

М. Д. УЗУНЯН, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ШЛИФОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Представлено результати досліджень алмазно-іскрового шліфування наноструктурних твердих сплавів. Показано, що незважаючи на незначно менші значення коефіцієнтів шліфування й більшої питомої енергоємності процесу в порівнянні зі звичайними твердими сплавами, сумарна технологічна собівартість використання нового сплаву істотно нижче; це дозволяє реалізувати підходи, пов'язані з інжинірингом якості і її вартісною оцінкою.

Представлены результаты исследований алмазно-искрового шлифования наноструктурных твердых сплавов. Показано, что несмотря на несколько меньшие значения коэффициентов шлифования и большую удельную энергоёмкость процесса по сравнению с обычными твердыми сплавами, суммарная технологическая себестоимость использования нового сплава существенно ниже; это позволяет реализовать подходы, связанные с инжинирингом качества и его стоимостной оценкой.

Findings of investigation of diamond-spark grinding of nanostructured hard alloys are presented. It is shown that in spite of rather lesser values of G-ratio and greater specific power consumption of process in comparison with conventional hard alloys, the total technological cost price of new alloy application is substantially smaller; it allows to realise the approaches linked with quality engineering and its cost estimation.

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 становлении 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) является 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, 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 монокарбида 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 (T = 20...900°C), МПа	600...800
Теплопроводность, Вт/мК при 22°C при 400°C	20 30
Трещиностойкость K_{Ic} , МПа·м ^{-1/2}	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 ($K_{ш}$). Он отражает процесс резания в динамике, влияние температурно-скоростного фактора, характеризует свойства обрабатываемого материала, условия внедряемости рельефа в него, а значит и 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:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y}, \quad (1)$$

где P_z – тангенциальная сила резания, Н; P_y – радиальная сила резания, Н.

Экспериментальные исследования проводились на универсально–заточном станке модели 3Д642Е, модернизированном для обработки методом алмазно–искрового шлифования (АИШ). Шлифование осуществлялось торцом круга 12А2-45° 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 $I_{cp} = 5\text{А}$, частота электроимпульсов $f = 22\text{кГц}$, скважность $n_{скв} = 2$. Изучалось влияние режимов резания – нормального давления (P_n), скорости резания (V) и характеристик алмазного круга – зернистости (Z), концентрации (K); а также – времени шлифования (T). Для сравнения исследовался $K_{ш}$ при шлифовании пластин из твердого сплава ВК6.

В условиях АИШ во всем диапазоне увеличения нормальных давлений $K_{ш}$ возрастает (рис. 1), что объясняется развитостью рабочей поверхности круга, высокой внедряемостью режущих микрокромки и, как следствие, опережающим ростом силы P_z . Дальнейшее повышение нормального давления приводит к замедлению роста силы P_z из-за некоторого притупления режущих элементов и периодически появляющейся вероятности контакта связки круга с обрабатываемым материалом. При АИШ взаимодействие обрабатываемого материала с кругом определяется в основном характером контактирования его с алмазными зёрнами, трение связки занимает небольшую долю в общей работе шлифования и оказывает слабое влияние на изменение тангенциальной силы P_z .

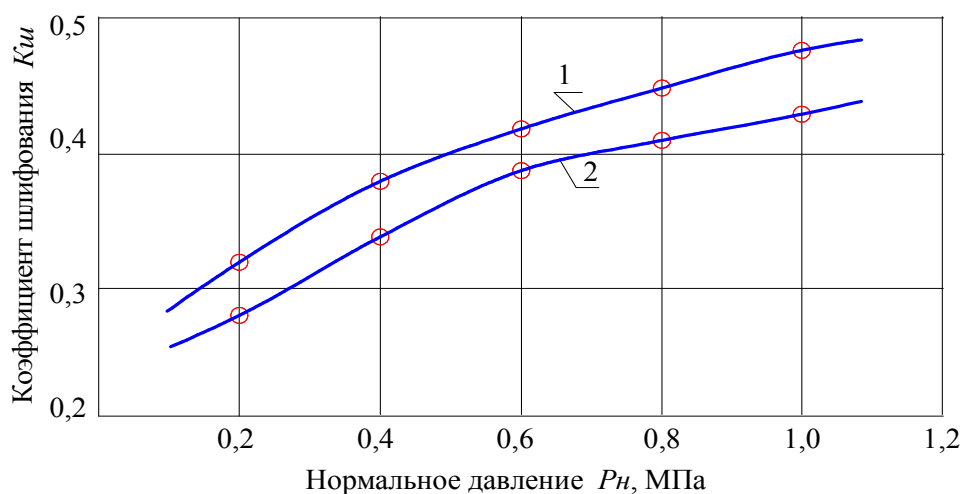


Рисунок 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования
1–VK6, 2 – «ВолКар»; $V=25$ м/с; круг 12А2-45° АС6 100/80 М1-01-4.

