

УДК 621.923

Агу Коллинз, д-р филос. в техн., Абуджа, Нигерия,
М. Д. Узунян, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МИНИМАЛЬНОЙ СМАЗКИ

Представлено результати дослідження залишкових напружень у твердих сплавах при алмазно-іскровому шліфуванні із застосуванням техніки мінімального змащування. Показано, що використання спеціального твердого змащувального матеріалу замість рідини поливом за рахунок адсорбційного ефекту забезпечує меншу енергоємність процесу шліфування та формування залишкових напружень стиснення.

Представлены результаты исследований остаточных напряжений в твердых сплавах при алмазно-искровом шлифовании с применением техники минимальной смазки. Показано, что использование специального твердого смазочного материала вместо жидкости поливом за счет адсорбционного эффекта обеспечивает меньшую энергоёмкость процесса шлифования и формирование остаточных напряжений сжатия.

The results of investigation of residual stress in hard alloys after diamond-spark grinding with application of the technology of minimum quantity lubrication are presented. It is shown that use of specific solid lubricant instead of the fluid spray due to adsorption effect provides less power consumption of grinding process and the formation of residual compressive stresses.

Шлифование является одним из самых напряженных процессов механической обработки резанием. Кроме массового процесса микрорезания абразивными зёрнами на условия контактного взаимодействия рабочей поверхности шлифовального круга и обрабатываемого материала большое влияние оказывает связка. Поэтому шлифование сопровождается большой силовой и тепловой напряженностью. Это вызывает образование в тонком приповерхностном слое остаточных напряжений, которые являются результатом действия трех основных факторов – фазового, силового и теплового. Фазовый фактор вызван изменениями удельного объема соответствующих фаз в связи с фазовыми превращениями. Силовой и тепловой факторы и их взаимовлияние зависят от уровня температур в зоне резания и сил шлифования. Отмеченные обстоятельства приводятся в многих работах. Следует заметить, что фазовые превращения, в основном, могут иметь место при обработке железоуглеродистых сплавов, при этом однозначного мнения об их влиянии на остаточные напряжения не существует.

При шлифовании твердых сплавов нет основания считать, что в их структуре происходят заметные фазовые превращения, оказывающие влияние

на остаточное напряженное состояние. Что касается силового и теплового факторов, то можно считать, что они оказывают превалирующее влияние на остаточные напряжения в твердых сплавах после шлифования. Считается установленным, что влияние силового фактора вызывает формирование сжимающих остаточных напряжений, а теплового – растягивающих. Вместе с тем, информация об определяющем влиянии знака и величины остаточных напряжений на работоспособность шлифованных инструментов неоднозначна [1, 2, 3]. Несмотря на это, все же можно отметить, что большинство авторов полагают, что остаточные напряжения сжатия способствуют повышению износостойкости шлифованных инструментов [4, 5].

Поскольку исследование проводилось с применением технологии минимальной смазки при шлифовании, то несомненно представляет интерес анализ остаточных напряжений в сравнении с результатами, полученными при шлифовании СОТС поливом. При этом известно, главным эффектом использования СОТС поливом при шлифовании считается эффект охлаждения.

Как известно, наиболее эффективно шлифование твердых сплавов осуществляется с введением дополнительной энергии в зону резания в виде электрических импульсов – алмазно-искровое шлифование (АИШ). В связи с этим могут иметь место особенности влияния силового и теплового факторов на остаточное напряженное состояние поверхностного слоя обрабатываемого материала. Активное самозатачивание алмазных кругов и длительное сохранение развитого режущего рельефа, по-видимому, будут способствовать меньшей теплонпряженности процесса и более заметному влиянию силового фактора на остаточные напряжения.

