

*СЕКЦИЯ № 5*

**Инновационное технологическое  
обеспечение качества деталей машин**

### **Моделирование шлифовальных брусков соосного инструмента с радиально-подвижными сегментами**

Моделирование шлифовальных брусков является первым и определяющим этапом при разработке теоретических основ процесса внутреннего шлифования инструментом с радиально-подвижными сегментами работающих по схеме [1].

Соосный шлифовальный инструмент состоит из двух и более шлифовальных брусков установленных в металлические обоймы и перемещающиеся в радиальном направлении под действием центробежных сил при вращении инструмента. Таким образом, суммарная площадь контакта рабочей поверхности инструмента в десятки раз больше чем при классическом шлифовании. В настоящий момент существует множество методик определения количества активных (режущих) зерен шлифовального инструмента. Однако учесть все факторы и приблизить модель к реальной рабочей поверхности инструмента задача в настоящий момент остается нерешённой. В то же время необходимо отметить, что расчет количества активных зерен по различным методикам для одного шлифовального инструмента, как правило, дает различные результаты. Нередко можно получить результаты, отличающиеся в десятки раз друг от друга. При этом число одновременно режущих зерен соосного инструмента исчисляется десятками тысяч для кругов малых диаметров и сотнями тысяч для кругов больших диаметров и высоты. Таким образом, создание модели инструмента эмитирующую рабочую поверхность и учитывающую все факторы формирующие её в процессе обработки (геометрические и физико-механические параметры исходного профиля заготовки, режимы правки инструмента и обработки заготовки,...) остается задачей требующей глубоких физических знаний протекания процесса шлифования, математического моделирования, программного обеспечения и огромных ресурсов вычислительной техники.

Можно выделить следующие основные этапы построения модели шлифовальных инструментов:

- выбор программного обеспечения и математического аппарата для построения модели инструмента;
- закон распределения геометрических размеров реального шлифовального зерна;
- замена реальной геометрической формы шлифовального зерна на упрощенную модель;
- построение упрощенных моделей с учетом закона распределения геометрических размеров реального шлифовального зерна;
- закон распределения реальных шлифовальных зерен в шлифовальном бруске;
- построение упрощенной модели шлифовального бруска с учетом закона распределения реальных шлифовальных зерен в шлифовальном бруске;
- закон распределения реальных пор в шлифовальном бруске;
- внесение в модель шлифовального бруска информации о порах с учетом закона их распределения.
- наложение на созданную модель физико-механических характеристик с целью дальнейшего моделирования процесса обработки (резания).

#### Литература

1. Пат. № 2182531 Российская Федерация, В24D 5/14. Способ внутреннего шлифования // Блурцян Д.Р.; Трифонова Ю.В.; Блурцян И.Р.; Гусев В.Г. Опубл 20.05.2002

### Бесконтактный метод измерения температуры в зоне резания при шлифовании соосным шлифовальным инструментом

Мониторинг значения температуры рабочей поверхности инструмента при механической обработке позволяет контролировать состояние инструмента и обрабатываемой поверхности заготовки. Например, при шлифовании повышение температуры обработки выше допустимого значения приводит к образованию необратимых дефектов в поверхностном слое заготовки.

Контроль температуры при механической обработке осуществляется контактными и бесконтактными методами. В настоящий момент наиболее распространен контактный метод измерения температуры (калориметрический метод, метод пленок, метод термокрасок, термоэлектрический метод и др.). Среди основных преимуществ это простота осуществления и высокая точность измерений. Однако, при таких методах как шлифование, когда процесс обработки осуществляется множеством единичных абразивных зерен создающих с высокой скоростью такое же множество единичных тепловых импульсов, вызывает сложность размещения термодатчика в зоне резания и необходимость построения её тарировочного графика для каждого образца термодатчика или заготовки (например, полуискусственная термодатчик).

Одним из наиболее прогрессивных методов контроля температуры в зоне обработки – метод бесконтактного измерения температур, представляющий регистрацию теплового излучения отдельных участков детали или инструмента в процессе обработки. В основе данного метода лежит принцип собирания теплового излучения в диапазонах инфракрасного излучения или видимого света с участка нагретой поверхности и направления его на рабочую поверхность приемников теплового излучения. По способу изменения температуры приемника тепловые фотоприемники подразделяются на термоэлектрические, болометрические, пироэлектрические. Одним из главных достоинств данных устройств является отсутствие влияния на температурное поле рабочей поверхности инструмента или абразивного зерна, так как в процессе измерения они не вступают в непосредственный контакт друг с другом. Рассмотрим схему бесконтактного измерения температуры при внутренней обработке соосным шлифовальным инструментом [1] рис. 1.

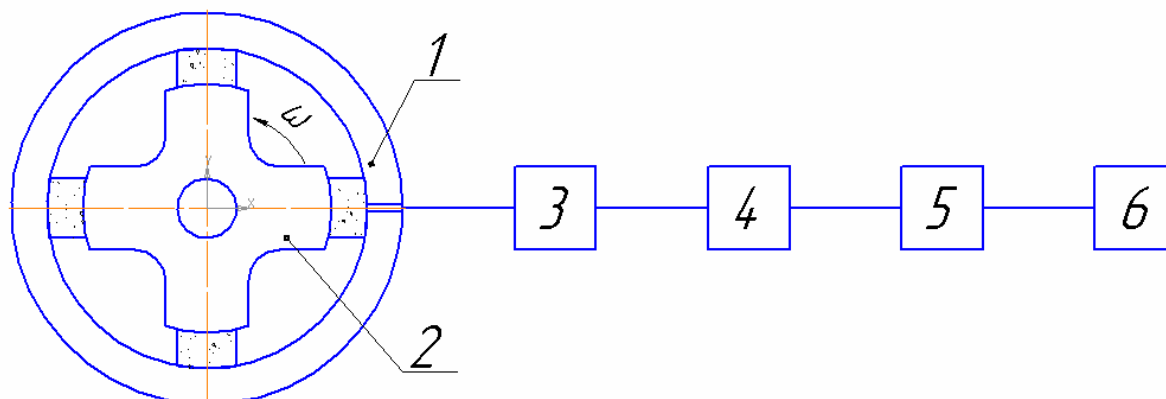


Рис. 1. Схема для измерения температуры в зоне резания при обработке соосным шлифовальным инструментом (1 – заготовка; 2 – соосный шлифовальный инструмент; 3 – приемник инфракрасного излучения; 4 – усилитель; 5 – регистрирующий прибор; 6 – ПК)

В заготовке 2 выполняется отверстие минимального диаметра, в которое монтируется термостойкий оптоволоконный кабель, один конец которого размещается в зоне обработки и перпендикулярен рабочей поверхности инструмента 1. Второй конец оптоволоконного кабеля с помощью специальных переходников соединен с приемником инфракрасного излучения, при этом длину кабеля необходимо выбирать минимальной. Предварительно усиленный сигнал на

приемнике 4 поступает на регистрирующий прибор 5 (например, осциллограф или платы АЦП/ЦАП). Сохранение результатов измерений осуществляется на персональном компьютере 6.

