

УДК 621.923

Н.А. Погребной, профессор, канд. техн. наук,**Ю.Г. Гуцаленко, ст. науч. сотрудник***Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»**ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002**gutsalenko@kpi.kharkov.ua***ПОВЕДЕНИЕ, СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕДНО-ОЛОВЯННОЙ СВЯЗКИ МАРКИ М2-01 В ИНСТРУМЕНТАХ ПРОЦЕССОВ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Рассмотрены вопросы электроэрозионных явлений в зоне алмазного шлифования под действием дополнительной энергии в форме электрических разрядов. Дан анализ эрозионных последствий электрических разрядов на поверхности Cu-Sn связки алмазных шлифовальных кругов. Методами рентгеноструктурного и металлографического анализа оценено влияние электрических разрядов на связку. Фазовый анализ свидетельствует об изменениях композиции и свойств металлической связки с появлением новых фаз, отличающихся от исходной структуры.

Ключевые слова: *шлифование, электрический разряд, эрозия, алмазный инструмент, металлическая связка, фазовый анализ, микроструктура.*

Введение. Современную актуализацию внимания к методу алмазно-искрового шлифования (АИШ) привлекает гипотеза о потенциальной возможности реализации нового подхода к его совершенствованию путем смещения производящего воздействия в область энергий разрушения металлических связей при высокоскоростной обработке [1]. При комбинировании в АИШ алмазного шлифования с электроразрядным воздействием возможно также обеспечивать технологическое наследование как структур вторичной закалки, так и структур отпуска. Этот феномен АИШ в управлении качеством обработки привлекателен для использования в финишных постпроцессах термофрикционной обработки с образованием в приповерхностном слое стали, под микроскопом визуализируемом как белый, измененной микроструктуры повышенной твердости [2]. Такие алмазно-абразивные технологии требуют повышенного внимания к обеспечению максимальной функциональности всех элементов технической системы АИШ, в том числе второго плана, каким в рассмотрении инструмента (шлифовального круга) является металлическая связка.

Функциональная специфика металлических связей инструмента АИШ и постановка задачи.

Вся известная практика алмазно-металлических композиций шлифовальных кругов связана с обеспечением паритета между надежным удержанием режущих алмазных зерен для максимального их использования и податливостью изнашиванию для своевременного перевода алмазных зерен из закрытого в открытое состояние с обновлением режущего рельефа. Для возможности надежного обеспечения абразивной доминанты над эрозионной в геометрическом формировании поверхности

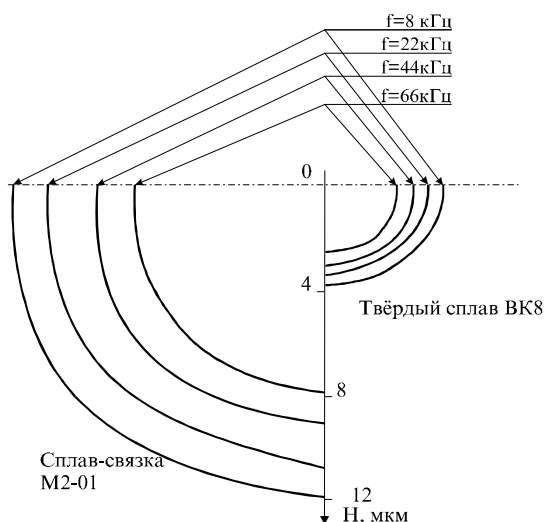


Рисунок 1 – Поперечное сечение эрозионной лунки. Относительное изменение k_F глубины H ($k_F = k_H$), площади F ($k_F = k_F$) и количества N ($k_F = k_N$) эрозионных лунок на поверхности медно-оловянной связки М2-01 (анод) с увеличением частоты f следования электрических импульсов при АИШ

обработки податливость материала металлической связки инструмента АИШ электрической эрозии должна существенно превосходить эту же характеристику обрабатываемого материала. Чем выше это превосходство, тем меньшие уровни микрогеометрической и теплофизической наследственности действия электрических разрядов испытывает поверхность обработки материалов с сопоставимой обрабатываемостью. Поэтому при равной или близкой способности к алмазоудержанию и теплоотводу выбор между металлическими связками для инструмента АИШ следует отдавать менее эрозионностойким, а сам метод АИШ технико-экономически наиболее эффективен прежде всего применительно к труднообрабатываемым материалам, в химический состав которых входят элементы с высокой эрозионной стойкостью.

