



The regularities of high-resistant coverings forming in surface zone of instrumental steel and hard-alloy insertions for cutting instrument at two-stage method of their production are studied. The prospect of application of the developed method for resistance increase of elements of mining and smelting equipment and internal combustion engine is determined.

В. И. САВИЧ, University of Guelph (Canada),

О. Г. ЧЕРНЕТА, А. Н. КОРОБОЧКА, Днепродзержинский государственный технический университет,

А. Б. СЫЧКОВ, Восточно-Европейский металлургический дивизион ОАО «Мечел»,

А. М. НЕСТЕРЕНКО, В. Л. ПЛЮТА, Институт черной металлургии НАН Украины,

М. А. МУРИКОВ, РУП «Белорусский металлургический завод»

УДК 621.9.025 (076)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ДВУХСТУПЕНЧАТЫМ МЕТОДОМ

Введение

Изнашивание деталей и узлов, эксплуатирующихся во многих современных агрегатах и машинах, усугубляется высокими нагрузками и температурами. В процессе изнашивания одновременно реализуются процессы металлического окисления, диффузии элементов, усталости, трения и др. Изнашивание металлических поверхностей для многих типов агрегатов и машин представляет собой серьезную проблему, для предотвращения которой предлагалось достаточно много решений. В частности, использование покрытий, таких, как TiC или TiN, для существенного увеличения продолжительности работы режущих инструментов при механической обработке является признанной и широко используемой технологией. Для получения таких покрытий обычно применяются получившие широкое признание методы их осаждения – физического PVD (physical vapour deposition) или химического CVD (chemical vapour deposition). Используемые в случае покрытия CVD более высокие по сравнению с методом PVD температуры гарантируют хорошее соединение между основанием и покрытием, но неблагоприятны в плане обезуглероживания основного металла, поскольку прочностные характеристики промежуточного слоя между покрытием и основным металлом из-за этого несколько снижаются. Принятый для методов PVD или CVD выбор высокостойкой фазы, например, карбида TiC в качестве покрытия не представляется однозначным. Известно, что карбид тантала TaC характеризуется более высокой износостойкостью (относительная износостойкость 1,50%), чем карбид TiC (0,61%), хотя его микро-

твердость, равная 16 000 МН/м², ниже таковой (30 000 МН/м²) для TiC [1]. Достаточно перспективными в плане повышенной стойкости при работе в условиях воздействия интенсивного износа и высоких температур представляются также карбиды других элементов, такие, как NbC, HfC и т. д. Однако более высокие точки плавления Ta (2996 °C) и Nb (2477 °C) по сравнению с Ti (1668 °C) препятствуют получению качественных покрытий из TaC или NbC методами PVD или CVD. Поэтому для получения покрытий из карбидов и боридов этих элементов необходимо использовать электрохимический метод [2, 3].

Проведенный в [2, 3] анализ показывает возможность электрического осаждения металлов, входящих в состав высокостойких карбидов, на металл-основу из их фторидов в расплавленной эвтектической смеси специальных солей. По существу этот способ представляет собой высокотемпературный электролиз. Осаждаемые из расплава ионы таких металлов формируют на металле-основе чрезвычайно чистое покрытие. Предлагаемый в [3] гальванический процесс позволяет формировать при высокой температуре слой «плакированного» металла, прочно соединенного с металлом-основой. Разработанный в [2, 3] метод, прежде всего, позволяет повышать прочность осажденных слоев при помощи определенных упрочняющих элементов, таких, как углерод, азот, бор или кремний, атомы которых обычно располагаются в позициях внедрения в междоузлиях или в позициях замещения в твердом растворе металла-основы. Когда температура металла-основы достаточно высокая для обеспечения термической

диффузии этих упрочняющих элементов от основного металла к слою-оболочке осажденного металла, в последней в результате фазово-структурных превращений собственно и образуются плакированные слои в виде карбидов, боридов или силицидов. В ряде работ, в частности в [4], проанализирован двухступенчатый метод получения плакированных покрытий из «чистых» металлов на металле-основе путем электрического осаждения при электролизе солевых расплавов определенных металлов с последующими операциями их науглероживания или борирования. Это обеспечивает образование высокостойких плакированных покрытий-слоев на поверхности металла-основы, характеризующихся уникальным сочетанием износостойкости, жаропрочности, высокой твердости и других свойств.

