин [Текст] / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 177 с.

### **Анотація**

#### **Шляхи зниження шорсткості поверхні деталей машин**

В статті розглядаються технологічні можливості методу обробки вільним абразивом по згладжуванню шорсткості поверхонь в процесі обробки

### **Abstract**

#### **Ways to reduce the surface roughness of machine parts**

This article considers the technological possibilities of lasy abrasive processing method to smooth a rough surface