

УДК 621.921

*А. П. Москалев, канд. техн. наук, А. А. Москалев,
А. А. Лимарь*

АБРАЗИВНО-АЛМАЗНАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ХРУПКИХ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния абразивно-алмазной обработки на качество поверхности металллокерамических твердых сплавов. Установлены количественные значения параметров, характеризующих состояние поверхности после механической обработки абразивными и алмазными инструментами.

Ключевые слова: твердые сплавы, шлифование, шероховатость, радиус скругления, микроскопия.

Введение. Наиболее слабым звеном в технологической системе заготовка – режущий инструмент, определяющим допустимые условия эксплуатации и ресурс работы инструмента, являются его рабочие поверхности.

Поверхностный слой режущего инструмента работает в экстремальных условиях при температуре до (1000...1500) °С и давлении до (0,8 – 10) ГПа, что обуславливает высокую интенсивность износа и, как следствие, снижает эффективность работы металлообрабатывающего оборудования, особенно в условиях автоматизированного производства. Поэтому к качеству поверхности режущих инструментов предъявляются высокие требования [1, 2, 5]. Большое значение приобретает возможность управления свойствами поверхности, как посредством совершенствования технологии окончательной механической обработки, так и при помощи физико-химической модификации материала поверхностного слоя (ионной имплантации, ионного азотирования, лазерного легирования) или ионно-вакуумного синтезирования различных покрытий [3, 4]. Однако, все последующие методы улучшения свойств производятся с поверхностью, сформированной в процессе завершающей стадии механической обработки, поэтому ранее полученные повреждения и дефекты структуры могут иметь наследственный характер. Следовательно, от качества выполнения окончательной механической обработки поверхности будет зависеть эффективность практически любых методов улучшения физико-механических свойств поверхностного слоя инструментального материала. Обнажается, кроме того, подложка и изнашивается покрытие, что в случае наличия макро- и микродефектов в поверхностном слое может оказать негативное влияние на износостойкость.

Цель работы заключается в экспериментальном исследовании влияния окончательной механической обработки (абразивное и алмазное шлифование) на качество поверхностного слоя металллокерамических твердых сплавов, а также в определении количественных значений параметров, характеризующих состояние поверхности.

Методика исследований. Исследовались поверхности пластин из металлокерамических твердых сплавов Т15К6 и ТТ7К12, которые подвергались абразивному шлифованию без доводки и с доводкой абразивными кругами, а также абразивной обработке с последующей доводкой алмазным кругом, шлифованию и доводке только алмазными кругами.

Оценка качества окончательной механической обработки инструмента выполнялась по шероховатости обработанной поверхности, контроль которой производился на профилографе-профилометре мод. «Калибр-201». Для микроскопического анализа поверхностей были использованы оптические микроскопы мод. Мир-2, большой инструментальный микроскоп, вертикальный металлографический микроскоп МИМ-7. Субмикроскопический рельеф (микротопография) шлифованных и доведенных поверхностей инструмента изучалась на электронном микроскопе мод. УЭМВ-100 с использованием угольных реплик, воспроизводящих с достаточно высокой точностью рельеф (топографию) поверхности. Угольные реплики обладают высокой механической прочностью и устойчивостью против воздействия электронных лучей, не выявляют собственной структуры при больших увеличениях и способствуют воспроизведению структуры поверхности до $0,002 \cdot 10^{-6}$ м. Угольные реплики напылялись на рабочие поверхности инструмента на установке УВР-2 в вакууме $0,133$ Па (10^{-3} мм рт. ст.) при электростатическом испарении угольных электродов. Толщина реплик контролировалась визуально по цвету и лежала в пределах (300...500) Å.

Для повышения контрастности изображения в микроскопе угольные реплики оттенялись хромом под углом 45° . Реплики просматривались в просвечивающемся электронном микроскопе при увеличении в 6000 раз.

Окончательно качество поверхностного слоя твердосплавных пластинок после механической обработки шлифованием оценивали по совокупности показателей, характеризующих геометрию поверхностного слоя и его физико-механические свойства. Первая группа показателей определяет макро- и микронеровности, наличие трещин, сколов и осыпания частиц твердого сплава, вторая группа – структуру, фазовый состав, внутренние напряжения, твердость.

