

При осуществлении способа по авт. свид. № 416162 [6] возможно регулировать микрорельеф поверхности, вплоть до получения квазихонингованной структуры поверхностного слоя.

Таким образом, проведенные исследования и производственные испытания подтвердили эффективность процесса ротационного резания с принудительным вращением режущей чашки. Особенно это касается, как показали эксперименты, прямой схемы резания по 2-ой геометрической схеме установки резца с принудительным его вращением в сторону «встречного» вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины определения и обозначения общих понятий. 2. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. – Мн.: Наука и техника, 1972. 3. Ящерицын П.И., Борисенко А.В., Дриготин И.Г., Лебедев В.Я. Ротационное резание материалов. – Мн.: Наука и техника, 1987. 4. Шатуров Г.Ф., Мрочек Ж.А. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. 5. Филиппов М.Н. Технологическое обеспечение качества обработанных поверхностей деталей из стеклопластиков на тканой основе при точении способом бреющего резания. Автореф. дисс. канд. техн. наук. Мн.: БПИ, 1988. 6. А.с. 416162. Способ резания принудительно вращаемым чашечным резцом / Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А. – Опубл. БИ, 1974. № 7.

Ивашин А.В., Лебедев В.Я., Туромша В.И.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТЕКЛА

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

Введение. Значительная часть (70 – 80 %) алмазного инструмента, применяемого на предприятиях РБ для обработки стекла, приходится на инструмент, поставляемый из РФ и Украины. В основном используется инструмент на алмазоабразивных композиционных материалах на металлической основе (металлические связки М1-01, М2-01, М3-01, М6-14, М1-04, М1-05 и др.). Реже применяется инструмент на органических связках (В2-01, В1-02 и др.) и керамических связках (К2-01, К3-01). Для изготовления алмазного инструмента обычно применяют шлифпорошки из синтетических алмазов АС6 – АС15 узких фракций. Концентрация алмазов в инструменте для грубых операций составляет 25 – 100 %. В зависимости от требований производства применяются круги с нестандартной концентрацией 30, 35 % и др. Особое внимание уделяется расसेву порошков, так как наличие закрупненных фракций в таком инструменте резко ухудшает качество обработки. Характеристики алмазоносного слоя и работоспособность инструмента определяются маркой, зернистостью и концентрацией алмазного порошка, а также связкой. Связка часто определяет работоспособность, режущую способность круга и удельный расход алмазов [1].

Основные формы применяемого инструмента регламентируются ГОСТ 16167—70 — ГОСТ 16181—70. Диаметр кругов достигает 250 мм. Требования к кругам для стеклообработки определяются ГОСТ 30352. Ряд предприятий, в том числе и ПРУП «Борисовский хрустальный завод» применяют круги нестандартных типоразмеров и параметров алмазоносного слоя.

Создание высокоэффективного алмазного инструмента для обработки стекла на металлических связках с высокими эксплуатационными характеристиками, превышающими характеристики аналогичного инструмента, выпускаемого зарубежными производителями

(по производительности обработки и удельному расходу алмазов), является для республики актуальной задачей. Для решения данной проблемы требуется создание методической и нормативной базы, а также техническое обеспечение сравнительных испытаний инструментов с минимальным влиянием субъективного человеческого фактора.

Существующий уровень использования режущих свойств алмазных зерен может быть повышен прежде всего за счет увеличения прочности адгезионного удержания зерен связкой на границе их раздела и обеспечения величины выступания зерен из связки для образования необходимого пространства, в котором распределяется обрабатываемый материал и размещаются продукты диспергирования, шлам и смазочно-охлаждающая среда и, таким образом, обеспечиваются обязательные условия для осуществления процесса шлифования.

В настоящей работе представлены результаты сравнительных испытаний по определению эксплуатационных показателей алмазных кругов при шлифовании стекла, рассмотрены кинетика и механика процесса изнашивания рабочих поверхностей алмазного круга.

