

УДК 621.923

Р. М. Стрельчук, М. Д. Узунян (г. Харьков)

Анализ энергоемкости алмазно-искрового шлифования наноструктурного твердого сплава ВолКар

Рассмотрены вопросы обрабатываемости нового наноструктурного твердого сплава ВолКар на основе анализа удельной энергоемкости процесса алмазно-искрового шлифования. Показано, что, несмотря на несколько большую энергоемкость шлифования сплава ВолКар по сравнению со сплавом ВК6, суммарная технологическая себестоимость его использования существенно ниже, так как заточенные им инструменты обладают более высокой износостойкостью.

Ключевые слова: наноструктурный твердый сплав ВолКар, удельная энергоемкость, суммарная технологическая себестоимость, алмазно-искровое шлифование.

Разработанный новый наноструктурный твердый сплав на основе монокарбида вольфрама без связующего материала ВолКар по сравнению с обычными твердыми сплавами характеризуется более высокой твердостью, а применение режущих пластин из него благодаря повышенной износостойкости позволяет существенно увеличить производительность обработки резанием [1]. По классификации наноматериалов по форме и химическому составу твердые сплавы марки ВолКар можно отнести к следующим группам [2]: 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. Исследуемый материал способен конкурировать с кубическим нитридом бора при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов [1]. Особенностью данного инструментального материала является отсутствие в нем дорогостоящих связующих металлов, таких как кобальт и никель, что позволяет использовать его при высокоскоростной обработке различных труднообрабатываемых закаленных сталей. В структуре сплава ВолКар содержатся только зерна WC с размерами до 100 нм; исходный материал до прессования по специальной технологии представляет собой порошок WC с размерами 40—70 нм [3]. Инструменты из данного материала могут заменить дорогостоящие алмазные инструменты и инструменты на основе кубического нитрида бора (гексанит, киборит и др.) — стоимость их приблизительно в 2 раза ниже, чем вставок на основе BN.

Физико-механические свойства сплава представлены в таблице [4]. Высокие физико-механические свойства твердого сплава ВолКар по сравнению с известными материалами обусловлены высокодисперсными зёрнами и прочными границами между ними, что объясняется малым временем выдержки и невысокой температурой спекания.

С целью расширения возможностей использования разработанного материала представляется целесообразным проведение исследований его обраба-

© Р. М. СТРЕЛЬЧУК, М. Д. УЗУНЯН, 2010

тываемости. Одним из наиболее достоверных критериев оценки обрабатываемости является удельная энергоемкость процесса шлифования [5].

Основные физико-механические свойства пластин из сплава ВолКар

Твердость, HRA	95—97
Твердость HV , ГПа	23—25
Плотность, мг/м	14,5
Прочность при сжатии, МПа	2600—2800
Прочность при изгибе ($T = 20—900$ °С), МПа	600—800
Теплопроводность, Вт/мК	
при 22 °С	20
при 400 °С	30
Модуль упругости, ГПа	300
Трещиностойкость K_{Ic} , МПа·м ^{-1/2}	8,5—12

Анализ энергоемкости и экспериментальные исследования проводили на универсально-заточном станке мод. 3Д642Е, модернизированном для обработки методом алмазно-искрового шлифования (АИШ). Шлифование осуществляли торцом круга 12А2-45° АС6 100/80 на металлической связке М1-01 с обратной полярностью подсоединением положительного полюса источника питания к алмазному кругу, а отрицательного — к обрабатываемому материалу. Источником питания служил специальный генератор импульсов. Электрические режимы были следующие: величина технологического тока $I_{cp} = 5$ А, частота электроимпульсов $f = 22$ кГц, скважность $n_{скв} = 2$. Изучали влияние режимов резания — нормального давления p_n , скорости резания v и характеристик алмазного круга — зернистости Z и концентрации алмазов K , а также времени шлифования τ . Для сравнения исследовали энергоемкость шлифования пластин из твердого сплава ВК6.

Удельную энергоемкость B_m шлифования определяли отношением энергии (работы A , Дж), расходуемой в единицу времени на снятие массы Δm , кг материала [6, 7]:

$$B_m = \frac{A}{\Delta m}.$$

Работу шлифования A рассчитывали как произведение тангенциальной силы резания P_z и скорости резания v , а массу материала определяли исходя из объема снятого материала в единицу времени (производительность Q_m) и его плотности. Тангенциальную силу резания P_z измеряли по упругой схеме шлифования с помощью специального динамометра.

