А.С. Борилко, М.А. Теслина

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭИЛ ПОКРЫТИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ВОЛЬФРАМКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВАХ

This work is devoted to investigation of scale-formation on hard alloys surfaces. By result of mass transfer kinetic and microstructure observation were offered covers for improvement of scale resistance.

Введение

На сегодняшний день наиболее часто для обработки материалов резанием используют инструмент из вольфрамсодержащих твердых сплавов. До 80% такого инструмента за рубежом выпускается с покрытиями, цель которых – повысить износостойкость и прочность инструмента. При работе твердосплавного инструмента температура в зоне резания может превышать 800°С [1]. С повышением температуры происходят нежелательные превращения, связанные с взаимодействием материала инструмента с кислородом воздуха – образование окалины, обезуглероживание поверхностного слоя. Такие отрицательные процессы вызывают необходимость в защитных мерах, предотвращающих или снижающих высокотемпературное взаимодействие твердых сплавов с кислородом. С другой стороны, при обработке твердым сплавом материалов с низкой теплопроводностью (пластмасса, древесина) теплоотвод идет в сторону крепления режущего инструмента, вследствие низкой теплопроводности сплава происходит перегрев и дальнейшее разрушение режущей кромки. В результате невозможно производить чистовую обработку и добиваться высокой степени чистоты поверхности материалов с низкой телопроводностью.

Одним из решений данной проблемы является создание окалиностойких, защитных и увеличивающих теплоотвод от режущей кромки покрытий. В связи с этим научный и практический интерес представляет исследование закономерностей формирования слоя методом электроискрового легирования (ЭИЛ) на вольфрамокобальтовых твердых сплавах с целью создать функциональные покрытия с заданными свойствами, а также разработать технологии получения функциональных (теплоотводящих, окалиностойких, жаропрочных) покрытий на твердых сплавах.

Материалы и методика

Для формирования функциональных покрытий методом ЭИЛ в качестве материала анода использовались медь, алюминий, титан, никель, хром, твердые сплавы групп ТК (Т5К10) и ТТК (GT20A производства КНР, состава TiC – 8%, TaC – 4%, Co – 8%, WC – 80%), титановый сплав марки ВТ20, нихром марки Х20Н80. Твердый сплав ВК8, содержащий 8% Co и 92% WC, использовался в качестве материала катодов.

На образцы наносили покрытия с использованием электроискровой установки «Элитрон 22А», параметры режимов согласно паспортным данным на установку приведены в табл. 1.

Таблица 1

Электрические параметры установки «Элитрон 22А»

Электрические параметры	1 режим	3 режим	6 режим
I_p, А	0,5	1,3	2,9
U_{xx}, В	20	40 – 45	88

E, Дж	0,07	0,062	1,39
$\tau_и$, мкс	200	200	200
$F_в$, Гц	100	100	100

Режимы легирования подбирали предварительно, исходя из оптимальных условий: максимального приращения массы (по кривым массопереноса), отсутствия интенсивного окисления и схватывания электродов [2, 3]. Обработка продолжалась до формирования сплошного покрытия на поверхности катода, длительность ее зависела от материала, выбранного в качестве анода.

В табл. 1 $I_р$ – рабочий ток; $U_{хх}$ – напряжение холостого хода; E –энергия импульса; $\tau_и$ – длительность импульса искрового разряда; $F_в$ – частота колебания вибратора анода.

Для исследования кинетики массопереноса использовался гравиметрический метод. Измерение массы катода и анода проводили через каждую минуту легирования с помощью весов ВЛДП-200, с точностью $\pm 2\times10^{-4}$ г. После измерений строились соответствующие графики зависимости массы электродов от продолжительности ЭИЛ. Прямое измерение массы позволяет говорить о направлении массопереноса и его эффективности.

Для металлографического исследования изготавливались косые относительно поверхности обработки образца шлифы. Исследование микроструктурных параметров образцов с покрытиями проводили с использованием оптического микроскопа «Micro-200» согласно методике, описанной в [4].

