

3. Абраимов Н.И. Высокотемпературные материалы и покрытия для газовых турбин. М. Машиностроение. 1993. -336 с.
4. Поклад В. А. и др. Патент № 2007146968, 2007.
5. Мерзликин В.Г., Гутиеррес Охеда М., Безделкин В.В., Сидоров О.В., Сутугин В.Г. Полупрозрачная теплоизоляция для адиабатного дизеля (Новая концепция). Москва. Журнал автомобильная промышленность, № 7, стр. 34-36, 2007.
6. Мерзликин В.Г., Товстоног В.А., Гутиеррес Охеда М. Теплоизолирующее покрытие. Патент РФ № 2 323 357, 2006 г.
7. Siegel. R. Internal Radiation Effects in Zirconia Thermal Barrier Coatings, AIAA J. Thermophysics Heat Trans. 1996. - Vol. 10, no. 4, p. 707-709.
8. Manara J., Arduini-Schuster M., Rätzer-Scheibe H.-J. and Schulz U. Infrared-optical properties and heat transfer coefficients of semitransparent thermal barrier coatings. Surface and Coatings Technology. 2009.- Vol. 203, Issue 8, 15 January, p. 1059-1068.
9. Товстоног В.А., Мерзликин В.Г., Мосолов Ф.Ф. Постановка и решение задачи радиационно-кондуктивного теплообмена в многослойных рассеивающих средах. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2008, №2, с. 12- 27.
10. Merzlikin V.G., Sidorov O.V., Cheranov S.V., Rettberg R. Development of principles and methods of estimation of thermal condition of semitransparent coatings in complex heat exchange combustion chambers for low-heat-rejection diesel engines. FISITA World Automotive Budapest, 30 May – 4 June 2010. Book of Abstracts, 2010. P.198. Congress CD-ROM, paper № F2010-C081, p.p. 8.

Шлифование инструментальных материалов высокопористыми абразивными кругами

к.т.н. Полканов Е.Г., к.т.н. Пини Б.Е.
ММПП Салют, МГТУ «МАМИ»
(495) 223-05-23, доб. 1327

Для повышения производительности и качества шлифования сложнопрофильных инструментов, изготавливаемых из высококачественных инструментальных сталей, в статье рекомендуются высокопористые шлифовальные круги. Лабораторные и производственные испытания таких шлифовальных кругов, проведенные на ФГУП ММПП «Салют», показали высокую эффективность их использования для указанных целей.

Ключевые слова: шлифование сложнопрофильных инструментов из высококачественных инструментальных сталей, высокопористые шлифовальные круги.

При изготовлении сложнопрофильного режущего инструмента из быстрорежущих сталей и из твердого сплава выполняются разнообразные операции шлифования, в том числе вышлифовывание канавок по целому.

В авиастроении используется большое количество специального режущего инструмента, предназначенного для обработки разнообразных по форме поверхностей деталей, изготавливаемых из труднообрабатываемых материалов. Поэтому качество и размерная стойкость режущих инструментов играют существенную роль в обеспечении экономичного изготовления деталей. Существенное влияние на качество инструментов оказывает использование станков с программным управлением, в том числе пятикоординатных шлифовальных станков. Такие станки позволяют выполнять сложный комплекс обработки с одного установка заготовки инструмента. При этом, как показывает опыт, для шлифования сложнопрофильных поверхностей режущих инструментов наиболее перспективным направлением является использование высокопористого абразивного инструмента, который обладает рядом существ-

венных преимуществ по сравнению с абразивным инструментом нормальной пористости.

Одним из таких преимуществ является снижение термодинамической напряженности процесса резания, что дает возможность форсировать режимы обработки при сохранении заданного качества обрабатываемой детали, то есть обеспечивается бездефектное и высокопроизводительное шлифование инструмента из труднообрабатываемых закаленных инструментальных сталей, склонных к появлению прижогов, сколов и трещин.

Особенностью высокопористого абразивного инструмента является сокращение в нем объемного содержания абразивных зерен с 46% до 30 %, увеличение объема пор между ними до 70 % от общего объема. При уменьшении числа режущих зерен на рабочей поверхности такого инструмента возрастает коэффициент их полезного действия, уменьшается работа трения в общем балансе работы съема материала и, как следствие, температура в зоне обработки снижается в 1,5 -3 раза.

