

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИТИРА НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПЛАСТИН ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КЕРАМИКИ НА ОПЕРАЦИИ АЛМАЗНОЙ ДОВОДКИ

Е.Е. Кнутова, Е.Н. Цыпкин, Э.М. Берлинер, А.Б. Климов

Рассмотрена типовая схема финишной обработки пластин из технической керамики ВК-100. Предложено решение проблемы низкой производительности операции алмазной доводки путем модернизации притира. Установлено положительное влияние сконструированного притира на выходные показатели качества обрабатываемой поверхности. Разработана нейросетевая модель оптимизации динамически изменяющихся параметров процесса доводки керамических пластин.

Ключевые слова: техническая керамика, доводка алмазная, притир, качество поверхности, нейросетевая модель

Введение

Керамические материалы относятся к категории хрупких неметаллических материалов (ХНМ). Эти материалы, обладая комплексом требуемых свойств, все более интенсивно заменяют металлы во многих отраслях народного хозяйства. Они применяются в качестве конструкционных материалов для деталей автомобильных двигателей, подшипников, режущего инструмента, а также в микроэлектронике.

Структура керамических материалов состоит из двух различных фаз: твердых и хрупких зерен корунда и относительно мягких зерен стекловидной фазы, из которых первая имеет преобладающее значение (90–99,5%). Микроструктура корундового микролита крайне неоднородна, с плотной упаковкой кристаллов малыми размерами межкристаллического слоя и самих кристаллов с округленной и продолговатой формой. Основная особенность структуры керамических материалов состоит в том, что атомы в них объединяются частично ионными, а частично ковалентными связями, что объясняет значительную их прочность.

Особое место в керамических материалах занимает техническая керамика на основе оксида алюминия ВК-100, содержащая 99,8% Al_2O_3 , применяемая в качестве подложек гибридных интегральных схем (ГИС). Функциональное назначение пластин из данной керамики предъявляет особые требования к размерным параметрам (рис. 1) и физико-меха-

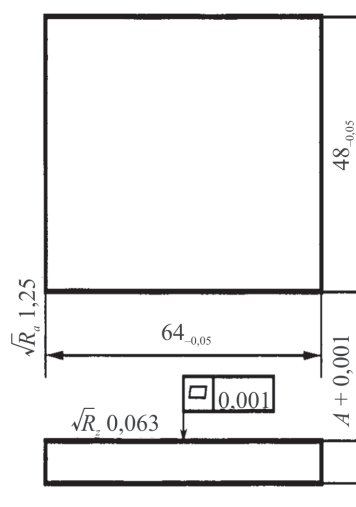


Рис. 1. Размерные параметры подложки из керамики ВК-100

ническим свойствам – физическому состоянию поверхностных слоев, глубине приповерхностных трещин, уровню макро- и микронапряжений и др. [1]. Специфические физико-механические свойства позволяют отнести керамику ВК-100 к группе наиболее труднообрабатываемых материалов.

Постановка проблемы и задач исследования

Технические параметры изделий из керамики определяются технологией изготовления. Особое внимание уделяется операциям доводки, так как именно на этих операциях достигаются качественные показатели подложек, регламентируемые техническими требованиями. Типовая технологическая схема механической обработки подложек на базовом предприятии представлена на рис. 2.

Себестоимость финишных технологических операций абразивной обработки в машиностроении до сих пор остается достаточно высокой. Это связано с относительно высокой трудоемкостью выполнения доводочных операций.

На первой операции доводки алмазной пастой 5/3 ПОМ на чугунном притире достигается 11–12 класс чистоты ($R_z = 0,25–0,125$ мкм). Время доводки для достижения необходимой величины съема ($\approx 20–30$ мкм) и указанной шероховатости составляет 21–23 минуты. Для достижения 13 класса шероховатости ($R_z 0,1–0,05$ мкм) по техническим условиям

используется вторая операция доводки на текстолитовом притире в течение 10–15 минут. Таким образом, общая трудоемкость доводочных операций составляет около 35 минут. Наряду с требованиями по шероховатости и отклонению от плоскостности к изделиям подобного рода предъявляют специфические требования, которые выражаются числом и размером царапин.