Этим объясняется исторический феномен массовой популярности АИШ в промышленности в связи с обработкой твердых сплавов, в особенности вольфрамовых. Заслуженную популярность алмазных шлифовальных кругов на

связке М2-01 из медно-оловянной колокольной бронзы в АИШ твердых сплавов объясняет значительное превосходство этой связки над ними в эрозионной податливости, в соответствии с известным определением обратной ей величины (эрозионной стойкости, критерий Л.С.Палатника [3]), отражающей тепло- и электрофизические свойства материалов электроэрозионного контакта. Так, при АИШ твердого сплава ВК8 с частотным управлением мощностью электрических импульсов наблюдаемое превосходство размеров (площадей) поперечных сечений эрозионных лунок на сплаве-связке М2-01 шлифовального круга по сравнению с полученными на обрабатываемом твердом сплаве ВК8 составляет 3,0-3,3 (8,8-10,8) раз (рисунок 1).

При этом тот факт, что связка по электрической схеме АИШ участвовала в электроэрозионном контакте в качестве анода, интенсивнее разрушаемого под действием электрических разрядов, объясняет полученные результаты лишь частично, и притом в меньшей степени. Так, по данным [4], даже при перемене полярности это различие всё равно остаётся значительным, примерно в 2,2 - 2,9 (4,8 - 8,4) раз в аналогичных экспериментах.

Относительное изменение геометрических параметров и поверхностной интенсивности эрозионных лунок на сплаве-связке М2-01 шлифовального круга в ролевой функции анода по методу АИШ с повышением частотной характеристики электрических импульсов можно проследить также по рисунку 2 (кривая k_F^* соответствует расчету по модели [4]): при изменении электрических режимов в сторону понижения энергии единичных импульсов (с увеличением частоты их следования) вероятность электроразрядных процессов с образованием токопроводящих каналов в межэлектродном промежутке "связка круга – обрабатываемая поверхность" уменьшается, мощность дискретных эрозионных процессов в стружечных контактах также ослабевает и, как следствие, уменьшаются не только размеры отдельных эрозионных лунок (кривые k_H и k_F), но, по рассматриваемым данным [4], и разрежение электрических импульсов разрядами (кривая k_N).

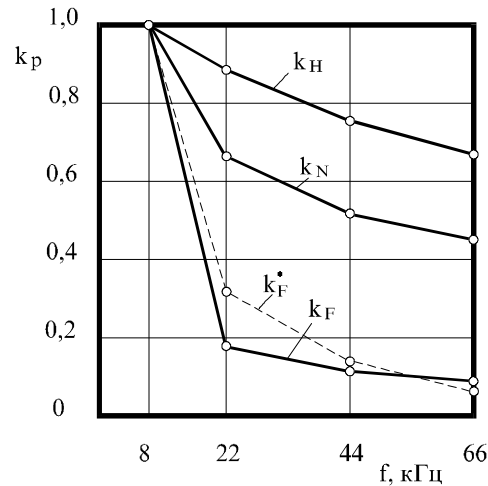


Рисунок 2 – Относительное изменение k_p глубины Н ($k_p = k_H$), площади F ($k_p = k_F$) и количества N ($k_p = k_N$) эрозионных лунок на поверхности медно-оловянистой связки М2-01 (анод) с увеличением частоты f следования электрических импульсов при АИШ

Очевидно, что интенсивное воздействие электрических разрядов на связку шлифовального круга влияет на ее структуру и, тем самым, физико-механические свойства и поведение в алмазоудерживающем контакте в заделке в нее режущих зерен на его рабочей поверхности. В связи с этим исследование микроструктуры связки на рабочей поверхности инструмента АИШ является неотъемлемой частью системных исследований этого метода. Представленные исследования направлены на формирование и систематизацию знаний в этом направлении.

Исходная характеристика исследуемой связки. В результате рентгеноструктурного анализа установлено, что основными фазами в исследуемой связке М2-01 в исходном (до АИШ) состоянии оказались α -твердый раствор олова в меди в количестве ~ 70% и δ -фаза на основе электронного соединения $Cu_{31}Sn_8$ в количестве ~ 30%. Совместный анализ результатов фазового и металлографического анализов позволяет сделать заключение о том, что микроструктура связки М2-01 состоит из α -твердого раствора и эвтектоида ($\alpha+\delta$); основой эвтектоида является фаза $\delta(Cu_{31}Sn_8)$ с вкраплениями дисперсных выделений α -фазы (рисунок 3). Результаты проведенного дюрOMETрического анализа свидетельствуют о том, что указанные структурные составляющие также резко отличаются по микротвердости: α -твердый раствор имеет микротвердость 165-175 ед. HV, а эвтектоид $\alpha+\delta(Cu_{31}Sn_8)$ – 320-333 ед. HV (таблица 1).



Рисунок 3 – Исходная микроструктура связки М2-01 в алмазном шлифовальном круге

Таблица 1 – Характеристика связки М2-01 в исходном состоянии

Фазы	Структура	Микротвердость структурных составляющих, НV		Количество структурных составляющих, %	
		α	$\Xi(\alpha+\delta)$	α	$\Xi(\alpha+\delta)$
$\alpha, \delta(\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8)$	$\alpha+\Xi(\alpha+\delta)$	165-170	320-330	~70	~30

Под влиянием АИШ структура связки претерпевает заметные изменения, причем параметры измененного поверхностного слоя существенным образом зависят от параметров режима обработки.