Для контроля теплового состояния обрабатываемой поверхности заготовки приемник инфракрасного излучения необходимо монтировать в корпус инструмента, а также добавлять в схему устройства передающие сигнал с быстровращающегося инструмента регистрирующий прибор.

#### Литература

1. Пат. № 2182531 Российская Федерация, В24D 5/14. Способ внутреннего шлифования // Блурцян Д.Р.; Трифонова Ю.В.; Блурцян И.Р.; Гусев В.Г. Оpubл 20.05.2002

### **Моделирование создания и испытаний гетерогенно упрочненного поверхностного слоя**

При действии на детали машин контактных циклических нагрузок происходит выкрашивание их рабочих поверхностей. Для увеличения срока службы такие детали подвергают различным способам упрочнения, повышающим твердость поверхностного слоя. Причем, конкретные характеристики упрочненного поверхностного слоя: степень упрочнения (относительное повышение твердости), глубина и равномерность упрочнения, обычно выбираются в зависимости от условий эксплуатации.

Для создания упрочненного поверхностного слоя, повышающего долговечность деталей машин, испытывающих циклические контактные нагрузки, эффективно используется поверхностное пластическое деформирование (ППД), в частности статико-импульсная обработка (СИО). Упрочнение позволяет при небольшой энергоемкости процесса получать высокую твердость поверхностного слоя на большой глубине (до 6...8 мм) [1]. Может быть сформирована с высокой точностью различная равномерность упрочнения: создана как равномерно упрочненная, так и гетерогенно упрочненная структура. При создании гетерогенно упрочненной структуры в поверхностном слое образуются деформируемые области металла с необходимыми размерами и степенью упрочнения, перекрывающиеся между собой в определенном порядке и сочетании [5]. Исследования показали, что структура, полученная при определенных режимах упрочнения СИО, позволяет увеличить долговечность деталей машин, испытывающих контактные циклические нагрузки, до 6 раз [2, 4]. Однако процесс исследований на сопротивление контактному выкрашиванию является достаточно сложным и трудоемким: испытания одного образца, без учета последующих измерений с использованием микроскопа, обычно составляют порядка 20 часов [3]. Поэтому необходимо привлечение автоматизированных средств позволяющих сначала смоделировать упрочненный поверхностный слой с различными параметрами упрочнения, а затем создать те параметры эксплуатации созданного упрочненного поверхностного слоя, которые максимально соответствуют реальным условиям.

Анализ специализированных программ современного инженерного анализа показал, что лидером в данной области является комплекс DEFORM, разработанный компанией Scientific Forming Technologies Corp. (США). Deform обладает современным, интуитивно понятным интерфейсом и позволяет моделировать большой спектр задач обработки металлов давлением. Сравнение результатов предварительных экспериментальных исследований с полученными в Deform, доказали адекватность моделирования. Изучение системы Deform v10.2 осуществлялось на основании временной лицензии предоставленной официальным дистрибьютором программного продукта DEFORM в РФ – инжиниринговой компанией APTEX (г. Москва).

Исследования в Deform гетерогенно упрочненного поверхностного слоя и его влияния на долговечность предлагается проводить в два этапа.

На первом этапе будут проводиться исследования влияния гетерогенно упрочненных областей на долговечность. Для этого более твердые локальные участки будут созданы в однородном материале заготовки, который в дальнейшем для исследований его долговечности будет подвергаться контактным усталостным нагрузкам. Регулируя величины твердости, форм, размеров и расположения этих гетерогенно упрочненных участков относительно друг друга, можно будет определить их сочетания, обеспечивающие наибольшую долговечность материала.

На втором этапе исследований, зная твердость, формы, размеры и величины перекрытия гетерогенно упрочненных областей материала, можно подобрать их обеспечивающие конструктивно – технологические параметры упрочняющей обработки, например, СИО.

#### Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Технология и режимы упрочнения статико-импульсной обработкой. // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 2. С.17-19.
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В., Силантьев С.А. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия, №7(43), 2008, с.9-15.
3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В., Тарасов Д.Е. Экспериментальный комплекс для исследований контактно-усталостного изнашивания деталей машин // Известия ОрелГТУ, серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». – 2009. - № 3-2/275 (561). – 142с., с 7-13.
4. Соловьев Д.Л., Киричек А.В., Баринов С.В. Повышение долговечности деталей машин созданием гетерогенно наклепанной структуры // Тяжелое машиностроение, № 7, 2010, с.4-7.
5. Киричек А.В., Волобуев А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В. Разработка параметров для описания гетерогенно-упрочненной структуры // Упрочняющие технологии и покрытия, №2, 2011, с.7-9.

## **Перспективы применения наноматериалов в ОАО «Энергия»**

Современные достижения в области создания и исследования свойств наноразмерных материалов дали мощный толчок к разработке новых активных масс электродов для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) и позволили резко модернизировать активные массы электродов традиционных электрохимических систем. В частности, для тепловых литиевых источников тока (ИТ) применение наноразмерных порошков материалов вместо используемых сейчас порошков микронного размера позволяет повысить коэффициент полезного использования активных масс электродов электрохимических элементов (ЭХЭ), снизить внутреннее сопротивление ЭХЭ. Ожидаемое увеличение удельных характеристик ЛИА с наноразмерными материалами – 30-50% [1,2], тепловых ИТ с наноразмерными материалами – 20-40%.

ОАО «Энергия» как крупный производитель современных и разнообразных источников тока не остается в стороне от мировых тенденций по применению наноразмерных материалов. Именно использование наноразмерного графита обеспечивает требуемые высокие характеристики выпускаемых ОАО «Энергия» серийно с 2009 года суперконденсаторов нескольких моделей. На 2013-2014 годы намечены опытные работы по использованию в ЛИА наноматериалов отечественного производства.

