

УДК 621.923

DOI: 10.30987/2223-4608-2020-12-3-6

**С.Г. Бишутин**, д.т.н., **С.С. Алехин**, аспирант  
(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,  
241035, РФ, г. Брянск, бульвар 50-лет Октября, 7)  
E-mail: nad-bisch@yandex.ru

## **Выбор технологических режимов алмазно-абразивной обработки пластин из карбида кремния**

*Изложен выбор технологических режимов алмазно-абразивной обработки, обеспечивающих требуемую производительность процесса и качество карбидокремниевых пластин. Установлены взаимосвязи скорости съема карбида кремния с длиной поверхностных микротрещин и высотой шероховатости поверхности. Предложена методика назначения технологических режимов, не приводящих к разрушению заготовок пластин при изготовлении приборов специального назначения.*

**Ключевые слова:** производительность алмазно-абразивной обработки; микротрещины; шероховатость поверхности; карбидокремниевые пластины.

**S.G. Bishutin**, Dr. Sc. Tech., **S.S. Alyokhin**, Post graduate student  
(FSBEI HV "Bryansk State Technical University",  
7, 50 Years of October Boulevard, Bryansk, RF, 241035)

## **Technological mode choice for silicon carbide plate diamond abrasion**

*There is stated a choice of a technological mode for diamond abrasion ensuring a required process capacity and silicon carbide plate quality. The correlations of a silicon carbide removal rate with the length of surface micro-cracks with the roughness height of a surface are stated. A procedure is offered for setting technological modes which do not result in plate billet destruction during manufacturing special devices.*

**Keywords:** diamond abrasion capacity; micro-cracks; surface roughness; silicon carbide plates.

Обработка деталей из керамических материалов, например, карбидокремниевых пластин, вызывает известные трудности из-за хрупкости этих материалов [1]. Важным этапом изготовления керамических пластин полупроводниковых приборов является алмазно-абразивная обработка [2, 3]. Однако такая обработка характеризуется высоким уровнем брака и малой производительностью, что приводит к возрастанию себестоимости указанных изделий. Также в процессе изготовления зачастую происходит разрушение (растрескивание) пластин из-за микротрещин критических размеров, формируемых в ходе обработки. Поэтому данные исследования, направ-

ленные на преодоление указанных недостатков алмазно-абразивной обработки, являются актуальными.

Исследования проводились на производственной базе ЗАО «Группа Кремний ЭЛ» (г. Брянск) с использованием установки «ЮФ 113203» для шлифования пластин из сверхтвердых материалов (рис. 1). Базовым элементом установки является каркас 1. На нем устанавливается корпус 4 с кожухом. В корпус на валу в подшипниковых опорах крепится притир 6 с фиксаторами. К каркасу крепится плита с двигателем и редуктором 2. Натяжное устройство на плите позволяет регулировать силу натяжения приводного ремня. Блок

управления 5 обеспечивает вращение притира с необходимой частотой при обработке пластин. Вилкообразный держатель 3 с роликами на конце служит опорой алюминиевой планшайбы, на которую приклеиваются карбидокремниевые пластины. Планшайба прижимается к инструменту с определенной силой и имеет возможность вращаться относительно рабочей поверхности стеклянного притира. На неё может устанавливаться дополнительный груз для увеличения силы прижатия заготовки к инструменту.

