

М.Д. Узунян, д-р техн. наук,
Р.М. Стрельчук, канд. техн. наук, Харьков, Украина

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ – ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ, КАЧЕСТВО И ЕГО СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА

Розглянуто особливості шліфування наноструктурного твердого сплаву «ВолКар». Встановлено показники – коефіцієнт шліфування, енергоємність і продуктивність процесу в порівнянні зі сплавом ВК6. Вивчено якість поверхневого шару і визначена його вартісна оцінка.

Рассмотрены особенности шлифования наноструктурного твердого сплава «ВолКар». Установлены показатели – коэффициент шлифования, энергоемность и производительность процесса в сравнении со сплавом ВК6. Изучено качество поверхностного слоя и определена его стоимостная оценка

The features of grinding of nanostructured hard alloy «WolKar» are considered. Process indices – coefficient of grinding, power consumption and productivity are established in comparison with ВК6 alloy. Quality of surface layer is studied and its cost assessment is defined.

Перспективы развития высоких технологий машиностроения несомненно обеспечиваются расширением областей использования нанотехнологий, что явится важным вкладом в становление нового технологического уклада, под которым в более широком смысле следует понимать совокупность технологий, определяющих общий уровень экономики.

Эффективное развитие интегрированных технологий обработки резанием может быть обеспечено существенным повышением качества инструментальных материалов, которое в настоящее время связано с разработкой и созданием новых наноструктурных твердых сплавов. Одной из таких разработок является созданный новый сплав на основе наноразмерных зерен монокарбида вольфрама (ВолКар) [1].

Разработанный инструментальный материал показал высокую твердость и износостойкость, сопоставимую с инструментальными материалами на основе кубического нитрида бора. Особенность способа получения сплава «ВолКар» состоит в том, что при изготовлении режущих пластин из наноразмерных зерен монокарбида вольфрама (WC) отпадает необходимость использования при спекании специальных связующих материалов. Исключается также важная и ответственная технологическая операция, как перемешивание смесей порошков, наноразмерных зерен WC и связки, негарантирующее однородности материала. Быстрый подъем температуры в процессе горячего прессования ограничивает рост зерен, способствует повышению прочности связей между зернами за счет образования контактных шеек между ними. Возможность спекания наноразмерных зерен с помощью электрического тока без связующих добавок значительно сокращает технологический цикл изго-

товления пластин и препятствует возникновению источников образования трещин и пор [2, 3].

Вследствие специфических физико-механических свойств, прежде всего, высокой твердости, низкой теплопроводности и размера зерен, рассматриваемый инструментальный материал обладает худшей обрабатываемостью; традиционные методы алмазно-абразивной обработки не обеспечивают качественного изготовления инструментов и необходимой производительности.

Как известно, для обработки труднообрабатываемых материалов применяются комбинированные процессы шлифования. Одним из таких процессов является процесс алмазно-искрового шлифования (АИШ), разработанный в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт». Он характеризуется стабилизацией высоких показателей работоспособности алмазных кругов, которая достигается введением в зону резания дополнительной энергии в виде электрических импульсов, выявлением условий шлифования, характеризующихся устойчивым состоянием рельефа и обеспечивающих качественное состояние поверхностного слоя (остаточные напряжения, микрогеометрия). Следует заметить, что процесс АИШ не только позволяет значительно расширить технологические возможности алмазного шлифования, что само по себе имеет большое практическое значение. В связи с изложенным, в работе представлены результаты исследований рациональных условий шлифования твердых сплавов из наноразмерных зерен монокристалла вольфрама (WC).

Как известно, одним из наиболее распространенных критериев оценки взаимодействия рабочей поверхности алмазных кругов с обрабатываемым материалом 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.

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.

Он оценивался в зависимости от различных факторов: режимов резания – нормального давления (P_n), скорости резания (V), характеристик алмазного круга – зернистости (Z), концентрации (K), а также времени шлифования (T).

Для сравнения исследовалась также обрабатываемость пластин традиционного твердого сплава ВК6. Поскольку тангенциальное усилие в условиях упругой схемы шлифования определяется суммарным мгновенным сечением

среза, то лучшей обрабатываемости твердого сплава соответствует большее значение тангенциальной силы резания Pz . На рис. 1 представлено влияние нормального давления на коэффициент шлифования.

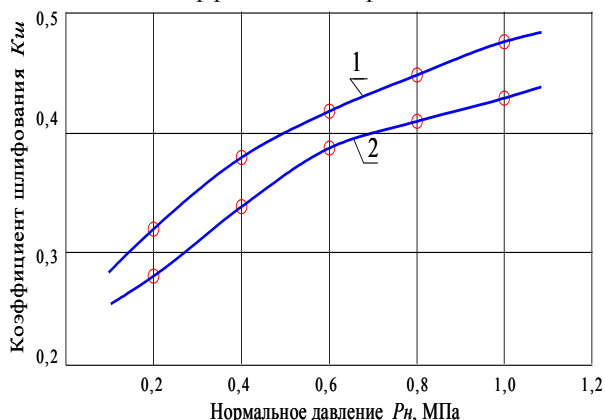


Рисунок 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования
1–BK6, 2 – «ВолКар»; $V=25$ м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

В условиях АИШ во всем диапазоне увеличения нормальных давлений $K_{шн}$ возрастает, 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 определяется в основном характером контактирования его с алмазными зернами, трение связки занимает небольшую долю в общей работе шлифования и оказывает слабое влияние на изменение тангенциальной силы Pz . В связи с изложенным следует отметить, что по величине $K_{шн}$ можно установить сравнительную обрабатываемость материалов, а именно – большим значениям $K_{шн}$ соответствует лучшая обрабатываемость.

