

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛМАЗНЫХ КРУГОВ С НАНОСТРУКТУРНЫМ ТВЕРДЫМ СПЛАВОМ

В настоящее время перспективы развития высоких технологий связаны с одним из основных направлений в этой области – нанотехнологиями, которые занимаются созданиями наноструктур. Расширение областей применения этих технологий является важным вкладом в становление нового технологического уклада, под которым следует понимать совокупность технологий, определяющих общий уровень экономики.

В связи с этим разработка и создание новых инструментальных материалов, а также поиск эффективных методов их использования (наноинженерия) являются одним из факторов, способствующих эффективной обработке современных конструкционных материалов.

Именно поэтому во всем мире резко увеличивается производство тонкодисперсных твердых сплавов. В соответствии с современной классификацией в зависимости от величины зерна карбидной фазы тонкодисперсные твердые сплавы подразделяются на субмикронные с размером зерна 0,5-1,2 мкм, ультрадисперсные – 0,2-0,5 мкм и наноразмерные – менее 0,2 мкм; при этом задача повышения качества твердых сплавов решается в основном путем наноструктурирования.

По нашему мнению важно отметить, что в настоящее время при разработке новых инструментальных материалов основное внимание уделяется созданию нанокомпозитов на основе карбидов с металлами – связками, например WC/Co, которые значительно превосходят по прочности, износостойкости, ударной вязкости и другим физико-механическим свойствам аналогичные материалы с традиционной зернистой структурой. Высокие характеристики таких наноструктурных материалов объясняются тем, что между частицами разных фаз (например, WC и Co) формируются трехмерные контакты с более прочной структурой. Однако следует обратить внимание на то, что упомянутые материалы получают механическим перемешиванием соответствующих порошков с последующим холодным прессованием и затем спеканием. Сложностью этой технологии и ее недостатком является механическое перемешивание ультрадисперсных порошков карбида вольфрама и кобальта, что не позволяет получать достаточно надежную степень однородности, а в спеченных твердых сплавах не обеспечивается наноструктурная размерность зерен [1]. Кроме того, при обработке с высокими скоростями температура в зоне резания может достигать 800 – 1000 °С; такой уровень температур резания способствует размягчению кобальтовой связки и, как следствие,

уменьшению твердости инструментального материала и снижению износостойкости инструмента.

В связи с этим представляет интерес разработанный на основе монокристалла вольфрама новый наноструктурный твердый сплав «ВолКар» [2]. Особенностью этого материала является то, что он состоит только из зерен WC, имеющих размер до 100 нм, и в его составе нет связующих материалов (кобальта, никеля и др.); исходный материал до прессования по специальной технологии представляет собой порошок WC с размерами зерен 40–70 нм. Высокие физико–механические свойства твердого сплава «ВолКар» по сравнению с известными материалами обусловлены высокодисперсными зернами и прочными граничными связями между ними, что объясняется малым временем и сравнительно невысокой температурой спекания [3]. По классификации наноматериалов по форме и химическому составу твердый сплав марки «ВолКар» можно отнести к следующим группам: по расположению кристаллитов и границ раздела – к четвертой группе, т.е. к равноосным, а по химическому составу – к первой группе, к наноматериалам с одинаковым химическим составом кристаллитов и границ раздела [4].

Рассматриваемый материал перспективен для применения в режущих инструментах при высокоскоростной обработке резанием различных труднообрабатываемых закаленных сталей и сплавов и в некоторых случаях может заменить дорогостоящий инструмент из кубического нитрида бора; его физико-механические свойства представлены в таблице.

Таблица

Основные физико-механические свойства пластин из «ВолКар»

Твердость, HRA	95...97
Твердость HV, ГПа	23...25
Плотность, мг/м	14,5
Прочность при сжатии, МПа	2600...2800
Прочность при изгибе (Т = 20...900 °С), МПа	600...800
Теплопроводность, Вт/мК:	
при 22 °С	20
при 400 °С	30
Трещиностойкость $K_{1C}$ , МПа м <sup>-1/2</sup>	8,5...12

Формообразование рабочих поверхностей режущих инструментов из сплава «ВолКар» можно реализовать только в процессе алмазного шлифования. При этом наиболее целесообразно с учетом свойств материала обработку производить с введением дополнительной энергии в зону шлифования, что обеспечит стабильную развитость рельефа

алмазного круга. Естественно предположить, что, обладая повышенными по сравнению с обычными твердыми сплавами физико-механическими свойствами, сплав «ВолКар» характеризуется особенностями взаимодействия с рабочей поверхностью круга.