Для разрабатываемых тепловых литиевых ИТ в России возможно применение наноразмерных порошков материалов: а) в качестве активного компонента катодной массы (дисульфид кобальта), б) в качестве загустителя анодной массы (порошки железа с удельной поверхностью  $3,5 \text{ м}^2/\text{г}$  и диаметром частиц 40-70 нм).

### **1. Организация производства наноразмерных материалов в ОАО «Энергия».**

На ОАО «Энергия» в апреле 2012 года организована лаборатория новых материалов и технологий. Среди задач, которые решает лаборатория в 2012 году – запуск опытного участка с оборудованием, позволяющим получать наноразмерные порошки и материалы.

### **2. Отработка новых материалов для батареи БТ-300.**

Согласно техническому заданию (ТЗ) на батарею БТ-300 для изготовления определяющих элементов батареи должны быть использованы новые для ОАО «Энергия» материалы. Батарея БТ-300 при достаточно миниатюрных размерах должна по ТЗ разряжаться током 3,3 А в течение 20 с, что недостижимо при использовании стандартных электродов. С целью повышения удельных характеристик необходимо применить наноразмерные материалы по следующим направлениям:

#### **1. Анодные материалы для замены литий-кремниевых сплавов.**

**1.1.** Спрессованный анод из порошка литий-алюминиевого сплава с содержанием лития 20% ат. и температурой плавления  $\approx 700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Испытания ЭХЭ с таким анодом показали, что при разряде на нагрузку 0,6 Ом (ток разряда батареи БТ-300 по ТЗ – 3,3 А в течение 20 с) пока не обеспечивается выполнение требований ТЗ по напряжению: сразу после подключения нагрузки напряжение падает ниже 1,6 В – минимально допустимого.

Электрические характеристики ЭХЭ определяли в ячейке, помещённой в разрядную печь, представляющую собой два цилиндрических электронагревателя с регулятором температуры диаметром 120 мм, один из которых имеет пневмопривод и подвижен. Фактически разряд ЭХЭ проходил в условиях, имитирующих температуру и давление в ИТ при разряде. Регистрацию разрядных характеристик ЭХЭ при разряде на постоянную нагрузку осуществляли на цифровом осциллографе SDS-200.

Ввиду высокой химической активности анодной массы даже в осушенном воздухе измерение размера частиц сплава на данный момент не может быть осуществлено и доказательство применения действительно наноразмерных материалов для такого анода остается проблематичным.

#### **1.2. Композитный материал, совместная разработка с УНИХИМ, г. Екатеринбург,**

раскатанный в фольгу, отвечающий брутто-формуле  $\text{Li}_5\text{B}_4$ , в составе около 67 % вес. лития, 33 % вес. бора. При изготовлении композита используется наноразмерный (50-70 нм) аморфный порошок бора. Испытания ЭХЭ с анодом, из композита, стандартным катодом на основе серного колчедана и со стандартным электролитом показали, что при разряде на нагрузку 0,6 Ом обеспечивается выполнение требований ТЗ с достаточным запасом, при этом его ёмкость сопоставима с ёмкостью ЭХЭ с анодом  $\text{Li}_7\text{B}_6$  (КНР). Ёмкость ЭХЭ с анодами на основе  $\text{Li}_5\text{B}_4$  и  $\text{Li}_7\text{B}_6$  превосходит ёмкость ЭХЭ с литий-кремниевым анодом в 1,8 раза.

**1.3.** Композитный материал «загущенный литий», раскатанный в фольгу, содержащий 20% вес. лития, 80 % вес. порошка железа марки КЖМ (карбонильное железо модифицированное). Частицы порошка железа КЖМ производства концерна «Вега» имеют высокую удельную поверхность ( $3,5 \text{ м}^2/\text{г}$ ) по сравнению с порошками железа (удельная поверхность частиц -  $0,5 \text{ м}^2/\text{г}$ ), которые применяются повсеместно для изготовления пиротехнических материалов тепловых батарей. Композитный материал «загущенный литий» получен по оригинальному методу, разработанному в ОАО «Энергия». Испытания ЭХЭ с таким анодом, стандартным катодом на основе серного колчедана и со стандартным электролитом при  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  показали, что при разряде на нагрузку 0,6 Ом ёмкость ЭХЭ превысила 3700 Ас.

**2.** Катодные материалы с заменой серного колчедана.

**2.1.** Для замены серного колчедана в катоде предполагается использовать дисульфид кобальта – материал с большой теоретической ёмкостью. Испытания ЭХЭ с катодом на основе дисульфида кобальта, стандартным литий-кремниевым анодом и со стандартным электролитом показали, что при разряде на нагрузку 0,6 Ом обеспечивается выполнение требований ТЗ на батарею БТ-300 с достаточным запасом. Однако, из данных разряда также следует, что разрядные характеристики ЭХЭ со стандартными электродами выше, чем у ЭХЭ с катодом на основе порошка дисульфида кобальта. Известно, что разрядная ёмкость катодов на основе колчедана с высоким содержанием  $\text{FeS}_2$  зависит от размера частиц. Импеданс дисульфидных катодов является функцией электродного потенциала и размера структурных микрометрических частиц [3]. Важнейшими характеристиками, определяющими разрядную ёмкость катодов, являются сопротивления поверхностной плёнки и контакт между поверхностями раздела частиц. Следовательно, повышения разрядных характеристик катода можно добиться уменьшением частиц порошка дисульфида кобальта до нанометровых размеров с нынешних 30-100 мкм. Такие работы запланированы на 2012-2013 год

**2.2** Для замены серного колчедана в катоде также предполагается использовать синтетический дисульфид железа. Испытания ЭХЭ с катодом на основе дисульфида железа, стандартным литий-кремниевым анодом и со стандартным электролитом показали, что при разряде на нагрузку 0,6 Ом обеспечивается лучшее выполнение требований ТЗ на батарею БТ-300, чем у ЭХЭ со стандартными электродами. Существенного повышения разрядных характеристик катода можно добиться уменьшением частиц порошка дисульфида железа до нанометровых размеров с нынешних 30-50 мкм. Такие работы запланированы на 2013 год.