Оценка взаимодействия рабочей поверхности алмазных кругов с обрабатываемым материалом проводилась также с помощью критерия удельной энергоёмкости B_m . Удельная энергоёмкость шлифования оценивает энергию (работу A), расходуемую на снятие массы (ΔM) материала:

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

где A – работа, Дж; ΔM – масса, кг.

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. На рис. 2 представлено влияние нормального давления на удельную энергоёмкость шлифования.

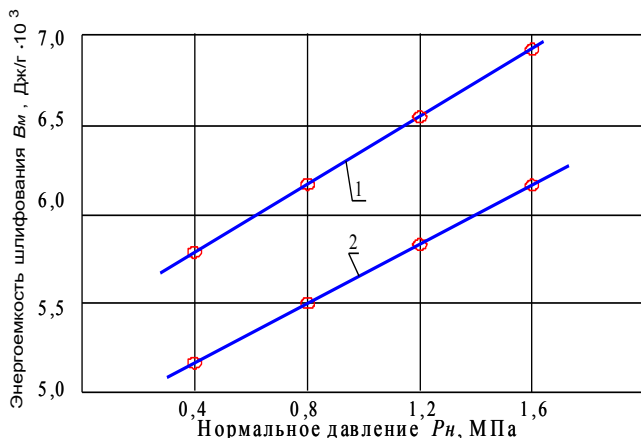


Рисунок 2 – Влияние нормального давления на энергоёмкость шлифования
1 – «ВолКар», 2 – ВК6; $V=25$ м/с; круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01-4

В условиях алмазно-искрового шлифования влияние нормального давления на удельную энергоёмкость при обработке наноструктурного твердого сплава «ВолКар» и твердого сплава ВК6 по характеру зависимостей проявляется одинаково. Однако, энергоёмкость шлифования твердого сплава «ВолКар» выше, чем ВК6, что связано с более интенсивным износом субмикроскопических алмазных зерен вследствие низкой теплопроводности и высокой твердости наноразмерных карбидов вольфрама; в этих условиях частично теряется способность режущих кромок внедряться и производить пропорциональный съём материала; в связи с этим рост энергетических затрат опережает увеличение производительности. Следует отметить, что несмотря на более низкую обрабатываемость, преобладающим фактором успешного применения твердого сплава «ВолКар» следует считать качественный фактор, выражающийся в стоимостной характеристике, а именно в суммарной технологической себестоимости, учитывающий как себестоимость собственно шлифования, так и себестоимость точения этим материалом, определяемую длиной пути резания, что будет показано ниже.

Оптимизация параметров алмазно-искрового шлифования твердого сплава «ВолКар», анализ работоспособности алмазных кругов проводились с использованием методов планирования экспериментов второго порядка, применялся Д-оптимальный план B_4 для 4-х факторов: нормального давления P_n , скорости резания V , зернистости Z и концентрации K . Оценка работоспособности алмазных кругов проводилась по следующим критериям: производительности – Q (мм³/мин), относительному расходу алмазов – q (мг/г), удельной себестоимости обработки – $C_{ш}$ (коп/см³). После реализации матрицы планирования, программы расчета на ЭВМ и преобразования уравнений регрессии строились двумерные сечения поверхности отклика и соответствующие однофакторные зависимости.

На рис. 3 представлено двумерное сечение поверхности отклика $Q = f(P_n, V)$, а на рис. 4 один из примеров однофакторной зависимости. Увеличение нормального давления и скорости резания приводит к росту производительности. С одной стороны вследствие более глубокого внедрения алмазных зерен в обрабатываемый материал, т.е. увеличения толщины среза, а также за счет увеличения числа встреч алмазных зерен с обрабатываемым материалом и лучшей самозатачиваемости кругов. Но как показано на рис. 4 наибольшая производительность обработки получена при скорости резания $V = 25$ м/с. Это связано, очевидно, с более высокой твердостью нового сплава «ВолКар» по сравнению с традиционными твердыми сплавами. При увеличении скорости резания свыше $V = 25$ м/с интенсифицируется микровыкрашивание режущих кромок алмазных зерен, в результате чего степень внедрения в твердый сплав «ВолКар» несколько снижается и, таким образом, нивелируется эффект увеличения числа встреч алмазных зерен, который более заметен при шлифовании обычных твердых сплавов.