Физико-механические процессы, происходящие при доводке деталей свободным абразивом, до сих пор являются предметом изучения. Процесс доводки свободным абразивом сопровождается множеством управляемых, неуправляемых и случайных факторов, физический механизм комплексного воздействия которых полностью не может быть описан. В работе [2] установлено, что кинематические параметры процесса доводки на чугунном притире существенно не влияют на изменение шероховатости поверхности керамической подложки, что согласуется с результатами предварительно проведенных экспериментов.

В связи с этим в данной работе предложено в качестве фактора, влияющего на выходные характеристики процесса доводки, рассмотреть конструкцию притира. Модернизация конструкции притира заключалась в применении вставок в виде концентрических окружностей (рис. 3) из композиционного материала. Композит заливался в предварительно подготовленные канавки чугунного притира. После полного затвердевания композита притир под-

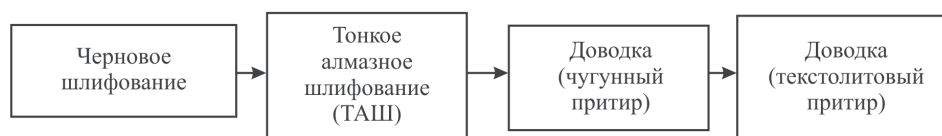


Рис. 2. Технологическая схема обработки подложек

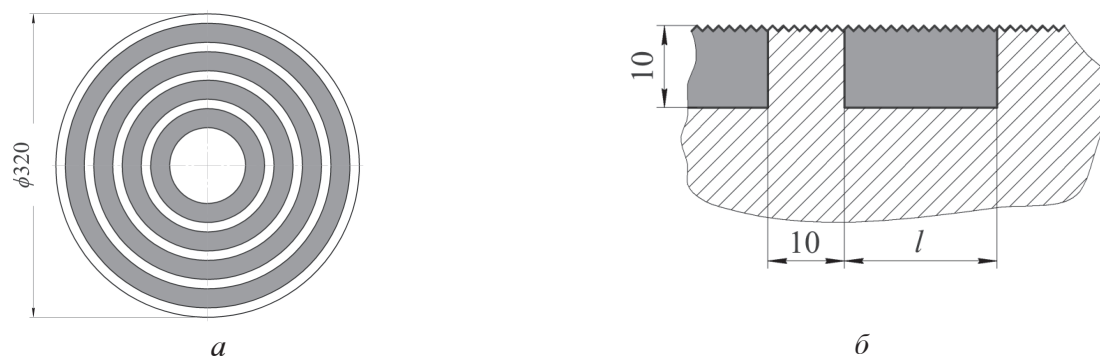


Рис. 3. Схема модернизированного притира. Вид в плане (а) и осевой разрез (б)

вергался механической обработке для получения необходимой плоскостности и затем на нем нарезались шламовые канавки.

В предварительных экспериментах в качестве композиционного материала исследовалась смесь медного электролитического порошка и порошка электрокорунда, соединенных связующим веществом (эпоксидная смола, пластификатор, отвердитель).

Наилучшее сочетание производительности и качества доведенной поверхности наблюдалось при использовании притира, который содержал 50% медной фракции и 50% электрокорунда.

Лабораторные испытания и анализ результатов

Для испытания модернизированных притиров проведена серия однофакторных экспериментов на станке 3-ШП, который применяется в серийном производстве. В качестве исходных заготовок взята выборка подложек из партии после тонкого алмазного шлифования. Для сравнения результатов в серию экспериментов включена обработка подложек на типовом чугунном притире, используемом в производстве. Также подготовлено три модернизированных притира с шириной композиционных вставок 10, 20 и 30 мм. Входными факторами приняты: X_1 – рабочее давление, прикладываемое к притиру, МПа; X_2 – конструктивный элемент притира (соотношение площадей кольцевых пазов, заполненных композитом, к общей площади притира); X_3 – время, мин. В качестве функции отклика фиксировался показатель шероховатости R_z , мкм. Алмазная паста подавалась в виде суспензии.

После статистической обработки данных полученные результаты представлены на рис. 4. На графиках кривые обозначены: 0 – для типового чугунного притира; 0,46, 0,59, 0,67 – для модернизированного притира с соответствующим отношением площади, занимаемой композитом, к общей площади притира.