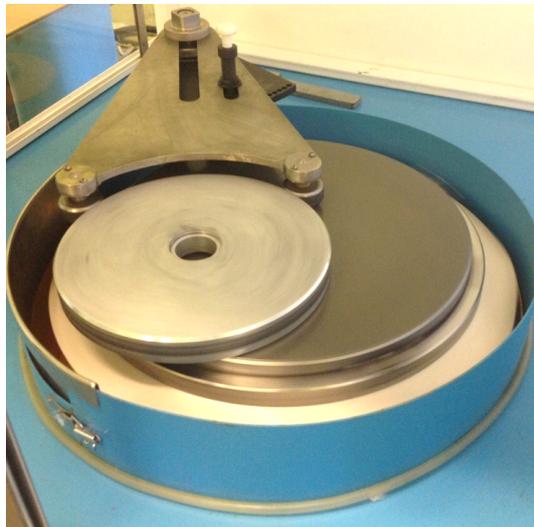
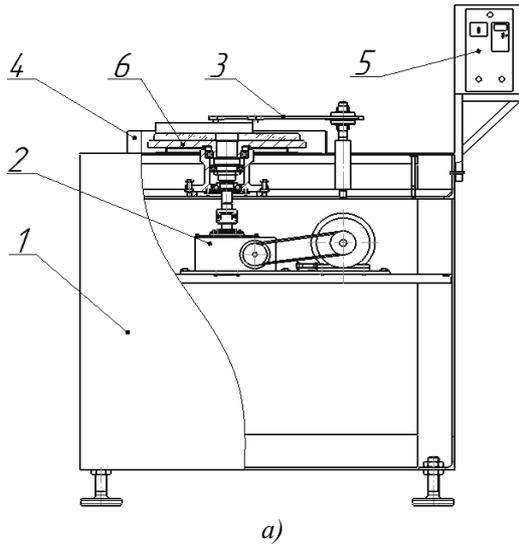


Рис. 1. Схема (а) и рабочая зона (б) установки для алмазно-абразивной обработки пластин из карбида кремния

На указанном технологическом оборудовании были проведены экспериментальные исследования. Обработке подвергались как цельные пластины, так и части пластин на различных режимах резания (рис. 2).



Рис. 2. Заготовки карбидокремниевых пластин, наклеенные на планшайбу

Экспериментальные исследования состояли из следующих этапов:

1. Подбор обрабатываемых пластин таким образом, чтобы они имели равную толщину (отклонение по толщине заготовок было не более 3...5 мкм).

2. Наклеивание адгезионной пленки на одну из сторон пластины для защиты данной поверхности от царапин и механических повреждений. Вторая сторона заготовки подвергалась обработке.

3. Нанесение на планшайбу смеси парафина и воска и размещение на ней заготовок пластин.

4. Нагрев планшайбы с образцами и их охлаждение при комнатной температуре в течение 3...4 мин. В результате образцы приклеиваются к планшайбе.

5. Установка планшайбы с заготовками на технологическом оборудовании и подготовка притира (инструмента) к работе. Притиром является стеклянный диск, на который ровным слоем наносится алмазно-абразивная паста.

6. Алмазно-абразивная обработка пластин на заданных технологических режимах (табл. 1).

7. Измерение с помощью индикатора 1МИГ (ГОСТ 9696-82) и магнитной стойки толщины пластин. Определение величины скорости съема карбида кремния.

8. Визуальная проверка качества шлифованной поверхности и удаление обработанных пластин с планшайбы.

9. Измерение параметров шероховатости обработанных поверхностей с помощью профилографа-профилометра Mahr GmbH.

10. Определение размеров поверхностных микротрещин с помощью цифрового 3-D мик-

роскопа VHX-1000E и растрового электронного микроскопа Jeol JSM 6610.

Результаты экспериментов представлены в табл. 1.

**1. Технологические режимы обработки, скорость съема материала, шероховатость обработанной поверхности и размеры микротрещин карбидокремниевых пластин**

№ п/п	Абразивно-алмазный материал	Нагрузка на пластины, Н	Частота вращения инструмента, мин <sup>-1</sup>	Скорость съема материала, <i>q</i> , мкм/ч	Длина микротрещин <i>L</i> , мкм	Параметр шероховатости <i>Ra</i> , мкм
1	АСМ 60/40	87	50	20,0	75...90	1,1...1,6
2		87	35	19,2		
3		87	24	11,7	65...75	1,0...1,2
4		40	24	5,5	25...35	0,7...1,0
5	АСМ 40/28	87	42	14,0	50...60	0,6...0,8
6		87	35	12,0	40...50	0,7...0,9
7		87	24	7,8	35...45	
8	АСМ 28/20	87	35	8,7	20...30	0,5...0,7
9		40	35	5,0	10...20	0,4...0,6
10		40	26	4,5		

*Примечание.* Приведен диапазон длин наиболее крупных поверхностных микротрещин карбидокремниевых пластин.

