

Рисунок 4 – Влияние количества (мас.%) Y_2O_3 на свойства вольфрама в спеченном состоянии (а) и при высоких (б) температурах (1-2 расчет, 3-б эксперимент)

Поэтому допустимыми пределами изменения активной фазы являются 0,5...1,5%, причем меньшее значение содержания легирующей добавки допустимо для контактов, работающих в цепи с силой тока менее 10А (магнето, контакты прерывателей зажигания ДВС), а большие значения – для контактов, коммутирующих токи свыше 10А, особенно в условиях горения затяжных дуг (контакты мощных, тяжело нагруженных трансформаторов, контакты с высокими токами короткого замыкания).

Выводы

Таким образом, проведенные исследования влияния легирования и структурности состояния на физико-механические свойства дисперсно-упрочненного вольфрама показали следующее:

- структура исследуемых сплавов в спеченном состоянии не может считаться удовлетворительной без применения последующей деформации;
- увеличение степени деформации, необходимое для увеличения компактности сплавов и ориентации зерен более 10% негативно сказывается на термической стабильности и тепло-электрофизических свойствах сплавов;
- оптимальное содержание в вольфраме наиболее стабильной легирующей добавки Y_2O_3 составляет 0,5...1,5 масс%;

В целом проведенные исследования показали перспективность применения металлокерамических сплавов ВИ-5 и ВИ-15 для контактов системы зажигания ДВС.

Литература

1. Арзамасов В.Б. Материалы для высокотемпературных электродов различного назначения. Справочник по конструкционным материалам. – М., МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005, 551-554.
2. Савицкий Е.М., Поварова К.Б., Макаров П.В. Материаловедение вольфрама. - М., «Металлургия», 1978, 223 с.
3. Пелецкий В.Э., Тимрот Д.Л. Высокотемпературные исследования тепло- и электропроводности твердых тел. – М., «Энергия», 1971, 192 с.

Статистическое моделирование выходных параметров в процессе обработки керамических композиционных материалов связанным абразивом

к.т.н. доц. Бахарев В.П., Кнутова Е.Е.
Филиал МГИУ в г. Кинешме

8 (49331) 5-82-50, 5-32-43, kineshma.msiu@rambler.ru

Аннотация. Изложены теоретические и экспериментальные результаты статистического моделирования процессов доводки керамики связанным абразивом

АС4 63/50. Представлены статистические уравнения с последующим понижением размерности задачи с целью адекватного анализа исследуемых закономерностей. Представлены экспериментальные зависимости выходных показателей процесса (скорость съема и шероховатость поверхности) в области статистического оптимума функции отклика при обработке керамики ВК-100 методом доводки связанным абразивом.

Ключевые слова: композиционная керамика, структура, показатели качества, доводка, моделирование, мощность резания, диспергирование.

Введение

Керамические композиционные материалы (ККМ), обладая комплексом необходимых свойств, все более интенсивно заменяют металлы во многих отраслях машиностроения: в высоконагруженных конструкциях авиационной и космической техники, автомобильных двигателей, подшипниках, в качестве режущего инструмента и т.д. [1]. Перспективность применения ККМ связана с доступностью сырья и экологической чистотой производства изделий из керамики. Технология их изготовления менее энергоемка, чем производство альтернативных металлических материалов.

Технические параметры изделий из керамики в значительной степени определяются всем технологическим циклом изготовления. Многочисленные исследования показывают, что в технологии производства изделий из керамики доминирует явление наследования свойств. Так, например, неравномерная микроструктура ухудшает физико-механические свойства изделия, снижает чистоту обработки поверхности и стабильность свойств. Наличие пористости и разветвленной сети межзеренных границ обуславливают плохую антифрикционность. Наряду с высокими прочностными свойствами ККМ обладают низкой трещиностойкостью, обусловленной технологией производства заготовки. Таким образом, не реализуются потенциально высокие функциональные свойства керамических материалов.

Обобщенная схема проектирования и алгоритм оптимизации технологического процесса представлены на рисунке 1.

