

УДК 621.91

Агу Коллинз Агу, д-р философии в технике, Абуджа, Нигерия,
М. Д. Узуныян, д-р техн. наук, Харьков, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ТВЁРДОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ АЛМАЗНО- ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИИ ТВЁРДЫХ СПЛАВОВ

Представлені результати досліджень оптимального варіанту твердого мастильного матеріалу при алмазно-іскровому шліфуванні твердих сплавів. Показано, що використання спеціального складу мастила замість рідини поливом за рахунок адсорбційного ефекту забезпечує зниження вільної поверхневої енергії, викликаючи зниження крихкої міцності твердих сплавів і роботу диспергування.

Ключові слова: алмазно-іскрове шліфування, твердий мастильний матеріал

Представлены результаты исследований оптимального варианта твёрдого смазочного материала при алмазно-искровом шлифовании твёрдых сплавов. Показано, что использование специального состава смазки вместо жидкости поливом за счёт адсорбционного эффекта обеспечивает понижение свободной поверхностной энергии, вызывая снижение хрупкой прочности твёрдых сплавов и работу диспергирования.

Ключевые слова: алмазно-искровое шлифование, твёрдый смазочный материал

The results of studies of the optimal version of a solid lubricant for diamond-spark grinding of hard alloys are presented. It is shown that the use of a special lubricant composition instead of a liquid by irrigation due to the adsorption effect provides a reduction in free surface energy, causing a decrease in the brittle strength of hard alloys and dispersion work.

Keywords: diamond-spark grinding, solid lubricant

При исследовании и анализе оптимального варианта твёрдого смазочного материала (ТСМ) из различных компонентов использовались стеариновая кислота (стеарин), себациновая кислота, имеющая большую, чем стеарин температуру каплеобразования ($T = 134\text{ }^{\circ}\text{C}$) и их смесь в сравнении с традиционными СОТС струйным поливом, представляющими 3%-ный содовый раствор воды.

Эксперименты проводились в одинаковых режимных условиях алмазно-искрового шлифования (АИШ) кругом 12A2-45°AC6-100/80 M1-01-4 при шлифовании твердосплавных пластин Т15К6 сечением 18×16×6.

Сравнительная оценка результатов анализа производилась по критериям производительности (Q , мм³/мин), относительному расходу алмазов (q , мг/г), удельной себестоимости ($C_{ш}$, коп/см³) и представлена в табл. 1.

На основании анализа результатов экспериментов с различными диэлектрическими средами установлено, что использование смеси равных

частей стеарина и себаценовой 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 твёрдым сплавом при АИШ изучались с минимально подаваемой в зону резания сухой смазкой выявленного состава.

Таблица 1 – Значения показателей работоспособности алмазных кругов при различных диэлектрических средах

Диэлектрическая среда	Производительность Q , мм ³ /мин	Относительный расход алмазов q , мг/г	Удельная себестоимость $C_{ш}$, коп/см ³
СОТС, струйный полив	549,8	1,76	6,92
Стеарин	567,4	1,63	6,41
Себаценовая кислота	525,7	1,87	7,63
Смесь равных частей стеарина и себаценовой кислоты	638,3	1,32	6,04

Предлагаемый к применению 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.

Выбор энергии искровых разрядов для АИШ твёрдого сплава при применении установленного состава диэлектрической среды из твёрдого смазочного материала производился из условия обеспечения минимальной удельной себестоимости шлифования. При этом фиксировались также производительность и относительный расход алмазов. Электрические параметры варьировались в широких пределах путём изменения частоты импульсов f с подсчётом времени действия единичного импульса и энергии разряда.

Результаты подсчёта отмеченных параметров и показатели работоспособности кругов представлены в табл. 2.

При этом средние значения силы тока и напряжения составляли соответственно $I_{cp} = 5 \text{ A}$, $U_{cp} = 40 \text{ В}$; в качестве оптимального было принято значение скважности $n_{скв} = 2$.

Зависимость удельной себестоимости шлифования твёрдого сплава от частоты импульсов и соответственно вводимой энергии имеет экстремальный характер. Он связан с различным влиянием энергии единичных разрядов на производительность процесса и износ алмазного круга. В диапазоне частот от 22 до 66 кГц износ уменьшается в 1,6 раза, а производительность – в 1,1 раза.

