

Исследование процессов обработки

УДК 621.923

В. И. Лавриненко*, **А. А. Девицкий****, **О. О. Пасичный**,
С. А. Кухаренко (г. Киев)

*ceramic@ism.kiev.ua

**devitsky@mail.ua

Термоэлектрические явления в процессах обработки и исследование их функционирования при шлифовании кругами из СТМ

Исследованы термоэлектрические явления в процессах шлифования кругами из сверхтвердых материалов. Установлено, что при обработке алмазными кругами твердых сплавов характерным является отрицательное значение трибо-термоЭДС, а при обработке кругами из кубического нитрида бора (КНБ) быстрорежущих сталей – положительное значение. С ростом трибо-термоЭДС при шлифовании кругами из КНБ износ кругов уменьшается, а при шлифовании алмазными кругами увеличивается, при одинаковой производительности обработки. Показано, что введением модифицирующих металлических добавок в стеклопокрытие зерен сверхтвердых материалов можно изменять значение трибо-термоЭДС: при шлифовании кругами из КНБ для уменьшения трибо-термоЭДС нужно использовать металлизацию стеклопокрытия зерен медью, а для увеличения – титаном или никелем.

Ключевые слова: термоЭДС, трибоЭДС, шлифование, стеклопокрытия, модифицирующие металлические примеси, сверхтвердые материалы, шлифовальные круги.

Впервые исследования влияния электрических явлений в зоне обработки на износ при трении были опубликованы в 1952 г. П. Л. Гордиенко и С. Л. Гордиенко [1]. Применительно к износу металлорежущих инструментов такие исследования проведены в [2–11], где показано, что процессы резания, трения и износа представляют собой сложную совокупность механических, физико-химических, электрических и электрохимических явлений, которые могут замедлять или интенсифицировать изнашивание. При механической обработке инструмент, обрабатываемая деталь и стружка, снимаемая с нее, нагреваются. В таких условиях из разнородных материалов образуются термопары с разницей температурных потенциалов, возникает разница электрических потенциалов и термоэлектродвижущая сила (термоЭДС). Нерав-

© В. И. ЛАВРИНЕНКО, А. А. ДЕВИЦКИЙ, О. О. ПАСИЧНЫЙ, С. А. КУХАРЕНКО, 2015

номерность температурного поля, возникающего при резании в инструменте, стружке и обрабатываемой детали, а также физическая сущность термоэлектронной эмиссии, термоэлектрических, термомагнитных и гальваномагнитных эффектов свидетельствуют о том, что при резании возникают все эти явления, однако их влияние на результирующую термоЭДС проявляется по-разному [6].

Большинство исследователей, изучавших термоэлектрические процессы при механической обработке [2, 6, 10–12], считают, что одной из составляющих процессов, наблюдающихся при фрикционном контакте двух тел, является трибоэлектрический эффект. Исследования [3] показали, что термоЭДС влияет на износостойкость металлорежущего инструмента. Из анализа данных, полученных при обработке чугуна резцами из твердого сплава группы ВК, следует, что имеется некоторая связь между износом резцов и значением термоэлектрических потенциалов, возникающих в зоне обработки. Вместе с тем, закономерной зависимости между износом и термотоками в [3] не выявлено, и авторы предположили, что увеличение износа при возрастании потенциалов вызвано действием на поверхностях трения электрических зарядов, возникающих при непрерывном замыкании и размыкании субмикрконтактов. Сторонниками данной гипотезы о причине электроэрозионного износа являются и авторы [12].

Для современных исследователей открытым остается вопрос о природе ЭДС, возникающей при резании [13]. До 1980-х гг. получило широкое распространение измерение температуры в зоне резания методом естественной термопары, когда полученное на измерительном приборе значение ЭДС отождествляется с термоЭДС резания, что давало возможность рассчитывать температуру контакта. Этот метод был подвергнут в 1980 г. критике С. В. Васильевым [14], который показал, что оценка температуры при обработке хромоникелевого сплава и хромистых сталей достигает величин, не имеющих физического смысла. В целом, исследователи признают, что чем больше термоЭДС, тем интенсивнее изнашивается металлорежущий инструмент. Например, в [6, 15, 16] отмечено, что бороться с таким износом можно, в частности, разрывом контура результирующего термотока путем изолирования инструмента, детали или узлов станка. Кроме того, существует компенсационный метод, когда в зону резания вводится от постоянного источника противоположная по знаку, но равная по абсолютному значению результирующая термоЭДС. Также известен метод противотока, согласно которому в зону резания от постоянного источника вводится ЭДС, противоположная по знаку термоЭДС, но бóльшая по абсолютному значению. В результате в зоне резания возникает противоток, направление которого обратно результирующему току. Эффективность данных методов подтверждена в [17, 18].