Нагрев образцов для исследования окалиностойкости осуществлялся в муфельной печи, так как в этом случае процесс аналогичен окислению в условиях работы инструмента за счет свободного доступа воздуха к образцам. Помещенные в керамические тигли образцы в течение 30 мин. выдерживались при температурах 600, 700, 800, 900 и 1000°С. До и после нагрева образцов производилось измерение их массы. При этом учитывалась площадь поверхности образцов, т.е. регистрировалось изменение массы, соответствующее единице площади [5].

Результаты и обсуждение

Согласно полученным результатам, наибольшее увеличение массы катода и эрозия анода и наблюдается при обработке на режиме с максимальной энергией в импульсе. На поверхности формируемого покрытия в этом случае образуются окисные пленки, покрытие имеет высокую шероховатость, что нежелательно, так как с увеличением шероховатости поверхности снижается коррозионная стойкость и окалиностойкость. В некоторых случаях при ЭИЛ на данном режиме невозможно было получить равномерное сплошное покрытие, поэтому обработка на 6 режиме для ряда анодных материалов не применялась. При обработке на первом режиме в большинстве случаев привес катода минимален, либо наблюдается его эрозия. Графики изменения массы анодов и катодов в зависимости от продолжительности легирования для некоторых пар электродов представлены на рис. 1. В табл. 2 приведены коэффициенты массопереноса при ЭИЛ на различных режимах.

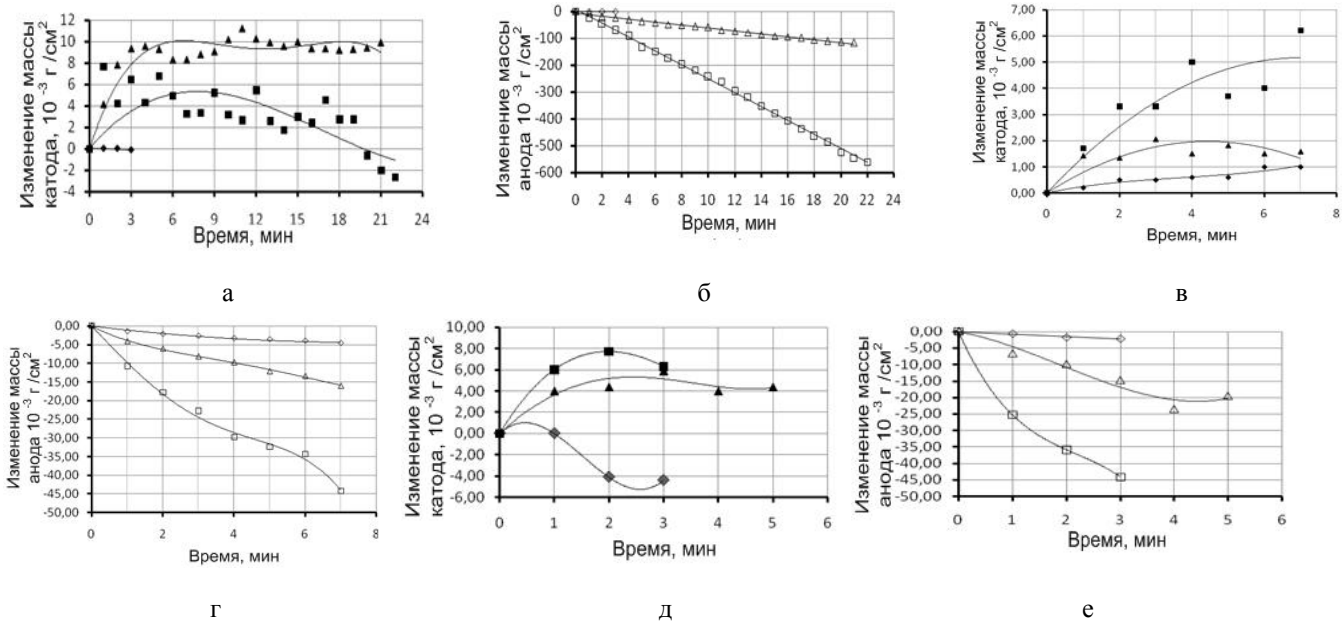


Рис. 1. Изменение массы катода и анода при формировании покрытий на твердом сплаве марки ВК8 анодами на установке «Элитрон 22А»: а, б – Cu; в, г – Ti; д, е – ВТ20; а, б, в, г, д, е – ◆/ ◇- катод / анод, ◆ – режим 1; ▲ – режим 3; ■ – режим 6.