В развитие положений [4] в настоящей работе проведено исследование особенностей формирования плакированных высокостойких карбидных и боридных покрытий на инструментальной стали и твердосплавных вставках для режущего инструмента, полученных двухступенчатым методом, который включает в себя электрохимическое (электролизное) осаждение таких элементов, как Nb и Ta, на поверхность исследованных образцов с последующим науглероживанием или борированием полученных слоев этих металлов. Следует отметить, что для конкретных условий эксплуатации того или иного изделия или детали при использовании данного способа может осуществляться электролизное осаждение V, Co, W, Mo, Ti, Zr, Hf и формирование высокостойких покрытий из карбидов или боридов этих элементов на металле-основе при соответствующих операциях науглероживания или борирования. Применение разработанного метода представляется весьма перспективным для повышения стойкости широкой гаммы деталей горно-металлургического оборудования и автомобильного транспорта, что определяет собственно актуальность проведенных исследований.

Материал и методика исследования

Осаждение Nb и Ta на выбранные для исследования образцы инструментальной стали (M4 – SAE J438b) и твердосплавной (WC-Co композитный сплав) заготовки производили в соляной (эвтектическая смесь фторидов лития, калия и натрия) ванне, корпус которой был изготовлен из листового никеля. В качестве «донорных» агентов Nb и Ta в соляном расплаве использовали добавки солей этих элементов – соответственно калий гептафлуорониобат и калий гептафлуоротанталат.

В качестве анода использовали пластины Nb или Ta. Катодом служили собственно исследованные образцы инструментальной стали и твердосплавной заготовки. Температура соляной ванны – 700–900 °С. Плотность тока в процессе электролиза – 5–100 мА/см². Длительность электролиза – 0,5–3 ч. Процесс электролиза осуществлялся в защитной атмосфере аргона, давление которого несколько превышало атмосферное.

Для предотвращения образования крупных дендритов, осаждаемых Nb и Ta и повышения однородности осаждаемых слоев, процесс осаждения проводили на начальном этапе пошагово с изменением плотности тока и длительности осаждения по определенному режиму для каждого шага. Например, для осаждения Ta: 1-й шаг – 350 мА/см² (1 с); 2-й шаг – 200 мА/см² (5 с); 3-й шаг + 150 мА/см² (2 с). Последующий электролиз до получения требуемой толщины поверхностного слоя Nb и Ta осуществляли путем повторения этих шагов при увеличении длительности каждого шага от 15 мин до 2 ч.

Борирование образцов с поверхностными слоями из Nb или Ta производили в атмосфере аргона в соляной ванне, включающей безводный сплавленный солевой электролит, состоящий по крайней мере из одного металла группы щелочных галидов либо щелочноземельных галидов и солевого состава, содержащего В и С. Режимы борирования: плотность тока при электролизе 200–30 мА/см²; температура – 800 °С; длительность – 1–5 ч.

При твердофазном науглероживании исследованные образцы с покрытиями из чистых Nb или Ta заключали в контейнеры с кристаллическим порошковым графитом. Контейнеры с образцами помещали в вакуумную (остаточное давление ~10⁻⁴ торр (1,5 kPsi)) печь. Температура науглероживания составляла 1000 °С, длительность выдержки – 5 ч, длительность выдержки при последующем охлаждении до 700 °С – в пределах ~45 мин. Для нескольких серий образцов успешно опробованы варианты твердофазного науглероживания в защитной атмосфере (0–4,0% H₂ + Ar).