Вместе с тем, в [3, 5] отмечено, что прямой связи между термоЭДС и износом инструмента не наблюдается. Так, в [3] пришли к выводу, что термотоки, возникающие при резании металлов, имеют две составляющие: постоянную, связанную с термоэлектродвижущей силой, и переменную, характеризующую интенсивность термоэлектрических процессов на контактных трущихся поверхностях. Энергетические термоэлектрические процессы, определяющиеся значением быстроизменяющихся электрических потенциалов, имеют негативное влияние на процесс резания, что также связано с наличием электрических зарядов на поверхностях трения.

Ряд исследователей выдвинули гипотезу о том, что термотоки, возникающие при резании, вызывают износ режущего инструмента, поскольку они ин-

тенсифицируют процесс окисления в зоне обработки [4, 7–9, 15, 19]. Вместе с тем, существует гипотеза, что окисление в процессах резания невозможно, так как существует плотный контакт поверхности инструмента со стружкой и обрабатываемой деталью и отсутствует возможность попадания кислорода в зону резания. Трение проходит как бы по ювенильным поверхностям. Также авторы [2, 20–22] пришли к выводу, что в процессах резания и трения на контактирующих поверхностях возникают большие электрические потенциалы, а генерирование электрических зарядов на поверхностях трения и их разряды возникают за достаточно короткий промежуток времени, сопровождаясь эрозивным разрушением микроконтактов взаимодействующей пары. Электрическая эрозия разрушает металл электрическими разрядами, возникающими при пробое диэлектрической среды [23]. Образующиеся оксидные пленки удаляются при трении с поверхности инструмента и происходит его изнашивание. Термоток, интенсифицируя окисление, может увеличивать оксидный износ.

В приведенных выше работах рассматривали классическое возникновение термоЭДС непосредственно в зоне съема материала (лезвийная обработка). Процесс абразивной обработки отличается от лезвийного, в первую очередь, тем, что с обрабатываемым материалом контактируют неэлектропроводные зерна, а трибоконтакт в значительной степени происходит между электропроводной связкой, шламом и обрабатываемым материалом. Как следствие, в этом случае из-за неравномерности рабочего слоя шлифовального круга и большей площади контакта, в отличие от резания лезвийным инструментом, где происходит контакт режущей кромки и обрабатываемого материала или прямой контакт, фактически возникает не термоЭДС, а трибоЭДС, которая по своей природе близка к термоЭДС. Поэтому в зонах контакта связки круга и обрабатываемого материала будут происходить окислительный износ и другие электрохимические процессы и возникать электродиффузия, электроэрозия. В литературе работ по электрическим явлениям в процессах абразивной обработки немного, но в них обращено внимание на то, что именно два явления трибопроцесса – наличие электрических зарядов на поверхности и возникновение термоЭДС – являются важными для таких процессов. Это подтверждается исследованиями Б. Н. Лысова [24, 25]. Так, в [25] при определении припуска при абразивной обработке в качестве сигнала используют разные по абсолютному значению и противоположные по знаку электрические заряды, которые накапливаются в зоне контакта абразивного инструмента и обрабатываемой детали.

При абразивной обработке имеют место несколько механизмов возникновения электрических явлений:

1. Контактная электризация, связанная с периодическим контактом отдельных зерен шлифовального круга с деталью, а также возможным контактом связки круга с деталью. В отличие от лезвийной обработки, этот контакт не является постоянным. Контакт полупроводник–металл наблюдается при шлифовании металлических деталей кругами с зернами карбида кремния и карбида бора, которые являются полупроводниками. В [24] показано, что имеет место явление контактной электризации при шлифовании инструментом с зернами карбида кремния, электрокорунда или алмаза. Также это возможно в случае возникновения оксидных пленок на поверхности зерен. Особенности электризации полупроводника при его контакте с металлом связаны с тем, что количество свободных электронов в нем значительно меньше, чем в металле. Вследствие этого в месте контакта образуется достаточно большой по толщине слой полупроводника, обедненный электронами, и возникает

объемный заряд, который определяется не только разницей работ выхода электронов, но и кристаллографическим строением и площадью зоны контакта контактирующих тел [24]. Контакт диэлектрик–металл характерен для шлифования кругами на полимерных связках без металлопокрытия рабочих зерен. Механизм электризации при этом обусловлен не только обменом электронами, но и их адсорбцией с поверхности диэлектрика на поверхность металла за счет ионной проводимости [26]. Контакт металл–металл возможен при шлифовании кругами на металлической связке или же с металлопокрытием абразивных зерен. Также он может иметь место при “засаливании” пор рабочего слоя кругов шламом [24].

2. Трибоэлектризация, суть которой состоит в том, что ограниченная по размеру поверхность подвергается трению, вследствие чего нагревается. Нагрев при этом связан как с общим нагревом всей трущейся поверхности, так и с очень сильным локальным нагревом отдельных неоднородностей поверхности, когда возможна термическая эмиссия электронов. Однако поверхность с большей температурой имеет и более высокую плотность носителей заряда, в результате чего за единицу времени большее количество ионов будет переходить с более нагретой поверхности к менее нагретой. При шлифовании трибоэлектризация наиболее вероятна при засаливании абразивного круга, когда частички снятого материала детали налипают на контактные поверхности зерен круга и происходит скольжение по поверхности детали [24].