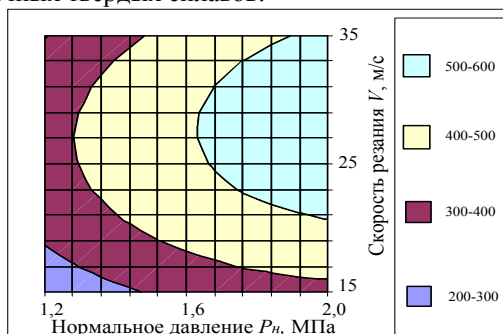


Рисунок 3 – Двумерные сечения поверхности отклика $Q = f(P_n, V)$:
 $Z = 100/80$; $K = 4$

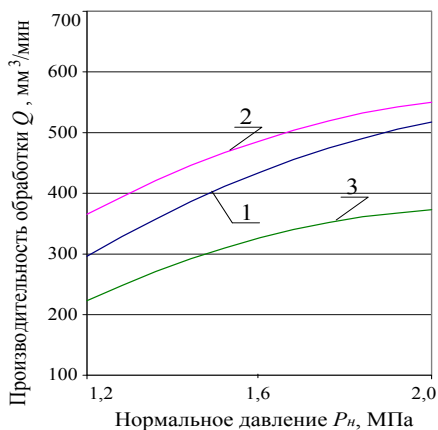


Рисунок 4 – Влияние P_n на Q : $Z = 100/80$, $K = 4$; 1 – $V = 35$ м/с, 2 – $V = 25$ м/с, 3 – $V = 15$ м/с

Таким образом, с помощью способа высокопроизводительного алмазно-искрового шлифования были установлены оптимальные условия обработки: $P_n = 2,0$ Мпа, $V = 25$ м/с, $K = 4$, $Z = 100/80$.

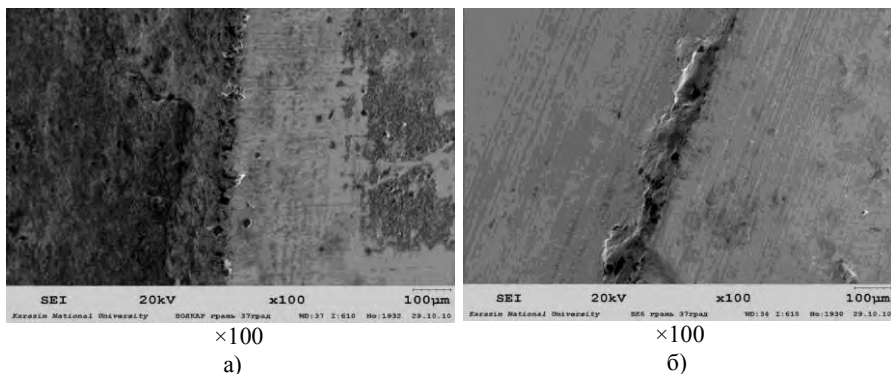


Рисунок 5 – Микрофотографии состояния режущих кромок
а – сплав «ВолКар», б – твердый сплав ВК6

Для оценки преимуществ твердого сплава «ВолКар» по сравнению с традиционными сплавами представляют интерес результаты анализа и таких показателей качества как шероховатость и острота (радиус округления) режущей кромки. В связи с этим были проведены специальные эксперименты. На микрофотографиях (рис. 5), полученных с помощью сканирующего микроскопа «Jeol-JSM-840» представлены состояние и характер режущей кромки инструментов из рассматриваемых материалов.

Видно, что в отличие от сплава ВК6 режущая кромка наноструктурного сплава «ВолКар» менее подвержена выкрашиванию и отличается более ровной структурой.

Анализ отпечатка режущих кромок сравниваемых сплавов на обрабатываемой поверхности также характеризует их состояние; с этой целью были проведены специальные эксперименты. На токарно-винторезном станке 16К20 устанавливалась в центрах деталь цилиндрической формы с размерами $d = 55$ мм, $l = 300$ мм. Материал детали – латунь Л60 с твердостью НВ 30...49. Режущий инструмент устанавливался таким образом, чтобы режущая кромка была параллельна оси вращения детали. Резцы имели следующие геометрические параметры: $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\nu = 45^\circ$; $\nu_l = 45^\circ$. Эксперименты проводились при врезном точении на токарно-винторезном станке 16К20 при следующих режимах: $V = 70$ м/мин, $S_{non} = 0,05$ мм/об. Режущие кромки при минимальной поперечной подаче вводились в контакт с деталью и оставляли свои отпечатки на ее поверхности. Иллюстрация вида обработанной поверхности латуни показана на микрофотографиях рис. 6; шероховатость реплики – отпечатка оцениваемая критерием Ra также показала преимущество сплава «ВолКар».

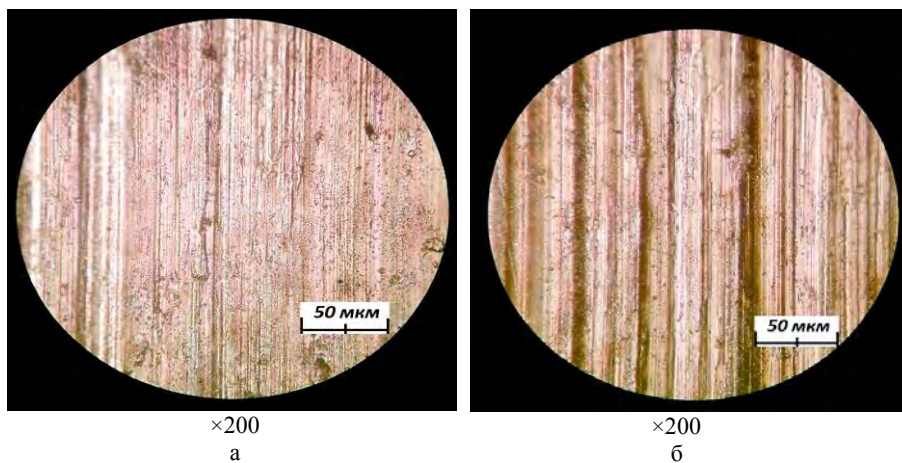
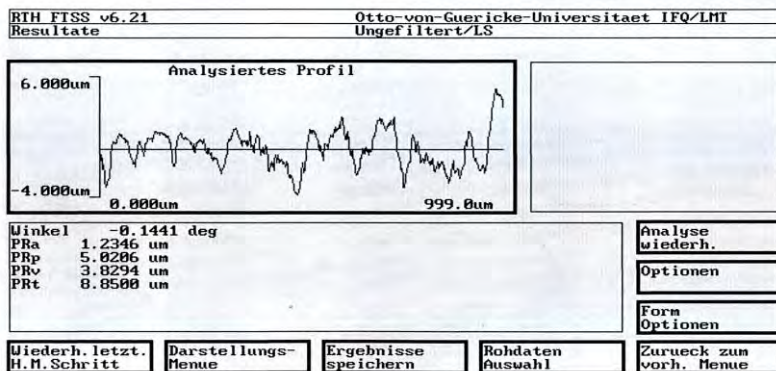


