

Д. Ф. УСТИНОВИЧ, канд. техн. наук

(Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск),

С. А. ФИЛАТОВ, канд. техн. наук

(Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск)

Исследование эффективности магнитно-абразивной обработки керамики из оксида алюминия

Высокие эксплуатационные свойства технической керамики обусловили широкое применение изделий из нее в сфере строительства, коммуникаций, жизнеобеспечения, транспорта. Однако по-прежнему остается актуальной задача разработки высокоэффективных, экологически чистых и ресурсосберегающих финишных технологических процессов, расширяющих технологические возможности существующих методов обработки традиционных и новых керамических материалов, обладающих широким спектром физико-механических и технологических свойств. Магнитно-абразивная обработка (МАО) является одним из методов, позволяющих обрабатывать изделия со сложным профилем, например деталей типа тел вращения с криволинейной образующей. При МАО эластичный обрабатывающий инструмент, состоящий из ферромагнитной абразивной порошковой массы, уплотненной энергией магнитного поля, совершает силовое абразивное воздействие на поверхность обрабатываемой детали.

Анализ априорной информации показывает, что имеются некоторые сведения о результатах МАО твердых хрупких материалов при скорости резания до 2,1 м/с [1]. Увеличение скорости резания является одним из основных способов роста производительности и экономичности алмазного шлифования и доводки керамики [2]. В литературе отсутствуют данные о влиянии скорости резания на обрабатываемость керамических материалов, закономерно-

стях и связях параметров производительности и качества с технологическими факторами процесса обработки эластичными абразивными средами. Керамика на основе Al_2O_3 обладает высокой термостойкостью, теплопроводностью и механической прочностью, стабильными диэлектрическими свойствами, изделия из нее широко применяют в различных отраслях промышленности. В связи с этим цель настоящей работы — исследование эффективности магнитно-абразивной обработки керамики из оксида алюминия.

Эксперименты проводили на установке ВАРМ-200, содержащей горизонтально-фрезерный станок 6М82 и магнитную систему, полюсные наконечники которой имели плоские рабочие поверхности. Вращение образцам сообщалось от высокоскоростного шпинделя ЭШ-48/2,2, закрепленного на столе станка. Поступательное движение образцам обеспечивали за счет вертикального перемещения стола станка.

Использовали схему обработки¹, приведенную на рис. 1. В рабочую зону между полюсами 1 электромагнитов помещали ферроабразивный порошок 2 и образцы 3. Последним сообщали вращение вокруг собственной оси и поступательное перемещение вдоль оси рабочего зазора. Их перемещали последовательно друг за другом у противоположных полюсов электромагнитов. Траектории перемещений образцов представ-

ляли собой прямые линии. Расстояние между траекториями выбирали в пределах $h = 1,5D$ (D — диаметр образца). Между полюсами и образцами обеспечивали одинаковые рабочие зазоры.

В каждой серии испытаний обрабатывали партию из пяти образцов. При обработке приняты следующие значения параметров: скорость резания $v_p = 1,5-15,0$ м/с; скорость подачи $v_n = 0,0017$ м/с; магнитная индукция в зазоре $B = 0,5$ Тл; расстояние между траекториями поступательного перемещения образцов $h = 10$ мм; рабочий зазор $\delta = 3$ мм; $\delta = 4$ мм; СОЖ — 3 %-ный раствор эмульсола "Синма-2" в водопроводной воде, время обработки $t = 60$ с. Использовали ферроабразивный порошок "Полимам Т" на основе Fe—C—Si—Ti (абразивная составляющая — TiC, микротвердость 35—40 ГПа, намагниченность насыщения $8,04 \cdot 10^5$ Гн/м). Порошок не содержит свободного графита, который ухудшает качество обработки. Матрица порошка представляет собой двухфазную эвтектику микротвердостью 6—7 ГПа.