Наличие трещин определялось капиллярными методами дефектоскопии – люминесцентным и цветным, а также осмотром поверхности обычным оптическим и электронным микроскопами. Разрешающая способность капиллярных методов не превышает 10^{-6} м по ширине трещины, поэтому окончательная проверка осуществлялась при помощи микроскопов.

Шлифование и доводка металлокерамических твердых сплавов Т15К6 и ТТ7К12 выполнялись на универсально-заточных станках мод. 3М642, 3Б642, 3Е642 карборундовыми (SiC) абразивными кругами: ЧК125×50×32 64С25Н6СМ1К2 ГОСТ 2424–88 (шлифование К3); ЧК125×50×32 64С7-8СМ1Б1 (абразивная доводка К3); алмазными кругами: 12А2 150×28×32×10×5АС4 с углом $\alpha = 45^\circ$ 100/80 4 В2-01 2724-0037 ГОСТ 16174–81 (шлифование АС), 12А2 150×28×32 с углом $\alpha = 45^\circ$ АС2 50/40 4 В2-01 2724-0037 (алмазная доводка АС).

Шлифование с последующей доводкой карборундовыми кругами будем обозначать символами КЗ-КЗ, шлифование только одним карборундовым кругом без доводки – КЗ, шлифование карборундовым кругом с последующей алмазной доводкой – КЗ-АС, только одно алмазное шлифование – АС, алмазное шлифование с последующей алмазной доводкой – АС-АС.

Обработка карборундовым кругом производилась при скорости резания $V = (12...15)$ м/с, продольной подаче $s_{пр} = (3...5)$ м/мин, поперечной подаче $s_{поп} = (0,02...0,05)$ мм/дв. ход; абразивная доводка – при $V_{кр} = (20...25)$ м/с, $s_{пр} = (0,5...2)$ м/мин, $s_{поп} = (0,01...0,03)$ мм/дв. ход; алмазное шлифование – при $V_{кр} = 25$ м/с, $s_{пр} = (1...2)$ м/мин, $s_{поп} = (0,01...0,03)$ мм/дв. ход; доводка алмазным кругом – при $V_{кр} = 30$ м/с, $s_{пр} = (0,2...1,0)$ м/мин, $s_{поп} = (0,01...0,03)$ мм/дв. ход.

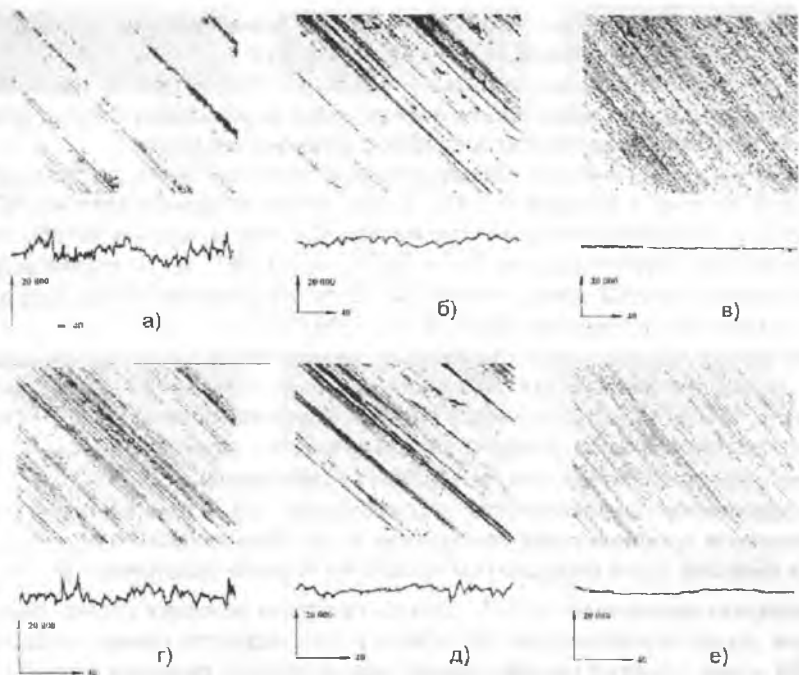
Результаты и их анализ. На рис. 1 представлены микрофотографии и профилограммы поверхностей твердосплавных пластин Т15К6 и ТТ7К12 после абразивно-алмазной обработки.