В условиях алмазно-искрового шлифования влияние нормального давления на удельную энергоемкость при обработке наноструктурного твердого сплава ВолКар и твердого сплава ВК6 по характеру зависимостей проявляется одинаково (рис. 1). Однако, как видно, энергоемкость шлифования твердого сплава ВолКар выше, чем ВК6, что связано с более интенсивным износом субмикроромок алмазных зерен вследствие низкой теплопроводности и высокой твердости наноразмерных зерен карбида вольфрама. В этих условиях частично теряется способность режущих кромок внедряться и производить про-

порциональный сьем материала, в связи с этим рост энергетических затрат опережает увеличение производительности.

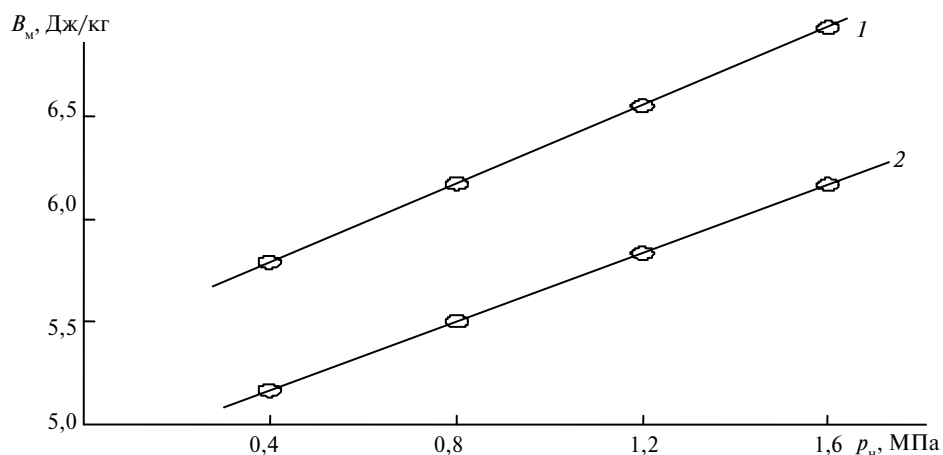


Рис. 1. Влияние нормального давления на энергоемкость шлифования сплавов ВолКар (1) и ВК6 (2); $v = 25$ м/с.

Изменение скорости резания в диапазоне от 15 до 35 м/с (рис. 2), способствует увеличению энергетических затрат при шлифовании испытываемых материалов. Как видно из рис. 2, увеличение скорости для наноструктурного твердого сплава ВолКар приводит к пропорциональному росту работы резания алмазными зернами, что играет главную роль в повышении энергоемкости процесса, так как прирост съема материала при повышении скорости до 35 м/с начинает замедляться, а при шлифовании традиционного твердого сплава ВК6 повышение скорости резания свыше 25 м/с способствует увеличению темпа роста съема материала, что в свою очередь вызывает некоторое снижение роста энергоемкости шлифования.

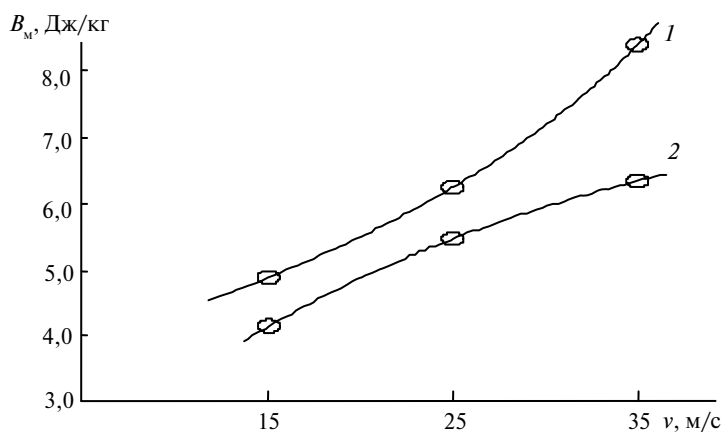


Рис. 2. Влияние скорости резания на энергоемкость шлифования сплавов ВолКар (1) и ВК6 (2); $p_n = 0,8$ МПа.

Следует отметить, что влияние режимов шлифования — нормального давления и скорости резания на удельную энергоемкость процесса в основном определяется преимущественным ростом работы резания, а сьем материала не оказывает заметного влияния на характер зависимостей.