Анализ результатов экспериментов показывает, что при скорости съема материала 19...20 мкм/ч длина микротрещин составляет 75...90 мкм. При снижении скорости съема материала до 4...5 мкм/ч размер микротрещин уменьшается до 10...20 мкм.

Установлено также, что между длиной *L* поверхностных микротрещин и скоростью *q* съема материала существует корреляционная зависимость:

$$L = 3,5 q. \tag{1}$$

Коэффициент парной корреляции составляет 0,87, что позволяет использовать зависимость (1) в дальнейших исследованиях.

Из табл. 1 также видно, что при скорости съема материала 19...20 мкм/ч параметр шероховатости поверхности составляет *Ra* = 1,1...1,6 мкм. При снижении скорости съема материала до 4...5 мкм/ч высота параметр шероховатости уменьшается до *Ra* = 0,4...0,6 мкм. С уменьшением зернистости алмазно-абразивной пасты (от 60/40 до 28/20 мкм) шероховатость обработанной поверхности уменьшается в 2 – 2,5 раза.

Параметр шероховатости *Ra* обработанной поверхности имеет тесную корреляционную взаимосвязь с производительностью обработки (коэффициент парной корреляции – 0,85):

$$Ra = 0,3 + 0,05q. \tag{2}$$

Следует отметить, что поверхность пластин после рассмотренной обработки была изотропна. Значения параметров шероховатости

поверхности при измерениях в различных направлениях существенно не меняются.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать следующую методику назначения технологических режимов алмазно-абразивной обработки, обеспечивающих трещиностойкость карбидокремниевых пластин и требуемую шероховатость обработанной поверхности.

1. Определение на основе результатов исследований [4 – 6] растягивающих напряжений  $\sigma_n$ , действующих на карбидокремниевую пластину в ходе технологического процесса изготовления керамического изделия.

2. Расчет длины *L<sub>T</sub>* микротрещины, приводящей к разрушению карбидокремниевой пластины, используя результаты исследований [7]:

$$L_T = \frac{1}{\pi} \left( \frac{K_C}{k_6 \sigma_n} \right)^2,$$

где *k<sub>6</sub>* – безразмерная поправочная функция, учитывающая отношение длины *L<sub>T</sub>* трещины к ширине пластины;  $\sigma_n$  – растягивающие напряжения, действующие на пластину при изготовлении керамических изделий; *K<sub>C</sub>* – коэффициент интенсивности напряжений в зонах трещин.

3. Выбор по табл. 1 технологических режимов предварительной алмазно-абразивной обработки, обеспечивающих требуемую скорость съема материала. При этом размер микротрещин, формируемых на данном этапе об-

работки, не должен превышать суммарной величины припуска, удаляемого с заготовки, более чем на 15...20 %.

4. Определение с помощью зависимости (1) и по табл. 1 скорости съема материала и технологических режимов окончательной алмазно-абразивной обработки, обеспечивающих получение поверхностных микротрещин длиной менее  $L_T$  и не приводящих к разрушению керамической пластины.

5. Корректировка выбранных технологических режимов с использованием уравнения (2), исходя из обеспечения требуемого значения высотных параметра шероховатости поверхности  $Ra$  карбидокремниевых пластин.

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Управлять размерами поверхностных микротрещин и параметром шероховатости поверхности  $Ra$  в ходе алмазно-абразивной обработки возможно путем изменения скорости съема материала с карбидокремниевой пластины за счет выбора технологических режимов резания.

2. Установлена взаимосвязь скорости съема карбида кремния с длиной микротрещин, формируемых в пластинах при алмазно-абразивной обработке: при скорости съема материала 19...20 мкм/ч длина микротрещин составляет 75...90 мкм; при снижении скорости съема карбида кремния до 4...5 мкм/ч размер микротрещин уменьшается до 10...20 мкм.