Методика проведения испытаний. Испытаниям подвергались алмазные круги формы 14EE1 250×8×10×32 с углом при вершине 110°. Характеристики инструментов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики алмазных кругов

№ круга	Характеристика круга	Производитель
648	АС6 80/63 50% М2-01 С1	ООО «Геотехнология» (РФ)
044	АС6 80/63 50% М2-01 С1	РАУП Гомельское ПО «Кристалл»
043	АС6 80/63 50% М2-01 М3	РАУП Гомельское ПО «Кристалл»

Данными инструментами проводилось шлифование хрустальных брусков размером 200×100×20 мм с содержанием PbO = 24 % .

Испытания производились на универсально-заточном станке 3Е642. ГОСТ 30352 предусматривает проведение испытаний по критериям работоспособности, режущей способности и удельного расхода алмаза при работе алмазных кругов с постоянным усилием прижима круга к заготовке. Разработанная наладка позволяет обеспечить постоянное усилие на круг и компенсирует потери на сопротивление движению в направляющих станка. Схема наладки приведена на рис. 1.

Масса уравновешивающего груза (поз.7) подбиралась из условия обеспечения перемещения стола без действия на испытываемый образец сил резания.

Величина рабочей нагрузки (поз.8), создающей необходимое тяговое усилие стола под действием сил резания, составляла 4 кг. Обрабатываемая поверхность образца устанавливалась параллельно движению стола станка. Круги испытывали с охлаждением. В качестве охлаждающей жидкости применялась вода, подаваемая в зону резания непрерывно с расходом 2 — 3 л/мин

Для каждого круга определялись производительность шлифования Q (см³/мин), удельный расход алмазов q (мг/см³) и время шлифования.

Удельный расход алмазов определялся методом взвешивания. Определение износа алмазоносного слоя по массе проводилось взвешиванием кругов до и после испытания. Масса материала образца, снимаемая за испытание, составляла не менее 200 г и определялась взвешиванием образцов до и после испытания. Материал образцов удалялся по схеме показанной на рис. 2. Глубина шлифования t для каждого прохода составляла 2 мм. Длительность обработки контролировалась секундомером. Рабочая скорость круга составляла 21 м/с.

На первом этапе испытывались все три круга. На втором этапе продолжались испытания кругов с лучшими показателями.

Результаты и их обсуждение. Удаление обрабатываемого материала при шлифовании стекла определяется процессами хрупкого отрыва, обусловленными периодическим процессом развития опережающей трещины. Это подтверждают экспериментальные данные, полученные многими исследователями [2 – 7]. Формирование в обрабатываемом материале так называемого поверхностного слоя в общем случае является следствием нарушения сплошности материала при резании, развития и пересечения микротрещин. Исходя из основных положений теории разрушения, глубина распространения этих трещин зависит от степени напряженного деформируемого состояния в обрабатываемом теле, определяемой энергетическими условиями процесса обработки.

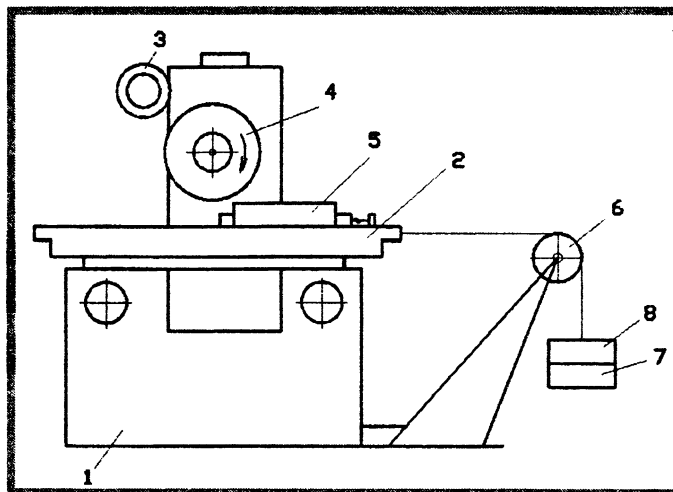


Рисунок 1 – Схема наладки станка 3Е642 для проведения испытаний: 1 – станок; 2 – стол продольный; 3 – привод; 4 – испытываемый круг; 5 – образец из хрусталя; 6 – блок; 7 – уравнивающий груз; 8 – рабочая нагрузка

Разрушение тела является сложным процессом, развитие которого зависит от температуры, скорости нагружения, характера напряженного состояния, структуры тела, свойств окружающей среды и т.д.