Шероховатость поверхностей твердых сплавов после КЗ в режиме абразивной заточки находилась в интервале $Ra = (2,5 \div 0,63) \cdot 10^{-6}$ м. Зерна карборунда зеленого (марка 63С) вследствие их недостаточно высокой твердости $(33...36) \cdot 10^3$ МПа, близкой к твердости карбида титана $TiC (28...32) \cdot 10^3$ МПа и несколько большей твердости карбида вольфрама $WC (17...25) \cdot 10^3$ МПа, а также низкой теплопроводности $\lambda = 15$ Вт/(мК) и малой остроты режущих кромок, показали недостаточно высокую режущую способность обработки металлокерамических твердых сплавов. В процессе ударного воздействия абразивных зерен на хрупкий металлокерамический твердый сплав происходит дробление, выкалывание и расшатывание карбидных частиц. Наряду с этим осуществляется значительная поверхностная деформация кобальтовой связки.

Поверхность твердого сплава после механической обработки имела повреждения в форме канавок, кратеров, микротрещин, пластически деформированных зон (рис. 1, а, г), расположенные по траектории движения абразивных зерен.

Повреждений хрупкого характера у твердого сплава Т15К6 было значительно больше по сравнению с более вязким и пластичным твердым сплавом ТТ7К12, у которого процесс обработки сопровождался более активной поверхностной деформацией и пластическим течением кобальтовой связки.

Абразивная доводка КЗ-КЗ снизила шероховатость до $Ra = (0,63 - 0,3) \cdot 10^{-6}$ м и улучшила микрорельеф в сравнении с предварительным шлифованием (рис. 1, б, д).



а – КЗ; б – КЗ-КЗ; в – АС-АС; г – КЗ; д – КЗ-КЗ; е – АС-АС

Рис. 1 – Шлифованные поверхности $\times 120$ и профилограммы твердых сплавов Т15К6 (а – в) и ТТ7К12 (г – е)

Шлифованная поверхность формируется в результате взаимодействия режущей поверхности абразивного инструмента с обрабатываемым материалом. Рабочую поверхность круга можно рассматривать как режущее пространство, представляющее совокупность режущих профилей круга в радиальных плоскостях, проходящих перпендикулярно к вектору скорости круга. Собственно режущая кромка в каждом сечении круга имеет переменный профиль, характеризующийся средними значениями параметров шероховатости, корреляционной функцией и спектральной плотностью.

По расположению неровностей шероховатые поверхности можно разделить на четыре типа: 1) детерминированные поверхности с четко выраженной ориентацией следов обработки; 2) смешанные поверхности, содержащие детерминированную и случайные компоненты шероховатости; 3) случайные анизотропные поверхности, содержащие случайные ориентированные следы обработки; 4) случайные изотропные поверхности, однородные по своим характеристикам в любых направлениях.

Рельеф режущей поверхности абразивного инструмента соответствует второму и чаще третьему типу шероховатых поверхностей. В процессе абразивного резания при взаимодействии с обрабатываемым материалом

могут формироваться три типа шероховатых поверхностей, однако чаще образуются третий и четвертый типы поверхностей.

При плоском шлифовании торцом круга на обработанной поверхности шероховатость имеет ориентацию в виде четко выраженных борозд (следов обработки) в направлении вектора скорости движения круга.

Более высокое качество твердосплавных пластин было достигнуто при алмазной заточке и доводке АС-АС. Если только алмазная заточка АС кругом 12А2 с синтетическим алмазом марки АС4 зернистостью 100/80 позволяла получить шероховатость $Ra = (0,32...0,16) \cdot 10^{-6}$ м, то после доводки алмазным кругом АС2 зернистостью 50/40 по технологии АС-АС шероховатость находилась в пределах $Ra = (0,16...0,08) \cdot 10^{-6}$ м.