Рисунок 6 – Микрофотографии обработанной поверхности латуни
а – после обработки твердым сплавом «ВолКар»,
б – после обработки твердым сплавом ВК6.

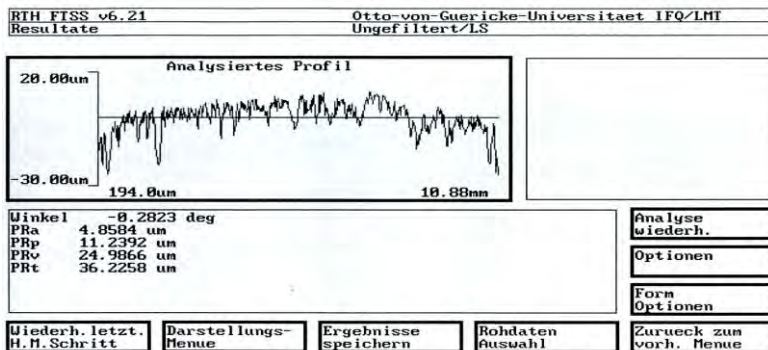
Кроме того, на универсальной измерительной станции HOMMELWERKE T8000 были получены профилограммы шероховатости режущих кромок твердых сплавов «ВолКар» и ВК6.

Как видно, шероховатость кромок твердого сплава «ВолКар» (рис. 7, а) существенно отличается от шероховатости кромок твердого сплава ВК6 (рис.

7, б). Это можно объяснить механизмом образования режущих кромок; они формируются за счет сколов при обработке рабочих поверхностей инструмента, естественно величина сколов прикромочных участков у сплава «ВолКар» с наноразмерными зёрнами карбида вольфрама существенно меньше.



а)



б)

Рисунок 7 – Профилограммы шероховатости режущей кромки
 круг 12A2-45° AC6 100/80 M1-01; $P_H = 1,2$ МПа, $V = 25$ м/с
 а – сплав «ВолКар», б – твердый сплав ВК6

Большое значение при чистовых операциях с малыми сечениями среза имеет острота режущих кромок. Для определения ее был проведен эксперимент по следующей методике. Режущая кромка вдавливалась в боковой торец доведенной поверхности медных пластин. Две полированные поверхности поверхности медных пластин с размерами 30×20×2 мм сжимались струбиной. С целью исключения искажения полученных контуров в результате навалов на доведенных поверхностях, одна из пластин была изготовлена из более мягкой отожженной меди (НВ 55), что позволяет получить на исследуе-

мой поверхности второй медной пластины (НВ 125) более четкий без значительных искажений контур отпечатка (реплики) режущей кромки. После чего пластины разжимались, и с помощью металлографического микроскопа изучались микрофотографии отпечатков кромок на полированной поверхности медной пластины (рис. 8). Для сравнения исследовались режущие пластины из наноструктурного сплава «ВолКар» и твердого сплава ВК6.

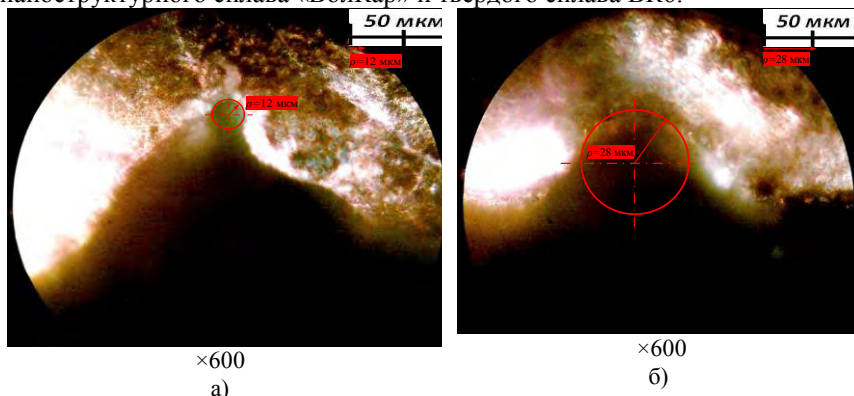


Рисунок 8 – Микрофотографии отпечатка остроты кромки
а – наноструктурный сплав «ВолКар», б – твердый сплав ВК6

Острота режущей кромки оценивалась величиной ее радиуса округления ρ . В действительности режущая кромка описывается сложной кривой, которую приближенно при оценке можно принять в виде дуги окружности. Анализ микрофотографий показал, что для наноструктурного сплава «ВолКар» радиус округления имеет значение $\rho = 12$ мкм, а для твердого сплава ВК6 – $\rho = 28$ мкм. Радиус округления режущей кромки играет существенную роль в процессе резания и формирования поверхностного слоя. От радиуса округления зависит образование неровностей обработанной поверхности, наклеп поверхностного слоя, величина возникающих сил, минимальная толщина стружки, которую можно срезать в условиях нормального процесса резания, что особенно существенно при выполнении отделочных операций.