Процесс разрушения состоит из следующих стадий:

- а) возбуждение межатомных связей;
- б) разрыв этих связей под действием тепловых колебаний;
- в) образование субмикроскопических трещин;
- г) возникновение ведущей трещины под действием механической силы и разрыв образца.

При шлифовании разрушение обрабатываемого материала осуществляется при взаимодействии значительного количества абразивных зерен. При этом под воздействием участка передней поверхности зерна, расположенного непосредственно у режущей кромки, образуется система трещин, распределяющаяся в направлении движения резания. На этом этапе происходит непрерывное увеличение силы резания, обеспечивающее развитие ведущей трещины. Скорость ее роста зависит от того, насколько величина напряжений растяжения больше величины безопасного напряжения (при котором вероятности разрыва и восстановления связей равны). Развитие

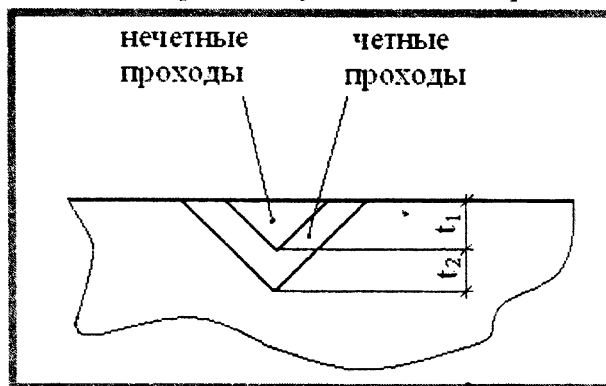


Рисунок 2 – Схема удаления материала при испытании алмазных кругов

трещины продолжается до тех пор, пока эти напряжения не превысят предела прочности материала, что вызывает быстрое падение силы резания вследствие отделения элемента стружки по поверхности. На этом заканчивается первый основной этап хрупкого разрушения. На втором этапе происходит зачистка поверхности резания, которая характеризуется отделением мелких элементов по той же схеме. На ряде участков поверхности резания этот этап отсутствует вследствие развития основной трещины ниже поверхности резания.