В зоне давлений 0,3–0,5 МПа лучшие показатели шероховатости обеспечивает притир с большей площадью вставок из композита. При увеличении рабочего давления до 0,6 МПа влияние площади вставок из композита становится менее значимым, показатели шероховатости выравниваются. Однако модернизированный притир обеспечивает более низкую шероховатость доведенных пластин, чем чугунный

притир при прочих равных условиях, и 13 класс шероховатости достигается за 19–21 мин (в зависимости от давления). Предположительно это можно объяснить тем, что композиционный материал вставок притира имеет меньшую твердость. Это способствует лучшему шаржированию поверхности притира алмазными зернами. Кроме того, в состав композита входит порошок электрокорунда, который увеличивает режущую способность притира.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод, что предлагаемая конструкция притира обеспечивает повышение производительности обработки при достижении необходимого по техническим условиям класса шероховатости поверхности керамических подложек за счет исключения дополнительной операции доводки на текстолитовом притире.

Нейросетевое моделирование процесса доводки

Решение задачи оптимизации режимов обработки на основе учета большого числа возможно динамически изменяющихся факторов, влияющих на длительность процесса доводки, актуально из-за высокой трудоемкости доводочных операций. Одним из вариантов решения данной задачи является применение для прогнозирования нейросетей с динамически изменяющейся конфигурацией (динамическим добавлением нейронов) в зависимости от входных параметров [3].

С учетом многофакторной зависимости показателей шероховатости от большого числа динамически изменяющихся параметров (теплопроводность, теплоемкость притира и керамической пластины, все параметры режимов доводки, температура, наличие неконтролируемых добавок и т.д.), отследить которые не всегда возможным представляется, результаты процесса обработки могут значительно отклоняться от прогнозируемых.

При таком подходе время обработки можно представить в виде динамической функциональной зависимости от любого числа заданных параметров, характеризующих и обрабатываемую пластину, и обрабатывающий инструмент, и показатели режима доводки при использовании в качестве основы гипотезы вида [4]:

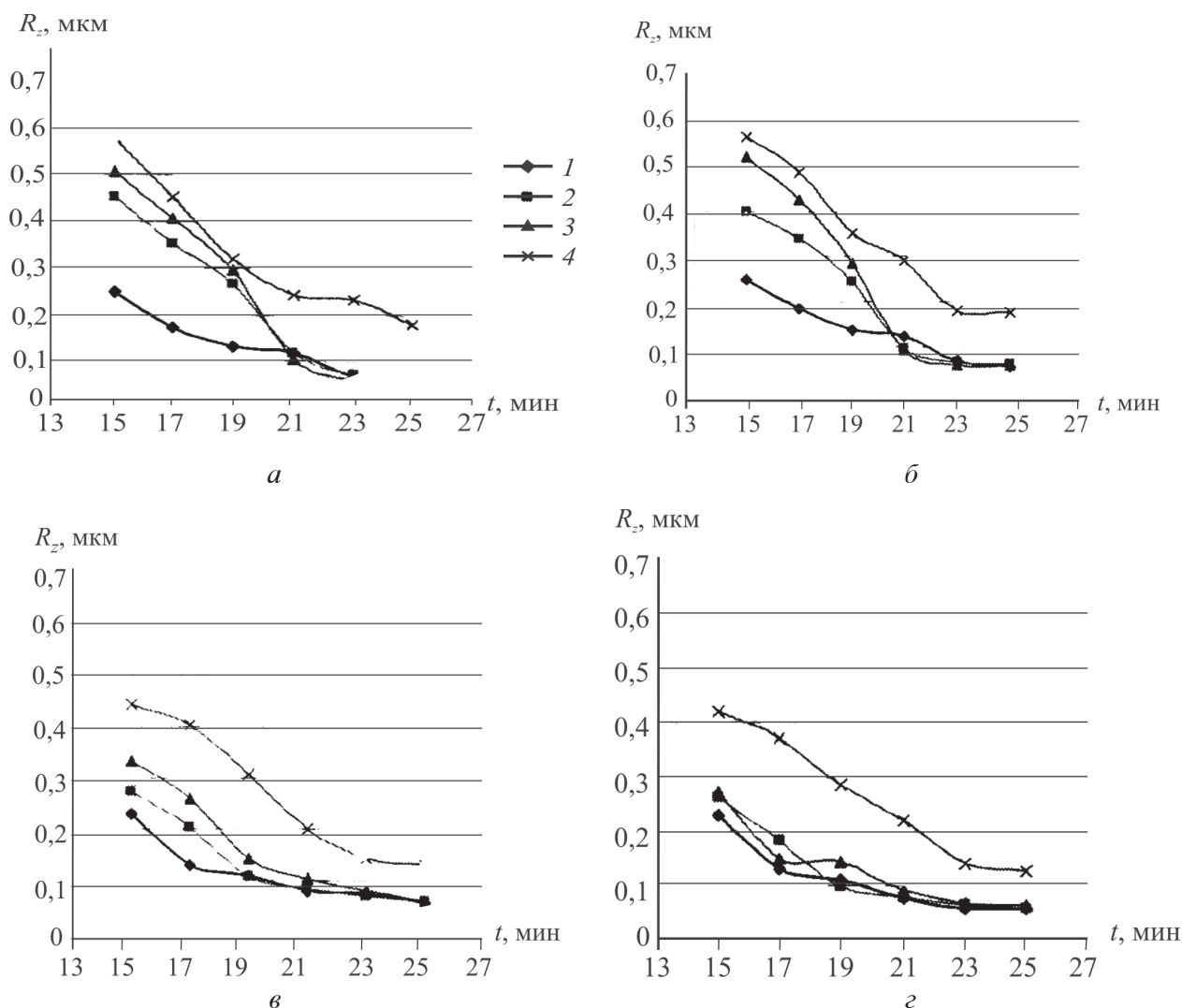


Рис. 4. Зависимость шероховатости обработанной поверхности от времени доводки при $p = 0,3$ (а), $0,4$ (б), $0,5$ (в), $0,6$ (г) НПа: Модернизированный притир $0,67$ (1), $0,59$ (2), $0,46$ (3) и типовой чугуный притир (4)

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}. \quad (1)$$

Коэффициенты гипойд для каждого параметра будут определяться нейросетью, и возможно будут несколько изменяться в процессе работы (при завершении обработки каждой пластины).

В этом смысле показатель шероховатости R_z будет иметь вид:

$$R_z = \frac{k_1}{1 + e^{-\alpha_1 x}} X_1 + \frac{k_2}{1 + e^{-\alpha_2 x}} X_2 + \frac{k_3}{1 + e^{-\alpha_3 x}} X_3 + \dots + \frac{k_{n-1}}{1 + e^{-\alpha_{n-1} x}} Q + \frac{k_n}{1 + e^{-\alpha_n x}} T, \quad (2)$$

где X_1 – рабочее давление, прикладываемое к притиру; X_2 – конструктивный элемент притира; X_3 – время; Q – теплопроводность; T – темпе-

ратура; $k_1 \dots k_n$ и $\alpha_1 \dots \alpha_n$ – коэффициенты, определяемые нейросетью.

Для прогнозирования выходных параметров процесса доводки была разработана программа моделирования процесса финишной обработки керамических изделий «SPFCP-2013» [5].

Результаты нейросетевого моделирования параметра R_z при некоторых сочетаниях режимов приведены в табл. 1.

При таком подходе выбор режимов доводки может быть произведен автоматически на ЭВМ.

Разработанная нейросетевая модель апробирована в реальном процессе финишных операций при обработке пластин из керамики ВК-100 с прогнозированием шероховатости поверхности с ошибкой не более 0,05% по всем режимам.