На основании анализа результатов экспериментов с различными диэлектрическими средами установлено, что алмазно-искровое шлифование твердых сплавов с использованием смеси равных частей стеарина и себациновой кислоты можно считать наиболее целесообразным, т.к. при этом обеспечиваются при большей производительности сравнительно меньшие значения удельной себестоимости и относительного расхода алмазов. Поэтому особенности взаимодействия алмазных кругов с обрабатываемым твердым сплавом при АИШ изучались с минимально подаваемой в зону резания сухой смазкой выявленного состава.

Предлагаемый к применению твердой смазочной материал (ТСМ) является экологически безопасным средством. В его состав не входят традиционные для большинства СОТС серу-, хлор- и фосфорсодержащие противозадирно-противоизносные присадки, которые в результате термомеханической деструкции разлагаются в зоне резания с выделением в окружающую среду токсичных производных веществ, содержащихся в указанных присадках.

Кроме того известно, что себациновая кислота является полуфункциональным кислородосодержащим соединением (ПФКС). К тому же известно, что ПФКС активируют процессы поверхностного деформирования и диспергирования материалов, то есть повышают их механическую обрабатываемость.

Массовое микрорезание – царапание при алмазном шлифовании сопровождается совокупностью условий для проявления эффекта Ребиндера. Высокие локальные напряжения и скорости воздействия, циклический характер нагрузки, весьма малый сьем материала за один контакт (проход) алмазного зерна, в результате чего атомы активной среды должны преодолеть лишь небольшой путь к зоне разрушения, к истокам образующейся опережающей микротрещины, обеспечивая надежное смачивание обнажаемой ювенильной поверхности – все это способствует физической и химической адсорбции, а также смазывающему действию среды твердого смазочного материала.

Следует отметить, что согласно известному критерию Гриффитса, при хрупком разрушении прочность пропорциональна корню квадратному из величины поверхностной энергии. В соответствии с этим, понижению прочности в несколько раз должно отвечать понижение свободной поверхностной энергии, примерно на порядок [6]. Поэтому, если ТСМ в связи с иницированием адсорбционных эффектов вызывает понижение свободной поверхностной энергии, то, естественно, должна уменьшаться хрупкая прочность твердых сплавов и работа диспергирования. Именно поэтому при АИШ с ТСМ по сравнению с СОТС поливом имеют место более низкие значения удельной работы резания, особенно при повышенных нормальных давлениях и скоростях шлифования.

В качестве образцов для сравнения разных процессов шлифования были выбраны твердосплавные пластинки ВК8 формы 0227. Выбор этого материала связан с тем, что в его составе нет существенно отличающихся по свойствам и по процентному составу фаз с высокими значениями микротвердости, как, например, в сплаве Т15К6 с фазами TiC и WC, в котором межфазные напряжения могут вносить существенный вклад в общее напряженное состояние, что ранее отмечалось во многих работах. Главной же целью наших исследований являлась оценка потенциального преимущества процесса АИШ с применением технологии минимальной смазки по сравнению с использованием СОТС струйным поливом при формировании остаточных макронапряжений; представляет большой интерес – изменится ли уровень и знак остаточных напряжений при АИШ твердого сплава при отсутствии охлаждающего эффекта СОТС. Шлифование пластин разными способами производилось в одинаковых условиях: $P_n = 1,2$ МПа, $V = 25$ м/с, $Z = 100/80$, $k = 4$.

Для исследований использовались образцы в исходном состоянии и после шлифования в соответствующих условиях – СОТС поливом и технология минимальной смазки с твердым смазочным материалом. Модельные образцы подвергались рентгеновскому исследованию с помощью дифрактометра ДРОН 2.0 в фильтрованном излучении железного анода. Дифрактограмма регистрировалась поточечно через $0,1^\circ$ с экспозицией в каждой точке $10''$.

Анализ напряженного состояния проводился с помощью $\sin^2 \psi$ -метода. Для съемок бала выбрана линия $[112]WC$ на угле $2\theta \approx 145^\circ$. Для каждого образца были проведены перпендикулярная съемка и наклонные съемки при $\psi = \pm 30^\circ$ и $\psi = \pm 50^\circ$. Величину остаточных напряжений определяли по формуле

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

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.

