

УДК 621.923

*Р.М. СТРЕЛЬЧУК*, канд. техн. наук, Харьков, Украина  
*В.Г. КЛИМЕНКО*, Полтава, Украина

## **ОСОБЕННОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОТВЕРДЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Представлені результати досліджень, спрямованих на вирішення проблеми шліфування важкооброблюваних матеріалів за рахунок використання комбінованих процесів обробки. Відзначені особливості, які необхідно враховувати при обробці матеріалів з нано - і субмікроструктурною структурою. Доведено ефективність запропонованого комбінованого способу на прикладі обробки синтетичного алмазу і наноструктурного твердого сплаву марки «ВолКар».

Представлены результаты исследований, направленных на решение проблемы шлифования труднообрабатываемых материалов за счет использования комбинированных процессов обработки. Отмечены особенности, которые необходимо учитывать при обработке материалов с нано - и субмикроструктурной структурой. Доказана эффективность предложенного комбинированного способа на примере обработки синтетического алмаза и наноструктурного твердого сплава марки «ВолКар».

Presents the results of a study aimed at addressing the grinding of hard materials through the use of combined processes of processing. The peculiarities that need to be considered when processing materials with nano - and sub-microcrystalline structure. Proved the effectiveness of the proposed combined method on the example of processing of synthetic diamond and nanostructured solid alloy «Volkar»

**Постановка проблеми.** Сегодня специалисты считают, что нанотехнологии - это абсолютно реальное направление технического прогресса, дело ближайшего будущего, в том числе и для производства. Наноматериалы уже применяются в атомной, автомобилестроительной и других областях промышленности. Во многих странах в нанотехнологии уже вкладываются значительные средства. Так, например, ГК «Роснано» (РФ) одобрил к финансированию ряд проектов в этом

направлении. Среди них следует особо выделить следующие: создание производства износостойких изделий из наноструктурных керамических и металлокерамических материалов; создание производства монолитного твердосплавного металлорежущего инструмента с наноструктурным покрытием; производство режущего инструмента из сверхтвердых материалов; серийное производство электрохимических станков для прецизионного изготовления деталей из наноструктурных материалов [1]. Надо отметить, что работы в направлении нанотехнологий проводятся и в Украине.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Одной из важнейших задач в направлении практической реализации нанотехнологий является технология обработки наноматериалов. Известно, что нано - и субмикроструктурные металлы отличаются существенной нестабильностью зеренной структуры. При нагреве металла происходят сложные структурные изменения, связанные с развитием процессов возвращения, рекристаллизации, как следствие, рост зерна и потеря уникальных физико-механических свойств [1]. Поэтому направление, связанное с производством уникальных станков для высокоточной обработки металлов и наноматериалов с использованием принципа электрохимии, основным преимуществом которого является практически полное отсутствие механического или теплового воздействия на обрабатываемый материал, является достаточно перспективным. Но это вовсе не исключает необходимости применения механических технологий, которые продолжают быть основными в плане получения высоких показателей точности обработки и качества обрабатываемых поверхностей. Особенно это касается процессов шлифования. К сожалению именно процессы шлифования отличаются высокими показателями температуры в зоне обработки. Именно поэтому задача разработки и исследования низкотемпературных методов шлифования приобретает особую важность и актуальность. В НТУ «ХПИ» уже выполнены некоторые разработки в этом направлении. Они в первую очередь связаны с применением комбинированного процесса шлифования торцевыми алмазными кругами на станках с вертикальным расположением шпинделя. Благодаря использованию специальной ванны, обработка

происходит в сплошном слое охлаждающей жидкости [2]. Это позволило существенно снизить брак при обработке поликристаллических сверхтвердых и других труднообрабатываемых материалов и одной из основных причин этого факта следует считать возможность резкого снижения температуры в зоне резания. Последнее стало возможным благодаря ряду разработанных оригинальных методов эффективной подачи СОТС во внутреннюю полость круга, что позволило создать условия для прокачки его через межзеренное пространство за счет действия центробежных сил. Достоинством электроискрового процесса шлифования является то, что с одной стороны используются электроэрозионные разряда с малой энергией, а с другой их воздействие направлено преимущественно на связку алмазных токопроводящих кругов. Это минимизирует тепловое воздействие на обрабатываемый материал. Кроме этого процесс допускает возможность использования в качестве рабочей жидкости обычной воды.

**Цель исследования.** Целью исследований является установление новых возможностей комбинированной обработки труднообрабатываемых материалов.

**Основные материалы исследований.** Одним из перспективных процессов комбинированной обработки шлифования является, как известно, алмазно-искровое шлифование. Его использование вносит весьма существенные коррективы во взаимодействия алмазных кругов с высокотвердыми обрабатываемыми материалами.