По геометрическим параметрам формы поверхности профиля обрабатываемых изделий можно разделить на простые и сложные. Простые формы профиля изделий характеризуются одной простой в геометрическом плане поверхностью, для обработки которой не требуются сложные движения формообразования или абразивный инструмент с фасонным профилем.

Во многих случаях рабочая часть режущего инструмента имеет сложную геометрическую форму с точными размерами и точным относительным положением элементов профиля, которые необходимо обеспечить при изготовлении.

Сложные геометрические формы профилируют двумя способами:

- непрофильными шлифовальными кругами с помощью устройств, обеспечивающих относительное перемещение круга по обрабатываемой поверхности (метод обката);
- специальными профильными кругами (метод копирования).

В инструментальном производстве последний способ получил наиболее широкое распространение. В этом случае точность обработанных поверхностей зависит не от кинематической точности станка или специальных приспособлений, а от точности профилирования шлифовального круга. Обработка фасонного, то есть со сложной геометрической формой, профиля, режущего инструмента, как правило, производится на специальных станках с ЧПУ. Сложные формы профиля фасонного инструмента требуют точного профилирования абразивного круга, которое возможно только специальным правящим инструментом, имеющим высокую точность.

Это могут быть профильные алмазные ролики или обтачивающие алмазные диски. При заправке абразивный круг должен легко подвергаться формированию на его поверхности фасонного профиля и иметь высокую размерную стойкость, обеспечивая получение требуемой точности геометрических параметров обрабатываемой поверхности инструмента.

Простые и сложные профили подразделяются на открытые и закрытые. Работа шлифовального круга при обработке открытых профилей отличается более благоприятными условиями, чем при обработке закрытых, что связано с лучшим отводом тепла и стружки из зоны резания, а при использовании принудительного охлаждения обеспечивается более удобный подвод СОЖ непосредственно в зону резания. С точки зрения проведения правки шлифовальных кругов, открытые поверхности также обладают преимуществами перед закрытыми по использованию правящих инструментов, времени правки и стойкости правящего инструмента.

При изготовлении деталей авиационных двигателей широко применяются сложнопрофильные протяжки, требующие шлифования и заточки профиля режущих частей разнообразных форм.

На рисунке 1 представлены схемы взаимодействия режущих поверхностей абразивных кругов и обрабатываемых поверхностей плоских протяжек, классифицирующие эти взаимодействия, а также представлена форма режущей части профильных абразивных шлифовальных кругов.

Схема контактирования фасонного профиля обрабатываемого инструмента с рабочей поверхностью шлифовального круга, с точки зрения обеспечения минимальных термодинамических напряжений в зоне резания, точности и качества обработки, определяет выбор технологических условий шлифования: схемы шлифования, схемы базирования заготовки, типоразмер и характеристику шлифовального круга, параметры режимов шлифования и правки, условия подвода охлаждающей жидкости и т.д.