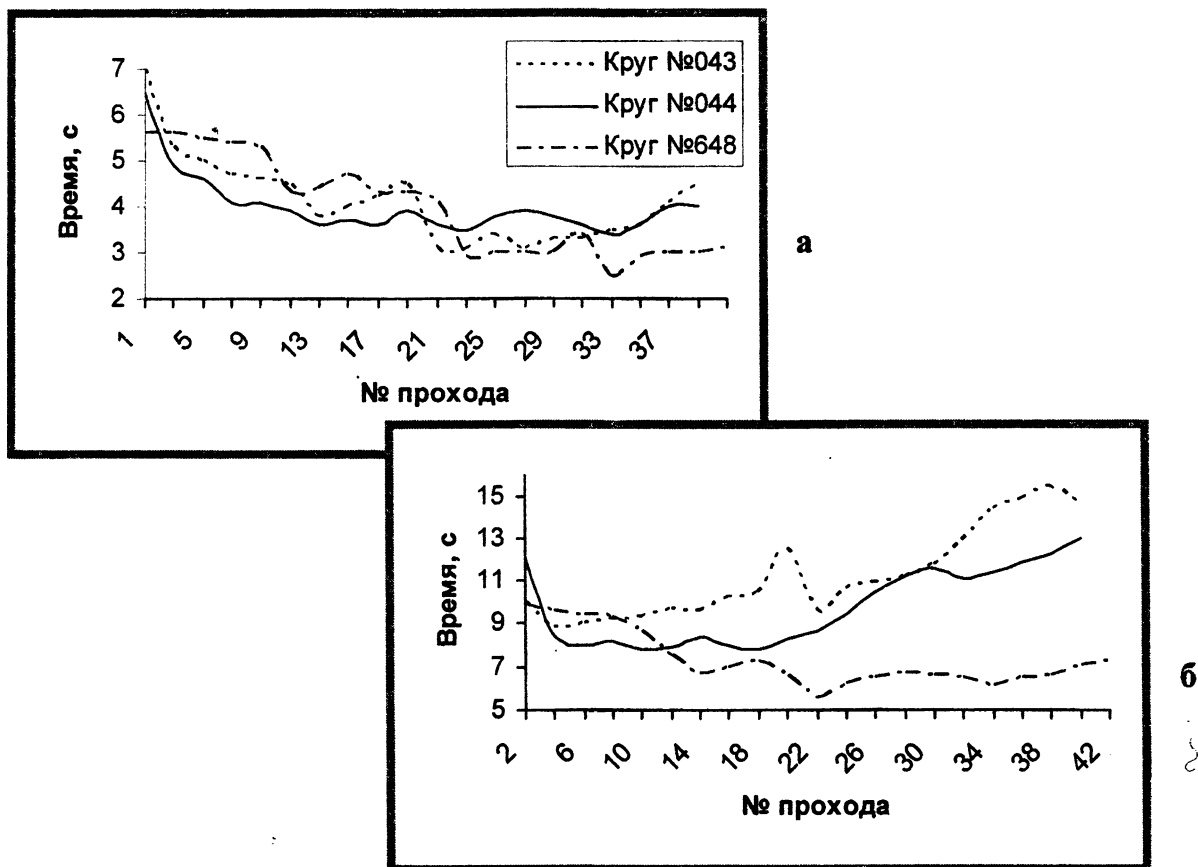


Рисунок 3 - Зависимость времени шлифования от количества проходов (этап 1):
а) нечетные проходы; б) четные проходы

Повышенная хрупкость стекол и других хрупких неметаллических материалов характеризуется большой разностью пределов прочности при растяжении и сжатии ($\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{сж}} \approx 0,04 - 0,05$). В то же время указанные материалы обладают практически идеальной упругостью при значении $\sigma_{\text{сж}}$, достигающем 2450 МПа. Аналогичным образом может быть охарактеризована также оксидная керамика ($\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{сж}} \approx 0,08$), лейкосапфир ($\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{сж}} \approx 0,035$). При двухосном сжатии стекол и ситаллов, несмотря на существенное различие в их физическом строении, присущее аморфным и поликристаллическим телам, соблюдается линейная зависимость между напряжениями и деформациями вплоть до разрушения, а значения деформаций подчиняются обобщенному закону Гука. При деформировании неметаллических тел, по данным [8], развиваются два конкурирующих процесса - микроскопическое разрушение и упрочнение структуры.

В процессе абразивной обработки стекла при микроскопическом разрушении его поверхностного слоя вершинами абразивных зерен под ними возникают области напряжения сжатия $\sigma_{\text{сж}}$, а ниже - растяжения $\sigma_{\text{в}}$ [9]. При $\sigma_{\text{сж}} = 1000 - 2000$ МПа возникает только упругая деформация. Когда значение $\sigma_{\text{в}}$ под острием зерна достигает предела текучести стекла $\sigma_{\text{т}}$, в макрообластях более 100 мкм имеет место хрупкое разрушение с одновременным проявлением в микрообластях пластических явлений. Таким образом, проникающее действие твердого острого зерна вызывает пластическую деформацию, а внутренние