3. Скорость съема материала с карбидокремниевых пластин возрастает с 5 до 20 мкм/ч при увеличении зернистости алмазного микропорошка (от АСМ 28/20 до АСМ 60/40), скорости вращения инструмента (от 24 до 50 мин<sup>-1</sup>) и силы прижатия обрабатываемой пластины к инструменту (от 40 до 87 Н).

4. Скорость съема материала влияет на шероховатость обработанной поверхности: при скорости съема материала 19...20 мкм/ч параметр шероховатости поверхности составляет  $Ra = 1,1...1,6$  мкм; снижение скорости съема материала до 4...5 мкм/ч приводит к уменьшению параметра шероховатости  $Ra$  до 0,4...0,6 мкм.

Полученные результаты позволяют проводить алмазно-абразивную обработку, обеспечивающую требуемое качество карбидокремниевых пластин приборов и устройств специального назначения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Душко, О.В. Алмазное шлифование карбидокремниевой керамики для машиностроения/ О.В. Душко, В.М. Шумячер. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2009. – 80 с.

2. Бишутин, С.Г., Алехин, С.С. Совершенствование технологии финишной абразивной обработки пластин из карбида кремния // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – №5(66). – С. 9-13.

3. Бишутин, С.Г., Алехин, С.С. Производительность и качество алмазно-абразивной обработки пластин из карбида кремния // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т.15. – №2. – С. 159-164.

4. Пилипенко, В.А. Быстрые термообработки в технологии СБИС/ В.А. Пилипенко. – Минск: БГУ, 2004. – 531с.

5. Мужиченко, О.Г., Н., Плис Термомеханические напряжения в сборочных микроузлах при монтаже БИС. Расчет и эксперимент // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2000. – №6(30). – С. 63-65.

6. Меженный, М.В., Мильвидский, М.Г., Простомолотов, А.И. Моделирование напряженного состояния пластин кремния большого диаметра в процессе термического отжига // Физика твердого тела. – 2003. – Т.45. – №10. – С. 1794-1799.

7. Крайнев, А.Ф. Конструирование машин: справ.-метод. пособие: в 2 т./ А.Ф. Крайнев, А.П. Гусенков, В.В. Болотин [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. – Т.2. – 624 с.

## REFERENCES

1. Dushko, O.V. *Diamond Abrasion of Silicon Carbide Ceramics for Mechanical Engineering*/ O.V. Dushko, V.M. Shumyacher. – Volgograd: VolgGASU, 2009. – pp. 80.

2. Bishutin, S.G., Alyokhin, S.S. Technology improvement of silicon carbide plate finish abrasion // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. – 2018. – No.5(66). – pp. 9-13.

3. Bishutin, S.G., Alyokhin, S.S. Capacity and quality of silicon carbide plate diamond abrasion // *Bulletin of Voronezh State Technical University*. – 2019. – Vol. 15. – No.2. – pp. 159-164.

4. Pilipenko, V.A. *Speed Thermal Treatment in SBIS Technology*/ V.A. Pilipenko. – Minsk: BSU, 2004. – pp. 531.

5. Muzhichenko, O.G., Plis, N. Thermal stresses in assembly units at BIS mounting. Calculation and experiment // *Electronics: Science, Technology, Business*. – 2000. – No.6(30). – pp. 63-65.

6. Mezheny, M.V., Milvidsky, M.G., Prostomolotov, A.I. Stress state modeling of large diameter silicon plates during thermal annealing // *Physics of Solid*. – 2003. – Vol.45. – No.10. – pp. 1794-1799.

7. Krainev, A.F. *Machine Design: reference methodical manual*: in 2 Vol./ A.F. Krainev, A.P. Gusenkov, V.V. Bolotin [et al.]; under the editorship of K.V. Frolov. – M.: Mechanical Engineering, 1994. – Vol.2. – pp. 624.

Рецензент д.т.н. В.А. Носенко