**Выводы:**

**1.** Перспективными материалами для анодов высокоомощных тепловых ИТ являются литий-борный композит и композит «загущенный литий». В 2013 году планируется разработка серийной технологии получения этих материалов.

**2.** С целью повышения разрядных характеристик катодов на основе дисульфидов следует уменьшить размер частиц порошков дисульфидов до нанометрового.

Литература

1. Highly Reversible Lithium Storage in Nanostructured Silicon/ J. Graetz [ et al.]/ Electrochem. Solid State Lett. 2003. Vol. 6.

2. «О ходе реализации проекта «Разработка конструкции и технологии изготовления литий-ионных аккумуляторов нового поколения с электродами из нанокompозитных структур», Материалы XII Международной конференции «Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах», Краснодар, 2012, С. 25.

3. «Исследование электродной кинетики интеркаляции ионов лития в электролитический  $\text{FeS}_2$  композит»/ Н.Г. Банник, В.П. Тысячный, Р.Д. Апостолова, «Вопросы химии и химтехнологии», 2006, № 4, С. 151



### **Влияние толщины стенки детали на шероховатость при статико-импульсном дорновании с большими натягами**

В настоящее время современные тенденции развития машиностроения свидетельствуют о повышении требований к потребительским свойствам деталей машин в том числе к их внутренним поверхностям (отверстиям) работающим при тяжелых условиях эксплуатации. Для повышения долговечности, такие детали подвергают различным способам упрочнения. Эффективным является способ поверхностного пластического деформирования (ППД): раскатывание, выглаживание, ударное раскатывание, центробежная обработка, дорнование. Однако, условия обработки отверстий малого диаметра (менее 100 мм), вследствие трудностей в ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности, оставляют возможность обработки таких отверстий ППД только дорнованием. Недостатком данного способа является высокая энергоёмкость и, соответственно, увеличение габаритных размеров технологического оборудования и оснастки при создании упрочненного слоя с большой толщиной и заданными параметрами качества. Практика показывает, что для снижения энергоёмкости процесса, часто целесообразна замена статической нагрузки комбинированной статико- динамической.

Использование ударной нагрузки при ППД отверстий малого диаметра было реализовано в статико- импульсном дорновании (СИД) по схеме прошивания, когда инструмент – шар проходит вдоль упрочняемого отверстия под действием комбинированной толкающей статической и ударной нагрузки. При этом ударная нагрузка преимущественно определяла параметры наклёпанного слоя. При прохождении вдоль упрочняемого отверстия, производительность составила 4,6 мм/с, что более чем в два раза выше, чем при «классическом» дорновании, использующим только статическую нагрузку.

Толщина стенки втулки, один из важнейших параметров при дорновании, влияющих на качественные характеристики обрабатываемого отверстия, в том числе на шероховатость. Для определения влияния толщины стенки на шероховатость проведены экспериментальные испытания на образцах, имеющих форму полого усеченного конуса, обработанного СИД по схеме прошивания т.к. по мере прохождения инструмента, плавно изменяется толщина стенки (Рис.1). Образцы изготовлены из стали 45, с отверстием  $\varnothing 14,5$  мм., диаметр шара составил 15,8 мм, соответственно натяг равен 1,3 мм. Толщина стенки  $h = 3 \dots 22$  мм., при этом шероховатость поверхности составила  $Ra = 3,118$  мкм;  $Rz = 2.569$  мкм. Обработка происходила при следующих технологических режимах: энергия ударов  $A = 160$  Дж, сила ударов  $P_u = 260$  кН, частота ударов  $f = 18$  Гц, сила статического поджатия  $P_{ст} = 40$  кН.[1]

На рис.1 приведена схема обработки СИД образца. Но в связи с ростом контактных давлений на инструменте(шар), по мере увеличения толщины стенки образца, производительность снизилась и при  $h = 9,07$  мм дорн остановился (застрял). При этом, по мере прохождения инструмента, на некоторую величину «раздался» наружный диаметр образца (рис. 1). Анализ зависимостей показанных на рис. 2 позволяет констатировать следующее. С увеличением толщины стенки образца имеет место значительное снижение параметров шероховатости  $Ra$  и  $Rz$  отверстия, резкое увеличение кривой на графиках при  $h = 8$  мм связано с задирами, которые образовались в конце хода инструмента в результате ухудшения условий его прохождения.

В результате установлено, что с уменьшением диаметра обрабатываемого отверстия и увеличением толщины стенки растёт энергия ударов, требуемая для движения инструмента по отверстию. Поэтому в таких случаях при фиксированной энергии ударов необходимо уменьшать натяг. Шероховатость упрочненной поверхности, достигла показателей параметров  $Ra = 0,226$  мкм,  $Rz = 0,884$  мкм, по сравнению с исходной снизилась в 16 раз. Также экспериментально подтвердилось то, что в процессе дорнования отверстий, резко возрастает относительная опорная длина профиля и увеличивается несущая способность шероховатости[3]. Отмечено повышение коррозионной устойчивости обработанного участка.