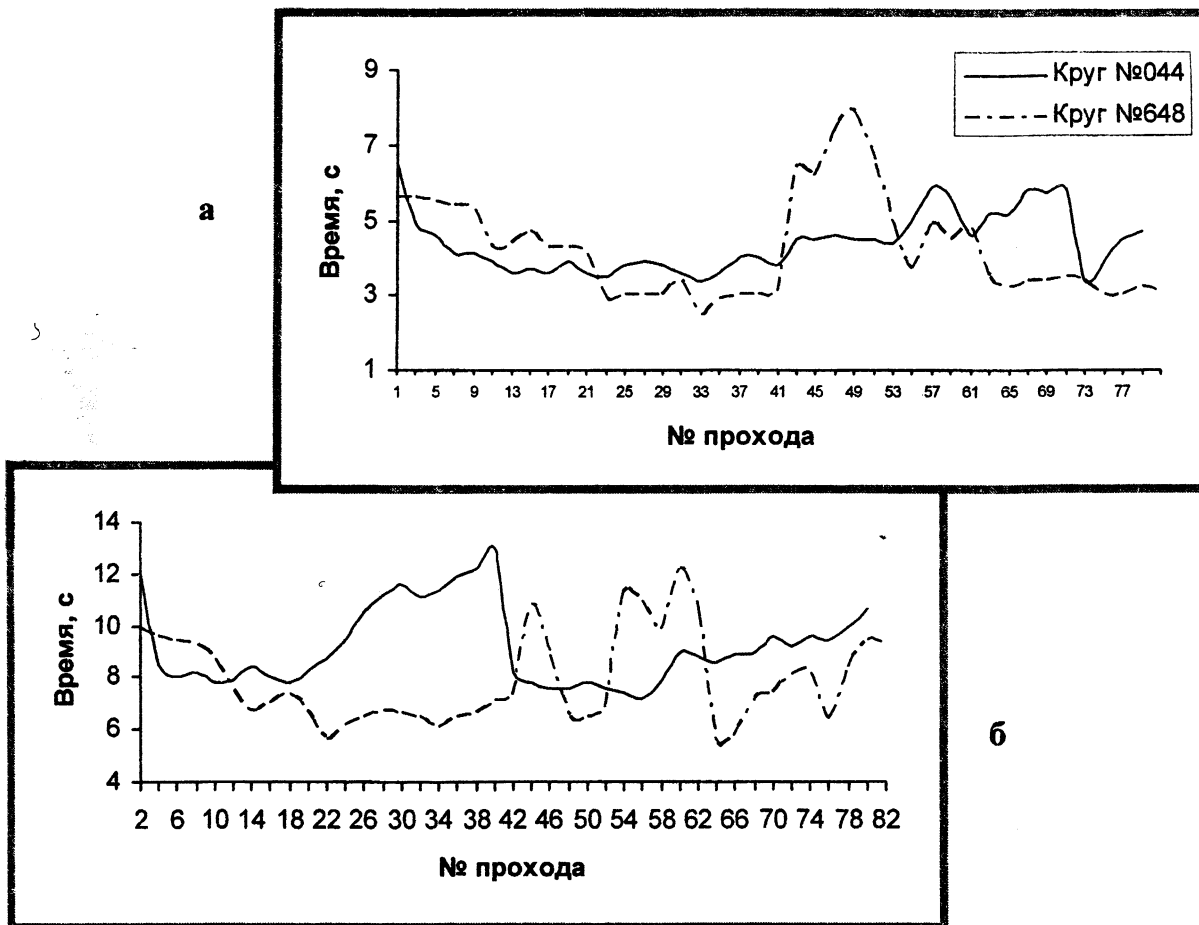


Рисунок 4 - Зависимость времени шлифования от количества проходов (этап 2):
а) нечетные проходы; б) четные проходы

напряжения растяжения являются причиной деструкционных явлений. При $\sigma_{сж} = 5000 - 6000$ МПа возникают вязкое течение стекла и пластическая деформация в областях менее 100 мкм. Хрупкое разрушение под вершинами зерен определяет технологическую эффективность снятия припуска при шлифовании стекла, в то время как микродеформации являются лишь сопутствующими.

Таблица 2. Эксплуатационные характеристики кругов

№ круга	$q, \text{ мг/см}^3$		$Q, \text{ см}^3/\text{мин}$	
	Этап 1	Этап 2	Этап 1	Этап 2
648	0,285	0,064	18,9	18,1
044	0,306	0,029	16,3	17,0
043	0,346	-	16,4	-

Полученные на двух этапах данные эксплуатационных характеристик представлены в табл. 2, а данные по времени шлифования на рис. 3 и 4.

На первом этапе у всех кругов удельный расход алмазов превышает уровень установленный в нормативных документах. Наибольший расход оказался у круга № 043, изготовленного на мягкой связке. Производительность шлифования кругов превышает рекомендуемый уровень: для кругов № 043 – 044 практически одинакова и несколько выше для круга № 648. Время шлифования при нечетных проходах для всех кругов имеет тенденцию к снижению (рис. 3, а). На данном этапе происходит интенсивное обнажение новых алмазных зерен и разрушение уже работающих. Наличие большого числа активных режущих кромок способствует более легкому и быстрому удалению материала.