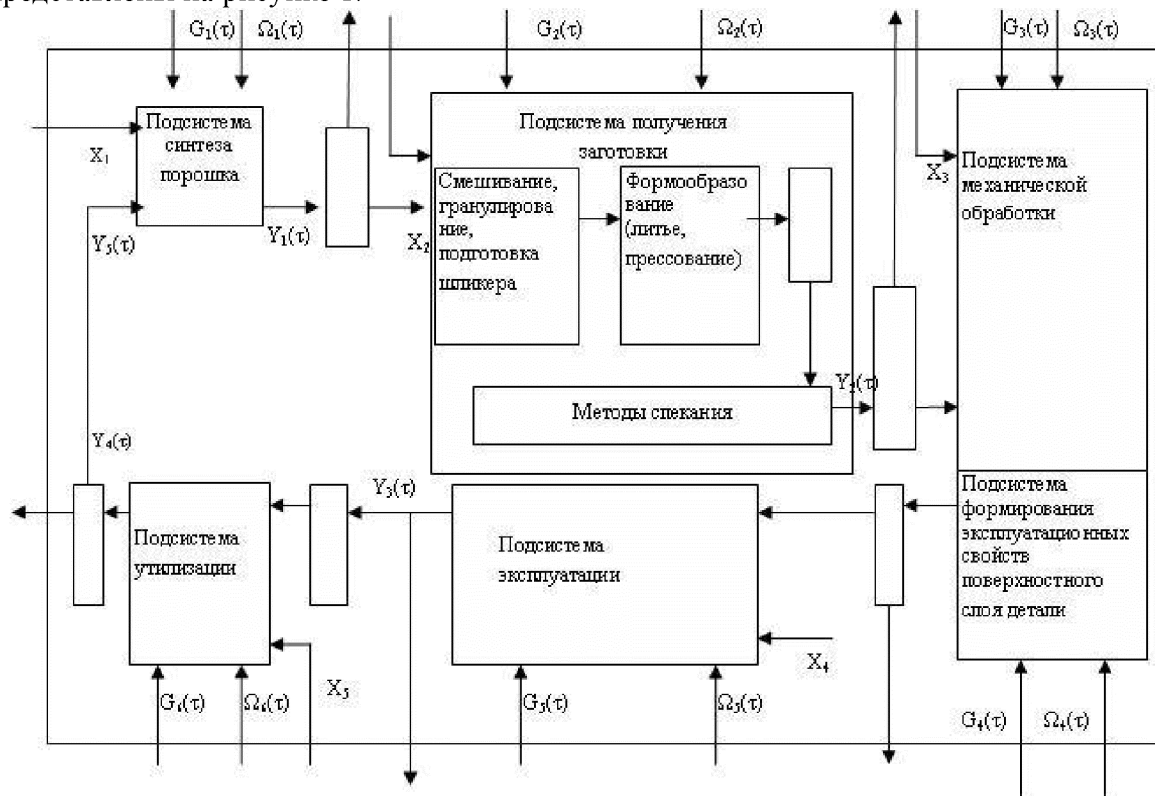


Рисунок 1 – Система связей жизненного цикла изделий из керамики: X, Y – зависимые факторы подсистемы «вход-выход»; G – регулируемые внешние факторы; Ω – нерегулируемые внешние факторы

Отклонение от оптимальных режимов в каждой из указанных технологических операций, предшествующих механической обработке, может привести к браку, который выявится лишь на финишной операции. Так, например, пористость керамического образца, вполне допустимая по критерию физических и электрических свойств, может оказаться причиной низкой шероховатости поверхности или брака после шлифования и доводки. Внутренние напряжения, возникающие в процессе спекания и обжига керамики, могут привести к растрескиванию заготовок в процессе механической обработки и эксплуатации [2].

Целью настоящих исследований является установление корреляционных зависимостей параметров структуры и свойств материала с выходными параметрами механической обработки в условиях неопределенности с учетом теории технологического наследования.