3. Электрохимические явления, которые возможны при наличии на поверхностях контактирующих материалов тонких водных пленок. Это явление не может считаться главным и должно рассматриваться только как сопровождающее другие, в том числе контактную электризацию [24]. На это указывают и авторы в [27], объясняющие возникновение электрического поля при наличии технологических сред именно электрохимической термоЭДС.

В [24] показано, что фиксированный при шлифовании электрический сигнал является суммарным, полученным в результате совокупного действия различных по своей природе электрических явлений, однако трудно определить роль конкретного явления. Наиболее интенсивной является контактная электризация, к которой можно отнести трибоэлектризацию и термоэлектрические явления. На электризацию при шлифовании, по сути, влияют физико-механические свойства шлифовального инструмента и обрабатываемого материала, размер площадок контакта, термические явления. Поэтому электрические явления, сопровождающие шлифование, несут информацию о фрикционном контакте шлифовального круга и заготовки, тепловым процессам, а также об объеме снимаемого слоя обрабатываемого материала [25].

Кроме того, как установлено исследованиями [28], при трении происходит переход отрицательных зарядов с поверхности круга на образцы и, наоборот, положительные заряды после трения образцов накапливаются на поверхности круга. С повышением производительности обработки напряженность электростатического поля растет, причем это характерно как для алмазных кругов при обработке твердого сплава, так и для кругов из кубического нитрида бора (КНБ) при обработке быстрорежущей стали [29].

Вместе с тем, поскольку при обработке осуществляется не только резание зернами, но также происходят трибопроцессы в зоне обработки, то покрытие зерен сверхтвердых материалов (СТМ) играет важную роль, поскольку влияние его составляющих на процесс электризации может быть достаточно существенным [30–32].

Исследование влияния стеклопокрытия зерен КНБ на напряженность электростатического поля проведено при шлифовании образцов из быстро-режущей стали Р6М5 кругами из КНБ 12А2-45° 125×5×3×32 на станке 3В642. В качестве наполнителей стекол использованы дисперсные модифицирующие добавки тугоплавких оксидов ZrO_2 , TiO_2 и Al_2O_3 , которые не образуют стекло, но при растворении стекла не ослабляют, а укрепляют стеклоподобную сетку и, соответственно, образуются композиты с повышенными физико-механическими свойствами и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Модификационные добавки вводили в стекло в количестве от 10 до 30 % (по массе). Показано [30], что стеклопокрытие зерен КНБ повышает напряженность электростатического поля, причем наибольшую напряженность наблюдали после шлифования кругами с модифицирующей добавкой в покрытия Al_2O_3 , наименьшую – с добавкой TiO_2 . Так, при шлифовании кругами без покрытия напряженность электростатического поля находится в диапазоне $(-0,5)–(-1,0)$ кВ/м, при шлифовании кругами со стеклопокрытиями зерен с добавками TiO_2 – $(-1,4)–(-1,9)$ кВ/м, с добавками ZrO_2 – $(-1,9)–(-2,6)$ кВ/м, с добавками Al_2O_3 – $(-1,6)–(-4,5)$ кВ/м. Таким образом, изменением содержания модифицирующих добавок в стеклопокрытии зерен можно существенно воздействовать на напряженность электростатического поля.

В данной работе исследовано возникновение трибо-термоЭДС в зоне обработки при шлифовании труднообрабатываемых материалов кругами из СТМ.

Для кругов на металлическом связующем самым эффективным способом исследования интенсивности действия электризации на процесс шлифования является изучение трибо-термоЭДС, возникающей в зоне обработки, поскольку в этом случае образуется общая токопроводная система (электропроводный инструмент–электропроводная деталь). При абразивной обработке на возникновение трибо-термоЭДС большое влияние оказывают режущие зерна, поэтому реальным способом воздействия на зону резания является их покрытие различными материалами, поскольку это позволяет вводить эти материалы непосредственно в зону контакта и, тем самым, изменять значения трибо-термоЭДС в необходимом направлении. Как показано в [33], при изготовлении кругов на металлических связках целесообразно использовать не металл-, а стеклопокрытие зерен.

Для зерен КНБ КР 125/100 использовали свинцовоборосиликатное стекло системы $PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2$, расплав которого имеет высокую смачивающую способность и адгезию к абразивным порошкам. Как показано в [34], на межфазной границе алмаз–стеклоагрегат–металлизированное покрытие происходит диффузионное взаимодействие, приводящее к образованию новой кристаллической фазы и повышению адгезии на границе раздела фаз, что может обеспечить более прочное удержание стеклоагрегатов в связке. Для введения различных металлов в зону обработки дополнительно металлизировали зерна КНБ с указанным стеклопокрытием такими металлами: титаном (~ 9 % (по массе), как промежуточное диффузионное технологическое покрытие), титаном и никелем (~ 20 % (по массе)), титаном и медью (~ 20 % (по массе)) (рис. 1). С такими зернами изготовили шлифовальные круги формы 12А2-45° 125×5×3×32 на металлической связке М1-10 и шлифовали быстро-режущую сталь Р6М5 при производительностях обработки от 100 до 500 мм³/мин. Для измерения трибо-термоЭДС с помощью мультиметра В7-35 использовали метод естественной термопары, причем шлифовальный круг и обрабатываемый образец, изолированный от массы станка, включали в замкнутый электрический контур. Результаты исследований представлены в табл. 1.