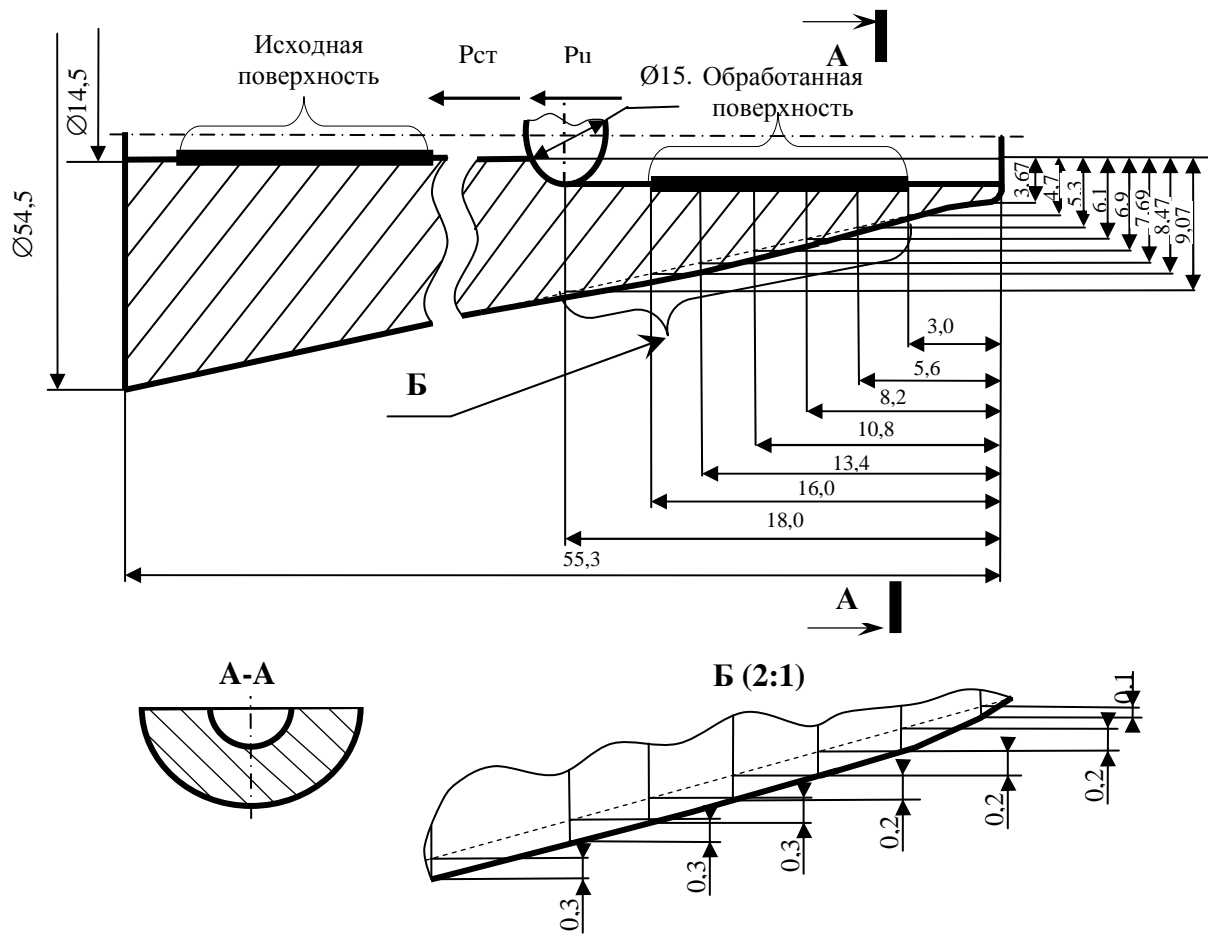


Рис 1. Схема обработки СИД образца имеющего форму усеченного конуса

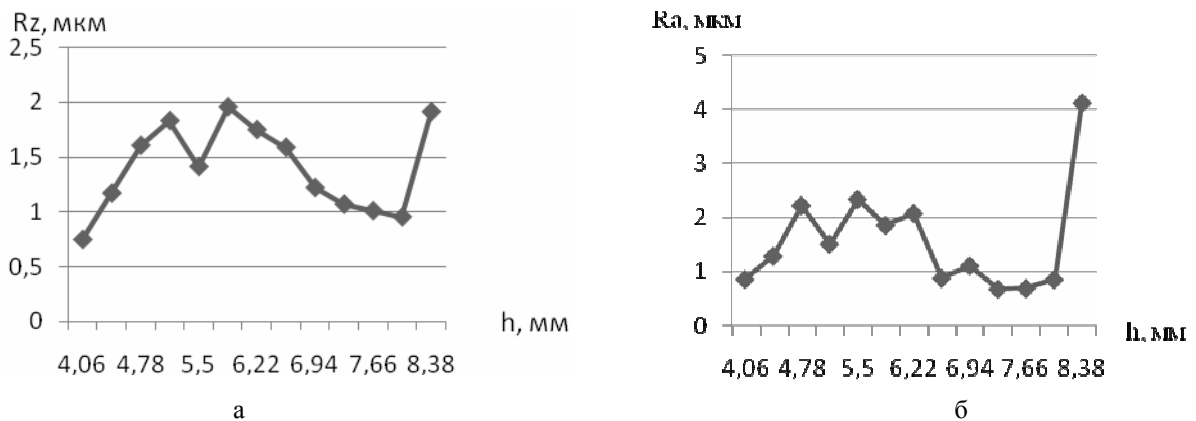


Рис 2. Зависимость толщины стенки h от параметров шероховатости Rz (а) и Ra (б)

#### Литература

1. Статико-импульсная обработка внутренних цилиндрических поверхностей. / А.В. Киричек, А.Г. Лазуткин, Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев // Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение. 2004. № 3. С. 16-17. (72 с.)
2. Монченко В.П., Белотелов В.В. Деформирующая обработка отверстий втулок и гильз гидропневмоцилиндров. М.: НИИМАШ. 1976. 91 с.
3. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин – М.: Машиностроение, 2000.- 320с.

### Мотор-шпиндели с радиальной системой вентиляции

Перспективным приводом токарных, расточных и многоцелевых станков является электромеханический привод – мотор-шпиндель, представляющий собой шпиндельную бабку со встроенным асинхронным электродвигателем, ротор которого установлен непосредственно на шпинделе.

Наличие в корпусе шпиндельной бабки дополнительных источников тепловыделения (ротора и статора) увеличивают теплонапряженность шпиндельного узла. Следовательно, при проектировании узлов такого типа необходимо разработать системы охлаждения, направленные на снижение нагрева и тепловых деформаций.

Одним из способов снижения температуры является воздушное охлаждение воздухом, продуваемым через внутренние полости шпиндельного узла.

В зависимости от направления движения охлаждающих потоков воздуха внутри привода различают вентиляцию радиальную и аксиальную. На рис. 1. приведена схема мотор-шпинделя с радиальной системой охлаждения. Охлаждающий воздух, засасывается через боковые отверстия, находящиеся в нижней части боковых стенок корпуса, во внутренние полости привода. Далее движется радиально относительно оси шпинделя, охлаждая наружный диаметр сердечника статора и внутренние полости шпиндельного узла и встроенного привода. Осевые вентиляторы находятся в верхней стенке корпуса мотор-шпинделя. Согласно [1] радиальная система проще по конструкции, более технологична и требует меньших затрат на мощности на вентиляцию. Интенсифицировать теплоотдачу при обдуве сердечника статора можно за счет использования нескольких листов сердечника с увеличенным внешним диаметром (цилиндрическим, ромбическим).