Таблица 2

Коэффициент массопереноса при формировании покрытия на сплаве ВК8

Режим обработки	Материал анода									
	Cu	Ti	Х20Н80	ВТ20	Ni	Cr	Al	Cu+Cr**	Cu+Al**	Т30К4
1	20,0	21,7	12,5	–	25,8*	#	8,3	#	#	#
3	31,1	22,1	91,0	60,4	–	–	22,8	0,02	12,5	167,7
6	29,0	14,0	–	23,7	#	#	#	#	#	#
Примечание: * – 2 режим; «–» – эрозия катода, коэффициент отрицательный; «#» – данный режим не использовали для формирования покрытия; ** - при ЭИЛ по ранее сформированному покрытию из меди.										

При ЭИЛ анодами из титана, сплава марки Х20Н80 и ВТ20 на шестом режиме обработки формируются пористые покрытия, содержащие в структуре окисные пленки и трещины. Наибольшее количество пор наблюдается в верхней части покрытия, что обусловлено постоянным наплавлением нового материала. Общим для всех используемых в эксперименте пар электродов при ЭИЛ на шестом режиме является образование в ЗТВ на катодах трещин, которые на некотором расстоянии от поверхности соединяются друг с другом. При ЭИЛ на режиме с меньшей энергией в импульсе на катоде в ЗТВ трещин практически не образуется. В зависимости от материала анода отмечаются следующие особенности при формировании покрытия.

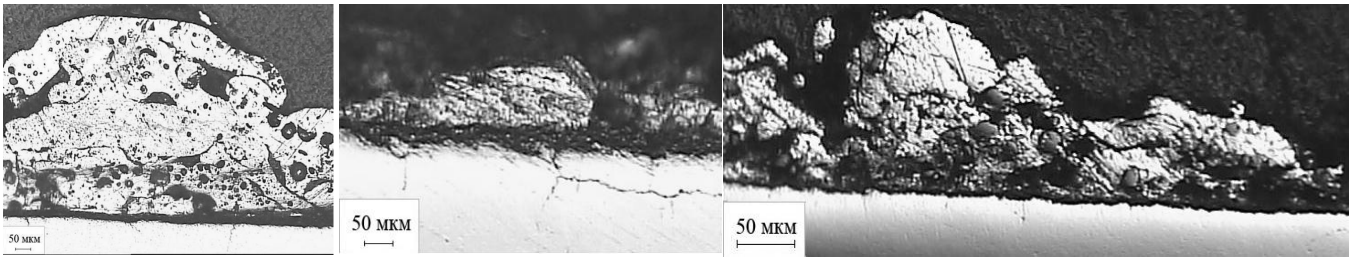
Таблица 3

Толщина покрытия полученного на твердом сплаве ВК8

Режим обработки	Материал анода				
	Cu	Ti	Х20Н80	ВТ20	Ni
1					20 (20-35)*
3	34 (30-46)	120 (75-180)	45 (17-63)	46 (42-49)	–
6	45 (28-68)	140 (70-200)	288 (280-290)	53 (42-56)	
Примечание. Среднее значение толщины мкм, в скобках указан разброс					

Никелевое покрытие, полученное электроискровой обработкой на втором режиме, содержит поры и вертикальные трещины. В нижней части покрытия имеются области, состоящие из переплавленного материала основы. Медное покрытие, полученное на третьем режиме, равномерно по толщине, содержит меньшее количество пор и трещин по сравнению с покрытием, полученном на шестом режиме ЭИЛ. Однако независимо от режима обработки в нижней части покрытия содержится переплавленный материал основы.

Микроструктура сформированных поверхностей представлена на рис. 2.



а б в

Рис. 2. Микроструктура покрытий на сплаве ВК8:
а – Х20Н80 6-й режим, 2 мин; б – медь, 6-й режим, 8 мин; в - титан 6-й режим, 14 мин.