Постановка задачи

В производстве деталей из керамики заключительной размерной операцией является алмазно-абразивная доводка [3]. Это достаточно сложный процесс. Для него характерны основные особенности, затрудняющие прогнозирование качества изделий.

Процессы доводки свободным и связанным абразивом сопровождаются множеством управляемых, неуправляемых и случайных факторов, физический механизм комплексного воздействия которых полностью не может быть однозначно описан (см. рисунок 1). Сложность процесса формообразования заключается в том, что изменение какого-либо внешнего фактора приводит к изменениям условий взаимодействия всего комплекса факторов системы резания, и следствием этого является неправомерность распространения некоторых допущений при известных методиках расчета формообразования поверхностей [3].

При доводке действуют те же факторы, что и при абразивном изнашивании поверхностей деталей машин. Выводы из теории абразивного изнашивания деталей машин могут быть использованы при изучении процесса абразивной доводки с учетом её специфических особенностей. Заготовка и притир должны находиться в условиях управляемого абразивного диспергирования [4].

Съём материала заготовки (износ притира U) при абразивной доводке твердых тел в общем случае нелинейно зависит от скорости V движения заготовки и давления p .

Зависимость $U = f(p^m V^n)$, по данным многих исследователей процессов абразивного изнашивания и доводки закрепленными и незакрепленными зёрнами абразива, имеет различные значения показателей степени m и n при давлении p и скорости V , что свидетельствует о сложности процесса диспергирования. Следует ожидать, что такая функция отклика процесса доводки, как съём Q материала заготовки (или износ U притира) в результате разрушения материала поверхностного слоя (следовательно, и процесс формообразования поверхностей) в факторном пространстве p, V , будет характеризоваться явно выраженным экстремумом [3].

Процесс доводки заготовок осуществляется, как правило, с переменной скоростью относительного движения заготовки по рабочей поверхности притира. Движение абразивного зерна с переменной скоростью приводят к изменению скорости деформации и, следовательно, к неравномерному распределению деформации и напряжений в локальных микрообъемах поверхностных слоев контактирующих тел. Характер воздействия зерна определяется схемой силового нагружения в зоне отдельных микроконтактов трех тел (притира, зерна и заготовки) и скоростью их относительного движения. Это взаимодействие может завершаться отрывом частиц, срезанием микростружки, упругим или пластическим деформированием и передеформированием микрообъемов поверхностного слоя, что определяет неопределенность характера диспергирования.

Абразивное изнашивание и абразивная доводка по природе являются стохастическими процессами. Воздействия абразивных зёрен и технологической среды, носящие по природе случайный характер, обуславливают динамическое нагружение системы твердых тел «заготовка – абразивная прослойка – притир», что приводит к образованию в материале этих тел нестабильного сложнопеременного напряженного состояния. Характер разрушения поверх-

ностного слоя определяется уровнем напряжений и физико-механических свойств материалов в момент разрушения. Учитывая случайность возникновения контакта зерен с поверхностями заготовки или притира, а также неоднородность состояния поверхностных слоев, следует ожидать, что характер взаимодействия зерна с заготовкой и притиром определяется только случайным сочетанием всего комплекса факторов [5].

Состояние незакрепленных абразивных зерен в абразивной прослойке или закрепленных зерен в материале притира также зависит от состава неабразивных составляющих пасты (суспензии), рабочей жидкости, количества образующегося шлама (продуктов абразивного износа) и других факторов, т.е. состояние технологической среды уровня операции [2]. Таким образом, определение характера воздействия технологической среды на заготовку и притир представляется необходимым условием для прогнозирования особенностей разрушения материала заготовки и притира.

Анализ литературных источников показывает, что большинство исследований процесса доводки посвящено анализу влияния технологических факторов. При этом практически отсутствуют данные по влиянию механических свойств и структурных особенностей обрабатываемого материала на эффективность обработки. При обработке керамических материалов эти вопросы становятся приоритетными. Необходимо исследовать влияние физико-механических свойств, структурных особенностей обрабатываемого материала, а также свойств применяемых СОТС и условий их интенсивного проявления. Эти факторы процесса доводки минералокерамики существенно определяют эффективность обработки.