Таблица 2 – Значение показателей работоспособности алмазных кругов для различных электрических параметров

Частота следования импульсов f , кГц	Время действия единичного импульса τ , мкс	Энергия единичного разряда W , Дж·10 ⁻⁴	Производительность шлифования Q , мм ³ /мин	Относительный расход алмазов q , мг/г	Себестоимость шлифования $C_{ш}$, коп/см ³
22	22,7	45,4	723,4	2,27	6,84
44	11,4	22,8	670,3	1,86	6,23
66	7,6	15,2	645,6	1,45	5,83
88	5,7	11,4	638,7	1,32	6,04

Более интенсивное уменьшение износа по сравнению с производительностью приводит к снижению удельной себестоимости шлифования до частоты 66 кГц. Дальнейшее повышение частоты импульсов свыше 66 кГц ($W < 15,2 \cdot 10^{-4}$ Дж) вызывает преобладающее уменьшение производительности по сравнению с износом круга. В результате полученного соотношения показателей процесса отмечается повышение удельной себестоимости шлифования.

Таким образом, в результате анализа переменных электрических параметров алмазного электроэрозионного шлифования обоснован выбор и определены его электрические характеристики ($f = 66 \text{ кГц}$, $n_{скв} = 2$, $W = 15,2 \cdot 10^{-4}$ Дж, $\tau = 7,6 \text{ мкс}$), которые обеспечивают высокую работоспособность алмазных кругов в процессе АИШ с применением ТСМ при наименьших затратах на его осуществление.

Сравнительные особенности физико-механического взаимодействия режущей поверхности алмазных кругов с обрабатываемым материалом при АИШ поливом СОТС и с применением ТСМ по технологии минимальной смазки исследовались с помощью коэффициентов шлифования ($K_{ш}$) и энергоёмкости процесса (B_m).

Коэффициент шлифования оценивался как отношение тангенциальной силы P_z к радиальной P_y , а удельная энергоёмкость определялась энергией (работой), затраченной на съём массы твёрдого сплава в единицу времени. Работа шлифования подсчитывалась как произведение силы P_z и скорости резания V ; усилие резания измерялось с помощью специального динамометра по упругой схеме шлифования.

Изучалось влияние различных факторов, а значит и различных условий контактного взаимодействия рабочей поверхности алмазного круга со шлифуемой поверхностью твёрдого тела.

Влияние нормального давления на $K_{ш}$ представлено на рис. 1.

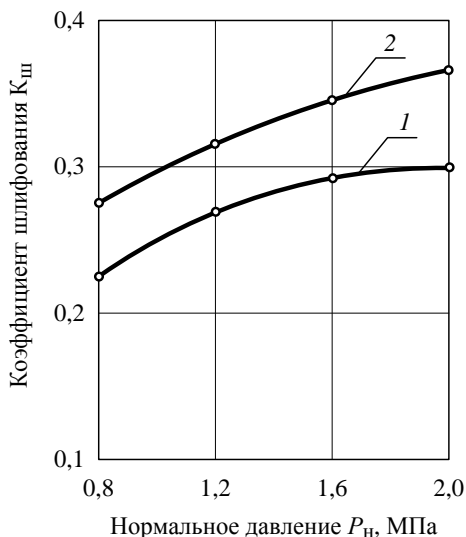


Рисунок 1 – Влияние нормального давления на коэффициент шлифования:

1 – сухая смазка; 2 – СОТС поливом

Условия шлифования: $V = 25$ м/с; круг 12A2-45°AC6-100/80 M1-01-4

Увеличение нормального давления вызывает рост коэффициентов шлифования для обоих способов шлифования. Активный режущий рельеф алмазного круга при АИШ обеспечивает хороший уровень внедряемости микрокромки алмазных зёрен в обрабатываемую поверхность твёрдого сплава, что способствует опережающему росту тангенциальной силы; это можно считать главным фактором, определяющим характер зависимостей.