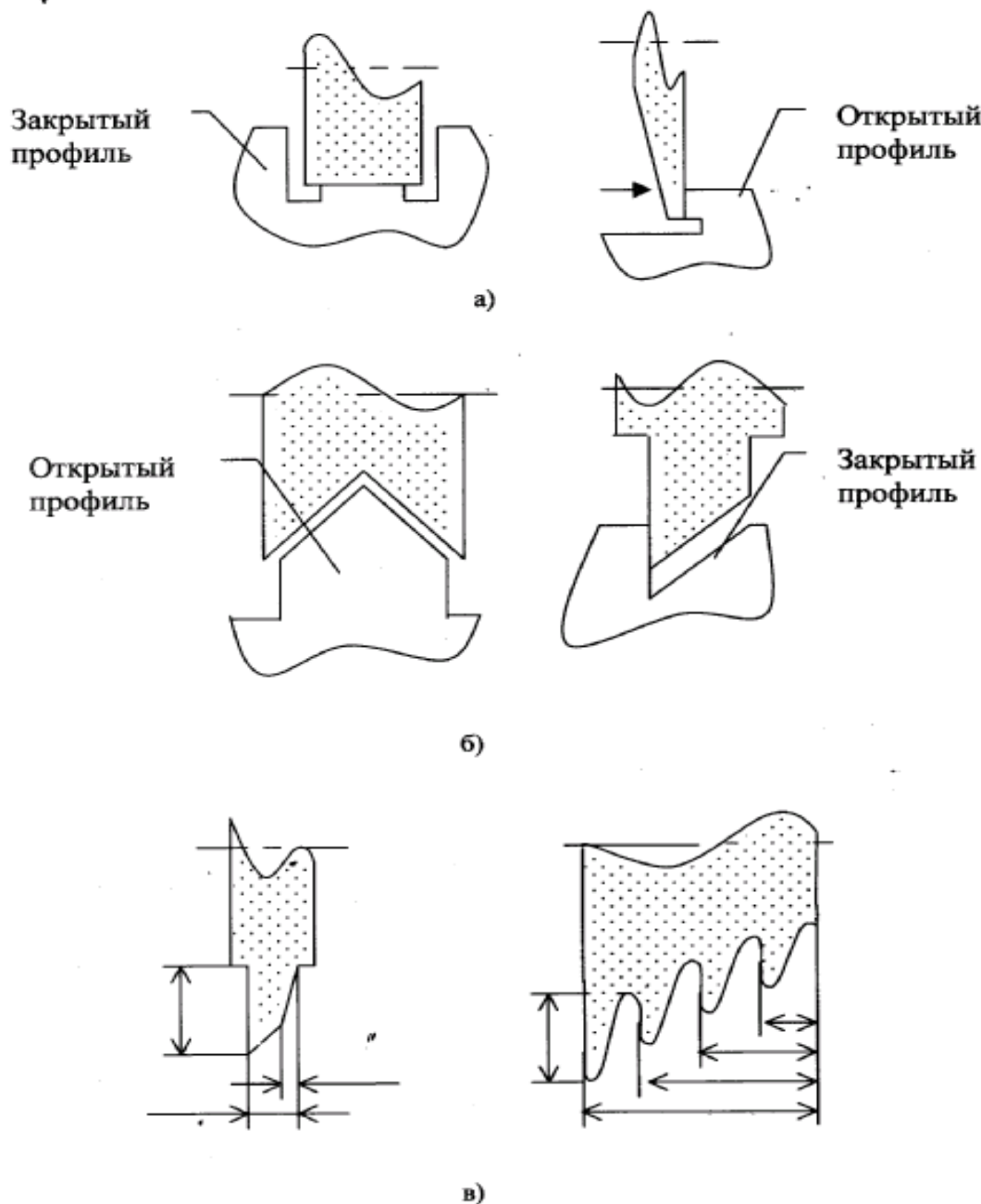


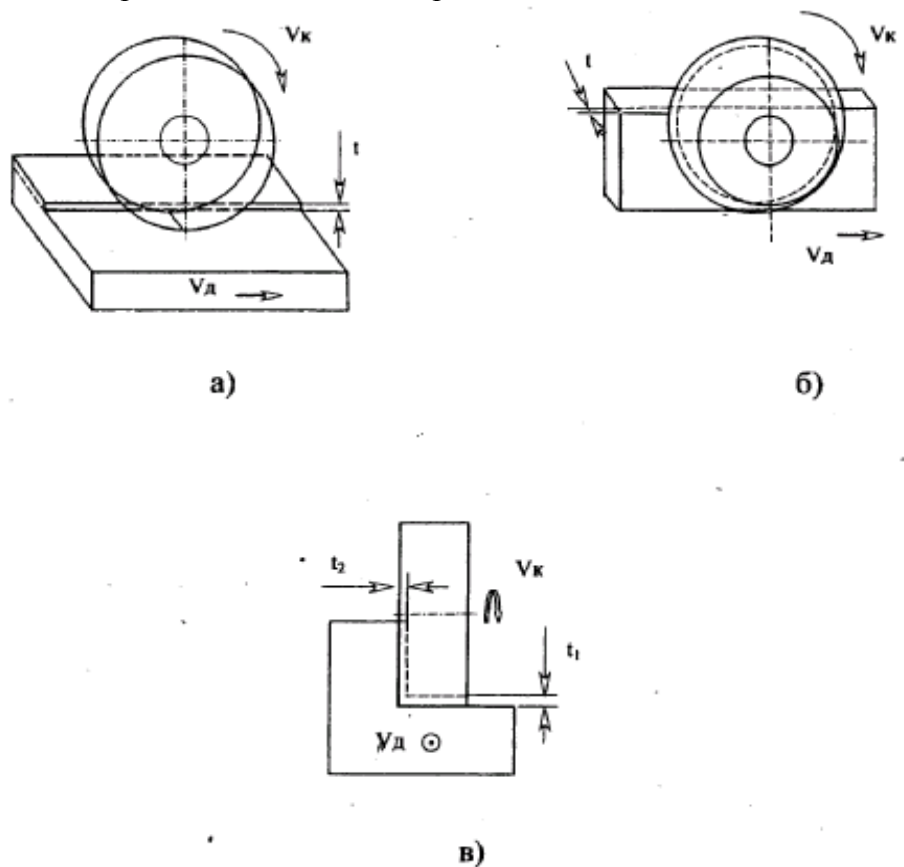
Рисунок 1 - Пример классификации обрабатываемых профилей плоских протяжек: а) простой профиль; б) сложный профиль; в) форма режущей части профильных абразивных кругов.