Одним из наиболее распространенных критериев оценки этого взаимодействия является коэффициент шлифования ( $Kш$ ). Он отражает процесс резания в динамике, влияние температурно-скоростного фактора, характеризует свойства обрабатываемого материала, условия внедряемости рельефа в него, а значит, и определяет сравнительную режущую способность круга, поскольку процесс осуществляется по упругой схеме шлифования. Рассматриваемый критерий меньше единицы и при определенных условиях обработки может приближаться даже к коэффициенту трения пары «шлифовальный круг – обрабатываемый материал» [5].

Коэффициент шлифования определяется из соотношения

$$Kш = \frac{Pz}{Py}, \quad (1)$$

где  $Pz$  – тангенциальная сила резания, Н;

$Py$  – радиальная сила резания, Н.

Экспериментальные исследования проводились на универсально-заточном станке модели ЗД642Е, модернизированном для обработки методом алмазно-искрового шлифования (АИШ). Шлифование осуществлялось торцом круга 12А2-45<sup>0</sup> АС6 на металлической связке М1-01 с обратной полярностью подсоединением положительного полюса источника питания к алмазному кругу, а отрицательного – к обрабатываемому материалу. Источником питания являлся специальный генератор импульсов. Электрические режимы составляли: величина технологического тока  $I_{cp} = 5$  А, частота электроимпульсов  $f = 22$  кГц, скважность  $n_{ске} = 2$ . Изучалось влияние режимов резания – нормального давления ( $Pн$ ), скорости резания ( $V$ ) и характеристик алмазного круга – зернистости ( $Z$ ), концентрации ( $K$ ), а также – времени шлифования ( $T$ ). Для сравнения исследовался  $Kш$  при шлифовании пластин из твердого сплава ВК6.

В условиях АИШ во всем диапазоне увеличения нормальных давлений  $Kш$  возрастает (рис. 1), что объясняется развитостью рабочей поверхности круга, высокой внедряемостью режущих микрокромки и, как следствие, опережающим ростом силы  $Pz$ . Дальнейшее повышение нормального давления приводит к замедлению роста силы  $Pz$  из-за некоторого притупления режущих элементов и периодически появляющейся вероятности контакта связки круга с обрабатываемым материалом. При АИШ взаимодействие обрабатываемого материала с кругом характеризующим в основном контактированием его с алмазными зернами, трение связки занимает небольшую долю в общей

работе шлифования и оказывает слабое влияние на изменение тангенциальной силы  $P_z$ .

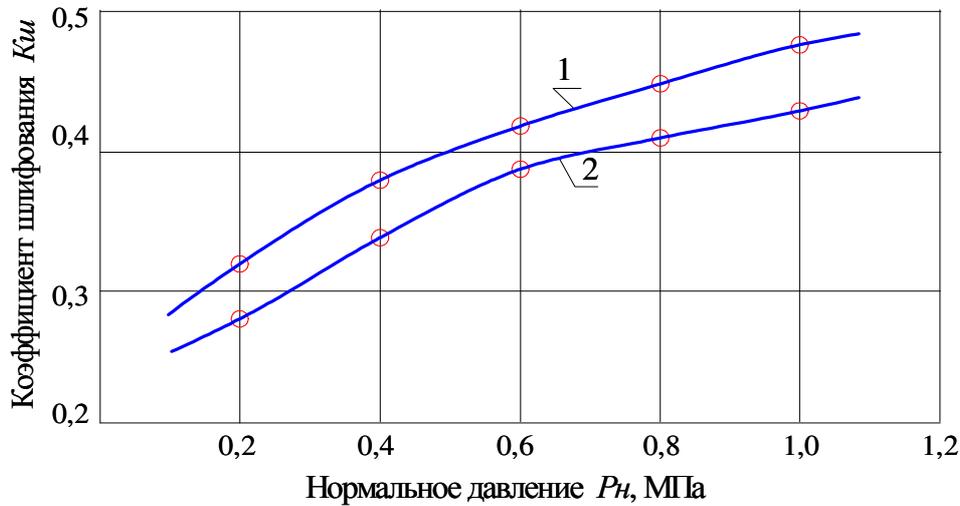


Рисунок 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования: 1–ВК6, 2 – «ВолКар»;  $V=25$  м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

Изменение скорости резания от 15 до 35 м/с оказывает весьма незначительное влияние на  $K_{ш}$  (рис. 2), что связано с постоянством сил резания при алмазно-искровом шлифовании, и может быть объяснено практически мало изменяющимся значением коэффициентов трения алмаза с обрабатываемым материалом при повышении скорости шлифования. Известно, что при точении материалов, не вступающих во взаимодействие с алмазом, и когда практически имеет место чистый контакт его с обрабатываемым материалом, силы резания с увеличением скорости также не изменяются [6].