Кроме того, из графиков следует, что для способа шлифования с ТСМ значения коэффициентов шлифования меньше во всем диапазоне увеличения нормальных давлений. Это объясняется меньшим вкладом доли коэффициента трения между металлической связкой алмазного круга и твердым сплавом в общее значение коэффициента шлифования.

Зависимость $K_{ш}$ от скорости шлифования для разных технологических сред в зоне резания характеризуется его практически незначительным ростом; при этом значение $K_{ш}$ во всем диапазоне изменения V от 15 до 35 м/сек заметно меньше при шлифовании с ТСМ.

Изменение зернистости в диапазоне от 50/40 до 160/125 незначительно влияет на изменение $K_{ш}$ в отличие от обычного алмазного шлифования; при этом для процесса с ТСМ его значение несколько ниже.

Незначительное влияние зернистости алмазных кругов при АИШ твёрдых сплавов можно объяснить как развитостью режущего рельефа, так и образованием микрокромки на поверхности более крупных и менее прочных зёрен, что в какой-то степени нивелирует количественный фактор (число микрокромки) мелкозернистых кругов.

Влияние концентрации алмазов на $K_{ш}$ более заметно, чем влияние зернистости, но каких-либо особенностей не выявляет; общее объяснение можно свести к традиционному количественному фактору, незначительным увеличением сил резания и суммарного сечения среза.

Кроме изложенных результатов экспериментов, объясняющих характер зависимостей, можно сделать общий вывод, что значения $K_{ш}$ при АИШ твёрдых сплавов с сухой смазкой меньше, чем при обычном шлифовании с СОТС поливом, а значит меньше и напряжённость процесса шлифования.

Результаты экспериментов по влиянию нормального давления на энергоёмкость процесса АИШ представлены в табл. 3. Во всём диапазоне изменения нормальных давлений значения B_m меньше для ТСМ по сравнению с СОТС поливом. Общая тенденция незначительного изменения показателя энергоёмкости при увеличении нормального давления объясняется соответственно пропорциональным ростом производительности шлифования.

Таблица 3 – Влияние нормального давления на удельную энергоёмкость B_m , Дж/г·10³ при АИШ Т15К6

Диэлектрическая среда	Нормальное давление P_n , МПа			
	0,8	1,2	1,6	2,0
СОТС, струйный полив	5,5	5,4	5,2	5,3
ТСМ	4,6	4,4	4,5	4,7

Изменение скорости резания характеризуется более выраженным влиянием её на B_m , чем нормальное давление (рис. 2). С увеличением скорости B_m растёт как при шлифовании с СОТС поливом, так и при использовании ТСМ; при этом интенсивность роста удельной энергоёмкости при шлифовании с введением в зону резания ТСМ значительно меньше, что можно объяснить более активной самозатачиваемостью режущего рельефа алмазного круга и соответственно большим съёмом материала.

Возможности использования ТСМ наиболее эффективно проявляются при АИШ твёрдого сплава совместно со стальной державкой, т.к. при этом с одной стороны более полно будут активироваться процессы, связанные с образованием новых поверхностей (эффект Ребиндера), а с другой – адсорбционно связанная с обрабатываемой поверхностью граничная пленка надёжно экранирует трущиеся поверхности.

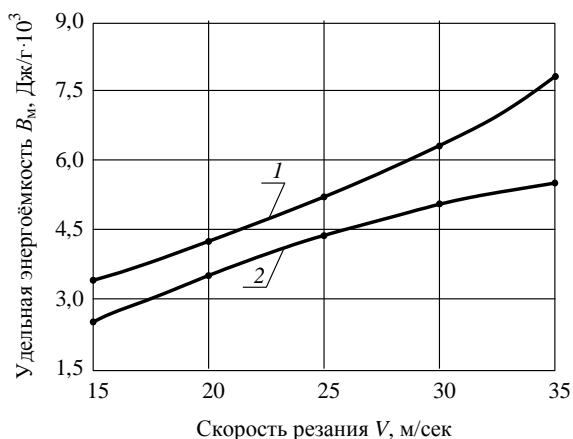


Рисунок 2 – Влияние скорости резания на энергоёмкость при АИШ:

1 – СОТС струйным поливом; 2 – ТСМ

Условия шлифования: $P_n = 1,2$ МПа ; круг 12А2-45°АС6-100/80 М1-01-4; обрабатываемый материал Т15К6

Последнее обстоятельство будет нивелировать диффузионное взаимодействие поверхности алмазных зёрен со сталью в связи с известными положениями о сродстве контактирующих материалов и перепаде концентраций углерода в них, что вызывает повышенный износ кругов.