Среди известных схем применительно к шлифованию плоскостей существуют три основные схемы: маятниковое, врезное и глубинное шлифование.

Врезное шлифование, как и глубинное, в отличие от маятникового, осуществляется при одном поступательном движении (продольной подаче) (рисунок 2).

Врезное шлифование, как правило, производят двумя способами – периферией и тор-

цом круга. Способ шлифования периферией круга наиболее благоприятный для бездефектного шлифования с точки зрения обеспечения меньшей термодинамической напряженности в зоне резания. Это обусловлено небольшой площадью пятна контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью, зависящей от глубины резания. При шлифовании торцом круга площадь и время контакта рабочей поверхности круга с обрабатываемой поверхностью значительно больше, что повышает производительность обработки, но одновременно повышает термонапряженность в зоне контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью. Для уменьшения площади пятна контакта при шлифовании торцом круга используют шлифовальные круги чашечного или кольцевого профиля. Комбинированный способ создает самые неблагоприятные условия шлифования. Особенно неблагоприятными могут оказаться условия шлифования фасонной поверхности профильным кругом. В этом случае увеличивается вероятность появления прижогов.



**Рисунок 2 - Схемы врезного плоского шлифования поверхностей:
а) периферией круга; б) торцом круга; в) комбинированный способ.**

При глубинном шлифовании, которое характеризуется большой глубиной резания и медленной продольной подачей, величина площади поверхности инструмента и время контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью, а также температура в зоне шлифования увеличиваются. В инструментальном производстве глубинная схема шлифования применяется при вышлифовке стружечных канавок сверл, концевых фрез и т.д. При шлифовании фасонных поверхностей плоских протяжек установлено, что наименее благоприятные условия создаются при шлифовании торцом круга вертикальных участков в закрытых профилях, труднодоступных для охлаждающей жидкости. При шлифовании на форсированных режимах это увеличивает вероятность появления дефектов. Базирование заготовки должно исключать условия, затрудняющие процесс шлифования. Особые требования предъявляются к шлифовальному кругу. Круг должен обеспечивать высокопроизводительную бездефектную обработку, легко подвергаться правке, обладать высокой размерной стойкостью.

Для выявления особенностей этого процесса в лабораторных условиях проведены исследования профильного глубинного шлифования зубчатых накатников (число зубьев $Z=104$, высота профиля 5мм, ширина венца 45мм, угол наклона зуба 20°) из закаленной быстрорежущей стали P18 (HRCэ 63 - 66). Шлифование производилось на координатно-шлифовальном станке с ЧПУ высокопористыми кругами 25AP12G12K, 25AN12H12K, 25A12H16K, 25AN12I16K (зернистость по ГОСТ 523810-2005, твердость по ГОСТ 52587-2006) типоразмера 1 - 100x10x20. Режимы шлифования изменялись в следующих пределах: $V_{кр.}=25 - 30$ м/с, глубина шлифования t за проход—предварительное шлифование 0,1 - 1,5 мм, окончательное 0,05 - 0,1 мм, продольная подача $S_{пр} = 80 - 100$ мм/мин, количество проходов—предварительных 3 - 5, окончательных 20 - 80.

