

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА МАО АЛЮМОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ

ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Возрастание роли финишных операций обработки конструкционной керамики обусловлено сложностью получения бездефектной поверхности, необходимостью обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя и повышения производительности процесса. На повышение эффективности обработки керамических материалов существенное влияние оказывают их физико-механические свойства. К ним относятся высокая твердость, теплостойкость, износостойкость, хрупкость, прочность, устойчивость к резкому перепаду температур, высокая химическая инертность. Прочность поверхностного слоя деталей из керамических материалов в значительной степени определяется состоянием поверхности, в частности, наличием на ней сколов, микротрещин, микровыколов, которые могут быть следствием предшествующих (получение полуфабриката, формование, прессование, обжиг) или финишных стадий техпроцесса изготовления (механическая обработка) [1].

Некоторые проблемы повышения эффективности операций позволяет решить магнитно-абразивная обработка (МАО). При МАО сформированный магнитным полем ферроабразивный порошок осуществляет абразивное воздействие на обрабатываемую поверхность при «мягких» значениях силовых и температурных параметров, при этом исключается вредное влияние вибраций, биений, низкой точности настройки оборудования и др. [2, 3].

Целью настоящей работы является исследование влияния параметров процесса на повышение производительности магнитно-абразивной обработки керамики из оксида алюминия.

Исследования проводились по схеме магнитно-абразивной обработки, приведенной на рисунке 1 [4]. В рабочую зону между чашеобразными полюсными наконечниками 1, установленными с возможностью синхронного вращения помещали ферроабразивный порошок 2 и керамический образец 3.

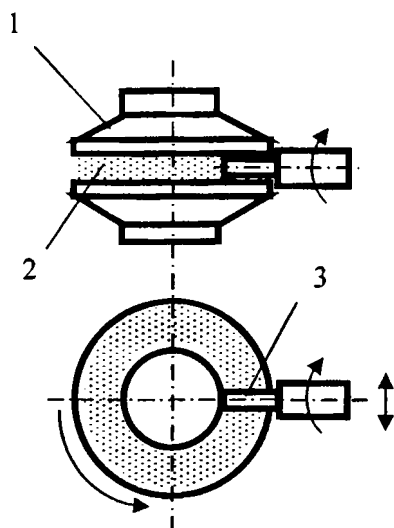


Рис. 1. Схема обработки образцов:

- 1 — полюсные наконечники;
- 2 — ферро-абразивный порошок;
- 3 — образец

При первой схеме обработки образцу 3 сообщали вращение вокруг собственной оси, перпендикулярной оси вращения инструмента и поступательное перемещение вдоль рабочего зазора, при этом полюсные наконечники 1 оставались неподвижны. При второй схеме обработки образцу 3 сообщали вращение вокруг собственной оси, перпендикулярной оси вращения инструмента, а полюсным наконечникам 1 — синхронное вращательное движение вокруг их общей оси вращения. Сформированный постоянным магнитным полем магнитно-абразивный инструмент в форме кольца 2, расположенный между торцевыми поверхностями наконечников 1, набегает на образец 3, огибает его и вновь восстанавливает свою форму. По истечении времени обработки образец быстро выводился из рабочей зоны. В каждой серии опытов обрабатывалась партия из 5 образцов. Между полюсами и образцами обеспечивали одинаковые рабочие зазоры.

Эксперимент был реализован на установке, содержащей горизонтально-фрезерный станок мод. 6М82 и магнитную систему с чашеобразными полюсными наконечниками. Вращение наконечникам сообщали при помощи электродвигателей магнитной системы, образцам — от шпинделя мод. ЭШ 48/2,2. Поступательное движение образцам обеспечивали за счет вертикального перемещения стола станка. Опытты осуществлялись в условиях реального технологического процесса обработки.

При обработке были приняты следующие значения технологических параметров: окружную скорость вращения образца изменяли в пределах  $V=1,5 \dots 18,0$  м/с; зернистость порошка —  $\Delta = 100/50 - 400/315$  мкм; рабочий зазор выбирали равным  $\delta = 2$  мм;  $\delta = 3,5$  мм. Постоянными технологическими

факторами были приняты: величина магнитной индукции в рабочем зазоре  $B = 0,5$  Тл; скорость вращения полусных наконечников  $V_{пн} = 2,05$  м/с; скорость подачи  $V_{п} = 0,0017$  м/с; время обработки  $t = 60$  с; СОЖ – 1,5 %-ый раствор эмульсола "Синма-2" в водопроводной воде. В качестве инструмента использовали ферромагнитный абразивный порошок «Полимам-Т» [5], материал абразивной составляющей – карбид титана  $TiC$ , микротвердость абразивной составляющей  $H_a = 35...40$  ГПа, коэффициент заполнения зазора –  $K_3 = 1$ .