Покрытие, полученное при ЭИЛ на третьем режиме анодом из сплава Х20Н80, не содержит окисных пленок, однако оно крайне неравномерно по толщине, имеются зоны, на которых покрытие отсутствует. Кроме того, в покрытии отмечаются вертикальные трещины до основы. Имеются две фазы; вторая создает отдельное покрытие в нижней части слоя. В связи с низким качеством поверхности принято не использовать этот материал для создания окалиностойких покрытий.

Взаимодействие подогретого твердого сплава с воздухом приводит к образованию и росту на его поверхности оксидов, которые формируются на всех гранях образца параллельно их плоскостям (рис. 3, а). Данные продукты окисления на поверхности твердого сплава хрупки и при незначительном механическом воздействии легко разрушаются. Поверхность твердого сплава при этом вновь подвергается негативному воздействию воздуха. По литературным данным

температура нагрева режущей кромки инструмента 600-1000°С, и этот интервал температур использовался для нагрева образцов с покрытием при исследовании их окалиностойкости. Внешний вид образцов с покрытиями, подвергнутых нагреву, приведен на рис. 3. Характер изменения массы образцов с покрытием в зависимости от температуры нагрева – на рис. 4.

Рис. 3. Образцы твердого сплава ВК8 с покрытиями после нагрева в течение 30 мин. при различных температурах:
а – без покрытия, 900°С; б – Т30К4, 1000°С; в – Al, 1000°С; г – Cr, 900°С.

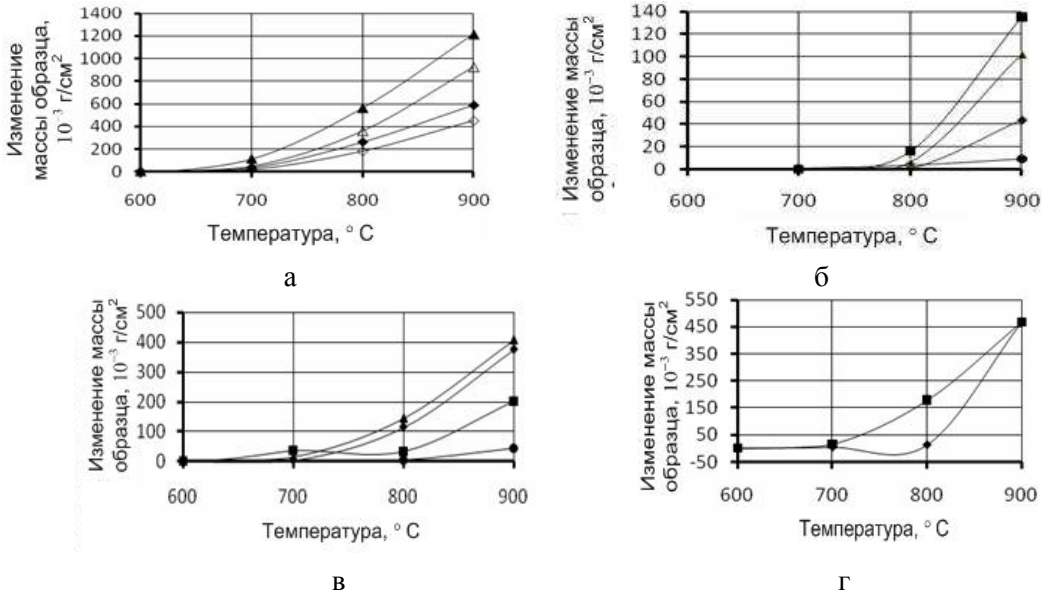


Рис. 4. Изменение массы образцов ВК8 с различными покрытиями в зависимости от температуры нагрева: а – без покрытия, ▲ – 60 мин., зачищенный; ◆ – 30 мин., зачищенный; △ – 60 мин., не зачищенный, ◇ – 30 мин., не зачищенный; б – покрытие: ● – Al, ◆ – Ti, ▲ – ВТ20, ■ – многослойное: нижний слой Cu, верхний – Al; в – ◆ – Ni, ▲ – Cu; ● –Cr; ■ – многослойное: нижний – Cu, верхний – Cr; г – ◆ – твердый сплав марки Т30К4; ■ – твердый сплав группы ТТК: GT20A.