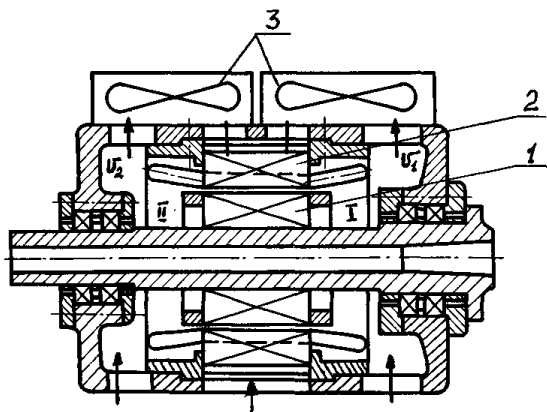


Рис.1. Схема мотор-шпинделя с радиальной воздушной системой охлаждения:  
1- ротор, 2 – статор, 3 – вентиляторы

Используется вытяжная система вентиляции, так как она обладает тем преимуществом перед нагнетательной, что воздух, попадающий в шпиндельную бабку, дополнительно не подогревается, проходя через вентилятор. Даже незначительный подогрев воздуха из-за потерь в вентиляторе(3-7) заставляет прогонять через узел больше (на 15-20%) воздуха, а это, в свою очередь, увеличивает потери на вентиляцию.

По конструктивному исполнению радиальную систему выполняют одноконтурной и двухконтурной. При одноконтурной системе охлаждения вытяжной вентилятор устанавливают на корпусе непосредственно над статором, поток воздуха забирает тепло от сердечника статора. Для мотор-шпинделей, температурные деформации, которых непосредственно отражаются на точности обработки, радиальную систему охлаждения рационально выполнять двухконтурной, при этом обеспечивается теплоотвод от сердечника статора и из внутренних полостей шпиндельного узла.

Конструкцию мотор-шпинделя с радиальной системой охлаждения отличает минимальное влияние тепловыделения в статоре на нагрев шпиндельных опор узла, так как статор установлен в кольцевых расточках корпуса и непосредственный теплоотвод от статора в опоры шпиндельного узла ограничен. Опоры шпиндельного узла нагреваются за счет тепловыделений в подшипниках, с дополнительным нагревом от влияния тепловыделения в роторе. Доля в нагреве шпиндельных опор, занимаемая влиянием тепловыделения в роторе, составляет 23% от общей величины абсолютной температуры на номинальной частоте вращения.

Для мотор-шпинделя типоразмера МШ180 (высота центров), мощность для охлаждения сердечника статора, исходя из оптимальной скорости движения воздуха, необходимо обеспечить расход не менее  $0,06 \text{ м}^3/\text{с}$  при давлении 60 Па.

Расчет температурного поля проведен МКЭ. В расчетной схеме радиальная система охлаждения учитывается назначением граничных условий, характеризующих интенсивность теплоотдачи. Для МШ180 коэффициент теплоотдачи цилиндрической поверхности сердечника статора назначаем  $\alpha = 88 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Интенсивность теплоотдачи поверхностей лобовых соединений обмотки статора, обращенных к ротору, зависит от частоты вращения шпинделя, которая определяет интенсивность вентиляционного эффекта, создаваемого вращающимися кольцами ротора.

Анализ результатов расчета температурного поля показал, что при радиальной одноконтурной системе вентиляции от статора отводится до 60-70% потерь, выделяемых в обмотке и сердечнике, другая часть идет на нагрев воздуха внутренних полостей, небольшая часть потерь нагревает корпус, не затрудняя теплоотвод от шпиндельных опор в корпус мотор-шпинделя. При данной системе охлаждения происходит перераспределение тепловых потоков: увеличивается теплоотвод от шпиндельных опор в корпус мотор-шпинделя, при этом теплоотвод в ротор снижается. Перераспределение тепловых потоков иллюстрирует графическое представление температурных полей.

На основании полученных температурных полей были рассчитаны температурные деформации с определением углового смещения шпинделя.[2].

Анализ качества конструкции по критерию ожидаемой точности обработки, обусловленной температурными деформациями, позволяет сделать вывод, что точность по 6,7 квалитетам не обеспечится. Необходимо выровнять температурное поле передней и задней стенок.

Для снижения ТД мотор-шпинделя радиальную систему охлаждения необходимо выполнить двухконтурной, для уменьшения тепловыделения в роторе на нагрев шпиндельных опор между ротором и шпинделем можно установить текстолитовую прокладку толщиной 4 мм.

#### Литература

1. Борисенко А.И. Костиков О.Н. Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин. - М.: Энергоатомиздат, - 1983. – 236с.
2. Никитина Л.Г. Повышение точности мотор-шпинделей токарно-револьверных автоматов за счет снижения температурных деформаций: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук; - Москва, 1990.

### Повышение быстроходности шпиндельных узлов на основе новых конструкционных материалов

На современном этапе развития машиностроения значительно возросли требования к точности и скорости резания на металлорежущих станках. Появление новейших инструментальных материалов делает возможным увеличение скоростей резания, но они не могут быть надежно и экономично обеспечены на базе традиционных конструкционных материалов.

Материалами с принципиально новым уровнем и сочетанием различных свойств являются композиционные материалы на основе технической керамики и высокомодульных волокон. Их использование постепенно расширяется при изготовлении прецизионных станков различных типов в ведущих фирмах США, Японии, ФРГ. Композиционные материалы используются для изготовления шпинделей и их опор, борштанг, направляющих столов, поперечин, деталей электро-, гидро- и пневмоприводов.

В зависимости от функционального назначения деталей используют различные виды керамики: оксидную  $Al_2O_3$ , карбидную  $SiC$ , нитридную  $Si_3N_4$ . В качестве компонентов на основе высокомодульных волокон применяют углепластики. Перспективность рассматриваемых материалов для прецизионного станкостроения обусловлена их существенными преимуществами по сравнению с традиционными материалами. Их отличает: высокие абсолютная и удельная жесткость и прочность; низкий коэффициент теплового расширения и теплопроводность; длительное сохранение точности формы; высокая демпфирующая способность; высокие триботехнические свойства и т.д. Важным фактором для станкостроения является необычное сочетание свойств этих материалов, например высокой жесткости с демпфирующей способностью. Недостатком таких материалов является высокая стоимость, что ограничивает их широкое применение в станкостроении.