Газовое науглероживание образцов с покрытиями из чистых Nb или Ta, заключенных в кварцевую трубу, проводили при температуре 1000 °С в газовой смеси 0,5–2,0% CH₄ + H₂ в атмосфере CO₂. Длительность выдержки образцов при этой температуре 1–4 ч. Охлаждение образцов до температуры 700 °С после окончания выдержки при 1000 °С производили в той же атмосфере CO₂ с газовой смесью 0,5–2,0% CH₄ + H₂ течение не менее 1 ч.

Эксплуатационная стойкость полученных покрытий оценивалась при ускоренных тестовых ис-

пытаниях режущего инструмента с твердосплавными вставками, покрытыми TaC, при механической обработке резанием определенных классов деталей автомобильных двигателей. Были выбраны следующие тестовые испытания.

1. Испытания по режиму «черновой» (грубой) обработки резанием типичных деталей из серого чугуна – кронштейна крепления статора автомобилей «Форд» (чугун марки G3500 с твердостью 207–255 HB – SAE J431) и штанги крепления масляного насоса того же автомобиля (чугун марки G2500–170–229 HB – SAE J431).

2. Испытания по режиму «чистовой» (финишной) обработки резанием коленчатых валов из кованой стали G 51500 (208–302 HB – SAE J404).

В каждом случае результаты тестовых испытаний по механической обработке резанием типичных деталей режущим инструментом со вставками с покрытиями TaC, полученными по разработанному двухступенчатому методу, сравнивали с результатами, полученными при механической обработке этих же деталей инструментом со вставками с обычным покрытием (Ti(C, N) + оксид алюминия + TiN-внешний слой).

Закономерности формирования структуры покрытий из «чистых» металлов (Nb и Ta) после электролитического осаждения, карбидных и боридных покрытий, а также структуры металла-основы в поверхностной зоне анализировали методами оптической и сканирующей электронной микроскопии. Для изучения фазового состава покрытий применяли рентгеноструктурный анализ. Распределение элементов в поверхностной зоне исследованных образцов осуществляли с помощью микрорентгеноспектральной энергодисперсионной приставки фирмы «Oxford Instruments» (Великобритания) к сканирующему электронному микроскопу.

Полученные результаты и их обсуждение

Электролиз фторидных солей, содержащих Nb или Ta, в проведенных в работе экспериментах производили при высокой температуре, поэтому при формировании покрытий из этих металлов диффузия их атомов осуществлялась, согласно [4], на значительное расстояние от поверхности металла-основы, предотвращая, тем самым, образование какой-либо границы раздела между сплошным слоем осажденного металла (Nb или Ta) и металлом-основой. В таких случаях говорят, что «металлический» слой Nb (Ta) металлургически прочно через бездефектный промежуточный слой с убывающей по мере удаления от поверхности концентрацией этих элементов соединен с метал-

лом-основой. Полученные с помощью методов оптической и растровой электронной микроскопии данные на примере Nb, осажденного на инструментальную сталь путем электролиза, показывают, что металлический слой Nb без всяких граничных дефектов присоединен к металлу-основе. Сформировавшаяся при высокотемпературном электролизном осаждении переходная зона между сплошным слоем Nb и инструментальной сталью, содержащая, по данным проведенного микрорентгеноспектрального анализа, примерно 84 мас.% Nb и 10% Fe, не имеет каких-либо дефектов (рис. 1) и обеспечивает высокопрочное металлургическое соединение плакированного Nb-покрытия и металла-основы. Проведенный анализ показал, что в результате развития вторичной рекристаллизации зерна Nb-покрытия при высокой температуре электролиза трансформируются в крупные образования. Для предотвращения образования крупнозернистой структуры плакированного Nb-покрытия был предусмотрен специальный пошаговый режим осаждения на начальном и последующих (до получения требуемой толщины покрытия) этапах процесса электролиза.

Во время газового науглероживания металлического Nb-покрытия на инструментальной стали между покрытием NbC и металлом-основой формируется переходная зона толщиной около 8 мкм (рис. 2), связывающая плакированный NbC-слой и основной металл. При опробованном режиме газового науглероживания, по данным рентгенодифрактометрического анализа, в карбид NbC превращается 80% Nb плакированного слоя, т. е. значительная его часть остается непревращенной.