Таблица 1

Результаты нейросетевого моделирования процесса доводки подложек из керамики ВК-100

Давление прижима, МПа	Соотношение площадей	Время доводки, мин	Прогнозируемое значение R_z , мкм	Экспериментальное значение R_z , мкм
0,2	0,46	15	0,498976	0,50500
0,2	0,46	21	0,179022	0,19075
0,2	0,59	15	0,465235	0,5100
0,2	0,59	21	0,15190	0,20850
0,2	0,67	15	0,441049	0,42970
0,2	0,67	21	0,138628	0,12893
0,4	0,46	15	0,408578	0,42950
0,4	0,46	21	0,128213	0,09525
0,4	0,59	15	0,35818	0,39750
0,4	0,59	21	0,111581	0,09825
0,4	0,67	15	0,326839	0,22750
0,4	0,67	21	0,103709	0,12250
0,6	0,46	15	0,303208	0,27250
0,6	0,46	21	0,104186	0,08975
0,6	0,59	15	0,253249	0,26250
0,6	0,59	21	0,093187	0,07775
0,6	0,67	15	0,408578	0,4520
0,6	0,67	21	0,225934	0,22750

Заключение

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод, что предлагаемая конструкция притира обеспечивает повышение производительности обработки при достижении необходимого по техническим условиям класса шероховатости поверхности керамических подложек за счет исключения дополнительной операции доводки на текстолитовом притире. Однако физико-механические процессы, происходящие при доводке деталей свободным абразивом и физическая сущность явления при использовании притира с композитными вставками, требуют дополнительного углубленного изучения.

Нейросетевое моделирование является эффективным средством снижения трудоемкости оптимизации параметров процесса доводки пластин из технической керамики. Тем не менее, физико-механические процессы, происходящие при доводке керамических изделий свободным абразивом, и физическая сущность явления при использовании притира с композитными вставками требуют дополнительного углубленного изучения.

Список литературы

1. Бахарев В.П., Кнутова Е.Е. Статистические закономерности процесса диспергиро-

вания керамических материалов методами алмазной доводки // Физика, химия и механика трибосистем. Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. В.Н.Латышева. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2010. Вып. 9. С. 41–48.

2. Бахарев В.П. Основы проектирования и управления процессами финишной обработки керамических и композиционных материалов. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2009. – 240 с.
3. Филимонов А.В. Структурирование и обучение нейронных сетей с применениями к задачам физической химии и медицины. Дисс. канд. физ.-мат. наук. – Иваново, 2004. – 80 с.
4. Климов А.Б. Прогнозирование стойкости минералокерамического режущего инструмента на основе нейросетевых моделей его изнашивания. Дисс. канд. техн. наук. – Иваново, 2006. – 125 с.
5. Кнутова Е.Е. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617580 Программа моделирования процесса финишной обработки керамических изделий «SPFCP-2013».

Материал поступил в редакцию 05.11.2013

КНУТОВА Екатерина Евгеньена E-mail: knutovae@mail.ru Тел.: (910) 991-87-77	Аспирант ФГБОУ ВПО «МГИУ», старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский государственный индустриальный университет» в г. Кинешме Ивановской области (филиал ФГБОУ ВПО «МГИУ» в г. Кинешме). Сфера научных интересов: проблемы обработки технической керамики. Автор 9 научных трудов, в том числе 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.
ЦЫПКИН Евгений Николаевич E-mail: entcypkin@yandex.ru Тел.: (920) 678-00-01	Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский государственный индустриальный университет» в г. Кинешме Ивановской области (филиал ФГБОУ ВПО «МГИУ» в г. Кинешме). Сфера научных интересов: проблемы резания материалов и повышение стойкости режущего инструмента. Автор 25 научных трудов, 12 учебно-методических пособий.
КЛИМОВ Алексей Борисович E-mail: abxyz@rambler.ru Тел.: (49331)36037	Кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная информатика» филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский государственный индустриальный университет» в г. Кинешме Ивановской области (филиал ФГБОУ ВПО «МГИУ» в г. Кинешме). Сфера научных интересов: нейросетевое моделирование, информационные технологии в технологических процессах. Автор 30 научных трудов, в том числе 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.
БЕРЛИНЕР Эдуард Максович E-mail: eberliner@yandex.ru Тел.: (499) 237-73-22	Доктор технических наук, профессор кафедры «Металлообрабатывающие системы с ЧПУ» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский государственный индустриальный университет» (ФГБОУ ВПО «МГИУ»). Сфера научных интересов: металлообрабатывающие системы с ЧПУ. Автор более 100 научных трудов, в том числе 28 авторских свидетельств.