Фирма Equo Machinery Co (Япония) изготовила сверхточный токарный станок, выполнив шпиндель и его опоры из керамического материала: шпиндель – из нитрида кремния, шпиндельная гильза, станина, передняя бабка поперечные салазки – из оксида алюминия. Керамический шпиндель, обладающий низкой теплопроводностью, малым коэффициентом линейного расширения обеспечивает существенное снижение осевых смещений шпинделя (рис.1)

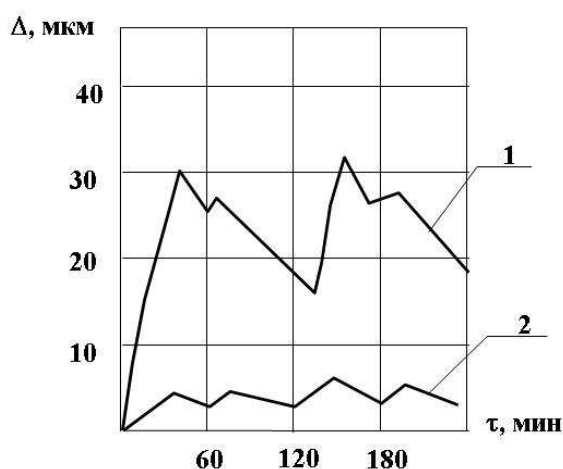


Рис.1. Влияние материала шпинделя на формирование осевого смещения шпинделя  $\Delta$ , в зависимости от режима работы:  
кривая 1 – шпиндель стальной – Сталь 50; кривая 2 – шпиндель керамический.

Керамическим радиально-упорным подшипником оснащен шпиндельный узел сверлильно-фрезерно-расточного станка: подшипник имеет более высокую осевую жесткость, температура нагрева на высоких скоростях резания в 2 раза ниже, чем у традиционных подшипников, что позволило увеличить быстроходность в 2 раза, подшипник имеет более низкий коэффициент трения и коэффициент линейного расширения.

#### Литература

1. Spur G., Hoffman E. Optimierung des spindellagersystems. Thermisches Verhalten nichtmetallischer Werkstoffe // XI Szerszamer Kollokvium, - Budapest – 1998.

### **Исследование энергетических характеристик ударных механизмов для упрочнения методом поверхностной пластической деформации деталей машин**

Существует ряд деталей машин, для увеличения срока службы которых целесообразно применять упрочняющую обработку методом поверхностной пластической деформации. При этом упрочнение может происходить как по всей поверхности детали, так и отдельными участками.

Одним из методов ппд является упрочнение волной деформации или СИО.

Для реализации метода могут быть использованы различные ударные устройства, в основе принципа действия лежит периодические, возвратно-поступательные движения бойка, наносящие удары по инструменту-волноводу с закрепленным на нем деформирующим элементом.

Существует много конструкций ударников, абсолютное большинство которых предназначено для разрушения горных пород и конструкций.

Для упрочнения металла к конструкции и рабочему органу ударника предъявляются определенные требования.

Определение энергетических характеристик ударных устройств является сложной задачей. Существует несколько способов определения энергии удара. Например, можно косвенно определить энергию ударов, используя вибродатчик закрепленный на корпусе ударника. Способ неточный, косвенный, требующий сложной калибровки для каждого типоразмера ударника.

Одним из распространенных способов является использование тензометрического датчика деформации, расположенного на инструменте. Недостатком является необходимость тарировки.

Для упрочнения методом ППД был разработан гидропневмоударник. Для исследования рабочего цикла был применен индукционный датчик, представляющий собой катушку внутри которой перемещается сердечник, жестко соединенный со свободным концом бойка. При движении сердечника в катушке наводится ЭДС, фиксируемая осциллографом. Таким образом получен график скорости движения бойка, позволяющий определить в том числе и энергию единичного удара. Недостатком метода является вмешательство в конструкцию устройства (изменение конструкции бойка), что в ряде случаев невозможно.

Сравнительно недавно появились доступные миниатюрные лазерные датчики перемещения, основанные на принципе триангуляции. Луч лазера отражается от измеряемой поверхности и попадает на чувствительный сенсор датчика. Точность измерений составляет 0,01 мм, диаметр луча до 0,1 мм, быстродействию – до 9000 измерений/сек. Диапазон измерений от нескольких мм до десятков метров.

Для упрочнения ППД был адаптирован серийно выпускающийся электропневмомолоток. Для измерения энергетических характеристик применен триангуляционный лазерный датчик. Датчик располагается под столом стенда. Луч лазера через отверстие в столе и продольное отверстие в инструменте попадает непосредственно на рабочий торец бойка. Данная схема обеспечивает снятие индикаторной диаграммы положения бойка, рассчитать такие параметры ударника как частота ударов, энергия единичных ударов. Метод измерения является простым в реализации и может быть использован для контроля параметров практически любых ударных устройств.

#### Литература

1. Курасов Е.В., Силантьев С.А., Соловьев Д.Л. Особенности использования ударных устройств для упрочнения ППД // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 112-114.

### **Способ обработки методом вихревого охвата поверхностным пластическим деформированием**

Повышение долговечности и несущей способности деталей машин – важная технологическая задача современного машиностроения.

Существует ряд тяжело нагруженных деталей машин имеющих сложную форму – такие как экструдерные червяки, ходовые винты с постоянным и переменным шагом, шнеки, другие спиралевидные детали специальных профилей, разнообразные кулачки, шариковые ходовые винты, канатные барабаны с винтовой нарезкой. К таким поверхностям предъявляются повышенные требования по прочности, износостойкости, контактной выносливости. Известно, что обработка методами поверхностного пластического деформирования (ППД) позволяет увеличить долговечность деталей. Однако существующие методы ППД не применяются для обработки таких деталей (за исключением галтовки и дробеструйной обработки).[1]

В технологии машиностроения известен метод вихревого фрезерования используемый для получения резьбовых и цилиндрических поверхностей. Способ вихревого охвата поверхностным пластическим деформированием кинематически схож с вихревым фрезерованием, однако вместо режущих вставок используются деформирующие элементы.

Обрабатываемая деталь пропускается через отверстие головки и закрепляется в центрах или в патроне и центре задней бабки станка. Главным движением является вращательное движение вихревой головки с закрепленными в ней деформирующими элементами. Движение круговой подачи придается обрабатываемой детали, а продольной – вихревой головке вдоль оси вращения винта. Кроме непрерывного статического воздействия, к деформирующим элементам может быть приложено динамическое воздействие со стороны ударного механизма.