Металлографические исследования связки после АИШ. Металлографически установлено, что изменение частоты электрических импульсов f оказывает влияние прежде всего на глубину слоя с измененной структурой. Как видно из рис. 2, при обработке на частоте импульсов 44 кГц слой с измененной структурой на поверхности практически отсутствует, тогда как при АИШ на частоте 22 кГц такой слой появляется. При увеличении длительности импульсов τ рельеф поверхностного слоя приобретает сильноразвитый характер и появляется пористость в слое; при этом также увеличивается глубина слоя (рисунок 4).

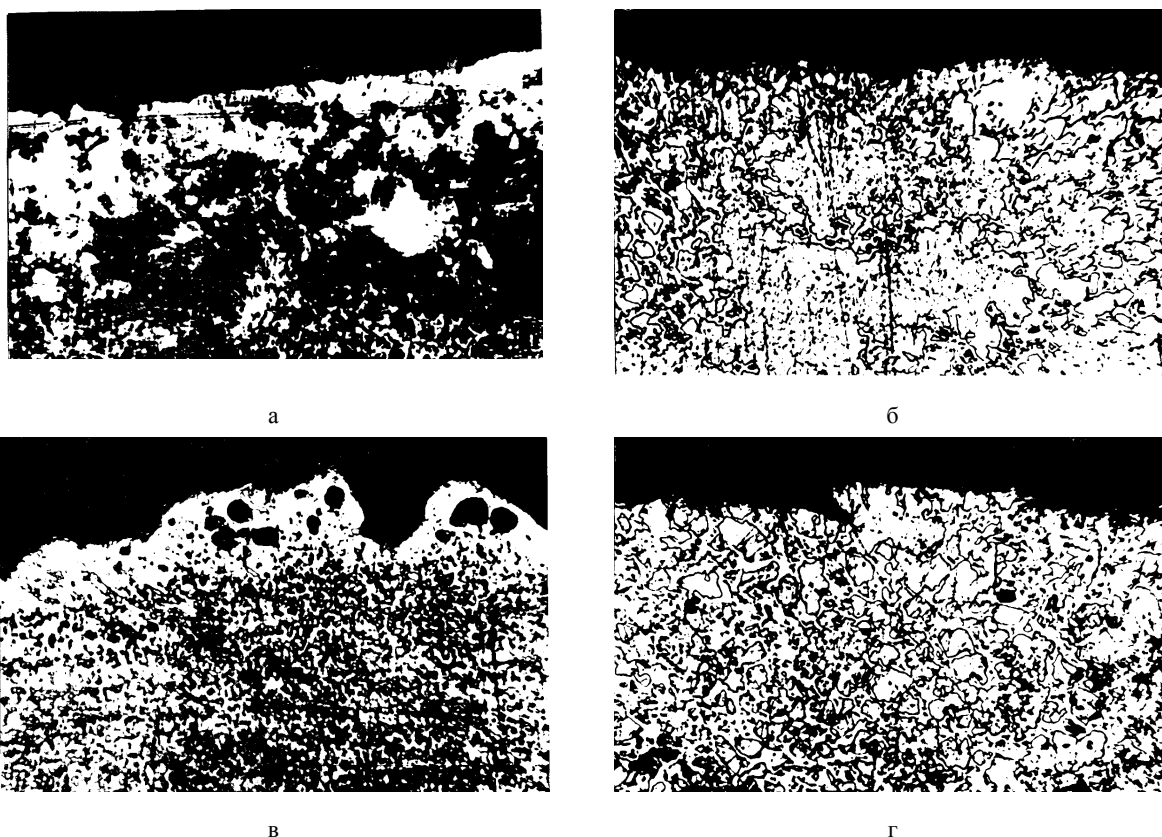


Рисунок 4 – Микроструктура поверхностного слоя в связке М2-01 после различных режимов АИШ:

а) $f = 22$ кГц; $\tau = 9$ мкс; б) $f = 22$ кГц; $\tau = 36$ мкс; в) $f = 44$ кГц; $\tau = 5$ мкс; г) $f = 44$ кГц; $\tau = 18$ мкс

Рентгеноструктурные исследования связки после АИШ. Как свидетельствуют результаты рентгеноструктурного анализа, АИШ приводит к изменению фазового состава поверхностного слоя связки М2-01: наряду с фазами α и δ появляется β'' -фаза на основе интерметаллидного соединения (Cu, Sn). При этом параметры режима АИШ (в первую очередь длительность электрических импульсов) оказывают заметное влияние на количественное соотношение указанных фаз в слое (табл. 2): при уменьшении длительности импульсов от 36 мкс до 9 мкс количество β'' -фазы увеличивается примерно в 3 раза, δ -фазы – на 20 %, а количество α -фазы при этом уменьшается примерно на 35%. Такое перераспределение фаз в слое оказывает существенное влияние на его свойства (табл. 2): с уменьшением длительности электрических импульсов твердость слоя с измененной структурой возрастает от 150 до 223 единиц Виккерса, т.е. примерно на 35%.