При формировании покрытий из всех используемых материалов (кроме меди) окалиностойкость твердого сплава увеличивается по сравнению с твердым сплавом без покрытия. Предварительная механическая обработка образца твердого сплава ВК8 влияет на его окалиностойкость: после обработки она уменьшается, что связано, вероятно, с существованием на поверхности сплава защитной оксидной пленки. Практически все покрытия защищают поверхность твердого сплава от окисления при нагреве до 800°С. Дальнейшее повышение температуры приводит к значительному увеличению массы образцов. Рост массы образца при повышении температуры обусловлено двумя причинами: во-первых, активным окислением материала покрытия, а также его разрушением, с образованием окислов на участках твердого

сплава без покрытия; во-вторых, масса образца увеличивается через поры и трещины за счет образования окислов при невысокой сплошности покрытия (рис. 3, в, г).

Определено, что наименьшее увеличение массы при нагреве характерно для образцов твердого сплава с покрытиями из Al, Cr, Ti и сплава ВТ20.

Известно, что многокомпонентные сплавы менее подвержены окислению, поэтому в качестве материала для формирования окалиностойких покрытий использовали твердый сплав Т30К4 и твердый сплав группы ТТК: GT20A. Выбор в качестве легирующих электродов твердых сплавов Т30К4 и GT20A привел к тому, что при температурах до 800°С покрытия хорошо защищали сплав от окисления (рис. 4, г). Образец, полученный при ЭИЛ анодом из сплава Т30К4, обладал большей окалиностойкостью, чем из сплава GT20A.

В качестве материала для формирования теплоотводящего покрытия использовали медь. Формирование теплоотводящего покрытия из меди, без защиты его от окисления, на поверхности твердого сплава невозможно, так как медь подвержена окислению. Медное покрытие при нагреве более 400° С переходит в продукт взаимодействия с кислородом – окалину. Такое покрытие незначительно замедляет рост окислов при нагреве образцов до 800-900°С и, в конечном итоге, разрушается, а твердый сплав активно окисляется.

Для защиты медной теплоотводящей поверхности от окисления на меди были сформированы покрытия из наиболее окалиностойких материалов, в данном случае Cr и Al. При исследовании кинетики массопереноса в случае обработки катода с медным покрытием анодом из алюминия установлено: даже при видимом переносе алюминия на катод масса его уменьшается, что, по-видимому, связано с незначительным разрушением медного покрытия. При формировании покрытия из хрома такой кинетики массопереноса не выявлено при нагреве до 900°С. В этом случае активного роста продуктов окисления на поверхности не обнаружено. Однако покрытие из алюминия стало разрушаться и отслаиваться от меди. При нагреве до температуры 1000°С оно полностью разрушилось, начался процесс окисления твердого сплава. При нагреве до 1000°С медного покрытия с хромом разрушения не происходило (рис. 4).

Вывод

Согласно результатам исследований для формирования окалиностойких покрытий на твердом сплаве ВК8 рекомендуется применять хром и алюминий, для формирования теплоотводящего покрытия – медь, защищенная от окисления в результате ЭИЛ хромовым электродом, причем формирование покрытий необходимо производить до получения максимальной сплошности при использовании режима обработки с наименьшим возможным нагревом поверхности.

---

1. Третьяков В.И. Металлокерамические твердые сплавы. Физико-химические основы производства, свойства и области применения. – М: Гос. научно-техническое изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1962.

2. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. – Владивосток: Дальнаука, 1995.

3. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Изыскание новых применений электричества // Электронная обработка материалов. – Кишинев; М. – 1977. – № 5. – С. 5-19.

4. Баранова Л.В. Металлографическое травление металлов и сплавов, справочник / Л.В. Баранова, Э.Л. Демина – Владимир: Металлургия, 1986.

5. Верхотуров А.Д. Жаростойкость и коррозионная стойкость сталей после электроискрового легирования, Монография / А.Д. Верхотуров, А.В. Козырь, Т.В. Глабец . – Благовещенск: Изд-во Амурского гос. ун-та, 2009.