Профилирование и циклическая правка шлифовального круга осуществлялись по программе с помощью двух алмазных карандашей. В качестве СОЖ использовалась эмульсия на основе индустриального масла.

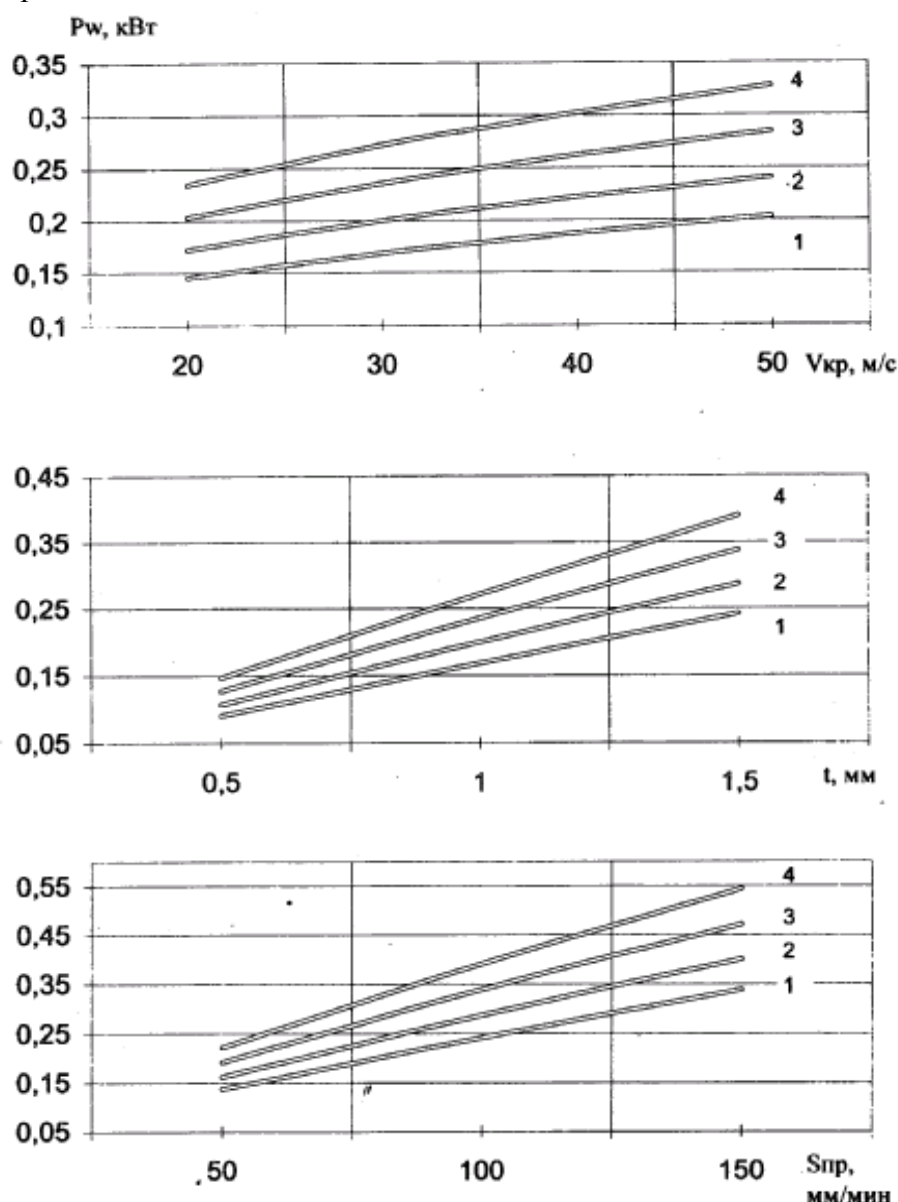


Рисунок 3 - Зависимость мощности от параметров режима глубинного шлифования быстрорежущей стали P18 высокопористыми кругами с характеристиками: 1 – 25A P12 12 K, 2 – 25A 12H 16 K, 3 – 25A P12H 12 K, 4 – 25A P12I 16 K

В процессе обработки измерялась мощность при шлифовании на каждом проходе, а по

окончании обработки впадины определялась величина радиального износа круга. Результаты проведенного исследования затрачиваемой мощности при глубинном шлифовании инструмента из закаленной быстрорежущей стали P18 высокопористыми шлифовальными кругами представлены на рисунке 3.