Воспроизводимые выходные параметры процесса (точность размеров и формы обработанной поверхности, качества поверхностного слоя деталей) можно получить только на основе рассмотрения всего комплекса явлений, происходящих в поверхностном слое – механических, физических, физико-химических процессов и определения степени влияния неучтенных факторов и явлений на его качественные и количественные показатели. Создать управляемый процесс доводки позволяет учет изменения факторов процесса доводки и их взаимодействия. При этом оказывается недостаточно традиционных математических подходов с использованием статистических моделей с линейными ограничениями, для которых усредненные значения входных параметров не являются экстремальными для заданных условий.

Авторами использованы для этих целей методы многомерного статистического анализа, которые позволяют отследить множество связей жизненного цикла керамических изделий (от синтеза порошка до формирования требуемых эксплуатационных свойств изделия) и установить корреляционные зависимости между входом и выходом системы. Факторный анализ позволяет объяснить влияние относительно небольшого числа скрытых факторов, изменчивостью которых объясняется нестабильность наблюдаемых выходных показателей.

Практически все математические методы направлены на снижение размерности [5]. Снижение размерности позволяет достигнуть большей наглядности полученных экспериментальных данных и простоты зависимостей за счет уменьшения количества переменных, снижения объемов хранимой информации. Задача снижения размерности будет эффективна в случае, если между исходными показателями существует сильная связь, в результате которой информация, содержащаяся в них, дублируется; либо слабая информативность некоторых показателей (случайные помехи). Однако снижение размерности не должно нарушать существенной для рассматриваемой задачи структуры данных. Особенно это важно в ситуации, когда «выход» одной подсистемы является «входом» для другой. В этом случае оцениваемые факторы можно считать причинами, а наблюдаемые признаки – следствиями. Результаты факторного анализа можно считать успешными, если большое число признаков удастся объяснить малым количеством причин. Вектор наблюдаемых признаков можно представить в виде комбинации исходных признаков (прогнозируемого и случайного).

Результаты исследования

Ниже представлены результаты исследования зависимости параметров качества поверхности керамики ВК-100, содержащей 99,8% оксида алюминия, от физико-механических свойств и структурных особенностей материала в процессах алмазной доводки. Оценка фи-

зико-механических характеристик поверхностного слоя производилась по параметру микротвердости с использованием стандартных методик (ПМТ-3). Структурные особенности поверхности изделия из керамики ВК-100 изучались с использованием металлографического анализа фотографий, полученных на микроскопе МИМ-7 с атомно-силовой микроскопией. Шероховатость поверхности оценивалась с использованием профилограмм, полученных на профилографе K202 с радиусом иглы измерительного наконечника 2 мкм.

Механическая обработка поверхности керамики производилась на стенде, собранном на базе доводочного станка 2ШП-200М. В качестве инструмента использовались специальные алмазные круги типа АПВ с зерном АС4 63/50, работающих торцом, с увеличенной шириной алмазного слоя, равной 10 мм. В качестве связок были опробованы органические связки Б1, Б156 и металлическая связка МО4. Эксперимент проводился при постоянной скорости вращения притира (до 5 м/с). В качестве СОТС использовался 2 % водный раствор кальцинированной соды.

В процессе экспериментов измерялись следующие параметры: шероховатость обработанной поверхности и скорость съема. В качестве входных переменных были использованы физико-механические свойства материала и свойства связки круга.

Результаты статистического анализа приведены на рисунке 2 (а, б, в, г).