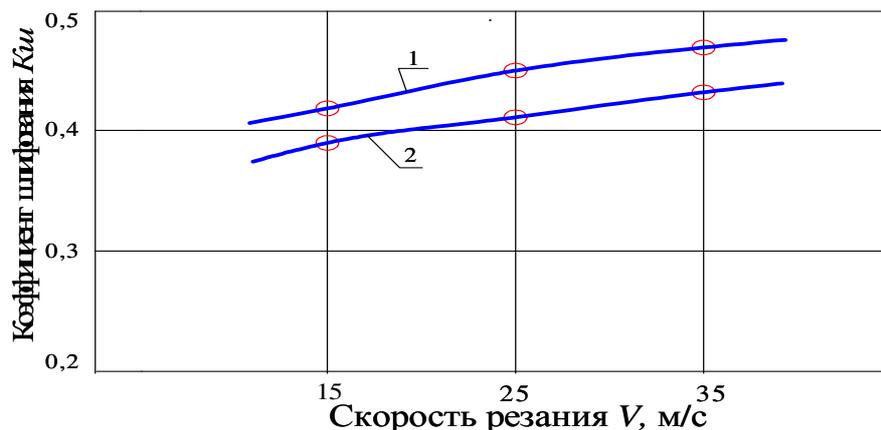


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на коэффициент шлифования: 1–ВК6, 2 – «ВолКар»;  $P_n=0,8$  МПа; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

При алмазно-искровом шлифовании изменение зернистости в диапазоне от 50/40 до 160/125 незначительно влияет на  $K_{ш}$  (рис. 3), что объясняется ростом сил резания в связи с количественным фактором и

соответственно возрастанием суммарного сечения среза. Можно предположить, что количественный фактор с повышением зернистости при АИШ твердых материалов не играет существенной роли, так как у кругов повышенных зернистостей крупные зерна, имеющие более низкую динамическую прочность по сравнению с мелкими зернами, при износе и поверхностном разрушении образуют большое количество микрокромки, и таким образом фактор зернистости в этих условиях нивелируется.

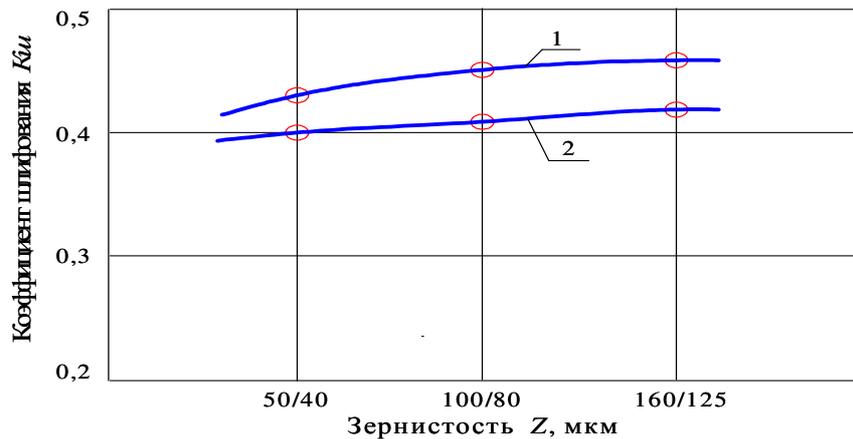


Рисунок 3 – Влияние зернистости кругов на коэффициент шлифования: 1–VK6, 2 – «ВолКар»;  $P_H=0,8$  МПа;  $V=25$  м/с; круг 12A2-45° AC6 M1-01-4

Поскольку алмазно-искровое шлифование обеспечивает активную самозатачиваемость режущего рельефа и рабочая поверхность круга практически не засаливается [7], то при шлифовании твердого сплава «ВолКар» так же, как и обычных твердых сплавов коэффициент шлифования  $K_{ш}$  в течение длительного промежутка времени практически не изменяется (рис. 4).

