

В.П. Бахарев, д-р техн. наук, Москва – Кинешма, Россия

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТОВ С КЕРАМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ ДОВОДКЕ СВЯЗАННЫМ И СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ**

*Представлені експериментальні результати взаємодії алмазного інструменту й оброблюваної поверхні з кераміки ВК-100 на операціях доводки пов'язаним і вільним абразивом. Встановлено що фактична площа контакту є змінною (var) характеристикою в часі і визначає вихідні показники операції.*

*Представлены экспериментальные результаты взаимодействия алмазного инструмента и обрабатываемой поверхности из керамики ВК-100 на операциях доводки связанным и свободным абразивом. Установлено что фактическая площадь контакта является переменной (var) характеристикой во времени и определяет выходные показатели операции.*

*The experimental results of the interaction diamond tool and the workpiece ceramic VK-100 and related finishing operations with a lapping. It is established that the actual contact area is a variable (var) characteristics over time and determines the output performance operations.*

Процессы прецизионной финишной обработки деталей из различных материалов традиционно включают операции алмазно-абразивного шлифования (чистового, тонкого, доводочного). Их цель – достижение заданной точности размеров деталей и подготовка обработанной поверхности до необходимого состояния (с наименьшей шероховатостью, дефектностью, наименьшим нарушенным поверхностным слоем) для последующей финишной стадии обработки. На этой стадии к обработанным поверхностям могут предъявляться наивысшие требования по точности, шероховатости и оптической чистоте. Предварительное полирование выполняется с применением абразивных (алмазных) суспензий, окончательное – с применением полировальных инструментов или составов, обеспечивающих химическое взаимодействие с обрабатываемым материалом и исключающих его микроабразивное резание [1].

В результате комплекса НИР, выполненных ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины созданы научно-технические предпосылки для разработки технологии финишной прецизионной обработки деталей оптических систем и элементов микроэлектроники из монокорунда [1]. Целью технологии является достижение при обработке такого состояния функциональных поверхностей деталей (минимальная шероховатость, наивысший нулевой класс оптической чистоты), который сопоставим с мировым уровнем требований к ним.

Первые две операции выполняются с использованием металлообрабатывающих плоскошлифовальных станков модели 3Г71 или 3Д711 при одновременной обработке 6 шт. пластин периферией алмазного круга формы 1А1-250×76×20×5, остальные операции – с использованием оптических шлифо-

вально-полировальных станков моделей 6ШП-200А и 3ШП-320М, работающих по методу «свободного притира».

При шлифовании инструментом из алмазного порошка зернистостью 28/20-14/10 имеет место хрупкое разрушение с одновременным проявлением пластических явлений, а при обработке инструментом из алмазного порошка зернистостью 10/7 и менее – пластический сдвиг. По мере уменьшения зернистости и увеличения концентрации алмазного порошка энергетические затраты, необходимые в определенных условиях для удаления нарушенного слоя и образования новой поверхности, возрастают [2,3].

Метод «свободного притира» предусматривает силовое замыкание цепи движения рабочих органов станка между деталью и инструментом, при котором инструмент соприкасается с деталью не по линии, а поверхностью, и съём припуска осуществляется заданным усилием прижима, а также за счет дополнительных усилий, затрачиваемых на изменение положения элементов их контакта. Обработка производится торцевой поверхностью различных шлифовальников и полировальников формы 6А2Т-200×20 с использованием алмазных суспензий различной зернистости, а на заключительной операции обработки – физико-химическом полировании – силикозоля (коллоидного кремнезема  $\text{SiO}_2$ ).

При шлифовании прочных керамических материалов высокую работоспособность показывают алмазные круги на металлической связке с основой Cu-Al-Zn. Однако при доводке таким инструментом керамических материалов весьма трудно обеспечить работу в режиме самозатачивания инструмента, что снижает производительность процесса. Повышение производительности доводки деталей из керамики на основе карбида кремния обеспечивает алмазный доводочный инструмент на металлоорганической связке. Его алмазоносный слой представляет собой композицию на основе алмазного микропорошка и упругой для используемого диапазона режимов доводки органической матрицы с включениями твердого наполнителя. В качестве твердого наполнителя могут использоваться порошки меди, алюминия, цинка, твердой смазки и т.д.

Нахождение оптимальных решений при выборе обрабатывающих инструментов и режимов обработки, возможно при тщательном рассмотрении особенностей контактного взаимодействия инструментов и обрабатываемых материалов с учетом технологических особенностей операций и условий обработки. Автором проведены исследования характеристик контактного взаимодействия в зоне обработки алмазным инструментом керамики ВК-100 связанным абразивом [5].