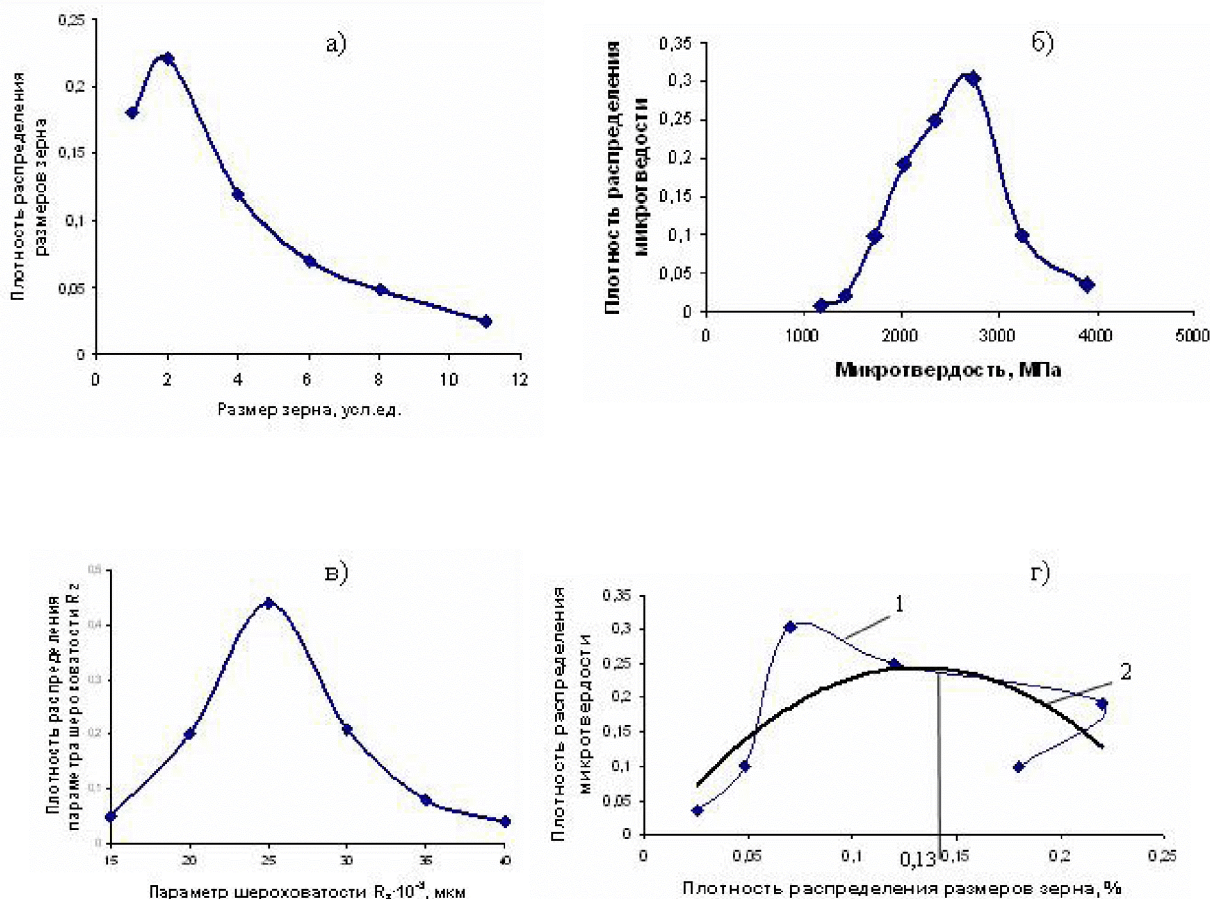


Рисунок 2 – Статистические зависимости связи «свойства – шероховатость» поверхности из керамики ВК-100: а) эмпирическая кривая распределение размера зерна; б) эмпирическая кривая распределения микротвердости поверхности; в) график плотности распределения шероховатости поверхности; г) корреляционная зависимость связи «размер зерна – микротвердость» (1 – экспериментальная, 2 – статистическая)

Для упрощения анализа была проведена процедура понижения размерности с использованием теории многомерного статистического анализа (рисунок 2г).