Как правило, комбинированную обработку ведут в несколько этапов, при этом используют токопроводящие алмазные круги, режущие свойства которых восстанавливают в процессе обработки путем управляющего электроэрозионного воздействия на материал связки и алмазные зерна в среде диэлектрика. При этом электроэрозионному воздействию подвергаются не только металлическая связка круга и образующаяся стружка, но и алмазные зерна. Это связано с тем, что при электроэрозионной обработке под воздействием высоких температур в зоне разряда образуются продукты пиролиза рабочей среды и обрабатываемого материала, в результате чего на поверхности алмазного зерна создается электропроводный слой. Кроме того формирующиеся

токопроводящие мостики из элементов стружки между связкой и обрабатываемым материалом периодически контактируя с алмазными зернами, способствуют термохимическому воздействию на них.

Недостатком традиционных способов является большая трудоемкость получения высокого качества обработанной поверхности. Это связано с тем, что электроэрозионное воздействие на алмазные зерна используется не избирательно (т.е. не целенаправленно), а в рамках решения общей задачи восстановления режущих свойств абразивного инструмента. При этом для черновой, чистовой и прецизионной обработок требуются круги различной зернистости. Особенно важным следует считать то, что если вести традиционное шлифование, то для черновой обработки необходимо использовать крупнозернистые круги и электрические импульсы большой энергии, а на этапе чистовой обработки мелкозернистые круги и импульсы малой энергии. Это обусловлено следующим - чем крупнее зерна круга, тем больше межэлектродный зазор между связкой (первый электрод) и вторым электродом (например, обрабатываемым материалом). Сочетание крупной зернистости и необходимой при этом высокой энергии импульсов приводит к низкому качеству обработанной поверхности. В то же время сочетание мелкой зернистости и соответственно малой энергии импульсов обеспечивает более высокий уровень качества, но при низкой производительности процесса [3,5].

Кроме этого в известных способах не учитываются такие важные явления как графитизация алмаза, способствующая дополнительному инициированию электроэрозионных разрядов на алмазные зерна, а также приспособляемость, которая наиболее ярко проявляется при обработке сверхтвердых материалов. А именно эти явления во многом способствуют использованию крупнозернистых кругов для прецизионной обработки [7, 8].

Немаловажное значение приобретает и возможное наличие в алмазных зернах металлофазы (особенно в зернах больших размеров), что в еще большей степени будет инициировать действие разряда и интенсифицировать образование субмикрорельефа на рабочей поверхности алмазных зерен.

В связи с изложенным была выдвинута идея снижения себестоимости и получения высокого качества обработанной поверхности за счет целенаправленного использования электроэрозионного воздействия на различные элементы рабочей поверхности круга при последовательной реализации чернового и чистового этапов обработки, а также использования явления приспособляемости для осуществления чистовой и прецизионной обработки. При этом на всех трех этапах используется один и тот же крупнозернистый алмазный круг.

Для этого на всех этапах обработки используют один и тот же крупнозернистый алмазный круг, при этом этап черновой обработки ведут с энергией единичных электрических импульсов не ниже чем  $10^{-3}$  Дж, на этапе чистовой обработки энергию единичных электрических импульсов принимают не выше чем  $10^{-4}$  Дж, а на этапе прецизионной обработки процесс электроэрозионного воздействия прерывают.

Таким образом, одним и тем же крупнозернистым кругом последовательно обеспечивается возможность высокопроизводительной, чистовой и прецизионной обработки высокотвердых материалов [4,6].

Суть предложенного способа поясняется рисунком 1. Как следует из рисунка 1а (1 – связка круга; 2 – алмазное зерно; 3 – стружка; 4 – электрод - инструмент; 5 – генератор импульсов) на этапе чернового шлифования происходит комплексное электроэрозионное воздействие на все элементы рабочей поверхности круга: связку, стружку и алмазные зерна. Это позволяет обеспечить высокую степень развитости режущего рельефа круга, а, следовательно, реализовать высокую производительность обработки. Для этого необходима энергия единичных электрических импульсов не ниже  $10^{-3}$  Дж. На этом этапе в результате графитизации алмаза, пиролиза рабочей среды и др. факторов алмазные зерна становятся электропроводными, что является фундаментом для реализации чистового этапа обработки.

На этапе чистовой обработки (рис. 1б) энергия единичных электрических импульсов должна быть недостаточной для электрического пробоя зазора между электродом-инструментом и связкой. Для этого при использовании кругов зернистостью 200/160-125/100 необходима энергия единичных электрических импульсов не выше  $10^{-4}$  Дж.