Обработка методом вихревого охвата является комбинированным методом, сочетающим статическое и динамическое воздействие деформирующего инструмента на материал заготовки. Управление технологическими параметрами (частота и энергия ударов, скорость вращения детали, скорость вращения вихревой головки, продольная подача, угол пересечения (скрещивания) оси заготовки и оси вращения головки) позволяют управлять параметрами упрочненного слоя детали, такими как шероховатость, волнистость поверхности, степень упрочнения, глубина упрочненного слоя.[2]

Кроме случаев упрочнения кинематически сложных поверхностей, обработка методом вихревого охвата может использоваться как замена традиционным способам ППД для цилиндрических поверхностей, таких как обкатка роликами, выглаживание, алмазное выглаживание.

Обработка методом вихревого охвата поверхности осуществляется с помощью специальных вращающихся (вихревых) головок, которые устанавливаются на поперечных салазках токарных станков. В зависимости от сложности обрабатываемой поверхности возможно использование станки с числовым программным управлением, а также с ручным управлением, в т.ч. оснащение универсальных станков специальными вихревыми деформирующими головками.

Таким образом, обработка методом вихревого охвата ППД является высокопроизводительным способом, позволяющим получить требуемые параметры качества поверхностного слоя деталей машин.

#### Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В., Силантьев С.А. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2008. № 7. С. 9-15.
2. Курасов Е.В., Силантьев С.А., Соловьев Д.Л. Особенности использования ударных устройств для упрочнения ППД // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2010. № 7. С. 112-114.



Л.В. Силин,  
А.Ю. Албагачиев,  
В.А. Яшков  
Муромский институт Владимирского государственного университета  
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23  
E-mail: zirjd@mail.ru

### К вопросу оценки качества опорной поверхности при шлифовании сборным абразивным кругом

В современном машиностроении одной из актуальных проблем является высокопроизводительная абразивная обработка отверстий деталей машин (например, гидроцилиндры, подшипники скольжения и др.), к поверхности слою которых предъявляются высокие требования.

Обработка отверстий традиционными абразивными инструментами сопряжена с рядом трудностей, обусловленных, прежде всего, сложностью подвода смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) в зону резания через узкую щель между инструментом и заготовкой в условиях действия мощных аэродинамических потоков, создаваемых вращающимся инструментом. Основными путями повышения производительности инструмента для шлифования отверстий являются интенсификация режимов резания и увеличение площади контакта круга с заготовкой. Проведенный анализ научно технической и патентной литературы позволил сделать вывод о том, что наиболее эффективным способом внутреннего шлифования является способ центробежного шлифования сборным инструментом с радиально подвижными абразивными сегментами [1, 2].

Для получения качественной поверхности трения необходимо, с одной стороны, сделать ее как можно более «гладкой», а с другой - максимально шероховатой, чтобы впадины заполнялись возможно большим количеством масла. Этого можно достичь с помощью высокоскоростного шлифования сборными абразивными кругами новой конструкции. Она проводится в два этапа [3]. В начале на максимальных скоростях вращения шпинделя инструмента создается основная шероховатость поверхности, при которой глубина впадин сравнительно велика и достигает 20-30 мкм. Затем на меньших скоростях вращения инструмента и максимальных скоростях вращения заготовки производится заглаживание выступов, вследствие чего образуется окончательная опорная поверхность. Съем металла на финишной операции составляет 3-5 мкм, а профиль поверхности получает вид близкий к профилю уже работавшей поверхности.

Для измерения микропрофиля использовался измерительно-вычислительный комплекс, реализованный на базе стандартных профилографов - профилометров типа «Калибр». Измерительно-вычислительный комплекс контролирует не только параметры микрогеометрии поверхности, но и форму профиля с использованием опорной линии или кривой Аббота которая характеризует качество получаемой поверхности. Результаты измерения параметров шероховатости представлены на рис. 1.

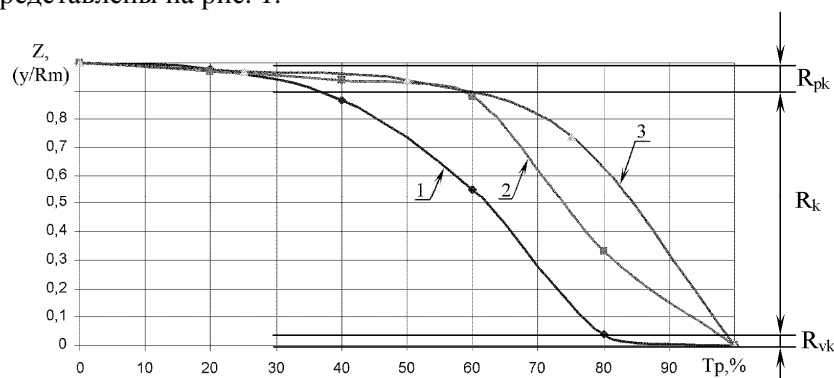


Рис. 1. Кривая Аббота для поверхности после шлифования сборным абразивным кругом:  
1 – поверхность перед шлифованием, 2 – поверхность после чернового шлифования,  
3 – поверхность после чистового шлифования

Где  $R_m$  – наибольшая высота неровностей;  $R_{pk}$  - усредненная высота выступов, быстро изнашивающихся в начале периода эксплуатации;  $R_k$  - глубина неровностей профиля поверхности, являющаяся основой профиля поверхности, длительное время находится в работе и оказывает решающее влияние на срок службы и качественные показатели изделия;  $R_{vk}$  - усредненная глубина впадин профиля, определяющая смазывающую способность поверхности,  $u$  – высота выступа профиля.

Проведенное исследование показывает, что при оценке качества поверхности необходимо обязательно учитывать его микрорельеф, который определяет сопротивляемость при контактном нагружении.

#### Литература

1. Гусев В.Г., Блурцян Д.Р., Трифонова Ю.В. Достоинства и особенности прогрессивного процесса шлифования отверстий кругами с радиально-подвижными сегментами: Материалы II МНТК. Актуальные проблемы машиностроения. – Владимир: ВлГУ, 2002. – с. 67 – 70.
2. Технологический подход к сокращению продолжительности приработки Яшков В.А., Силин Л.В. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 4-288. С. 100-103.
3. Технология внутреннего шлифования без тепловых эффектов Яшков В.А., Силин Л.В. СТИН. 2012. № 3. С. 22-25.