Уравнение статистической связи «размер зерна – микротвердость» имеет вид:

$$Z = 15,18x^2 - 4x + 0,02. \quad (1)$$

Экстремум полученной функции находится при значении плотности распределения размера зерен $Z = 0,13$, что соответствует размеру зерна керамики $d = 24$ мкм. Зафиксированная величина примерно соответствует критической высоте вылета зерна из связки ($0,5d$ зерна) алмазного круга.

В результате статистической обработки экспериментальных данных процесса обработки получены уравнения регрессии выходных параметров процесса для используемых связок.

Для параметра шероховатости Ra , мкм:

$$\begin{aligned} -Ra &= 0,369 + 0,701x + 0,224y - 1,886x^2 + 4,046xy - 6,200y^2 && \text{—МО4;} \\ -Ra &= 0,616 - 1,122x + 1,948y + 1,191x^2 + 10,436xy - 15,713y^2 && \text{—Б1;} \\ -Ra &= 0,495 + 2,039x - 1,034y - 4,556x^2 + 2,324xy - 0,896y^2 && \text{—Б156.} \end{aligned} \quad (2)$$

Для скорости съема q , мкм/мин:

$$\begin{aligned} -q &= 52,842 - 94,254x - 251,422y + 580,293x^2 + 643,362xy + 136,104y^2 && \text{—МО4;} \\ -q &= 2,077 - 26,923x + 49,181y + 680,199x^2 + 700,173xy - 1,912y^2 && \text{—Б1;} \\ -q &= 5,983 - 5,925x + 115,703y + 105,960x^2 - 532,669xy + 5,292y^2 && \text{—Б156,} \end{aligned} \quad (3)$$

где: x, y – плотность распределения размеров зерна и микротвердости, соответственно.

Анализ результатов показал, что представленные зависимости являются существенно нелинейными. Влияние факторов разнонаправленное. Перечисленные характеристики структуры и свойств материала являются значимыми факторами.

Была проведена процедура статистической оптимизации выходных параметров системы резания (шероховатость и скорость съема) с учетом технологических факторов в области экстремума функции Z . В качестве критерия оптимизации принято отношение величины минутного съема (q) к параметру шероховатости (Ra) обработанной поверхности, отражающий эффективность формообразования:

$$Y = \frac{q}{Ra}. \quad (4)$$

Уравнения поверхности отклика параметра оптимизации имеют вид:

$$\begin{aligned} Y &= 61,10 - 93,55x + 102,15y + 647,81x^2 - 183,78xy - 842,63y^2 && \text{—МО4;} \\ Y &= 35,44 - 236,46x + 127,66y + 699,97x^2 - 1518,63xy + 2072,72y^2 && \text{—Б1;} \\ Y &= 58,97 + 26,44x - 509,80y - 223,69x^2 - 723,47xy + 2604,05y^2 && \text{—Б156.} \end{aligned} \quad (5)$$

Наивысшие выходные показатели получены с использованием связки МО4.

В определенной точке экстремума ($Z = 0,13$) уравнения регрессии принимают вид:

$$\begin{aligned} Y &= 58,89 - 119,28x + 647,81x^2 && \text{—МО4;} \\ Y &= 93,94 - 449,07x + 699,97x^2 && \text{—Б1;} \\ Y &= 38,64 - 748,45x + 223,69x^2 && \text{—Б156.} \end{aligned} \quad (6)$$

Исходя из полученных результатов статистического моделирования были проведены сравнительные экспериментальные исследования выходных параметров процесса (скорость съема и шероховатость поверхности) для исследуемых связок (рисунок 3).

Установлено, что при удельной мощности резания $Q \geq 5 \cdot 10^5$ Вт/м² наблюдается интенсивное разрушение инструмента на органической связке (Б1). Экспериментальные зависимости подтверждают эффективность связки МО4 по производительности в сравнении с органическими связками, у которых интенсивное разрушение алмазного слоя наступает при меньших значениях мощности резания, что, соответственно, увеличивает расход алмаза. Параметры шероховатости поверхности определяются в основном зернистостью алмазного круга.