Микрофотографии боковых поверхностей режущих пластин свидетельствуют, что радиус округления ρ для наноструктурного сплава «ВолКар» и твердого сплава ВК6 имеет такие же значения как и на снимках, полученных после вдавливания режущих кромок в медные пластины (рис. 9).

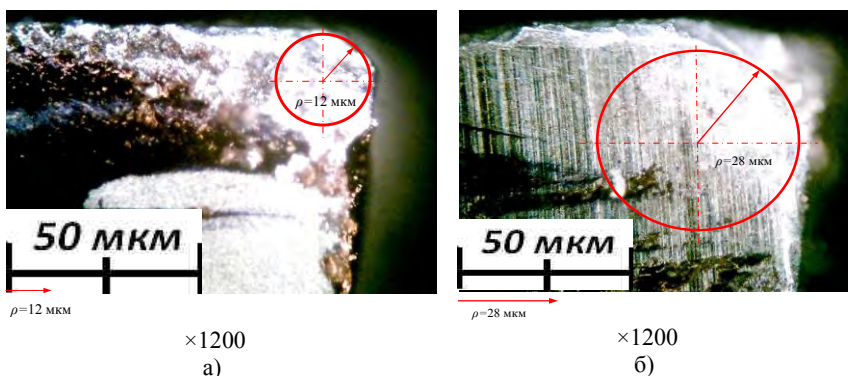


Рисунок 9 – Микрофотографии боковой поверхности режущей пластины
 а – наноструктурный сплав «ВолКар», б – твердый сплав ВК6.

Оценивая свойства материалов, их устойчивость в различных условиях эксплуатации в последнее время рассматривается такая характеристика как величина удельного модуля Юнга $E_{уд}$, определяемого как отношение его к плотности материала [4]. Применительно к условиям работы пластин из твердого сплава марки «ВолКар» целесообразно по нашему мнению отметить следующее. Как известно, при оценке свойств одной из важнейших характеристик является модуль Юнга. Он является структурно-нечувствительным свойством, определяется природой межатомного взаимодействия, и поэтому упругие характеристики материала не зависят от той формы, в которой он представлен. При высокоскоростной обработке (высокие температуры) режущий клин у кромки инструмента, его форма с малым объемом (массой) материала не должна терять устойчивость, которая, несомненно зависит от жесткости материала (способности деформироваться при изгибе). Поскольку масса наноструктурной пластины у режущей кромки является критичной величиной, поэтому, в свете отмеченного выше, важной характеристикой может служить не величина модуля упругости сама по себе, а величина удельного модуля, т. е. модуля отнесенного к плотности материала. У рассматриваемого инструментального наноструктурного материала при плотности $\rho = 14,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ и принятом $E = 720 \text{ МПа}$ этот показатель составляет $E_{уд} = 49,66 \text{ (м/с)}^2$, а у твердого сплава ВК6 при плотности $\rho = 14,7 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ и принятом $E = 590 \text{ МПа}$ этот показатель составляет $E_{уд} = 40,14 \text{ (м/с)}^2$, т. е. этот показатель на 25% выше у наноструктурного материала, чем у традиционного твердого сплава. Кроме того, на устойчивость режущей кромки влияет собственно размер зерна WC в материале. Очевидно, чем мельче зерно, тем меньше выкрашивание, и следовательно, выше устойчивость и износостойкость режущей кромки инструмента.

В этой связи представляет интерес оценка отмеченных преимуществ сплава «ВолКар» в процессе и после эксплуатации инструментов. Анализ

шероховатости и остроты (радиуса округления) режущей кромки после точения без охлаждения закаленной стали ХВГ (HRC 55...58) показал, что в отличие от обычных твердых сплавов при высокоскоростной обработке резанием, наноструктурный твердый сплав «ВолКар», менее подвержен воздействию температурного фактора, поскольку в сплаве «ВолКар» отсутствует связующий, деформируемый компонент; ослабление карбидной структуры не происходит, а выкрашивание наноразмерных зерен WC происходит менее интенсивно. Поэтому шероховатость режущей кромки и ее острота (радиус округления) изменяются не значительно, что и способствует повышению работоспособности инструмента. На рис. 10 представлены профилограмма шероховатости и микрофотография остроты (радиуса округления) режущей кромки твердого сплава «ВолКар» после точения со скоростью резания.