При выполнении четных проходов, когда объем удаляемого материала и площадь контакта круга и обрабатываемого образца больше, время шлифования увеличивается в 2 – 3 раза. Кривые времени для кругов № 043 – 044 возрастают. Для круга № 648 наблюдается незначительное снижение времени шлифования. Данные различия в работе кругов объяснить трудно, так как производители испытываемого инструмента не раскрывают особенности и уровень модифицирования стандартной связки М2-01 в представленном инструменте. Наличие модификаторов изменяет уровень сил резания и трения, оказывает влияние на интенсивность изнашивания указанных алмазных кругов.

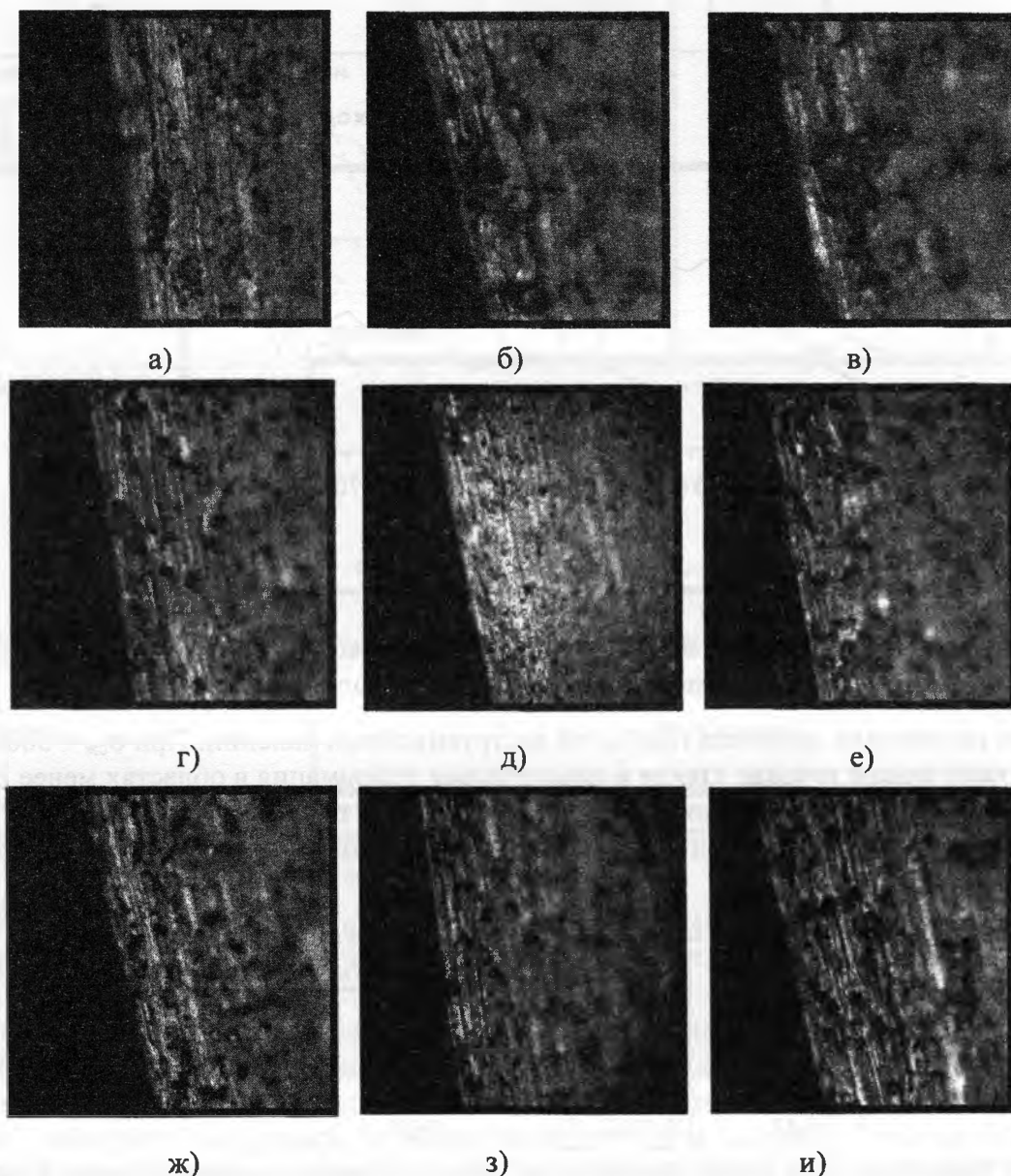


Рисунок 5 - Характер и морфология износа алмазных кругов при обработке хрусталя : круг № 043 (а, б, в); круг № 044 (г, д, е); круг № 648 (ж, з, и)