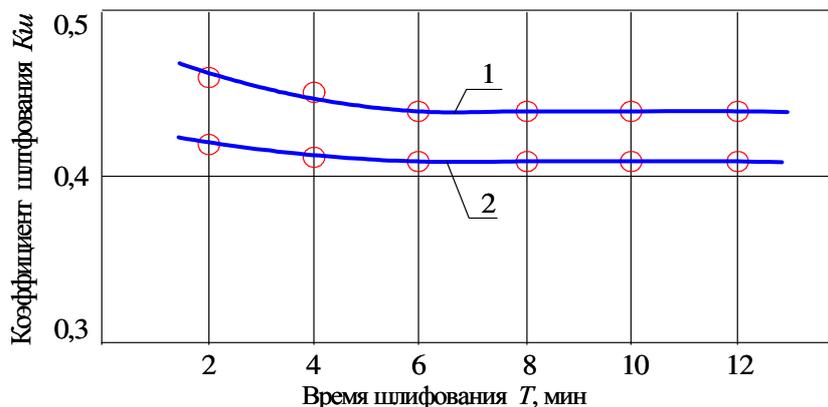


Рисунок 4 - Влияние времени шлифования на коэффициент шлифования: 1–VK6, 2 – «ВолКар»;  $P_H=0,8$  МПа;  $V=25$  м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

Только в условиях шлифования, когда режущая поверхность приобретает устойчивый характер, и круг работает в режиме самозатачивания при весьма незначительном контакте связки с материалом, по величине  $Kш$  можно устанавливать сравнительную обрабатываемость любых твердых сплавов, а именно – большим значениям  $Kш$  соответствует лучшая обрабатываемость. В условиях же обычного алмазного шлифования лучшая обрабатываемость может соответствовать меньшим значениям  $Kш$  – здесь сказывается фактор более медленного сглаживания рельефа круга, что позволяет ему сохранять разновысотность и уменьшать участие связки во взаимодействии с материалом более длительное время.

Представляет интерес и анализ изменения удельной энергоёмкости в зависимости от продолжительности шлифования наноструктурного твердого сплава «ВолКар» (рис. 5). При этом удельная энергоёмкость ( $B_m$ ) шлифования определялась отношением энергии (работы  $A$ ), расходуемой в единицу времени, на снятие массы ( $\Delta M$ ) материала [8]:

$$B_m = \frac{A}{\Delta M}, \quad (2)$$

где  $A$  – работа, Дж;  $\Delta M$  – масса, кг.

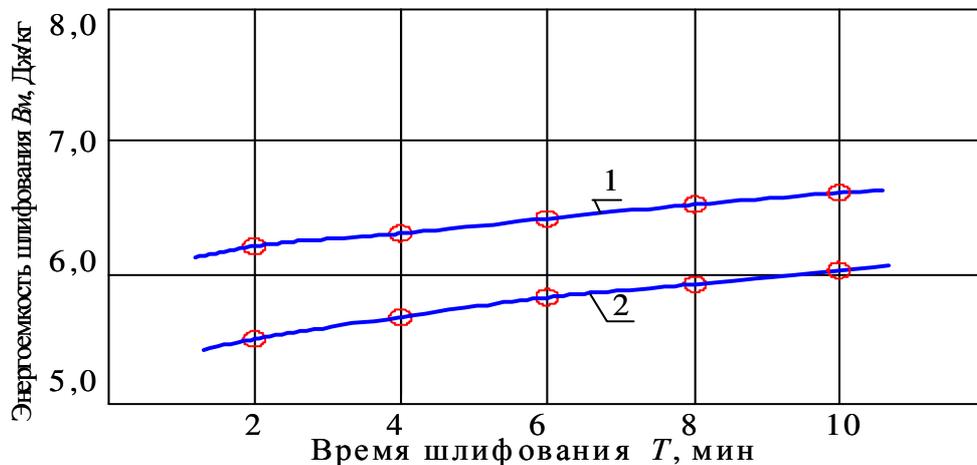


Рисунок 5 – Влияние времени на энергоёмкость шлифования:  
1 – «ВолКар», 2 – ВК6;  $P_H=0,8$  МПа,  $V=25$  м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

Работа шлифования ( $A$ ) рассчитывалась как произведение тангенциальной силы резания ( $Pz$ ) и скорости резания ( $V$ ), а масса материала определялась исходя из объема снятого материала в единицу времени (производительность  $Q_m$ ) и его плотности. Тангенциальная сила резания ( $Pz$ ) измерялась по упругой схеме шлифования с помощью специального динамометра.