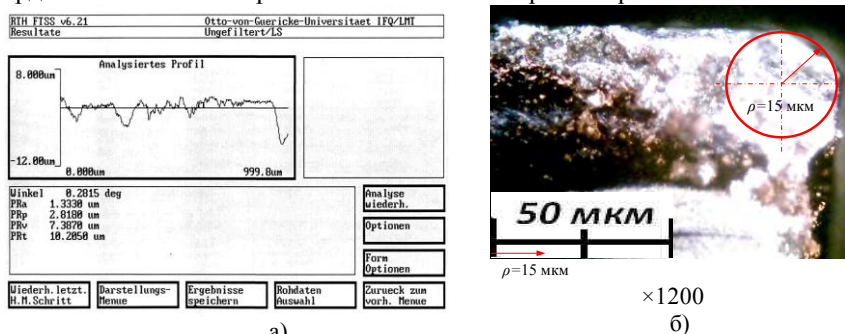


Рисунок 10 – Профилограмма шероховатости (а) и микрофотография радиуса округления (б) режущей кромки твердого сплава «ВолКар»

На эксплуатационные свойства инструментов, кроме геометрических характеристик, большое влияние оказывает физико-механическое состояние его рабочих поверхностей. Поэтому произведена оценка влияния состояния поверхностного слоя инструмента из сплава «ВолКар» на его износостойкость после алмазно-искрового шлифования.

Состояние поверхностного слоя изучалось в пластинах «ВолКар» в исходном состоянии после спекания и полирования, и после алмазно-искрового шлифования при нормальном давлении 0,4 и 1,2 МПа и скорости резания 25 м/с.

Алмазно-искровое шлифование (АИШ) образцов проводилось с обратной полярностью (круг – анод, режущая пластина – катод) на специально модернизированном универсально-заточном станке модели 3Д642Е торцом алмазного круга 12А2-45°АС6100/80М1-01-4; источником питания являлся специальный генератор импульсов; электрические режимы составляли: величина технологического тока $I_{cp}=5\text{A}$, частота электроимпульсов $f=22 \text{ кГц}$, скважность $n_{скв}=2$.

Модельные образцы подвергались рентгеновскому исследованию на дифрактометре ДРОН 2.0 в фильтрованном излучении железного анода. Дифрактограммы регистрировались поточно через $0,1^\circ$ с экспозицией в каждой точке $10''$. Размер областей когерентного рассеяния оценивался по уширению линии (001) по формуле Селякова-Шеррера. Анализ напряженного состояния проводился с помощью $\sin^2\psi$ -метода. Для съемок было выбрана линия (112) на угле $2\theta \approx 145^\circ$. Для каждого образца была проведена перпендикулярная съемка и наклонные съемки при $\psi = \pm 30^\circ$ и $\pm 50^\circ$. Уровень напряжений определяли по формуле:

$$\sigma = \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{d_\psi - d_\perp}{d_\perp} \cdot \frac{1}{\sin^2\psi}, \quad (3)$$

где E – модуль нормальной упругости; μ – коэффициент Пуассона; d_ψ , d_\perp – межплоскостные расстояния, измеренные под углом и по нормали к поверхности образца; ψ – угол между нормалью к поверхности образца и соответствующей нормалью к отражающим плоскостям.

В расчетах приняты макроскопические значения упругих постоянных: $E=720$ ГПа, $\mu=0,18$.

Для характеристики состояния поверхностного слоя проводился качественный фазовый анализ, оценивался размер областей когерентного рассеяния и уровень (величина и знак) остаточных макронапряжений.

На рис. 11 приведена дифрактограмма исходного образца «ВолКар». Как и ожидалось, основной фазой является WC. Кроме WC, выявляется небольшое количество α -W₂C, о чем сигнализирует появление линии (101) на угле $2\theta \approx 50^\circ$.

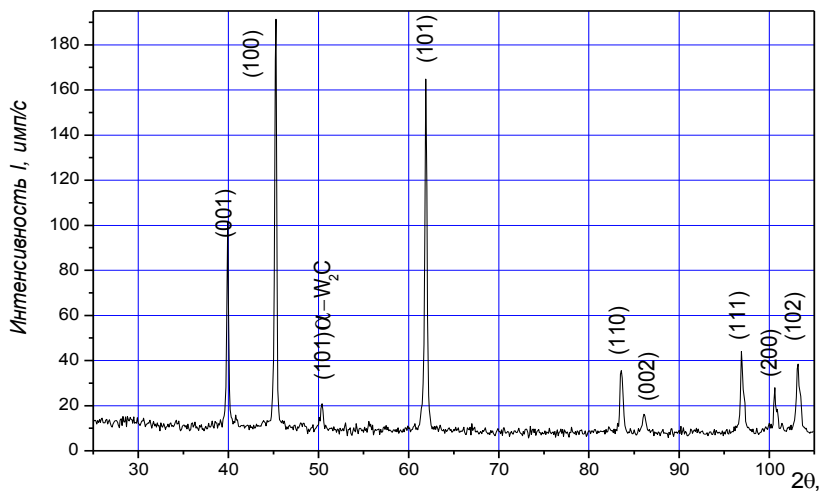


Рисунок 11 – Дифрактограмма исходного образца «ВолКар»

По уширению дифракционных линий на малых углах по формуле Селякова-Шеррера можно оценить размеры областей когерентного рассеяния (ОКР):

$$L_{окр} = \frac{\lambda}{b \cos \theta} , \quad (4)$$

где $\lambda=1,93728 \text{ \AA}$, $\theta \approx 22,65^\circ$ – линия (100), b – уширение линии (100).