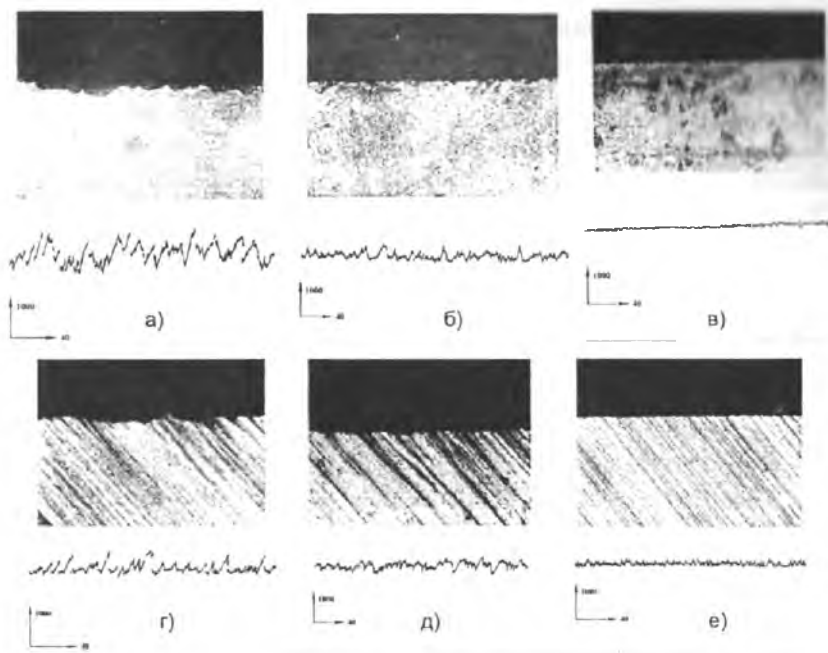
Работоспособность твердосплавного инструмента существенно зависит также от микрогеометрии (зазубренности) кромок (режущих лезвий), формируемых в процессе шлифования передней и задней поверхностей. Оценка микрогеометрии кромок твердосплавных пластин производилась по двум параметрам – шероховатости Ra и радиусу скругления r .

Определение шероховатости производили на специальном оптико-механическом профилографе конструкции И. И. Ененко (МВТУ) с использованием в качестве щупа специальной лопаточки с углом заострения $\beta = 54^\circ$ при вертикальном увеличении $\times 1000$. Запись профиля режущих кромок выполнялась на осциллографическую фотобумагу при скорости поворота барабана $V = 0,04$ м/мин. Количественная оценка шероховатости режущих лезвий производилась по высоте неровностей Rz , определяемой по их профилограммам.

На рис. 2 представлены профилограммы кромок твердосплавных пластин, выполняющих функцию режущих лезвий, после предварительного абразивного шлифования карборундовым кругом КЗ без последующей доводки. Высота неровностей кромок для твердого сплава Т15К6 находилась в пределах $Rz = (12...25) \cdot 10^{-6}$ м, а для сплава ТТ7К12 $Rz = (17...20) \cdot 10^{-6}$ м (рис. 2, а, г).

Абразивная доводка КЗ-КЗ уменьшает высоту неровностей для твердого сплава Т15К6 до $Rz = (7...13) \cdot 10^{-6}$ м, а для ТТ7К12 соответственно до $Rz = (7...12) \cdot 10^{-6}$ м. Минимальная шероховатость кромок (режущих лезвий) была получена после шлифования и доводки твердосплавных пластин алмазными кругами АС-АС. Для твердого сплава Т15К6 величина неровностей составляла $Rz = (1,6...4) \cdot 10^{-6}$ м, а для сплава – ТТ7К12 соответственно $Rz = (5...7) \cdot 10^{-6}$ м.

Режущие лезвия твердосплавных пластин после предварительного КЗ имели выкрашивания, сколы, вырывы и осыпания. Более высокая хрупкость твердого сплава марки Т15К6 по сравнению с ТТ7К12 стала основной причиной более высокой зазубренности (шероховатости) режущих лезвий. При шлифовании и доводке алмазными кругами по технологии АС-АС лучшие условия резания возникали при шлифовании того твердого сплава, который имел меньшую вязкость и более высокую твердость. По этой причине шероховатость режущих лезвий для твердого сплава марки Т15К6 после алмазной заточки и доводки была меньшей по сравнению с твердым сплавом ТТ7К12.