В случае пошагового режима электролитического осаждения Ta в поверхностной зоне твердосплавной вставки формируется «металлическое» Ta-покрытие с относительно гладкой поверхностью

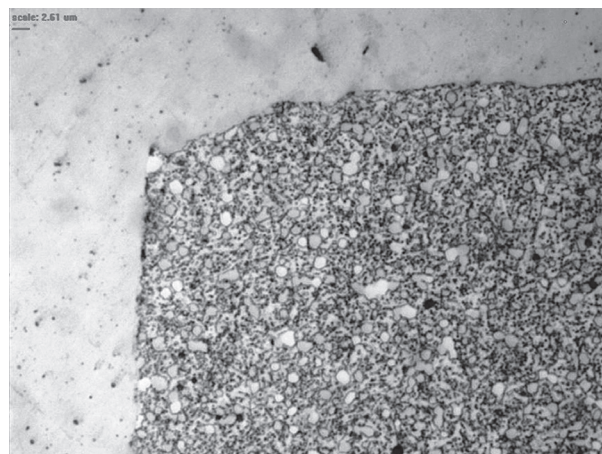


Рис. 1. Микроструктура исходного Nb-покрытия на инструментальной стали. x1000

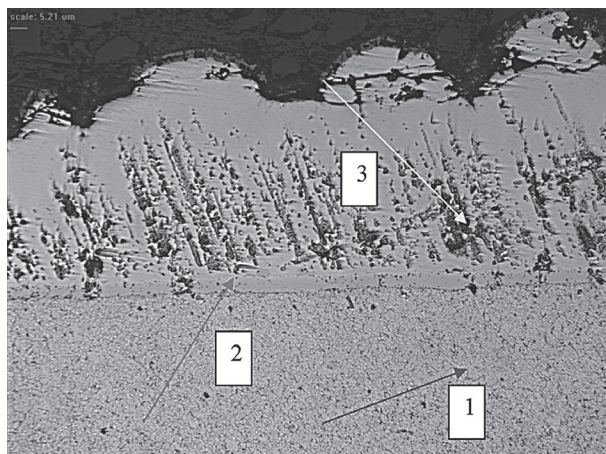
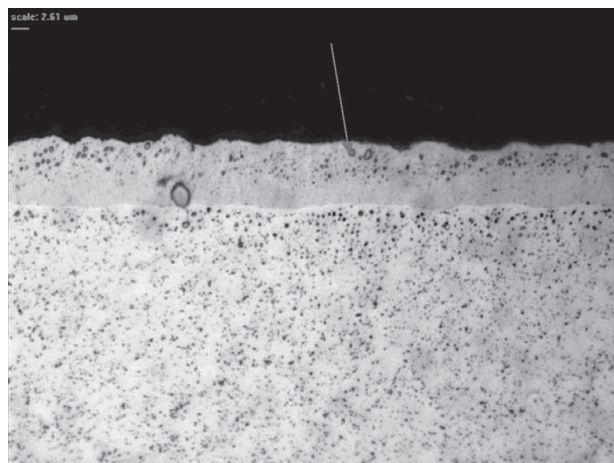


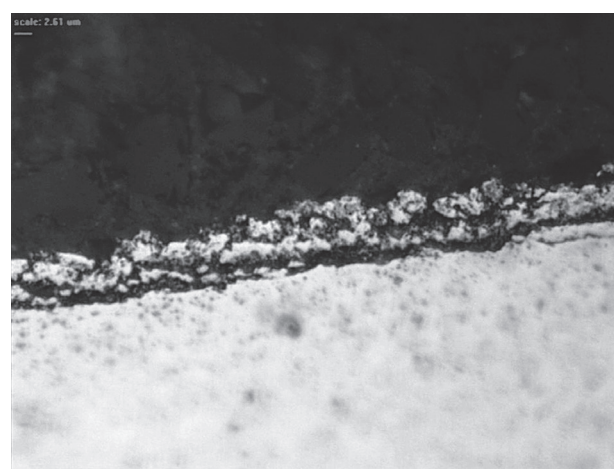
Рис. 2. Микроструктура (оптическая микроскопия) исследованного NbC-Nb-покрытия на инструментальной стали (1) и переходной зоны (2) между NbC-Nb-покрытием и основным металлом-инструментальной сталью. Стрелкой 3 указан один из типичных участков карбида NbC, образовавшийся в результате газового науглероживания. $\times 500$