Оказалось, что самые большие размеры областей когерентного рассеяния характерны для исходного образца – 600 \AA , после щадящего режима шлифования ($P=0,4 \text{ МПа}$) размеры ОКР существенно меньше – 150 \AA , а после более жесткого ($P=1,2 \text{ МПа}$) несколько увеличиваются и составляют 200 \AA .

На рис. 12 приведены $\sin^2 \psi$ – графики исследованных образцов. Представленные графики позволяют оценить уровень деформации, а также знак и величину остаточных макронапряжений. Для исходного образца $\sin^2 \psi$ – график представляет собой практически прямую линию параллельную оси $\sin^2 \psi$, что свидетельствует об отсутствии макронапряжений в исследованных образцах после спекания. Те небольшие деформации ($\varepsilon=0,2 \cdot 10^{-3}$) и остаточные сжимающие макронапряжения ($\sigma=-0,22 \text{ ГПа}$) по-видимому вызваны полированием. После щадящего шлифования ($P=0,4 \text{ МПа}$) выявляемые деформации существенно выше ($\varepsilon =6 \cdot 10^{-3}$), оценка уровня остаточных сжимающих напряжений дает значение $\sigma=-3,8 \text{ ГПа}$. В образце после жесткого шлифования ($P=1,2 \text{ МПа}$) деформация $\varepsilon =2 \cdot 10^{-3}$, а $\sigma =-1,2 \text{ ГПа}$. Снижения уровня остаточных макронапряжений при жестких режимах шлифования можно объяснить более высоким уровнем развивающихся в зоне резания температур. Об этом свидетельствует и увеличение размеров ОКР.

Таким образом, в исследованных модельных образцах после шлифования при разных режимах наблюдается измельчение элементов структуры и формирования остаточных сжимающих напряжений, причем при щадящем режиме шлифования их уровень гораздо выше, чем при жестком. Учитывая это обстоятельство, можно предположить, что благоприятные условия взаимодействия рабочей поверхности алмазного круга со сплавом «ВолКар» могут быть обеспечены при более щадящих режимах шлифования (меньшие значения нормального давления или поперечной подачи), т.е. при меньшей производительности; при этом удельная себестоимость шлифования ($C_{ш}$) может быть больше. Однако, следует отметить что удельная себестоимость шлифования и заточки не отражает качественное состояние изделий и инструмента в реальных условиях эксплуатации. Поэтому более важным представляется обеспечение условиями шлифования высокой износостойкости инструментов, что будет способствовать меньшей суммарной технологической себестоимости, и это является главной характеристикой надежности для потребителя, т.е. появляется возможность стоимостной оценки качества.

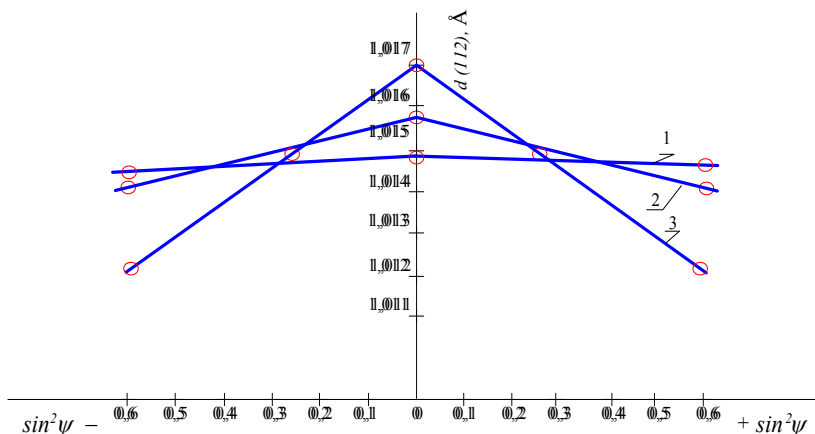


Рисунок 12 – $\sin^2\psi$ – графики образцов «ВолКар»
 1 – исходное состояние, 2 – после АИШ при $P=1,2$ МПа,
 3 – после АИШ при $P=0,4$ МПа

Для оценки влияния варианта шлифования на стойкость инструмента были установлены оптимальные режимы резания, при которых следует производить испытания. Известно, что для каждой пары контактирующих инструментального и обрабатываемого материалов существует свое значение оптимальной температуры и скорости, при которой работоспособность режущего инструмента реализуется наиболее полно [5, 6]. Эксперименты проводились на токарно-винторезном станке 16К20 при точении без охлаждения закаленной стали ХВГ *HRC 55...58* при различных скоростях резания с подачей $S = 0,075$ мм/об и глубиной резания $t = 0,2$ мм. Резцы имели следующие геометрические параметры: $\gamma = 0^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\theta = 45^\circ$; $\theta_1 = 45^\circ$. За критерий затупления был принят износ по задней поверхности $h_z = 0,4$ мм, который измерялся непосредственно на станке с помощью микроскопа «Мир – 2».

На рис. 13 представлена зависимость длины пути резания от скорости резания, значение которой можно считать оптимальной при проведении соответствующих системных испытаний инструментов; отметим, что подача и глубина резания несущественно влияет на значение оптимальной скорости резания. Выявленная скорость резания при точении наноструктурным твердым сплавом «ВолКар» ($V = 110$ м/мин) была принята в дальнейшем в качестве базовой при оценке оптимального варианта шлифования пластин по стойкостным показателям инструмента, характеризующимся длиной пути резания (L , м) в метрах.