Как известно, факторами, определяющими строение рабочего слоя алмазного инструмента, являются количество и характер распределения зерен в объеме алмазоносного слоя, а также соотношение содержания алмазных зерен и пористости. Однако даже известные закономерности реального процесса шлифования инструментом из алмазных микропорошков в настоящее время не удается аппроксимировать достаточно точными зависимостями. Кроме того, осуществить такой процесс в заданном режиме деформации обрабаты-

ваемого материала, т.е. управлять им, можно только в условиях высокого уровня точности системы СПИЗ, имеющих место при работе на прецизионных станках ( $\sim 0,025$  мкм). Известно [1,2,3,4,5] что такими условиями являются: оптимальное давление прижима  $p_a$ , при котором под острием зерна создаются растягивающие напряжения, не превышающие предела прочности обрабатываемого материала при растяжении  $\sigma_p$  и предела текучести  $\sigma_T$ ; наибольшая удельная поверхность и наименьшие значения радиусов закругления вершин алмазных зерен.

Процесс доводки свободным и связанным абразивом деталей из керамики инструментом связанным алмазным порошком, основан на физико-механических процессах в технологической трибологической системе, с учетом теплофизических условий, а также на существенном влиянии макро- и микросреды. В результате было установлено следующее:

1) Контакт полировального инструмента и обрабатываемой детали является дискретным, упругим (по Боудену и Тейбору), происходит при трении скольжения с преобладанием (>99%) молекулярной (адгезионной) составляющей силы трения, что подтверждается измерением фрикционных параметров:  $\eta_0 = 0,06$  МПа (сдвиговое сопротивление молекулярных связей), и  $\beta = \text{tg } \psi = 0,238$  (коэффициент упрочнения молекулярной связи), где  $\psi$  - угол наклона прямой (см. рис. 1), что создает положительный градиент сдвигового сопротивления молекулярной связи. При нормальной нагрузке  $N$  и фактической площади контакта инструмента с деталью  $A_T$  адгезионная составляющая силы трения вносит существенный вклад в усилие диспергирования.

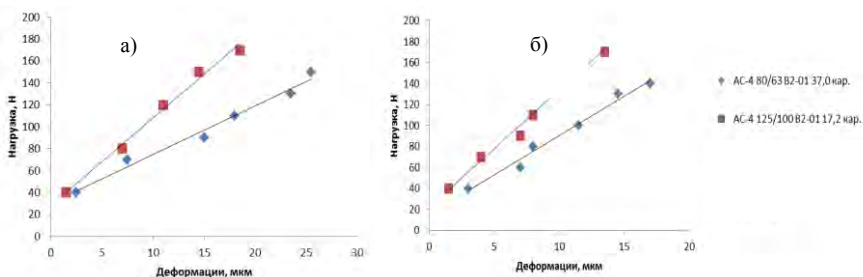


Рисунок 1 – Характеристика жесткости технологической системы  
а – пластинка шлифованная; б – пластинка полерованная

2) Представление о диспергировании керамики [5], как процессе поверхностного усталостного разрушения означает, что отделение частиц с поверхности трения происходит не путем единичного акта, а в результате постепенного накопления дефектности и ослабления поверхностных слоев, подвергаемых многократному деформированию при скольжении без царапания (микрорезания) – истиранию тупыми выступами.

3) К образованию продуктов изнашивания могут приводить микротрещины, зародившиеся на поверхности. Их росту в значительной степени способствует присутствующая в контакте технологическая среда, молекулы которой могут проникать внутрь и ослаблять межатомные связи (эффект Ребиндера).

Основные уровни факторов и интервалы их варьирования были выбраны на основании результатов однофакторных экспериментов, а также исходя из ограничений на возможные изменения значений факторов.

Неизменными в ходе экспериментов оставались:

а) размеры образцов керамики (60x48 мм) и исходная подготовка их поверхности – доводка в течение 15 мин на планшайбе 6A2-100×5-АСМ 28/20-V3-01-1-100;

б) некоторые геометрические и качественные характеристики инструментов – диаметр (130мм) и оборудование (станок мод. 6ШП-200);

в) время доводки 120 мин при среднем давлении прижима 0,04 МПа;

г) СОТС – водный раствор соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Соотношение диаметров, поперечный эксцентриситет и длину штриха выбирали по рекомендациям [1] и корректировали в ходе доводки для конкретных условий с целью обеспечения равномерного съема материала образца и достижения наивысшей производительности. В ходе эксперимента каждый из 8 опытов, соответствующих определенному сочетанию уровней факторов, выполняли для всех исследуемых вариантов алмазного слоя на одном и том же образце керамики после одинаковой исходной подготовки поверхности.

Параметры шероховатости поверхности замеряли на профилометре-профилографе и повторяли по 3-4 раза на каждом образце. Линейный съем с образцов и линейный износ инструмента измеряли по специально разработанной методике, учитывающей разницу в интенсивности изнашивания центральных и периферийных зон инструмента и образца, с помощью специального приспособления, оснащенного микрокатером марки МИГ-1 с ценой деления 0,001 мм. Измерения съема выполняли по 6-8 раз на каждом образце, износа – по 6 раз. Усредненные результаты опытов представлены на рисунках 2 и 3.