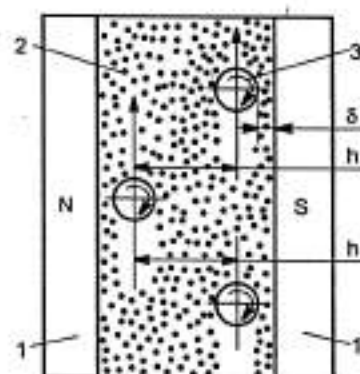


Рис. 1. Схема обработки образцов

¹ А. с. 1834161 (СССР).

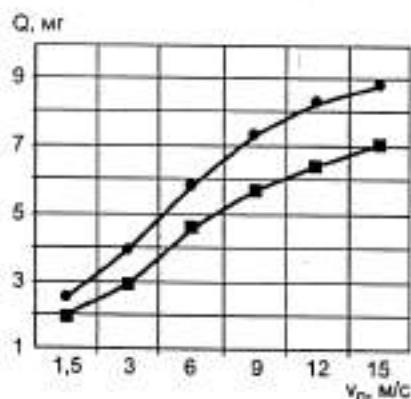


Рис. 2. Зависимость массового съема материала от скорости резания: 1 — $\delta = 3$ мм; 2 — 4 мм

В качестве образцов использовали цилиндры из керамики на основе Al_2O_3 размером $D \times l = 40 \times 6,7$ мм, изготовленные по традиционной технологии. Исходная шероховатость поверхности $Ra = 1,57-1,62$ мкм, микротвердость основы 6,1—6,5 ГПа, микротвердость включений 13,2—13,8 ГПа, пористость 0,5—1,0 %.

Микротвердость керамики измеряли на приборе "Mikromet-II" фирмы Buehler (Швейцария) при нагрузке $P = 1$ Н. Значения массового съема определяли на весах ВЛА-200М, шероховатость поверхности — на профилографе-профилометре 252. Процесс магнитно-абразивной обработки керамических деталей изучали с позиций производительности и качества обработки. За критерий производительности приняли величину массового съема материала Q , качество оценивали параметром шероховатости поверхности.

Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3. Анализ экспериментальных данных (см. рис. 2) показывает, что Q зависит от технологических параметров процесса, т. е. скорости резания и рабочего зазора. При этом характер зависимости Q от v_p приблизительно одинаков для различных значений зазора. Отличие заключается в численных значениях Q . Обработка при $\delta = 3$ мм (кривая 1) по сравнению с обработкой при $\delta = 4$ мм (кривая 2) обеспечивает более высокую производительность (в 1,26—1,32 раза) по съему

во всем исследованном диапазоне скоростей обработки.

С увеличением окружной скорости образца от 1,5 до 15,0 м/с (в 10 раз) значение весового съема возрастает от 2,5 до 8,8 мг, или в 3,52 раза (см. рис. 2, кривая 1), а также от 1,9 до 7,05 мг или в 3,68 раза (см. рис. 2, кривая 2). Обработка результатов эксперимента методами математической статистики позволила установить, что зависимость съема металла от скорости резания выражается следующими уравнениями регрессии ($r = 0,99 \pm 1,0$):

$$Q_1 = 1,1641 + 0,9616v_p - 0,0306v_p^2; \quad (1)$$

$$Q_2 = 0,8637 + 0,7681v_p - 0,02461v_p^2. \quad (2)$$

где Q_1, Q_2 — съем материала при δ , равном 3 и 4 мм соответственно.

Анализ экспериментальных данных (см. рис. 3) показывает, что зависимости изменения шероховатости поверхности образцов от скорости резания, обработанных при различных значениях рабочего зазора, носят аналогичный характер. При этом образцы, обработанные при меньшем зазоре, имеют меньшую шероховатость (см. рис. 3, кривая 1). Увеличение v_p от 1,5 до 15,0 м/с приводит к снижению шероховатости поверхности в 1,85 (кривая 1) и 1,82 раза (кривая 2).