Осуществляли обработку образцов из керамики на основе  $Al_2O_3$  размером  $D \times l = 7 \times 40$  мм. Исходная шероховатость поверхности образца составляла  $Ra = 1,47...1,62$  мкм, пористость –  $\rho = 0,4...1,0$  %, микротвердость основы  $H = 6,1...6,5$  ГПа, микротвердость включений  $H_1 = 13,2...13,6$  ГПа.

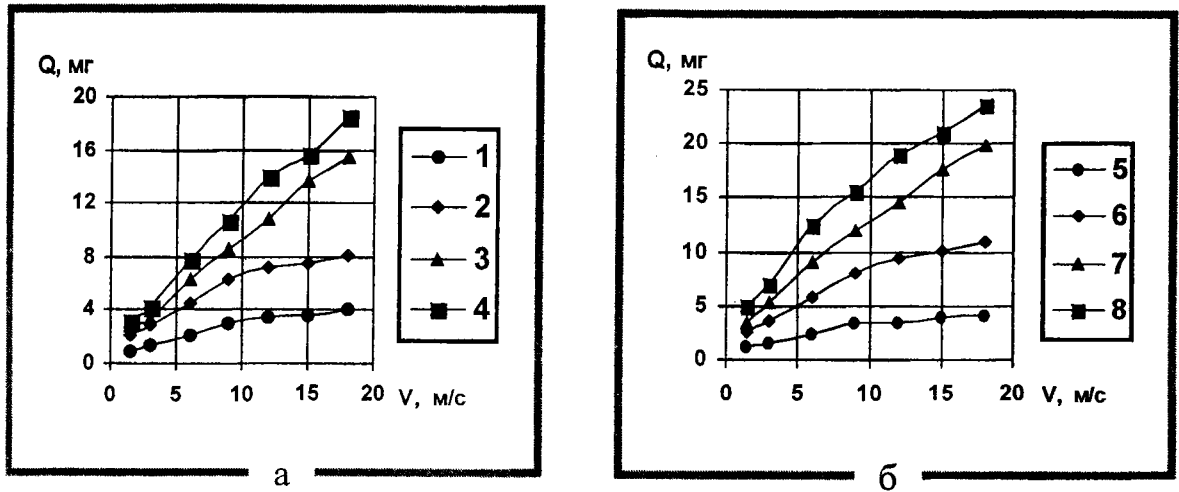


Рис. 2. Зависимость величины массового съема  $Q$  материала от окружной скорости вращения образца  $V$  и зернистости порошка  $\Delta$  при обработке по схеме 1 ( $V_{п} = 0,0017$  м/с, а –  $\delta = 3,5$  мм, б –  $\delta = 2,0$  мм): 1 –  $\Delta = 100/50$  мкм; 2 –  $\Delta = 200/160$  мкм; 3 –  $\Delta = 315/200$  мкм; 4 –  $\Delta = 400/315$  мкм

Значения весового съема определяли на весах ВЛА-200-М, шероховатость поверхности - на профилографе-профилометре мод. 252. Процесс магнитно-абразивной обработки керамических деталей изучался с позиций производительности обработки. За критерий производительности была принята величина съема материала  $Q$ .

Результаты исследований представлены на рисунках 2 и 3. Анализ полученных результатов показывает, что для рассматриваемых схем обработки величина съема материала образцов зависит от изменения скорости главного рабочего движения  $V$ , величины рабочего зазора  $\delta$  и наличия относительных перемещений детали и инструмента. Обработка при наличии дополнительного вращательного движения полусных наконечников (рис. 3) по сравнению с обработкой без вращения (рис. 2) обеспечивает в 1,3...2,1 раза более высокую производительность по съему материала при любых значениях окружной скорости вращения образца, заданных величинах зазоров и значениях зернистости. Дополнительное рабочее движение инструмента позволяет увеличить значения массового съема с 8,17 мг до 17,49 мг или в 2,1 раза ( $V=18$  м/с,  $\delta=3,5$  мм), и с 10,98 мг до 21,93 мг, или в 2,0 раза ( $V=18$  м/с,  $\delta=2$  мм). Увеличение зернистости ферро-абразивного порошка с  $\Delta = 100/50$  мкм до  $\Delta = 400/315$  мкм приводит к возрастанию значений съема во всем исследуемом диапазоне скорости резания (с 0,92 мг до 3,16 мг для  $V = 1,5$  м/с и с 4,02 мг до 18,46 мг для  $V = 18$  м/с, рис. 2,а).