Результаты экспериментов и расчетов позволили исследовать влияние упругих свойств керамики и инструмента на основные показатели процесса доводки. Теоретическая модель процесса обработки включает зависимость

съема припуска (износа притира) на любом элементе поверхности контакта от скорости резания ( $v$ ), давления ( $p$ ) и времени обработки этого элемента:

$$W = C \int (p \cdot v)^m dt \quad (1)$$

Где  $W$ - величина съема за время обработки;  $C$  – жесткость технологической системы диспергирования (притир – заготовка - СОТС);  $m$ - показатель степени влияния, технологических условий

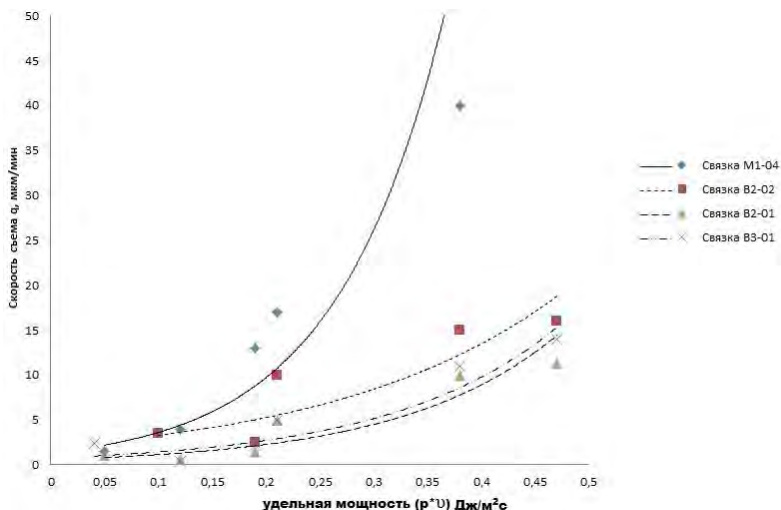


Рисунок 2 – Зависимость скорости съема от удельной мощности взаимодействия для различных связок инструмента

Основные выводы:

1. Упругие свойства фаз алмазосного слоя инструмента, объемное содержание наполнителя приближающиеся к предельному определяют эффективность диспергирования при доводки связанным абразивом.

2. Известные приближенные методы расчета эффективных упругих модулей композита как модели алмазосного слоя инструмента, не приводят к удовлетворительным результатам, подтвержденным экспериментами.

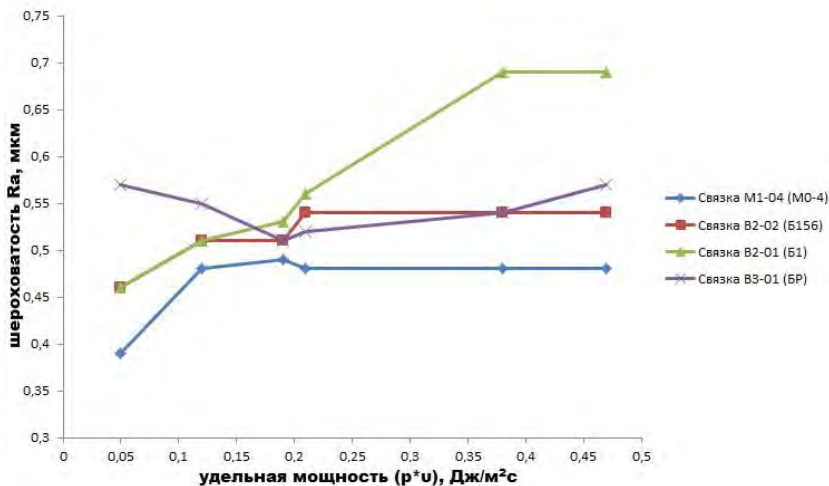


Рисунок 3 – Зависимость шероховатости поверхности (Ra) от удельной мощности взаимодействия для различных связок инструмента

3. Теоретическая модель абразивного диспергирования удовлетворительно описывается степенной функцией с учетом упругих характеристик контакта.

**Список использованных источников:** 1. Инструменты и технологические процессы в прецизионной финишной обработке. Том 4 / Под. ред. В.В. Рогова – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН». 2 V.P. Baharev, A.S. Vereshchaka Thermodynamics of precision diamond lapping ceramic surfaces // International congress on precision machining September 13<sup>th</sup> to 15<sup>th</sup> 2011 Liverpool Lohm Moores university, UK 3. Основы проектирования и управления процессами финишной обработки керамических и композиционных материалов / В.П. Бахарев. – Иваново: Иван. гос. ун-т, 2009. - 240с. 4. Гусев В.В., Калафатова Л.П. Формирование характеристик качества поверхностного слоя изделий из хрупких неметаллических материалов при шлифовании свободным абразивом // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. Науч.-техн. Сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008, - Вып. 75 - С.85-92 5. В.П. Бахарев. Обеспечения качества поверхности изделий из керамических материалов на операциях прецизионной алмазной обработки. Дис...док...техн...наук: 05.02.08 и 05.02.07 М., 2011. - 326.

*Поступила в редколлегию 21.05.2012*