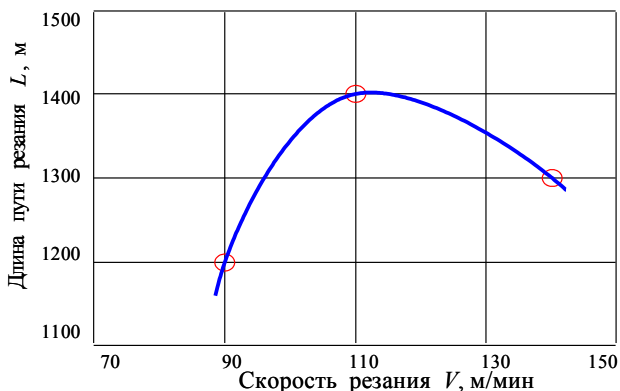


Рисунок 13 – Зависимость длины пути резания от скорости резания
 $S = 0,075$ мм/об, $t = 0,2$ мм.

Изучение износостойкости резцов показало, что резцы, изготовленные АИШ при щадящем режиме ($P_n=0,4$ МПа) имеют износостойкость на 35% больше ($L=1350$ м), чем при жестком режиме ($P_n=1,2$ МПа) – $L=1000$ м.

Следовательно, проблему оценки качественного результата шлифования следует рассматривать не только при изготовлении изделий и инструментов, но и в процессе их реальной эксплуатации [6], что важно с позиций привлекательности для потребителя.

Несмотря на то, что удельная себестоимость собственно шлифования при щадящих режимах обработки больше ($C_{ш} = 57,3$ коп/см³) (меньше производительность), чем при более жестких режимах ($C_{ш} = 32,5$ коп/см³), интегральным показателем качества следует признать суммарную технологическую себестоимость (C_m , коп/мин), которая включает не только удельную себестоимость шлифования, но и себестоимость механической обработки. Она учитывает стойкость инструмента, характеризуемую длиной пути резания в метрах до принятого критерия износа по его задней поверхности; фактически оценивается надежность инструмента в стоимостном выражении.

На рис. 14 приведена сравнительная диаграмма значений остаточных макронапряжений, длины пути резания и суммарной технологической себестоимости.

Таким образом, анализ представленных результатов показывает, что работоспособность шлифованных инструментов зависит от возникающих в поверхностном слое остаточных макронапряжений. Большим значениям макронапряжений сжатия (σ) соответствуют более высокие значения длины пути резания (L) и меньшая суммарная технологическая себестоимость обработки (C_m).

На основании изложенного можно утверждать, что качественные характеристики процессов обработки можно определять в стоимостном выражении, и следовательно стоимостная оценка качества несомненно является важ-

ным фактором при сравнительной оценке различных технологий и способов изготовления изделий.

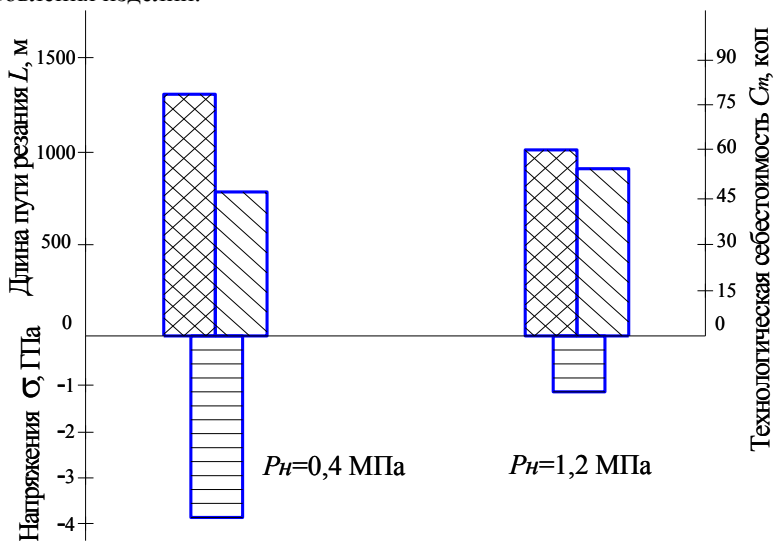


Рисунок 14 – Сравнительна диаграмма значений остаточных макронапряжений, длины пути резания и суммарной технологической себестоимости σ , L , C_m , круг 12A2-45° АС6 100/80 М1-01-4; $V = 25 \text{ м/с}$; обрабатываемый материал «ВолКар»

Список использованных источников: 1. 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; Оpubл. 17.03.2005 – 14р. 2. Боровский Г.В. Инструментальное производство в России / Г. В. Боровский. – М.: «ВНИИинструмент», 2008. – 160 с.: ил. 3. Геворкян Э.С. Горячее прессование нанопорошков монокрибида 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. Милейко С. Т. Композиты и наноструктуры // Механика композитных материалов. 2009. 46. №1– с. 6–37. 5. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров – М.: Машиностроение, 1976. – 178 с. 6. Зубарь В. П. Особенности применения лезвийного инструмента из сверхтвердых материалов / В. П. Зубарь // Современные технологии в машиностроении. – 2006. – Т 1. – С. 99–116. 7. Харрингтон Дж. Х. Управление качеством в американских корпорациях / Дж. Х. Харрингтон – М. Экономика.–1990.–271 с.

Поступила в редколлегию 15.03.2012