Влияние же характеристик алмазного круга и характер зависимостей B_m от них объясняется в основном количественным фактором, а именно, числом зерен, участвующих в работе и определяющих суммарный сьем материала. На рис. 3 и 4 представлены соответствующие зависимости. Поскольку нормальное давление и скорость резания при исследовании влияния зернистости и концентрации алмазов в алмазных кругах остаются неизменными, то, следовательно, работа резания также постоянна. Поэтому на характер кривых и их отличительное изменение в основном влияет сьем материала, т. е. производительность. При алмазно-искровом шлифовании, обеспечивающем активное самозатачивание режущей поверхности круга, количество сошлифованного материала зависит от числа рабочих зерен в контакте с обрабатываемой поверхностью. В этом смысле мелкозернистые круги и круги повышенных концентраций, имеющие большее число зерен, приобретают преимущество. Именно этим можно объяснить особенности и характер кривых зависимостей B_m от зернистости и концентрации алмазов.

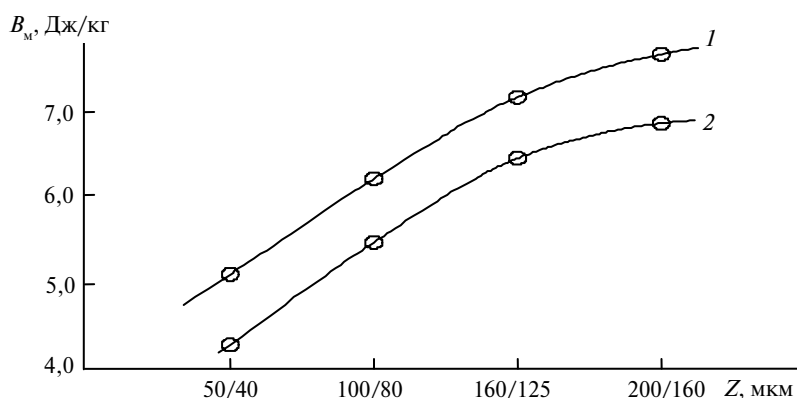


Рис. 3. Влияние зернистости алмазов на энергоёмкость шлифования сплавов ВолКар (1) и ВК6 (2); $p_n = 0,8$ МПа, $v = 25$ м/с.

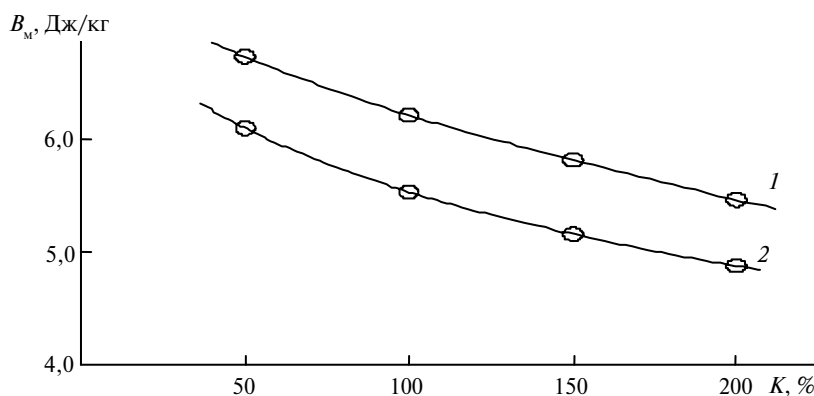


Рис. 4. Влияние концентрации алмазов на энергоёмкость шлифования сплавов ВолКар (1) и ВК6 (2); $p_n = 0,8$ МПа, $v = 25$ м/с.

Представляет интерес анализ изменения удельной энергоёмкости в зависимости от продолжительности шлифования наноструктурного твердого сплава ВолКар (рис. 5). Шлифование алмазными кругами на органической связке приводит к большому удельному расходу алмазов, а применение алмазных

кругов на металлической связке в обычных условиях без введения дополнительной энергии в зону резания вызывает интенсивное засаливание рабочей поверхности круга и потерю режущей способности. При алмазно-искровом шлифовании режущая способность кругов на металлической связке сохраняется практически постоянной в течение длительного времени. Удельная энергоёмкость шлифования твердого сплава ВолКар при АИШ, также как и сплава ВК6, изменяется весьма незначительно, что свидетельствует о пропорциональном изменении работы резания и соответствующем ей съеме материала во времени.

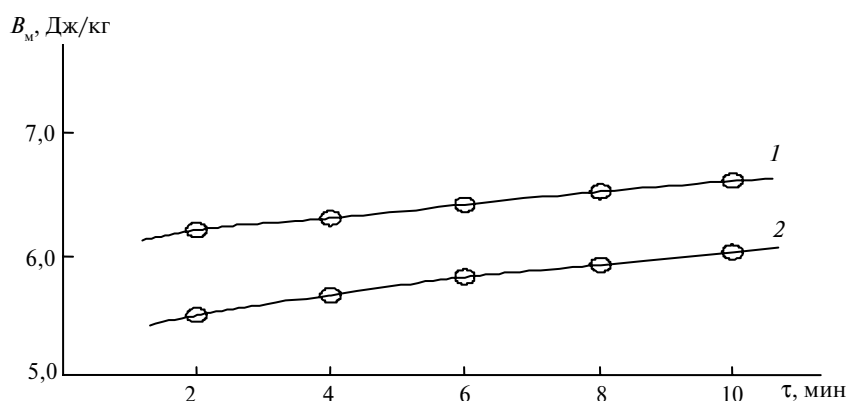


Рис. 5. Влияние времени на энергоёмкость шлифования сплавов ВолКар (1) и ВК6 (2); $p_n = 0,8$ МПа, $v = 25$ м/с.