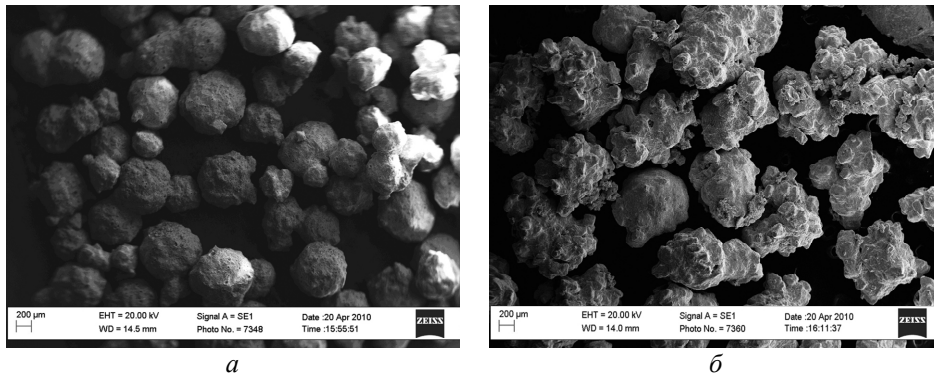


Рис. 1. Общий вид стеклоагрегатов из КНБ без покрытия (*а*) и с покрытием электрохимической медью (*б*).

Таблица 1. Трибо-термоЭДС при шлифовании кругами из КНБ с разным покрытием рабочих зерен

Характеристика рабочего слоя круга	Производительность обработки Q , мм ³ /мин	Трибо-термоЭДС ϵ , мВ
КР 125/100 100-М1-10 (без покрытия)	100	1,3±0,03
	200	2,4±0,05
	300	3,0±0,06
	400	3,8±0,08
	500	4,0±0,08
КР 125/100 С07 100-М1-10 (стеклопокрытие С07)	100	0,9±0,02
	200	1,8±0,04
	300	2,8±0,06
	400	3,3±0,07
	500	3,8±0,08
КР 125/100 С02 100-М1-10 (стеклопокрытие С02 + Ti)	100	1,5±0,03
	200	2,8±0,06
	300	3,6±0,07
	400	4,1±0,08
	500	5,0±0,10
КР 125/100 С05 100-М1-10 (склопокрытие С05 + Ti + Cu)	100	0,6±0,01
	200	1,5±0,03
	300	2,3±0,05
	400	3,9±0,08
	500	4,4±0,09
КР 125/100 С03 100-М1-10 (склопокрытие С03 + Ti +Ni)	100	0,9±0,02
	200	1,9±0,04
	300	3,0±0,06
	400	3,5±0,07
	500	3,6±0,07

Результаты исследования показали, что с повышением производительности шлифования значения трибо-термоЭДС ожидаемо возрастают. Это объясняется тем, что с увеличением производительности обработки растет тем-

пература в зоне шлифования, а также, как показано выше, растет и напряженность электростатического поля.

Значения трибо-термоЭДС при шлифовании кругами без покрытия и со стеклопокрытием зерен КНБ почти совпадают, т. е. стеклопокрытие не вносит существенного вклада в ЭДС. Наличие же металлизации на поверхности зерна со стеклопокрытием влияет существенно. Так, дополнительная металлизация зерен медью снижает ЭДС, а металлизация никелем и титаном наоборот ее повышает (рис. 2).

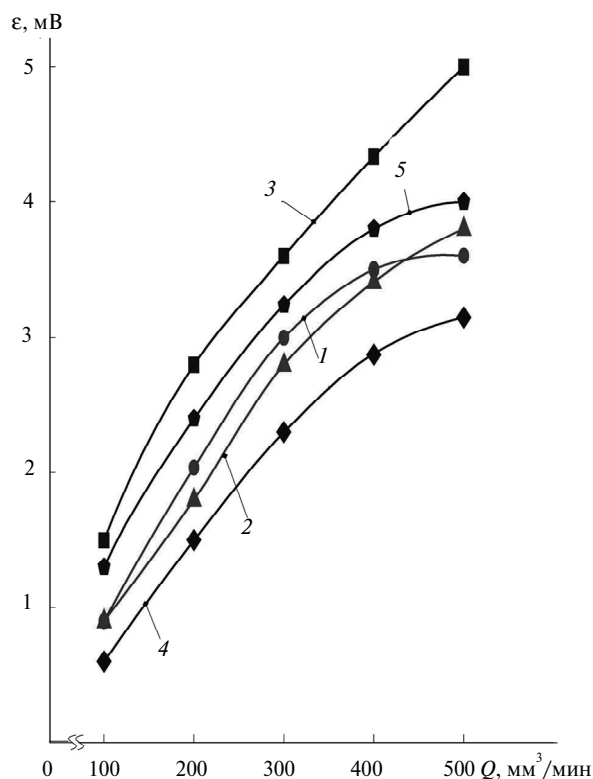


Рис. 2. Зависимость трибо-термоЭДС от производительности шлифования стали Р6М5 кругами из КНБ без покрытия зерен (1), со стеклопокрытием (2), со стеклопокрытием + Ti (3), со стеклопокрытием + Ti + Cu (4), со стеклопокрытием + Ti + Ni (5).