Заключение. Микрометаллургические процессы в зоне действия электрических разрядов приводят к изменению структуры и фазового состава приповерхностного слоя связки. С увеличением

длительности электрических импульсов глубина слоя с измененной структурой увеличивается, а рельеф поверхности связки становится более развитым. Из результатов фазового и дюрOMETрического анализов следует, что при определенных режимах АИШ поверхностный слой связки М2-01 претерпевает упрочнение за счет образования неравновесных фаз типа β'' и некоторого увеличения количества δ -фазы,

Таблица 2 – Влияние АИШ на качество поверхности связки М2-01

Режим АИШ	Рельеф поверхности	Глубина слоя с измененной структурой, мкм	Количество фаз в слое с измененной структурой, %			Твердость слоя, НВ
			α	δ	β''	
$f = 22$ кГц $\tau = 9$ мкс	среднеразвитый	16	45	30	25	223
$f = 22$ кГц $\tau = 15$ мкс	среднеразвитый пористый	19	55	25	20	170
$f = 22$ кГц $\tau = 36$ мкс	сильноразвитый пористый	24	69	23	8	150

что способствует более прочному удержанию алмазных зерен на рабочей поверхности шлифовального круга и тем самым более полному использованию их уникального режущего потенциала. Выполненные исследования поведения, структуры и свойств Cu-Sn связки марки М2-01 позволяют повысить надежность управления процессом АИШ для обеспечения высоких показателей использования алмазных кругов, в особенности в технологических процессах с организацией повышенной активности электроразрядных процессов, например [2], в решении задач финишного формообразования с поддержкой высокотвердой наследственности в поверхностном слое стали после предварительной термофрикционной обработки.

Бібліографічний список використаної літератури:

1. Гуцаленко Ю.Г. Особенности электроэрозионного разрушения металлов при высокоскоростном алмазно-искровом шлифовании // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Матер. міжнар. наук.-практ. конф. 15-16 трав. 2003 р. – Х.: НТУ “ХПІ”, 2003. – С. 17-26.
2. Гуцаленко Ю.Г., Погребной Н.А., Волков О.А. Поддержка алмазно-искровым шлифованием упрочнения сталей термофрикционной обработкой // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 12-й междунар. науч.-техн. конф., 04-08 июня 2012 г., г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2012. С. 83-85.
3. Палатник Л.С., Левченко А.А. О характере электрической эрозии на монокристаллах // Кристаллография. – 1958. – Т.3 – С. 612 - 616.
4. Гуцаленко Ю.Г. Расчет электроэрозии при алмазно-искровом шлифовании по данным микроскопической визуализации // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та: Сб. науч. тр. - Вып. 66: Новые решения в соврем. технологиях. - Харьков: ХГПУ, 1999. - С. 54-58.

Поступила в редакцию 16.01.2014 г.

Погрібний М.А., Гуцаленко Ю.Г. Поведінка, структура ш властивості мідно-олов'яної зв'язки марки М2-01 у інструментах процесів алмазно-іскрового шліфування

Розглянуто питання електроерозійних явищ у зоні алмазного шліфування під дією додаткової енергії у формі електричних розрядів. Дано аналіз ерозійних наслідків електричних розрядів на поверхні Cu-Sn зв'язки алмазних шліфувальних кругів. Методами рентгеноструктурного і металографічного аналізу оцінено вплив електричних розрядів на зв'язку. Фазовий аналіз свідчить про зміни композиції і властивостей металевої зв'язки з появою нових фаз, що відрізняються від вихідної структури.

Ключові слова: шліфування, електричний розряд, ерозія, алмазний інструмент, металева зв'язка, фазовий аналіз, мікроструктура.

Pogrebnoy N.A., Gutsalenko Yu.G. Behavior, structure and properties of the M2-01 trademark copper-pewter bond at the tools of the diamond-spark grinding processes

The questions of electroerosion phenomena in a zone of the diamond grinding under the action of additional energy in a form of electrical discharges have been considered. The analysis of discharge erosion effect on the Cu-Sn bond surface of diamond grinding wheels have been given. The influence of electric discharges on the bond is examined by X-ray analysis and metalographic methods. Phase analysis indicates the changes of composition and properties of metal bond with appearance of the new phases which are differ from initial structure.

Keywords: grinding, electrical discharge, erosion, diamond tool, metal bond, phase analysis, microstructure.