Полученные результаты позволили установить зависимости потребляемой мощности и износа шлифовального круга от его характеристики и параметров режимов профильного глубинного шлифования деталей из быстрорежущей стали высокопористыми абразивными кругами на керамической связке. Установлено, что применение шлифовальных кругов с меньшей твердостью и больших номеров структуры обеспечивает снижение потребляемой мощности. Так, например, в рассматриваемом случае, наименьшие значения потребляемой мощности получились при использовании высокопористых кругов с твердостью G со структурой 12. Однако вследствие повышенного износа эти круги показали неудовлетворительные результаты по размерной стойкости (рисунок 4). Наилучшие результаты при шлифовании быстрорежущих сталей по размерной стойкости и другим параметрам получились при использовании высокопористых кругов с характеристиками 25AP12H12K (3) и 25AP12H16K (4) при скорости круга 25 - 35 м/с. При этом возможна обработка с глубиной резания за первый проход до 1,5 мм при скорости продольной подачи - 100 мм/мин.

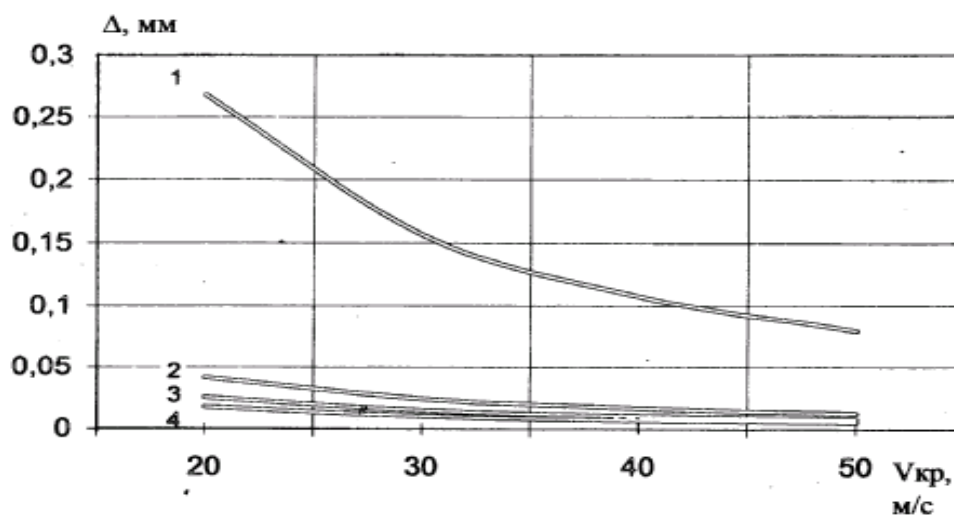


Рисунок 4 - Зависимость износа шлифовальных кругов от скорости глубинного шлифования быстрорежущей стали P18 при $t = 1$ мм и $S_{пр} = 100$ мм/мин: шлифовальные круги: 1 – 25A P12 G 12 K, 2 – 25A P12 H 16 K, 3 – 25A P12 H 12 K, 4 – 25A P12 H 16 K

В результате компьютерной обработки статистических данных с помощью специальной программы многофакторного корреляционного и регрессивного анализа получены зависимости и разработаны математические модели связи мощности глубинного шлифования P_w и износа шлифовального круга Δ с параметрами его характеристики – твердостью по глубине лунки (h_l) и структурой (объемное содержание зерна $-V_z$), с параметрами режима обработки – скоростью круга ($V_{кр}$), глубиной резания (t) и скоростью продольной подачи ($S_{пр}$).