Шероховатость поверхности сплава ВолКар после шлифования меньше, чем традиционных твердых сплавов. Например, при шлифовании наноструктурного сплава ВолКар $Ra = 0,32$ мкм, 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 с учетом стабильно развитого рельефа (АИШ); кроме того нанозернистая структура материала также способствует снижению шероховатости обработанной поверхности.

Сопоставление и анализ значений удельной энергоёмкости шлифования в различных условиях показывает, что новый наноструктурный твердый сплав на основе монокарбида вольфрама ВолКар, имеющий достаточно высокую износостойкость, отличается более низкой обрабатываемостью по сравнению с обычными твердыми сплавами. Более высокое значение удельной энергоёмкости шлифования твердого сплава ВолКар по сравнению со сплавом ВК6 вызывает и незначительное увеличение удельной себестоимости шлифования $C_{ш}$. Следует отметить, 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 [8]. Высокая износостойкость, определяющая значительно большую длину пути резания при точении труднообрабатываемых материалов, способствует тому, что суммарная технологическая себестоимость C_T использования наноструктурного твердого сплава ВолКар существенно ниже. Например, длина пути

резания L при точении закаленной стали ХВГ (HRC_3 , 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 1350 м для наноструктурного твердого сплава ВолКар, а для сплава ВК6 — 1050 м; суммарная технологическая себестоимость C_T с учетом удельной себестоимости шлифования соответственно составляет 47,21 коп/мин для твердого сплава ВолКар и 65,62 коп/мин для сплава ВК6. Изложенный подход отвечает развивающимся в последнее время тенденциям, связанным с инжинирингом качества [9].

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

Розглянуто питання оброблюваності нового наноструктурного твердого сплаву ВолКар на основі аналізу питомої енергоємності процесу алмазно-іскрового шліфування. Доведено, що, не дивлячись на незначно більшу енергоємність шліфування сплаву ВолКар у порівнянні зі сплавом ВК6, сумарна технологічна собівартість його використання нижча, тому що заточені ним інструменти мають більшу високую зносостійкість.

Ключові слова: наноструктурний твердий сплав ВолКар, питома енергоємність, сумарна технологічна собівартість, алмазно-іскрове шліфування.

The problems of machinability of the WolKar new nanostructural hard alloy have been studied by analyzing a specific energy intensity of the diamond-spark grinding. It has been shown that despite the somewhat higher energy intensity of grinding the WolKar alloy as compared with grinding the WC-6Co alloy, the total technological net cost of using the WolKar alloy is essentially lower as tools sharpened by it exhibit a higher wear resistance.

Key words: WolKar nanostructural hard alloy, specific energy intensity, total technological net cost, diamond-spark grinding.

1. Pat. 6617271 US, В1 МКИ С 04 В 35/36. Tungsten carbide cutting tool materials / E. Gevorkian, M. Kramer, V. Kodash. — Publ. 17.03.2005.
2. Лякишев Н. П. Нанокристаллические структуры — новое направление развития конструкционных материалов // Вестник РАН. — 2003. — 73, № 5. — С. 422—426.
3. Геворкян Э. С., Тимофеева Л. А., Чижика В. А., Кислый П. С. Горячее прессование нанопорошков монокарбида вольфрама при нагревании электрическим током // Наноструктурное материаловедение. — 2007. — № 1. — С. 103—108.
4. Геворкян Э. С. Плотные и пористые конструкционные материалы из нано и субмикронных порошков WC, Al₂O₃ и SiC полифункционального назначения: Дис. ... докт. техн. наук. — Харьков, 2007 — 276 с.
5. Фильмонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование. — М.: Машиностроение, 1979. — 242 с.
6. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
7. Попов С. А., Малевский Н. П., Терещенко А. М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. — М.: Машиностроение, 1977. — 263 с.
8. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях. — М. Экономика. — 1990. — 271 с.
9. Современные концепции качества за рубежом. — М.: Госстандарт РФ. — 1992. — 56 с.

Национальный технический ун-т “ХПИ”

Поступила 26.10.09