Обработка результатов экспериментов методами математической статистики позволила получить следующие выражения для

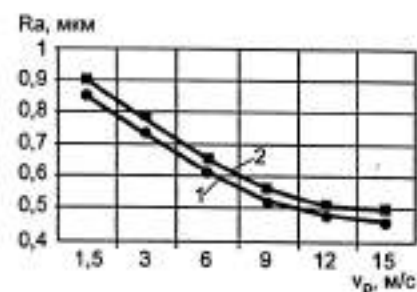


Рис. 3. Зависимость параметра шероховатости поверхности керамических образцов от скорости резания (1, 2 — см. рис. 2)

параметра шероховатости поверхности:

$$Ra_1 = 0,9609 - 0,0764v_p + 0,0031v_p^2; \quad (3)$$

$$Ra_2 = 1,0003 - 0,0807v_p + 0,0033v_p^2. \quad (4)$$

где Ra_1, Ra_2 — параметр шероховатости поверхности образцов после обработки соответственно при δ , равном 3 и 4 мм.

Приведенные выше закономерности обусловлены особенностями силового взаимодействия между инструментом и обрабатываемой поверхностью и его изменением при увеличении скорости резания [3, 4]. В процессе обработки образец испытывает давление ферромагнитной абразивной массы, расположенной между обрабатываемой поверхностью и поверхностью полюсного наконечника. Как показали исследования, указанное давление возрастает с уменьшением рабочего зазора. Это можно объяснить уменьшением общего количества звеньев в цепочках из зерен порошка в зоне минимального зазора, что приводит к повышению плотности пространственной упаковки зерен, уменьшению пористости и повышению жесткости магнитно-абразивного инструмента. Кроме этого, при вращении образца под действием сил резания и трения порошок перемещается в сужающееся пространство между деталью и полюсным наконечником, создавая дополнительное давление на обрабатываемую поверхность.

Другой причиной, объясняющей установленные закономерности, является постоянство силового взаимодействия между инструментом и обрабатываемой поверхностью и отсутствие его затухания во времени. Последнее обеспечивается за счет восстановления абразивных свойств и плотности магнитно-абразивной массы и является достоинством предлагаемой схемы МАО. Каждый образец при перемещении вдоль зазора сообщает пере-

мещение слою порошка, уплотненного при перемещении предыдущего образца, к противоположной стороне рабочей зоны. Происходит перемешивание порошка этого слоя с частицами, ранее не участвовавшими в резании, и переориентация частиц, участвовавших в обработке. Частицы порошка, оказавшись на расстоянии, достаточном 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. Происходит ликвидация зоны с меньшей плотностью порошка, перемешивание и переориентация ферромагнитных абразивных зерен, восстановление рабочих свойств магнитно-абразивной массы, равных исходным

или близким к ним. Порошковая масса с восстановленной плотностью и режущими свойствами уплотняется силами магнитного поля и располагается на траектории движения каждого образца. При подаче образцов вдоль зазора магнитно-абразивный инструмент сопротивляется смещению и производит давление на их поверхность. Увеличение скорости резания интенсифицирует указанные явления.

Разработанная схема МАО наружных поверхностей вращения деталей из керамики на основе Al_2O_3 позволяет расширить технологические возможности метода. Для предложенной схемы получены зависимости между съемом материала, шероховатостью поверхности и скоростью резания при различных значениях рабочего зазора.

Доказано, что производительность и качество МАО керамики зависят от скорости резания. При этом увеличение рабочей скорости позволяет повысить производительность процесса в 3,5—3,7 раза при одновременном снижении шероховатости поверхности на 45—46 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оликер В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий. М.: Металлургия, 1990. 176 с.
2. Скоростная алмазная обработка деталей из технической керамики / Н. В. Никитков, В. Б. Рабинович, В. Н. Субботин, Н. И. Шипилов. Л.: Машиностроение (ЛЮ), 1984. 131 с.
3. Устинович Д. Ф. Исследование и разработка технологического процесса скоростной МАО. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1994. 20 с.
4. Устинович Д. Ф., Яцерицый П. И. // Вести НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 1998. № 3. С. 53—57.