Для расчетов напряжений приняты макроскопические значения модулей упругости и коэффициента Пуассона: $E = 720$ ГПа, $\mu = 0,18$ [4]. Тогда

значения упругих постоянных $\frac{E}{1+\mu}$, принятые при расчетах соответствующей фазы WC составляет 610 ГПа.

Теоретическая погрешность в определении напряжений для карбидов вольфрама составляла от $\pm 0,04$ до $\pm 0,06$ ГПа; действительная погрешность, благодаря применению $\sin^2 \psi$ -метода оказывается меньше.

Результаты исследований межплоскостных расстояний $d(112)$ с различными углами ψ для разных образцов твердого сплава ВК8 – в исходном состоянии, после АИШ с СОТС поливом и после АИШ по технологии минимальной смазки представлены в табл. 1.

На рис. 1 приведены $\sin^2 \psi$ -графики исследованных образцов. Представленные графики позволяют оценить уровень деформации, а также знак и величину остаточных макронапряжений.

Анализ графиков показывает, что для исходного образца $\sin^2 \psi$ -график представляет собой прямую линию, параллельную оси $\sin^2 \psi$, что свидетельствует об отсутствии деформаций и макронапряжений в исследованном образце после спекания.

Таблица 1 – Значения межплоскостных расстояний $d(112)$ для различных образцов и углов ψ

Образцы сплава ВК8	ψ , град.	$d \pm 1 \cdot 10^{-4}$, А°
Исходное состояние	0	1,01516
	+50	1,01493
	+30	1,01507
	-30	1,01516
	-50	1,01493
После АИШ с СОТС поливом	0	1,01608
	-50	1,01480
	-30	1,01560
	+30	1,01545
	+50	1,01446
После АИШ по технологии минимальной смазки	0	1,01614
	+50	1,01467
	+30	1,01540
	-30	1,01556
	-30	1,01474

Характер изменения $\sin^2 \psi$ -графиков у образцов, обработанных алмазно-искровым шлифованием с применением СОТС поливом и по технологии минимальной смазки с применением твердого смазочного материала практически одинаков.

Выявленные деформации составляют $\varepsilon = 2,6 \cdot 10^{-3}$, а остаточные макронапряжения носят сжимающий характер и составляют $\sigma = -1,6$ ГПа, что свидетельствует о превалировании силового фактора при формировании остаточных напряжений. Полученные результаты, по нашему мнению, можно

оценить как имеющие существенное практическое значение. Суть его состоит в том, что при АИШ с применением твердого смазочного материала, несмотря на отсутствие СОТС поливом как охлаждающего фактора, тепловой фактор не превалирует при шлифовании и формировании остаточного напряженного состояния.