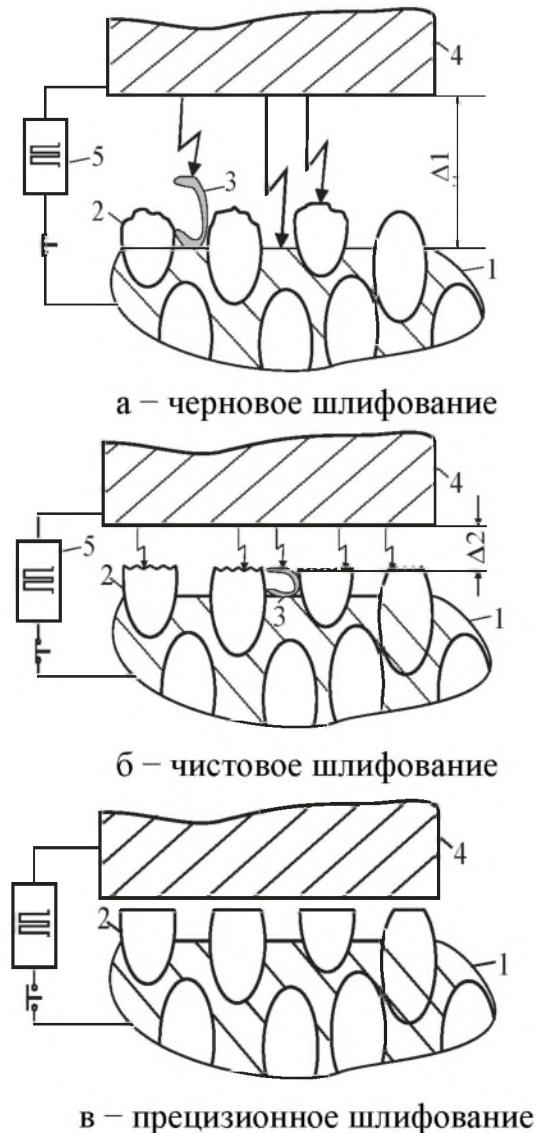


Рисунок – Способ комбинированной обработки материалов

1 – связка круга; 2 – алмазное зерно; 3 – стружка; 4 – электрод - инструмент;  
5 – генератор импульсов

При обработке высокотвердых материалов (в результате отмеченного выше явления приспособляемости) в таких условиях на алмазных зернах достаточно быстро сформируются площадки износа. Однако благодаря непрерывному воздействию электрических разрядов на уже электропроводные зерна эти площадки будут не гладкими, а иметь микро – и субмикроромки, которые и выполняют процесс резания.

Таким образом, избирательное электроэрозионное воздействие, направленное в основном на алмазные зерна круга (находящиеся в

пределах величины межэлектродного зазора  $\Delta 2 < \Delta 1$ ), и позволяет обеспечивать высокое качество обработанной поверхности. На этом этапе возможно также электроэрозионное удаление и токопроводящей стружки, хотя в силу малости своих размеров и большого межзеренного пространства (на рабочей поверхности крупнозернистых кругов) и малого времени реализации чистового этапа обработки стружка достаточно свободно размещается в межзеренном пространстве.

На этапе прецизионной обработки (при выключенном источнике питания) в результате быстрой реализации процесса приспособляемости площадки износа становятся гладкими (см. рис. 1в) и как бы производят полирование обрабатываемой поверхности, обеспечивая еще более высокий уровень ее качества. Экспериментальные исследования проводились на базе универсально-заточного станка 3Д642Е, модернизированного для реализации процесса алмазно-искрового шлифования. Производили заточку резцов из двух высокотвердых обрабатываемых материалов – синтетического поликристаллического алмаза марки СКМ-Р микротвердость (HV) которого приближается к 100 ГПа и наноструктурного твердого сплава марки «ВолКар» твердость (HV) которого составляет 23...25 ГПа. В качестве источника питания использовали генератор электрических импульсов ГКИ 200-300А. Диэлектрическая среда – вода. Сравнивали два способа – традиционный и предлагаемый способ. В первом случае обработку вели в два этапа – крупнозернистым кругом 12А2 45°150х10х3х32 АС6 125/100 4 М2-01, а затем кругом на основе микропорошка алмаза 12А2 45°150х10х3х32 АСМ 40/28 4 М2-01. Предлагаемый способ был реализован с применением одного и того же круга 12А2 45°150х10х3х32 АС6 125/100 4 М2-01. При этом на первом этапе (черновая обработка) энергия единичных электрических импульсов составляла  $\mathcal{E} = 2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж. ( $U_{\max} = 130$ В,  $I_{\max} = 130$ А,  $f = 22$ кГц), а на втором (чистовая обработка) она была равной  $\mathcal{E} = 0,75 \cdot 10^{-3}$  Дж. ( $U_{\max} = 150$ В,  $I_{\max} = 24$ А,  $f = 88$ кГц). На третьем этапе  $\mathcal{E} = 0$  Дж.

Для оценки эффективности способов использовали два параметра - шероховатость обработанной поверхности (по критерию  $R_a$ ) и штучное