Для уточнения особенностей влияния металлов, применяемых при металлизации стеклопокрытия зерен, на протекание электрических процессов в зоне обработки и соответствующего изменения эксплуатационных характеристик кругов, исследована износостойкость кругов при шлифовании с производительностью 200 мм³/мин, в табл. 2 и на рис. 3 представлены данные по связи между трибо-термоЭДС и относительным расходом зерен КНБ в кругах при шлифовании стали Р6М5.

Обнаружено, что промежуточное технологическое покрытие титаном зерен КНБ со стеклопокрытием значительно снижает износостойкость кругов, поскольку существенно ухудшается удержание зерен в связке и использовать такое покрытие нецелесообразно. Однако другие покрытия повышают износостойкость кругов в сравнении с кругами из КНБ без покрытия зерен. Причем металлизация медью позволяет снизить значение трибо-термоЭДС, а металлизация никелем его увеличивает по сравнению с кругом из КНБ без покрытия

зерен. В целом для стеклопокрытий наблюдается следующая тенденция (см. рис. 3): с ростом трибо-термоЭДС износостойкость кругов из КНБ возрастает, причем она наиболее высокая при использовании стеклопокрытия зерен КНБ с металлизацией никелем. Таким образом, для существенного снижения ЭДС при шлифовании кругами из КНБ необходимо применять металлизацию стеклопокрытия медью, а для увеличения – металлизацию никелем.

Таблица 2. Относительный расход зерен КНБ при шлифовании стали Р6М5 кругами с разным покрытием зерен

Характеристика круга	Трибо-термоЭДС ϵ , мВ	Относительный расход зерен КНБ q , мг/г	Шероховатость поверхности Ra , мкм
12А2-45 125×5×3×32 КР 125/100 100-М1-10 (без покрытия)	2,4±0,05	19±0,3	0,71
12А2-45 125×5×3×32 КР 125/100 С07 100-М1-10 (стеклопокрытие С07)	1,8±0,04	8±0,4	0,67
12А2-45 125×5×3×32 КР 125/100 С02 100-М1-10 (стеклопокрытие С02 + Ti)	2,8±0,06	39±0,9	0,93
12А2-45 125×5×3×32 КР 125/100 С05 100-М1-10 (стеклопокрытие С05 + Ti + Cu)	1,5±0,03	12±0,7	0,90
12А2-45 125×5×3×32 КР 125/100 С03 100-М1-10 (стеклопокрытие С03 + Ti +Ni)	1,9±0,04	4±0,3	0,91

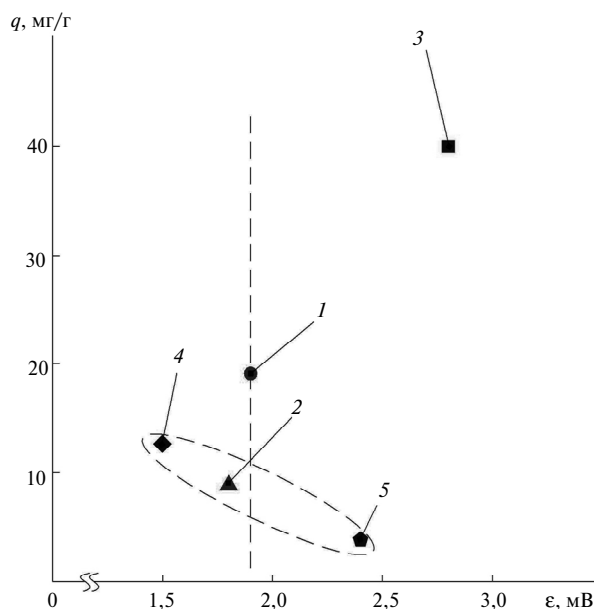


Рис. 3. Связь между трибо-термоЭДС и относительным расходом в кругах зерен КНБ без покрытия (1), со стеклопокрытием (2), со стеклопокрытием + Ti (3), со стеклопокрытием + Ti + Cu (4), со стеклопокрытием + Ti + Ni (5) при шлифовании стали Р6М5.

Подобные исследования проведены и для процессов шлифования твердых сплавов кругами с алмазными зернами со стеклопокрытием (табл. 3). В качестве стеклопокрытия использовали стекло другой системы, чем для кругов из КНБ, а именно – $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$.