Обработка результатов экспериментов, представленных на рис. 2, а позволила получить следующие выражения для массового съема при обработке по схеме 1 с величиной рабочего зазора  $\delta = 3,5$  мм:

$$Q_1 = 0,3219 + 0,3673V - 0,0091V^2; \quad (1)$$

$$Q_2 = 0,9010 + 0,7457V - 0,0192V^2; \quad (2)$$

$$Q_3 = 1,2639 + 0,8404V - 0,0230V^2; \quad (3)$$

$$Q_4 = 1,3234 + 1,0977V - 0,0960V^2; \quad (4)$$

где  $Q_1 - Q_4$ , мг - величина съема материала;  
 $V$ , м/с - окружная скорость вращения образца.

Обработка результатов, представленных на рис. 2, б позволила получить следующие выражения для массового съема при обработке по схеме 1 с величиной рабочего зазора  $\delta = 2,0$  мм:

$$Q_5 = 0,6458 + 0,36V - 0,0094V^2; \quad (5)$$

$$Q_6 = 0,9863 + 0,9812V - 0,0233V^2; \quad (6)$$

$$Q_7 = 1,5025 + 1,3129V - 0,0230V^2; \quad (7)$$

$$Q_8 = 2,5137 + 1,7101V - 0,0281V^2, \quad (8)$$

где  $Q_5 - Q_8$ , мг - величина съема материала;  
 $V$ , м/с - окружная скорость вращения образца.

Наличие дополнительного вращательного движения инструмента способствует непрерывному контакту в системе деталь-инструмент, создает условия для повышения давления порошка на обрабатываемую поверхность, что обеспечивает повышение производительности обработки. Известно, что сочетание относительных движений детали и инструмента при наружном круглом шлифовании и полировании цилиндрических поверхностей приводит к заметному увеличению съема и уменьшению шероховатости обработанной поверхности.

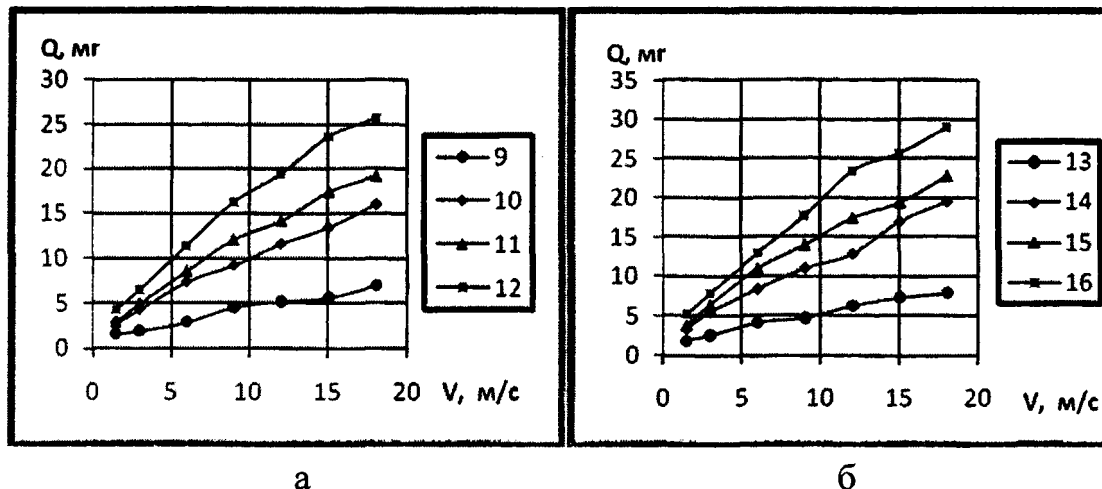


Рис.3. Зависимость величины массового съема  $Q$  материала от окружной скорости вращения образца  $V$  и зернистости порошка  $\Delta$  при обработке по схеме 2 ( $V_{\text{шп}} = 2,05$  м/с,  $a - \delta = 3,5$  мм,  $b - \delta = 2,0$  мм): 1 -  $\Delta = 100/63$  мкм; 2 -  $\Delta = 200/160$  мкм; 3 -  $\Delta = 315/200$  мкм; 4 -  $\Delta = 400/315$  мкм

Обработка результатов экспериментов, представленных на рис. 3 позволила получить следующие выражения для массового съема при обработке по схеме 2:

$$Q_9 = 0,9682 + 0,3901V - 0,0036V^2; \quad (9)$$

$$Q_{10} = 1,4702 + 0,9727V - 0,0086V^2; \quad (10)$$

$$Q_{11} = 0,9744 + 1,3943V - 0,0211V^2; \quad (11)$$

$$Q_{12} = 1,2956 + 1,89781V - 0,0296V^2, \quad (12)$$

$$Q_{13} = 1,2565 + 0,4918V - 0,0066V^2; \quad (13)$$

$$Q_{14} = 2,3882 + 0,9259V + 0,0013V^2; \quad (14)$$

$$Q_{15} = 1,8395 + 1,5824V - 0,0245V^2; \quad (15)$$

$$Q_{16} = 1,9496 + 2,0988V - 0,033V^2, \quad (16)$$

где  $Q_9 - Q_{16}$ , мг - величина съема материала;  
 $V$ , м/с - окружная скорость вращения образца.