На рисунке 4 изображены зависимости параметра оптимизации, соответствующие

уравнениям (5), которые характеризуют существенное влияние связки круга на обобщенный критерий эффективности обработки (параметр оптимизации). Установлено, что наиболее эффективной является связка МО4. Значения параметра эффективности для связки МО4 существенно превышает аналогичные значения для органических связок.

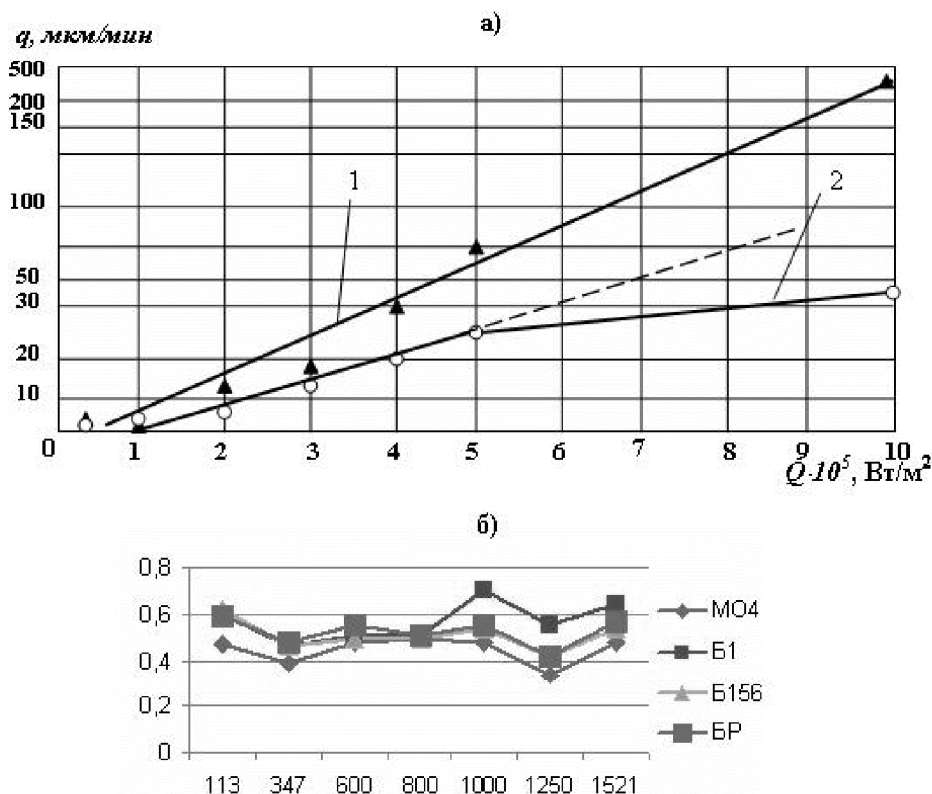


Рисунок 3 – Зависимости выходных параметров системы резания в функции удельной мощности механической энергии в зоне резания: а) скорости съема q , $\mu\text{м}/\text{мин}$ (1 – связка МО4, 2 – связка Б1); б) шероховатости поверхности Ra , $\mu\text{м}$