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].

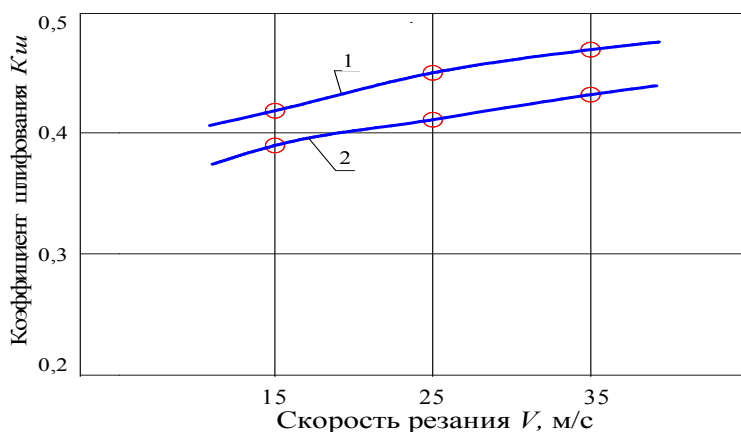


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на коэффициент шлифования
1–ВК6, 2 – «ВолКар»; $P_n=0,8$ МПа; круг 12A2-45° АС6 100/80 М1-01-4.

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.

Поскольку алмазно-искровое шлифование обеспечивает активную самозатачиваемость режущего рельефа и рабочая поверхность круга практически не засаливается [7], то при шлифовании твердого сплава «ВолКар» также как и обычных твердых сплавов коэффициент шлифования $K_{ш}$ в течении длительного промежутка времени практически не изменяется (рис. 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 $K_{ш}$ можно устанавливать сравнительную обрабатываемость любых твердых сплавов, а именно – большим значения $K_{ш}$ соответствует лучшая обрабатываемость.

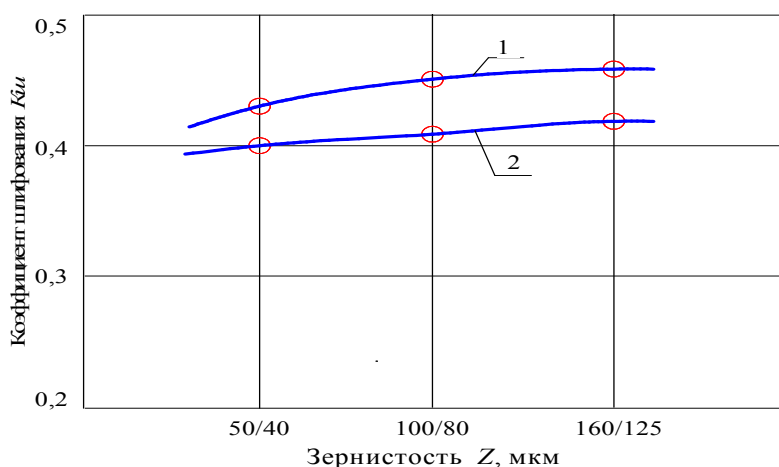


Рисунок 3 – Влияние зернистости кругов на коэффициент шлифования 1–VK6, 2 – «ВолКар»; $P_H=0,8$ МПа; $V=25$ м/с; круг 12A2-45° AC6 M1-01-4.

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

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

где A – работа, Дж; ΔM – масса, кг.

Работа шлифования (A) рассчитывалась как произведение тангенциальной силы резания (P_z) 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 (P_z) измерялась по упругой схеме шлифования с помощью специального динамометра.

При алмазно–искровом шлифовании режущая способность кругов на металлической связке сохраняется практически постоянной в течении длительного промежутка времени. Удельная энергоемкость шлифования твердого сплава «ВолКар» при АИШ, также как и сплава VK6, изменяется весьма незначительно, что свидетельствует о пропорциональном изменении работы резания и соответствующем ей съеме материала во времени.