Таблица 3. Трибо-термоЭДС при шлифовании стандартным алмазным кругом и кругом со стеклопокрытием рабочих зерен

Характеристика круга	Производительность обработки Q , $\text{мм}^3/\text{мин}$	Трибо-термоЭДС ϵ , мВ
12A2-45 125×5×3×32	100	-1,7±0,03
АС6 125/100 100-М1-10	200	-3,7±0,07
(без стеклопокрытия)	300	-4,3±0,09
	400	-6,4±0,13
	500	-6,5±0,13
12A2-45 125×5×3×32	100	-2,4±0,05
АС6 125/100 С12 100-М1-10	200	-6,0±0,12
(стеклопокрытие СО12)	300	-5,5±0,11
	400	-4,9±0,10
	500	-5,9±0,12

Исследование зависимости трибо-термоЭДС от производительности шлифования показывает, что имеются возможности ее использования для получения на рабочей поверхности инструмента износостойких пленок, близких по своим свойствам к катодным (рис. 4).

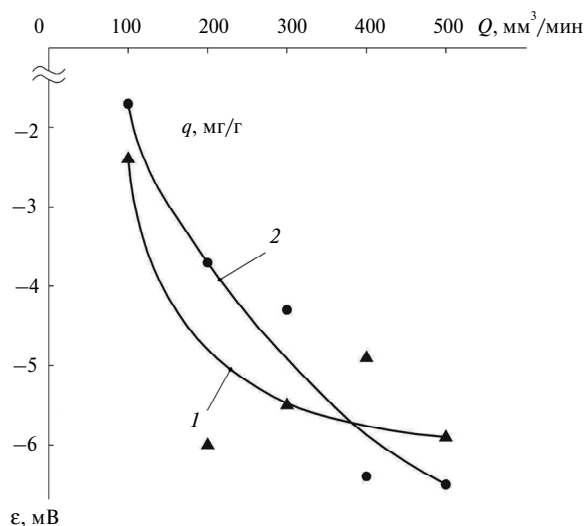


Рис. 4. Зависимость трибо-термоЭДС от производительности шлифования твердого сплава ВК8 кругами с зернами алмаза без покрытия (1) и со стеклопокрытием (2).

Авторы исследовали износостойкость алмазных кругов при шлифовании с производительностью $200 \text{ мм}^3/\text{мин}$ твердого сплава ВК8 кругами типоразмера 12A2-45° 125×5×3×32 на металлической связке М1-10 с зернами АС6 125/100 без стеклопокрытия и со стеклопокрытием алмазных зерен (табл. 4).

Таблица 4. Трибо-термоЭДС и относительный расход алмазов в кругах при шлифовании твердого сплава ВК8

Характеристика круга	Трибо-термоЭДС ϵ , мВ	Относительный расход зерен алмаза q , мг/г	Шероховатость поверхности Ra , мкм
12A2-45 125×5×3×32 AC6 125/100 100-M1-10 (без стеклопокрытия)	-3,7±0,07	7±0,2	0,62
12A2-45 125×5×3×32 AC6 125/100 C12 100-M1-10 (стеклопокрытие CO12)	-6,0±0,12	9±0,4	0,62

В отличие от кругов из КНБ использование стеклопокрытия алмазных зерен не всегда целесообразно, поскольку в отдельных случаях относительный расход алмазов в кругах несколько возрастает. Вместе с тем, для алмазных кругов и кругов из КНБ знаки трибо-термоЭДС противоположны. Если для алмазных кругов при обработке твердых сплавов характерным является отрицательное значение трибо-термоЭДС, то для кругов из КНБ при обработке быстрорежущих сталей – положительное значение. Указанное необходимо учитывать при создании условий для неявной поляризации и соответствующего образования электродных пленок на рабочей поверхности шлифовальных кругов [35].

Однако следует обратить внимание на указанную выше разницу в тенденциях влияния трибо-термоЭДС на износ кругов. Для объяснения этого предположили, что при абразивной обработке, в частности при шлифовании кругами из СТМ, при возникновении трибо-термоЭДС важна как температура в зоне обработки, так и контактная электризация. При обработке алмазными кругами, где наблюдается отрицательное значение трибо-термоЭДС, напряженность электростатического поля, как следствие электризации, имеющая тоже отрицательное значение, только добавляется к значению трибо-термоЭДС и тогда, чем она больше, тем больше и износ круга. А при обработке кругами из КНБ, когда формируется положительное значение трибо-термоЭДС, напряженность электростатического поля, имеющая отрицательное значение, уменьшает трибо-термоЭДС, причем, чем больше уменьшение, тем больше износ шлифовального круга. Так, электризация на меди интенсивнее, чем на никеле [30], что и проявляется в результатах, приведенных на рис. 3, где при шлифовании кругами с дополнительным металлизированным покрытием зерен медью трибо-термоЭДС ниже, а никелем – выше.