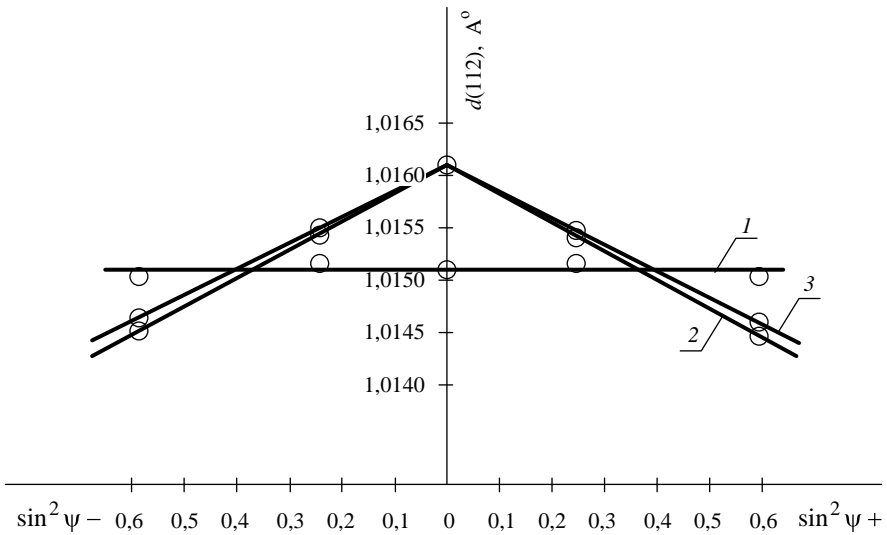


Рисунок 1 – $\sin^2 \psi$ -графики исследованных образцов:
 1 – исходное состояние;
 2 – после АИШ с СОТС поливом;
 3 – после АИШ по технологии минимальной смазки

Это еще раз подтверждает тот факт, что при АИШ твердых сплавов в различных условиях, если обеспечивается развитость рельефа алмазного круга, главным фактором, определяющим характер взаимодействия режущей и обрабатываемой поверхностей является воздействие алмазных зерен и, следовательно, тепловой фактор не может стать доминирующим.

Список использованных источников: 1. Качество поверхности, обработанной алмазами / Шульман П. А., Созин Ю. И., Колесниченко Н. Ф., Вишневыский А. С. – К.: Техніка, 1972. – 148 с. 2. Куклин Л. И. Повышение прочности и износостойкости твердосплавного инструмента / Л. И. Куклин. – М.: Машиностроение, 1968. – Разд. 5. – 140 с. 3. Лошак М. Г. Упрочнение твердых сплавов / М. Г. Лошак, А. С. Александрова. – К.: Наук. думка, 1977. – 107 с. 4. Фукс М. Я. Состояние поверхностного слоя материалов после алмазной и эльборовоой обработки / М. Я. Фукс, Н. К. Беззубенко, Б. М. Свердлова. – К.: Вища школа, 1979. – 160 с. 5. Остаточные напряжения в твердых сплавах после алмазного шлифования [Семко М. Ф.,

Свердлова Б. М., Гладких Л. И. и др.] // Резание и инструмент. – 1971. – Вып. 3. – С. 51–59.
6. Щукин Е. Д. Физико-химические основы новых методов интенсификации обработки твердых тел / Е. Д. Щукин // Ежегодник «Физическая химия. Современные проблемы». – М. : Химия, 1983. – С. 30–40.

Bibliography (transliterated): **1.** Kachestvo poverhnosti, obrabotannoj almazami / Shul'man P. A., Sozin Ju. I., Kolesnichenko N. F., Vishnevskij A. S. – K. : Tehnika, 1972. – 148 s. **2.** Kuklin L. I. Povyshenie prochnosti i iznosostojkosti tverdosplavnogo instrumenta / L. I. Kuklin. – M. : Mashinostroenie, 1968. – Razd. 5. – 140 s. **3.** Loshak M. G. Uprochnenie tverdyh splavov / M. G. Loshak, A. S. Aleksandrova. – K. : Nauk. dumka, 1977. – 107 s. **4.** Fuks M. Ja. Sostojanie poverhnostnogo sloja materialov posle almaznoj i jel'borovoj obrabotki / M. Ja. Fuks, N. K. Bezzubenko, B. M. Sverdlova. – K. : Vishha shkola, 1979. – 160 s. **5.** Ostatochnye naprjazhenija v tverdyh splavah posle almaznogo shlifovanija [Semko M. F., Sverdlova B. M., Gladkih L. I. i dr.] // Rezanie i instrument. – 1971. – Vyp. 3. – S. 51–59. **6.** Shhukin E. D. Fiziko-himicheskie osnovy novyh metodov intensivikacii obrabotki tverdyh tel / E. D. Shhukin // Ezhegodnik «Fizicheskaja himija. Sovremennye problemy». – M. : Himija, 1983. – S. 30–40.

Поступила в редколлегию 23.04.2014