Дальнейшим испытаниям подвергались круги № 044 и 648. Производительность данных кругов осталась практически на прежнем уровне. Удельный расход алмазов снизился для круга № 648 приблизительно в 4 раза, для круга № 044 – в 10 раз. Это свидетельствует о наличии периода приработки с повышенным расходом алмазов. Волнообразный характер графиков (рис. 4), построенных с учетом данных первого этапа, указывает на наличие эффекта самозатачивания для данных кругов. Особенно отчетливо это прослеживается для круга № 044 (рис. 4б).

На рис. 5 представлены картины изношенных рабочих поверхностей алмазных испытанных кругов, не достигших критического износа (на уровне 60–70% периода стойкости). Во всех случаях изнашивание испытываемых кругов происходило наиболее интенсивно по вершине ввиду максимальной нагрузки и наличия минимального объема связки, удерживающей зерно. Вдоль вершины круга располагаются дорожки трения, имеющие как кольцевой вид, так и вид отдельных спиралей с малым закруглением. Короткие спиральные канавки вызваны прокатыванием мало разрушенных алмазных зерен со шламом в зоне резания. Также характерно наличие площадок с вырванными алмазными зёрнами.

Заключение. В результате исследований установлено, что износ профиля круга происходит неравномерно. Для повышения износостойкости кругов целесообразно использовать многослойные круги, в которых упрочнены наиболее нагруженные участки круга. Это позволит значительно уменьшить искажение профиля круга в процессе эксплуатации.

Проведенные испытания алмазных кругов различных производителей позволили определить инструмент, позволяющий достичь наилучших эксплуатационных показателей при обработке стекла (круг производства РАУП Гомельское ПО «Кристалл»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Перерозин М.А. Справочник по алмазной обработке стекла. М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
2. Newton I., Opticks, 1666, from Holland, L., The Properties of Glass Surfaces, Chapman and Hall, London, 1964, p. 16.
3. Hooke R., Micrographia, 1665, from Holland L., The Properties of Glass Surfaces, Chapman and Hall, London, 1964, p. 16.
4. Fielden J. H., Rubenstein C., «The Grinding of Glass by a Fixed Abrasive», Glass Technology, Vol. 10, No. 3, 1969, p. 73.
5. Vaidyanathan S., Finnie L., «Grinding of Brittle Solids», New Developments in Grinding, Proceedings of the International Grinding Conference, Carnegie Press, 1972, p. 813.
6. Подураев В.Н. Резание труднообрабатываемых материалов. Учеб. Пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1974. – 587 с.
7. Pahlitzsch E., «Recent Results of Research into the Sawing of Glass», Proceedings of the Industrial Diamond Conference, Oxford, England, 1966, p. 221.
8. Литов Ю. Н. Кинетика разрушения и упрочнения деформируемых твердых тел. – Докл. АН УССР, 1979, 245, №4, с. 809 – 811.
9. Minář S. Základní poznatky určující směry řešení, intenzifikace presheho abrábení optického skla. – Jemna mech. A opt. 1974, N10/12, S. 280 – 283, 311 – 316, 340 – 343.

УДК 621.762.

Дудяк А.И., Сахнович Т.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭЛЬБОРА С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ЕГО ФАЗОВОГО СОСТАВА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В машиностроении получили широкое применение поликристаллические инструментальные материалы на основе эльбора для резания высокотвердых сплавов и закаленных сталей. Отличаются друг от друга условиями получения, фазовому составу, свойствами и областями их применения [1]. По этим признакам их можно разделить на две группы. Первая из них представляет поликристаллы, полученные путем прямого полиморфного превращения гексагонального нитрида бора (BN) в кубическую модификацию (эльбор). Полиморфные