Таким образом, проведенными впервые исследованиями возникновения и функционирования трибо-термоЭДС при шлифовании кругами из СТМ установлено следующее:

- с повышением производительности шлифования трибо-термоЭДС, возникающая в зоне обработки, возрастает независимо от характеристик инструмента и обрабатываемой детали;
- стеклопокрытия зерен КНБ и металлизированное медью стеклопокрытие в кругах содействуют снижению трибо-термоЭДС, а металлизация стеклопокрытия никелем и титаном ее повышает;
- при шлифовании кругами из КНБ при одинаковой производительности обработки с ростом трибо-термоЭДС износ кругов снижается, а при шлифо-

ваний алмазными кругами, наоборот, с увеличением трибо-термоЭДС возрастает и износ кругов;

– для алмазных кругов при обработке твердых сплавов характерным является отрицательное значение трибо-термоЭДС, а для кругов из КНБ при обработке быстрорежущих сталей – положительное значение.

Досліджено термоелектричні явища в процесах шліфування кругами з надтвердих матеріалів. Встановлено, що при обробленні алмазними кругами твердих сплавів характерним є від'ємне значення величини трибо-термоЕРС, а для кругів з кубічного нітриду бору (КНБ) при обробленні швидкорізальних сталей – додатне значення. При шліфуванні кругами з КНБ знос кругів знижується зі зростанням трибо-термоЕРС, а при шліфуванні алмазними кругами – зростає, при однаковій продуктивності оброблення. Показано, що введенням модифікуючих металічних домішок в склопокриття зерен надтвердих матеріалів можна змінювати величину трибо-термоЕРС, в цьому випадку для зменшення значення трибо-термоЕРС при шліфуванні кругами з КНБ потрібно використовувати металізацію склопокриття зерен міддю, а для збільшення – металізацію титаном або нікелем.

Ключові слова: термоЕРС, трибоЕРС, шліфування, склопокриття, модифікуючі металічні домішки, надтверді матеріали, шліфувальні круги.

Thermoelectric phenomena investigated for grinding processes wheels with superhard materials. It was found that for the treatment of solid diamond wheels alloy is characterized by a negative sign of the value tribo-thermoelectric power, and for wheels from CBN in processing speed steels - a positive sign. At the same time, when grinding wheels from CBN with the same processing capacity with increasing wheel wear is reduced, when grinding with diamond wheels, on the contrary, increasing the value of tribo-thermoelectric power increases. It is shown that the introduction of modifying additives in glass coatings of metal grains of superhard materials can vary the amount of tribo-thermoelectric power, while to decrease the value tribo-thermoelectric power for grinding wheels CBN need to use copper plating glass coatings grains, and to increase – titanium or nickel plating.

Keywords: thermoelectric power, tribo-power, grinding, glass coatings, modifying metallic impurities, superhard materials, grinding wheels.

1. Гордиенко П. Л., Гордиенко С. Л. О влиянии электрического тока на износ при трении металлических тел // Вестн. машиностроения. – 1952. – № 7. – С. 23–25.
2. Дубинин А. Д. Энергетика трения и износа деталей машин. – М.: Машгиз, 1963. – 137 с.
3. Коробов Ю. М. Влияние термоэлектрических явлений, возникающих при резании, на износ инструмента // Станки и инструменты – 1968. – № 3. – С. 25–26.
4. Якунин Г. И., Мирбабаев В. А., Абрамян Я. П. Повышение стойкости твердосплавных резцов при введении в зону резания электрического тока и газообразного кислорода // Изв. АН УзССР. Сер. техн. наук. – 1965. – № 6. – С. 19–21.
5. Коробов Ю. М. Влияние электрического тока на процесс резания металлов // Тр. ЛПИ. – 1965. – № 250. – С. 86–88.
6. Бобровский В. А. Влияние термоэлектрических токов на износ инструмента при резании металлов // Электрические явления при трении и резании металлов / Под ред. М. М. Хрущева, В. А. Бобровского. – М.: Наука, 1969. – С. 7–26.
7. Axer H. Zur Physik des Werkzeugverschleißens. Fertigungs Technik und moderne Werkzeugmaschinen // 7 Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium, 1954. – Essen, 1954. – S. 56–57.
8. Axer H. Beitrag zur Erforschung der Verschleißursachen an spannenden Werkzeugen // Industrie-Anzeiger, 7 Juni 1955. – Essen, 1955. – S. 610–614.
9. Opitz H. Das Temperaturfeld am Drehmeißel und die Reaktionen in der Kontaktzone // Mikro-technik. – 1954. – N 4, Band VIII. – S. 34–35.
10. Васильев С. В. ТермоЭДС при резании как характеристика качества твердосплавных пластинок // Станки и инструменты – 1976. – № 5. – С. 27–28.
11. Палей С. М. Контроль состояния режущего инструмента по ЭДС резания // Там же. – 1996. – № 10. – С. 21–25.
12. Дубров Ю. С., Николаева Г. С. Электроэрозионный износ режущих инструментов и влияние электрических явлений на частоту обработанной поверхности // Электрические