Для мощности шлифования:

$$\ln P_w = 0,364 \ln V_{кр} + 0,892 \ln t + 0,818 \ln S_{пр} - 1,948 \ln h_l - 0,247 \ln V_z - 3,309$$

Для износа шлифовального круга:

$$\ln \Delta = 9,935 \ln h_l + 2,633 \ln V_z - 1,316 \ln V_{кр} - 14,084$$

На ФГУП ММПШ «Салют» проведены производственные испытания при профильном шлифовании плоских протяжек из быстрорежущих сталей высокопористыми абразивными кругами.

Испытания при профильном шлифовании фасонных поверхностей многосекционных плоских протяжек из сталей P18 (HRCэ 63...65), PP12Ф2K5M3-МП (HRCэ 66...68), P9M4K8-140 Известия МГТУ «МАМИ» № 2(10), 2010.

МП (HRCэ 63...66) и P6M5K5-МП (HRCэ 63...66) после закалки и отпуска проводились на станке модели PROFIMAT 412 фирмы «BLOHM».

Испытаниями установлено, что в зависимости от характеристики шлифовального круга, принятых схем крепления заготовки и условий подачи СОЖ при шлифовании протяжек на форсированных режимах по схеме глубинного шлифования возможно появление прижогов и микротрещин на поверхности профиля, расположенных в вертикальной плоскости и во впадине зуба.

Наилучшие результаты по производительности предварительного профилирования протяжек из сталей P18, P6M5K5-МП, P9M4K8-МП и P12Ф2К5М3-МП обеспечили высокопористые круги из электрокорунда белого зернистостью 12 твердостью I и номерами структуры 12-16, а по стойкости, точности и качеству окончательной обработки профиля высокопористые круги из электрокорунда белого зернистостью 12, твердостью H - I и номером структуры 12.

Производственными испытаниями высокопористых кругов при шлифовании без охлаждения инструмента из закаленных быстрорежущих инструментальных и конструкционных сталей: P6M5, P9Ф5, P9K10, 25ХГТ и ШХ15 установлено, что такие шлифовальные круги на 50 - 60% превосходят по общей стойкости круги с нормальной пористостью. Испытания проводились при шлифовании профиля червячных фрез на станках фирм «Мичиган» (США), «Икедаи» (Япония) и «Клингельнберг» (ФРГ).

При шлифовании отверстий фрез, шеверов и т.д. на внутришлифовальном станке СТ-1395 при скорости шлифовального круга, равной 20 м/сек, скорости вращения детали - 8 м/мин, предварительной подаче на глубину равной 0,03 – 0,05мм/мин, окончательной подаче - 0,005 – 0,01мм/мин. установлено, что высокопористые круги для внутреннего шлифования превосходят по общей стойкости обычные шлифовальные круги на 25%.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод о том, что высокопористые шлифовальные круги целесообразно применять в инструментальном производстве при выполнении операций шлифования инструментов, изготавливаемых из быстрорежущих сталей, в том числе порошковых и из твердого сплава.

Контроль феррофракции сред: особенности массово-операционной характеристики ее магнитофореза, двухэкспоненциальная модель

к.т.н. доц. Сандуляк А.А., Сандуляк Д.А., Полисмакова М.Н., д.т.н. проф. Сандуляк А.В.,
к.т.н. Ершова В.А.
МГТУ «МАМИ»
a.sandulyak@mail.ru

Аннотация. Излагаются основные положения двухэкспоненциальной модели магнитофоретического контроля ферропримесей в пробах анализируемых сред. Приводятся данные определения массы ферропримесей и их концентрации в формовочной смеси и сахаре.

Ключевые слова: ферропримеси, магнитофорез, экспоненциальная модель

Основные положения экспоненциальной модели

Многие сыпучие и жидкие среды (формовочная смесь для литьевых форм, бензин, дизтопливо, масло, СОЖ, пищевые продукты и др.) содержат такую, практически «штатную», фракцию различного рода примесей, как включения-примеси в виде феррочастиц.

«Источниками» их образования и поступления в производственные среды являются износ и коррозия металла (конструкционных сталей) оборудования. Нередко сами технологические операции сопровождаются вынужденным «сбросом» ферровключений (например,