Другой причиной, объясняющей зарегистрированный характер зависимостей, является восстановление абразивных свойств и плотности ферроабразивной массы и является особенностью предложенной схемы MAO (рис. 1). При вращении наконечников 1 сформированный в кольцевую щетку ферроабразивный порошок 2 набегает на образец 3 и оказывает на него абразивное воздействие. В рабочей зоне под действием сил резания, обусловленных вращающимся образцом, частицы порошка перемещаются в сторону наконечника, следующего вторым по направлению её вращения, т.е. в сторону уменьшения рабочего зазора. При этом частицы порошка дополнительно (помимо действия сил магнитного поля) уплотняются, возрастает интенсивность механического заклинивания, что приводит к увеличению жесткости щетки и сил резания. Под действием сил резания происходит перемешивание слоя порошка, производящего обработку, с частицами, ранее не участвовавшими в резании и переориентация частиц, участвовавших в обра-

ботке. Частицы порошка, огибающие образец 3, попадают на расстояние, достаточное для их взаимного притяжения, выстраиваются цепочками вдоль магнитных силовых линий, замыкая магнитный поток в зазоре и обеспечивая плотность порошка равную исходной, или близкую к ней. Тем самым происходит перемешивание и переориентация ферромагнитных абразивных зерен, восстановление рабочих свойств магнитно-абразивной массы, равных исходным или близким к ним.

Увеличение окружной скорости интенсифицирует указанные явления. Увеличивается общее количество абразивных взаимодействий в единицу времени, возрастают силы резания, что приводит к увеличению производительности обработки.

Полученные результаты свидетельствуют о предпочтительности сочетания вращения детали с вращением инструмента в форме кольца по сравнению со способом обработки, содержащим поступательное перемещение детали вдоль рабочего зазора. Преимущества метода обусловлены увеличением результирующей скорости резания за счет дополнительного движения инструмента относительно образца, несовпадением траекторий перемещения зерен порошка по поверхности детали и направлением рисков исходной шероховатости. Самозатачивание и переориентация порошковой массы, обеспечиваемые за счет движения инструмента, способствует повышению её режущей способности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ваксер Д.Б. и др. Алмазная обработка технической керамики. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160 с.
2. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
3. Устинович Д.Ф. Исследование эффективности МАО керамики из оксида алюминия // Технология машиностроения. – 2003. – №1. – С.30–32.
4. Устинович Д.Ф., Ящерицын П.И. Возможность скоростной магнитно-абразивной обработки // Вести НАН Б. Сер. физ.-техн. наук, 1998. – №3. – С. 53–57.
5. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.

УДК 549.2:535.211

*Голубев В.С., Романчук И.А., Черникович В.Н.*

## МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТАНОВКИ ВОЗДУШНО- ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ «КИЕВ-4М» ПОД ЗАДАЧИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск,  
Беларусь*

Необходимым условием прогресса промышленного производства, дальнейшего роста ВВП, выполнение программы импортозамещения является совершенствование технологических процессов соединения и обработки материалов. Поэтому трудно переоценить значение разработки новых способов сварки, резки и модифицирования поверхности стали и сплавов с использованием в качестве теплового источника концентрированных потоков энергии лазерного излучения и плазменного факела.

Общим для этих методов является подвод тепловой энергии в заданную точку поверхности, последовательный нагрев соседних точек в результате относительного перемещения теплового пучка, скоростное охлаждение нагретого слоя кондуктивным теплоотводом во внутренние слои заготовки или детали. Такой способ нагрева и охлаждения позволяет изменять структуру и свойства поверхностных слоев только в заданных участках детали, т.е. в результате его проведения высокая твердость поверхностных слоев сочетается с высокой вязкостью внутренних объемов, что позволяет упрочнять и восстанавливать изношенные поверхности и увеличивать сроки эксплуатации деталей машин и механизмов в 1.5-2 и более раз.

Плазменная струя в качестве теплового источника обладает преимуществами перед инфракрасными лазерами прежде всего по причинам экономическим. Кроме того, здесь не требуется сложной оптико-механической системы транспортировки лазерного луча. В тоже время мощность дуги, создаваемая плазменным факелом, может достигать 4-6 кВт, т.е. близка к аналогичной