- явления при трении и резании металлов / Под ред. М. М. Хрушова, В. А. Бобровского. – М.: Наука, 1969. – С. 56–69.
13. *Бородай К. В., Феник Л. Н., Матвиенко А. В.* Проблема электромеханического износа инструмента при резании металлов в современных исследованиях // Практика и перспективы развития партнерства в сфере высшей школы: Материалы VII Междунар. науч.-практ. семинара, г. Таганрог, Россия, 19–21 июня 2006 г. – Таганрог, 2006. – Кн. 3. – С. 25–31.
 14. *Васильев С. В.* ЭДС и температура резания // Станки и инструмент. – 1980. – № 10. – С. 20–22.
 15. *Бобровский В. А.* Электродиффузионный износ инструмента. – М.: Машиностроение, 1970. – 202 с.
 16. *Бобровский В. А.* Электрические явления при трении, резании и смазке твердых тел. – М.: Наука, 1973. – 147 с.
 17. *Аваков А. А., Дубров Ю. С., Николаева Г. С.* Исследование эффекта повышения износостойкости твердосплавных режущих пластинок // Изв. ВУЗов. – 1965. – № 3. – С. 55–58.
 18. *Дубров В. С.* Исследование эффекта повышения износостойкости твердосплавных режущих пластинок // Там же. – 1967. – № 3. – С. 43–46.
 19. *Рыжкин А. А.* Влияние электрического тока на износ при резании // Электрические явления при трении и резании металлов / Под ред. М. М. Хрушова, В. А. Бобровского. – М.: Наука, 1969. – С. 70–82.
 20. *Пат. 2496629 Россия, В23 Q17/09.* Способ контроля состояния режущих кромок сборных многолезвийных инструментов / А. С. Сергеев, Е. Г. Крылов, А. Ю. Горелова. – Заявл. 16.11.2011; Опубл. 27.10.2013.
 21. *Дубинин А. Д.* Трение и износ в деталях машин. – М.: Машгиз, 1952. – 121 с.
 22. *Коробов Ю. М.* Исследование процесса чистового точения и сопровождающих его термоэлектрических явлений: Дис. ... канд. техн. наук. – Ленинград, 1965.
 23. *Епифанов Г. И., Плетнева И. Л., Ребиндер П. А.* О механизме действия активных сред при резании металлов // Докл. АН СССР, Новая серия. – 1954. – 97, № 2. – С. 56–62.
 24. *Лысов Б. Н.* Исследование электрических явлений, сопровождающих процесс шлифования, и пути их использования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1972. – 17 с.
 25. *А. с. 211350 СССР, В24В01/04.* Способ определения величины съема припуска / Б. Н. Лысов, А. Д. Шереметьев. – Опубл. 08.02.68, Бюл. № 7.
 26. *Лёб Л.* Статическая электризация. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 408 с.
 27. *Шор Г. И., Лапин В. П.* О проявлении электрического поля в процессе применения смазочных масел // Электрические явления при трении и резании металлов / Под ред. М. М. Хрушова, В. А. Бобровского. – М.: Наука, 1969. – С. 108–115.
 28. *Лаврінченко В. І., Ситник Б. В., Девіцький О. А.* Дослідження зміни напруженості електростатичного поля при шліфуванні // Високі технології в машинобудуванні: Зб. наук. праць НТУ «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2008. – С. 215–220.
 29. *Лаврінченко В. І., Девіцький О. А., Ситник Б. В.* Електричні явища в процесах механічної обробки, їх взаємозв'язок з продуктивністю та енергоємністю оброблювання та способи ефективного застосування цих явищ // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. зб. наук. праць. – Донецьк: ДНТУ, 2009. – Вип. 38. – С. 122–126.
 30. *Лаврінченко В. І., Девіцький О. А., Ситник Б. В. и др.* Електричні явища при абразивній обробці кругами зі склопокриттям та модифікаційними домішками // Тези 9-ї Міжнар. наук.-практ. конф. «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика», Крим, м. Ялта, 21–25 вер. 2009 р. – К.: АТМУ, 2009 – С. 100–103.
 31. *Кухаренко С. А., Лаврінченко В. І., Девіцький О. А., Барановская Е. А.* Эксплуатационные свойства стеклопокрытий для порошков cBN // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ НАНУ, 2010. – Вып. 13. – С. 465–470.
 32. *Лаврінченко В. І., Девіцький О. А., Ситник Б. В. та ін.* Вплив функціональних домішок у робочому шарі кругів з НТМ та покриттів зерен на процесі електризації при шліфуванні // Процеси механічної обробки в машинобудуванні: Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – Вип. 9. – С. 92–97.
 33. *Лаврінченко В. І.* Наукові основи шліфування інструментальних матеріалів із спрямованою зміною характеристик контактних поверхонь: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – К., 2000. – 35 с.

34. Кухаренко С. А., Шило А. Е., Бондарев Е. К. Структурные превращения в смеси натрийборосиликатной и свинцовоцинкборосиликатной систем при нагреве // Сверхтв. материалы. – 2005. – № 4. – С. 47–55.
35. Лавріненко В. І., Лещук І. В., Скрябін В. О. Підхід до вибору технологічних рідин як нетрадиційного засобу неявної поляризації при алмазному шліфуванні // Там само. – 2006. – № 3. – С. 62–71.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 14.03.14