а – К3; б – К3-К3; в – АС-АС; г – К3; д – К3-К3; е – АС-АС

Рис. 2 – Микрофотографии режущих кромок $\times 120$ и их профилограммы для твердых сплавов Т15К6 (а – в) и Т77К12 (г – е)

Существенное влияние технология шлифования твердосплавных пластин оказывает на формирование радиуса скругления ρ режущих лезвий. При этом следует учитывать, что режущие кромки образуются в результате пересечения (сопряжения) шлифуемых граней твердосплавных пластин. Поэтому все дефекты абразивной обработки двух взаимно пересекающихся поверхностей, таких как шероховатость, сколы, осыпания, микротрещины, автоматически переносятся в большем масштабе и количестве на образующиеся при этом пересечении кромки, выполняющие функции режущих лезвий.

В нормальном сечении сопряжение двух пересекающихся шлифованных поверхностей по своей форме напоминает кривую и условно с некоторыми допущениями можно считать, что сопряжение граней осуществляется по дуге окружности среднестатистического радиуса ρ , который называют радиусом скругления режущих кромок.

Измерение радиуса скругления режущих лезвий производилось методом светового сечения посредством двойного микроскопа МИС-11 с фотографированием светового клина при помощи микрофотонасадок МФН-3 и МФН-12. Полученное изображение светового клина проектировалось на экран при помощи проекционного аппарата «Свет». Масштаб изображения определялся фотографированием объект-микрометра с последующим проектированием на тот же экран.

Контрольное определение радиуса скругления r режущих кромок твердосплавных пластин проводили по профилограммам режущих клиньев, записываемых при угловом расположении твердосплавных пластин на профилографе-профилометре «Калибр-201» при одинаковом вертикальном и горизонтальном увеличении ($\times 1000$ и $\times 2000$). Оба метода определения величины r в каждом контролируемом сечении показали идентичные результаты.

На рис. 3 представлены радиусы скругления режущих кромок (лезвий) твердосплавных пластин: Т15К6 – а) шлифование КЗ; б) шлифование и доводка КЗ-КЗ; в) шлифование и доводка АІ-АС; ТТ7К12 – г) шлифование КЗ; д) шлифование и доводка КЗ-КЗ; е) шлифование и доводка АС-АС.

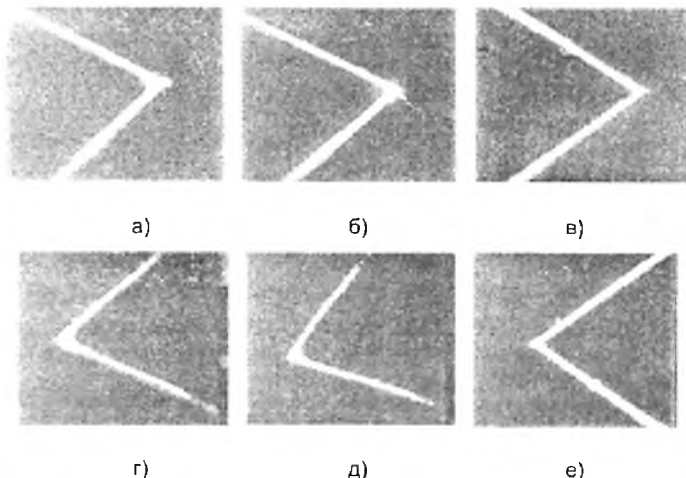


Рис. 5 – Радиусы скругления r режущих кромок твердосплавных пластин

Радиус скругления режущих кромок твердосплавных пластин Т15К6 после одного абразивного шлифования КЗ всех граней находился в пределах $r = (30 \dots 40) \cdot 10^{-6}$ м. Вдоль кромок были заметны микросколы, осыпание и выкрашивание.

Последующая доводка поверхностей КЗ-КЗ меньшей зернистости 50/40 и 40/28 на бакелитовой связке позволила уменьшить величину радиуса скругления до $r = (20 \dots 30) \cdot 10^{-6}$ м. Было заметно повышение качества режущих кромок. Снизилась шероховатость, стало меньше сколов, выкрашиваний, заметно уменьшились размеры повреждений на кромках твердосплавных пластин.