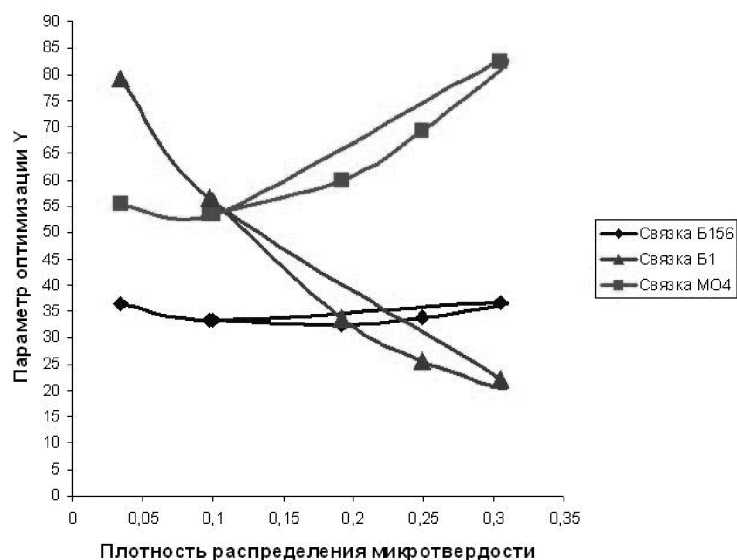


Рисунок 4 – Влияние состава и свойств связки на параметр оптимизации

Выводы

1. Статистическая оптимизация и управление процессом шлифования (доводки) керамики возможны при создании математической модели, которая позволяет выявить связи между множеством входных и выходных параметров процесса и обеспечить требуемое качество

обработанной поверхности, производительность и себестоимость обработки.

- Преимуществом статистического подхода является возможность установления для конкретных режимов и условий доводки оптимальной комбинации входных и других факторов системы резания (свойства связки, зернистость круга, СОТС). При этом проявляется возможность учета влияния физико-механических и структурных особенностей обрабатываемого материала на параметры качества изделия.

Литература

- Technische Keramik: Aufbau, Eigenschaften, Herstellung, Bearbeitung, Prüfung / Hrsg.: Horst-Dieter Tietz. Düsseldorf: VDI-Verl, 1994. 364 с.
- Бахарев В.П. Конструкторско-технологическое сопровождение производства изделий из керамических и композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. 2008. Вып. 3. С. 34 – 46.
- Орлов П.Н. Алмазно-абразивная доводка деталей. Сер. С-Х-4, М.: НИИмаш, 1972. 200с.
- Кашеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. М.: Машиностроение, 1978. 213 с.
- Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. М.: Машиностроение, 2009. 640с.

Отработанные автомобильные катализаторы – крупный источник вторичных драгоценных металлов

д.т.н. проф. Бобович Б.Б., Савко А.П.

Университет машиностроения

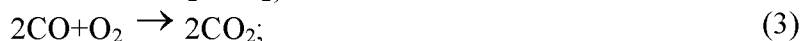
8 (495) 223-05-23 доб. 1313, eco@mami.ru

Аннотация. Отработанные автомобильные катализаторы являются крупными источниками вторичных драгоценных металлов. Проведён анализ гидрометаллургической и пирометаллургической технологий извлечения драгоценных металлов из отработанных автомобильных катализаторов. Показана целесообразность использования для утилизации нового поколения катализаторов на металлическом носителе коллекторной плавки в плазменно-дуговой печи с использованием самообразующегося стального коллектора. Намечены направления исследовательских работ по обоснованию параметров процесса утилизации автокатализаторов.

Ключевые слова: катализатор дожигания, пирометаллургическая технология утилизации, вторичные драгоценные металлы.

В соответствии с современными требованиями к экологической безопасности наземных транспортных средств все легковые автомобили комплектуются катализаторами дожигания выхлопных газов, что позволяет резко сократить содержание в них токсичных продуктов.

В катализаторах дожигания происходят реакции окисления и восстановления токсичных продуктов сгорания углеводородных топлив и превращения их в безвредные газы:



Такие реакции протекают на поверхности каталитически активных металлов – платины, палладия, родия, которые нанесены на высокоразвитую поверхность носителя катализатора. Величина поверхности зависит от объёма двигателя и достигает несколько сотен м², а толщина активного слоя составляет несколько нанометров. В зависимости от конструкции автомобиля в катализаторе содержится от 0,09 до 0,13% драгоценных металлов, что составляет от 2 до 4 граммов [1]. В качестве носителя драгметаллов в катализаторах используется пористая алюмооксидная керамика либо гофрированная стальная фольга (рисунок 1).

Благодаря меньшей толщине стенки металлического носителя (0,04 мм) по сравнению