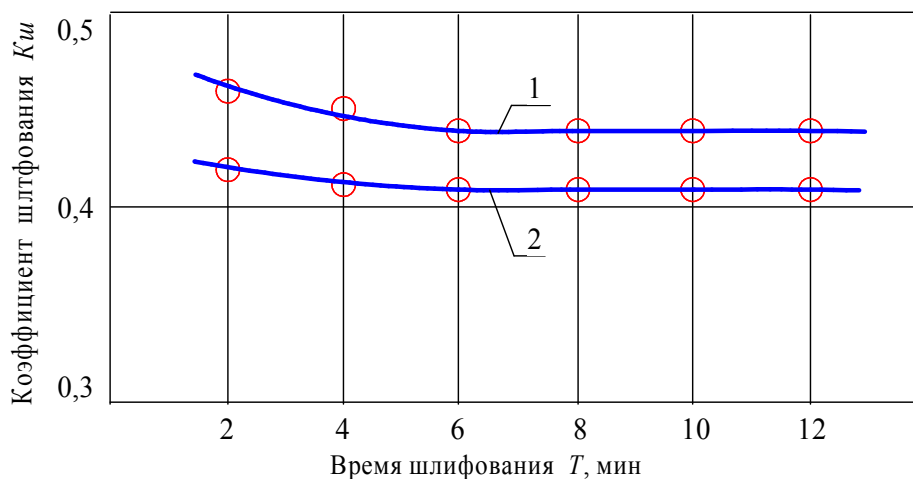


Рисунок 4 – Влияние времени шлифования на коэффициент шлифования
 1–ВК6, 2 – «ВолКар»; $P_H=0,8$ МПа; $V=25$ м/с;
 круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4.

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 (HRC₃ 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].

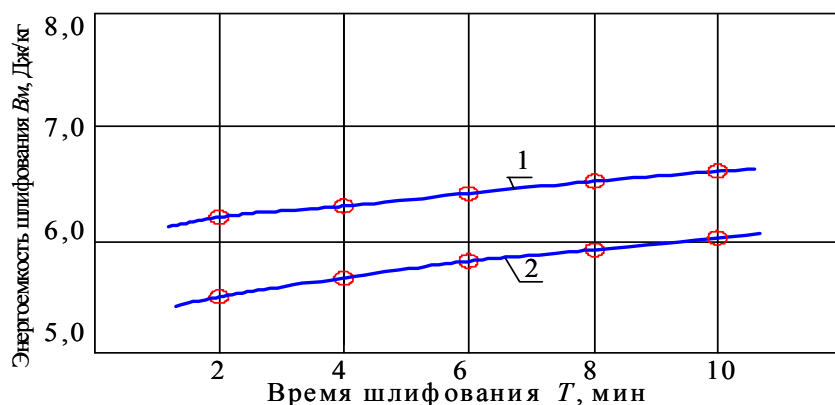


Рисунок 5 – Влияние времени на энергоемкость шлифования
 1 – «ВолКар», 2 – ВК6; $P_n=0,8$ МПа, $V=25$ м/с;
 круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4.

Заметим также, что шероховатость поверхности сплава «ВолКар» после шлифования меньше, чем традиционных твердых сплавов. Например, при шлифовании наноструктурного сплава «ВолКар» $R_a=0,32$ мкм ($P_n=0,8$ МПа, $V=25$ м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4), а – сплава ВК6 при таких же условиях $R_a=0,47$ 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 литературы: 1.Боровский Г.В. Инструментальное производство в России. М.: «ВНИИинструмент», 2008. – 160 с.: ил. 2.United States Patent № 6,617,271 В1 МКИ С04 В35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / Gevorkian E., Kramer M., Kodash V. – Заявл.08.09.2003;Опубл.17.03.2005 – 14р. 3.Геворкян Э.С., Тимофеева Л.А., Чишкала В.А., Кислый П.С. Горячее прессование нанопорошков монокарбида вольфрама при нагревании электрическим током // Наноструктурное материаловедение. – Киев, 2007. – № 1. – с. 103–108. 4.Лякишев Н. П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов // Вестник Российской Академии наук. – 2003. – Т. 73. –№ 5. 5.Муцяно В. И., Островский В. И. Коэффициент шлифования как критерий оценки процесса // Тр. ВНИИАШ. – 1965. – № 1. – С. 64–67. 6.Зубарь В. П., Крюков В. К., Алмосов В. В. Исследование особенностей трения синтетических поликристаллических алмазов с конструкционными материалами // Резание и инструмент. – 1975. – Вып. 13. – С. 54–58. 7.Узунян М. Д., Краснощек Ю. С. Высокопроизводительное шлифование безвольфрамовых твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1988. – 83 с. 8.Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с. 9.Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях. М. Экономика. – 1990. – 271 с. 10.Современные концепции качества за рубежом. М.: Госстандарт РФ. – 1992. – 56 с.