После АС кругом зернистостью 100/80 величина радиуса скругления кромок снизилась до $r = (10 \dots 12) \cdot 10^{-6}$ м, а после окончательной доводки АС-АС зернистостью 50/40 или 40/28 радиус скругления уменьшился до $(4 \dots 6) \cdot 10^{-6}$ м.

У твердого сплава ТТ7К12 радиус скругления находится, примерно, в тех же пределах, какие были установлены для твердого сплава Т15К6. В результате абразивного шлифования КЗ радиус скругления $\rho = (30...40) \cdot 10^{-6}$ м, после абразивной доводки также КЗ-КЗ $\rho = (25...35) \cdot 10^{-6}$ м и после алмазного шлифования и доводки АС-АС величина радиуса скругления составила $\rho = (5...8) \cdot 10^{-6}$ м.

Повышенная шероховатость режущих лезвий, получаемая после КЗ-КЗ, особенно после одного только абразивного шлифования, ведет к неоднозначности напряженного состояния различных участков лезвия, что проявляется в неравномерности износа. Микронеровности (глубокие впадины, вырывы, осыпания, микросколы и микротрещины) являются концентраторами напряжений, ослабляют прочность режущих лезвий и снижают износостойкость. Алмазное шлифование и доводка, обеспечивает более высокое качество рабочих поверхностей и режущих кромок, что способствует повышению износостойкости поверхностного слоя твердосплавного инструмента.

Экспериментальные исследования подтвердили существенное влияние макро- и микродефектов твердосплавных пластин: шероховатости рабочих поверхностей и режущих лезвий, радиусов скругления, наличия микровыкрашиваний или осыпаний твердосплавных частиц на износ и стойкость инструмента как в условиях стационарного, так и прерывистого резания. Отмеченные дефекты являются очагами начального развития износа, как бы катализаторами, определяющими не только зарождение, но и последующее развитие, а также неравномерность износа.

Выводы. Установлено, что повреждения, полученные в процессе окончательной механической обработки твердосплавных пластин (шлифование и доводка) не подчиняются закону адитивности. Микрогеометрические характеристики рабочей части инструмента оказывают существенное влияние на износостойкость и соответственно ресурс работы инструмента. Вследствие некачественного выполнения завершающей операции окончательной обработки (шлифования и доводки) стойкость может снизиться в 1,5 – 2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / Под ред. А. Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. **Коршунов Б. С.** Заточка и доводка твердосплавного инструмента / Б. С. Коршунов, С. П. Могузова. – М.: Машгиз, 1951. – 67 с.
3. **Москалев А. П.** Исследование влияния заточки и доводки алмазными шлифовальными кругами на эксплуатационные свойства дисковых твердосплавных фрез / А. П. Москалев, Е. Д. Баклунов. // Тр. МВТУ. Резание и инструмент. – М.: МВТУ, 1975. – Вып. 178. – С. 103 – 119.
4. Обработка поверхности и надежность материалов: пер. с англ. / Под ред. Дж. Бурке-Ф. Вайса. – М.: Мир, 1984. – 192 с.
5. **Якимов А. В.** Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

АБРАЗИВНО-АЛМАЗНА ОБРОБКА ПОВЕРХНІ КРИХКИХ ТВЕРДОСПЛАВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Приведені результати експериментальних досліджень впливу абразивно-алмазної обробки на якість поверхні металокерамічних твердих сплавів. Встановлені кількісні значення параметрів, які характеризують стан поверхні після механічної обробки абразивними та алмазними інструментами.

Ключові слова: тверді сплави, шліфування, шорсткість, радіус скруглення, мікрогеометрія.

A. P. Moskalyov, D. Ph., O. A. Moskalyov, O. O. Limar

ABRASIVE-DIAMOND SURFACE TREATMENT OF BRITTLE SOLID CARBIDE MATERIALS

The results of experimental studies of the influence of abrasive-diamond treatment on surface quality of hard alloys are presented. The quantitative values of the parameters characterizing the state of the surface after machining abrasive and diamond tools are established.

Key words: solid carbide, surface, roughness, radius of curvature, microgeometry.