Выявленное преимущество шлифования твёрдых сплавов, в том числе и композиции «твёрдый сплав–сталь» с применением ТСМ объясняется специфическим механизмом воздействия смазочной среды на адсорбируемые поверхности обрабатываемых материалов. Высокие локальные температуры при АИШ вызывают деструкцию среды, обеспечивают дозированный (без избытка) постоянный приток (присутствие) групп легкоподвижных атомов из карбоксильной составляющей и углеводородных радикалов поверхностно-активного компонента в зоне резания.

Массовое микрорезание – царапание при алмазном шлифовании сопровождается совокупностью условий для проявления эффекта Ребиндера. Высокие локальные напряжения и скорости воздействия, циклический характер нагрузки, весьма малый съём 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 надёжное смачивание обнажаемой ювенильной поверхности – все это способствует физической и химической адсорбции, а также смазывающему действию среды ТСМ.

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. Поэтому, если ТСМ в связи с иницированием адсорбционных эффектов вызывает понижение свободной поверхностной энергии, то, естественно, должна уменьшаться хрупкая прочность твёрдых 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.

Таким образом, можно считать, что применение твёрдого смазочного материала, представляющего смесь равных частей стеариновой и себациновой кислот (ТСМ), по сравнению с СОТС поливом при использовании в условиях АИШ является весьма перспективным направлением, отвечающим современным тенденциям развития технологии минимальной смазки.

Результаты исследований состояния режущей поверхности алмазных кругов и зёрен, фрагменты износа, которые изучались с помощью электронного сканирующего микроскопа Jeol-JSM-50 после АИШ с применением ТСМ.

Анализ микрофотографий режущей поверхности алмазных кругов после электронно-микроскопических исследований позволяет заключить, что различные участки рельефа и алмазных зёрен подвержены различным видам воздействия и износа: режущая поверхность развита; разновысотность алмазных зерен обеспечивается; обнаруживаются хрупкие разрушения, скалывание отдельных элементов, усталостный характер износа; можно заключить, что режущий рельеф алмазного круга при АИШ с ТСМ не обнаруживает системного характера износа.

Список использованной литературы: 1. *Шукин Е. Д.* Физико-химические основы новых методов интенсификации обработки твердых тел / Е. Д. Шукин // Ежегодник «Физическая химия. Современные проблемы». – М. : Химия, 1983. – С. 30–40. 2. Пат 58078 Україна, МПК (2011.01) В24В 1/10. Твердый змашувальний матеріал для комбінованої обробки матеріалів струмопровідним абразивним інструментом / *Узунян М.Д., Піжов І.М., Агу Коллінз Агу*; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № и 2010 11928; заявл. 08.10.2010; опубл. 25.03.2011. Бюл. №6. 3. *Узунян М. Д.* Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Х. : НТУ «ХПИ», 2003. – 359 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Shhukin E. D.* Fiziko-himicheskie osnovy novykh metodov intensifikacii obrabotki tverdyh tel / *Ezhegodnik «Fizicheskaja himija. Sovremennye problemy».* – М. : Himija, 1983. – S. 30-40. 2. Pat 58078 Ukraina, MPK (2011.01) V24V 1/10. Tverdij zماشhуval'nij material dlja kombinovanoj obrobki materialiv strumoprovodnim abrazivnim instrumentom / *Uzunjan M.D., Pizhov I.M., Agu Kollinz Agu*; vlasnik Nacional'nij tehničnij universitet «Harkivs'kij politehničnij institut». – № i 2010 11928; zajavl. 08.10.2010; opubl. 25.03.2011. Bjul. №6. 3. *Uzunjan M. D.* Almazno-iskrovoe shlifovanie tverdyh splavov. – Н. : NTU «НПІ», 2003. – 359 s.