При алмазно–искровом шлифовании режущая способность кругов на металлической связке сохраняется практически постоянной в течение длительного промежутка времени. Удельная энергоёмкость шлифования твердого сплава «ВолКар» при АИШ, так же, как и сплава ВК6, изменяется весьма незначительно, что свидетельствует о пропорциональном изменении работы резания и соответствующем ей съеме материала во времени.

Результаты исследований показывают, что при шлифовании твердого сплава «ВолКар» имеют место несколько меньшие значения  $K_{ш}$  и большие  $V_m$  по сравнению со сплавом ВК6, что вызовет незначительное увеличение удельной себестоимости шлифования  $C_{ш}$ . Однако следует иметь в виду, что удельная себестоимость шлифования и заточки не отражает качественное состояние изделий и инструмента в реальных условиях эксплуатации; потребителя интересует надежность приобретенной продукции и, в конечном счете, экономическая целесообразность ее применения. Проблему качественного результата следует рассматривать не только при изготовлении изделий и инструментов, но и в процессе их эксплуатации [9]. Высокая износостойкость, определяющая значительно большую длину пути резания при точении труднообрабатываемых материалов, способствует тому, что суммарная технологическая себестоимость ( $C_m$ ) использования наноструктурного твердого сплава «ВолКар» существенно ниже. Например, длина пути резания ( $L$ ) при точении закаленной стали ХВГ (HRC<sub>9</sub> 55...58) на чистовых режимах резания ( $V = 110$  м/мин,  $S = 0,075$  мм/об,  $t = 0,2$  мм) с критерием износа режущего инструмента  $h_3 = 0,4$  мм составила:  $L=1350$  м для наноструктурного твердого сплава «ВолКар», а для сплава ВК6 –  $L=1050$  м; суммарная технологическая себестоимость с учетом удельной себестоимости шлифования соответственно составляет:  $C_m=47,21$  коп/мин – для твердого сплава «ВолКар» и  $C_m=65,62$  коп/мин – для сплава ВК6. Изложенный подход отвечает развивающимся в последнее время тенденциям, связанным с инжинирингом качества [10].

Заметим также, что шероховатость поверхности сплава «ВолКар» после шлифования меньше, чем традиционных твердых сплавов. Например, при шлифовании наноструктурного сплава «ВолКар»  $Ra = 0,32$  мкм ( $P_H = 0,8$  МПа,  $V = 25$  м/с; круг 12А2-45° АС6 100/80 М1-01-4), а – сплава ВК6 при таких же условиях  $Ra = 0,47$  мкм. Более высокая твердость рассматриваемого материала при его взаимодействии с режущей поверхностью алмазных кругов способствует образованию значительно большего количества субмикроромок на каждом зерне, чем при шлифовании других материалов; кроме того нанозернистая структура материала также способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Таким образом, можно констатировать существенное преимущество нового наноструктурного твердого сплава «ВолКар» при его использовании в качестве режущих пластин по сравнению с традиционными твердыми сплавами.

### Список использованных источников

1. Боровский Г.В. Инструментальное производство в России / Г.В. Боровский. - М.: «ВНИИинструмент», 2008. – 160 с.
2. United States Patent № 6,617,271 B1 МКИ С04 В35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / Gevorkian E., Kramer M., Kodash V.; Заявл.08.09.2003;Опублик.17.03.2005. – 14р.
3. Геворкян Э.С. Горячее прессование нанопорошков монокарбида вольфрама при нагревании электрическим током / Э.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.А. Чишкала, П.С. Кислый // Наноструктурное материаловедение. – Киев, 2007. – № 1. – С. 103–108.
4. Лякишев Н. П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов / Н.П. Лякишев // Вестник Российской Академии наук. – 2003. – Т. 73, № 5.
5. Муцянюк В. И. Коэффициент шлифования как критерий оценки процесса / В. И. Муцянюк, В. И. Островский // Тр. ВНИИАШ. – 1965. – № 1. – С. 64–67.
6. Зубарь В. П. Исследование особенностей трения синтетических поликристаллических алмазов с конструкционными материалами / В. П. Зубарь, В. К. Крюков, В. В. Алмосов // Резание и инструмент. – 1975. – Вып. 13. – С. 54–58.
7. Узунян М. Д. Высокопроизводительное шлифование безвольфрамовых твердых сплавов / М. Д. Узунян, Ю. С. Краснощек. – М.: Машиностроение, 1988. – 83 с.
8. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
9. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях / Дж. Х. Харрингтон. – М. Экономика. – 1990. – 271 с.
10. Современные концепции качества за рубежом. – М.: Госстандарт РФ. – 1992. – 56 с.