(рис. 3, а). В процессе науглероживания оно трансформируется в карбидное TaC-покрытие (рис. 3, б). Это однозначно идентифицируется золотистым цветом полученного покрытия и данными рентгendifрактометрического анализа. Карбиды другого стехиометрического состава, например, типа Ta₂C с более низкой стехиометрией по углероду при опробованном режиме науглероживания не образуются. Полученный плакированный слой из карбида TaC характеризовался высокой плотностью, но его тесная связь с металлом-основой через переходной слой, как правило, при этом не осуществлялась. Из этого следует, что соединение покрытия из карбида TaC и металла-основы по типу «металлургически прочного» в данном случае не реализуется. Несмотря на это, двухступенчатый метод имеет определенные преимущества перед другими методами. Одно из них заключается в отсутствии обезуглероживания в поверхностной зоне металла-основы при осаждении слоя Ta и в предотвращении формирования хрупкой δ -фазы в результате интенсивного внешнего аутосорсинга атомов углерода как при твердофазном, так и при газовом науглероживании. Следует отметить, что обезуглероживание поверхностной зоны в случае высокотемпературных процессов, таких, как CVD или спекание высокотвердых композиционных WC-Co-вставок, снижающее прочность поверхностной зоны металла-основы, вызвано недостаточным «донорным» притоком атомов углерода в эту зону.

На рис. 4 показана типичная структура покрытия TiC, полученного газовым (CVD) осаждением, с ясно различимыми распределенными по его объему и примыкающими к его поверхности в виде



а



б

Рис. 3. Микроструктура металлического Ta-покрытия, осажденного путем электролиза на поверхность твердосплавного инструмента (а) и TaC-покрытия, полученного путем газового науглероживания (б). Темные точки (а) в осажденном слое Ta вызваны кислотным «растворением» (при препарировании шлифа для анализа) микропор, образующихся при его осаждении. $\times 1000$

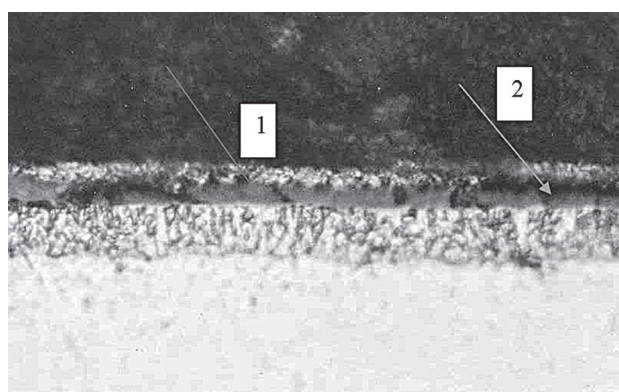


Рис. 4. Микроструктура TiC-покрытия, полученного CVD-методом, особенностью структуры которого является вызванное процессами локального обезуглероживания образование в его поверхностной зоне хрупкой δ -фазы (1) в виде отдельных включений и микрополос. Стрелкой 2 указана одна из трещин, образовавшихся в приповерхностной микрополосе этой фазы из-за ее высокой хрупкости. $\times 1000$

полосок из кристаллов хрупкой δ -фазы, местами разрушенных.

Ускоренные испытания режущего инструмента со вставками с TaC-покрытием, полученным путем газового науглероживания, при тестировании по режиму грубой (черновой) обработки характеризовались низкой стойкостью – 25 и 50% соответственно от стойкости стандартного инструмента для деталей крепления статора и масляного насоса (режимы 1 и 2 черновой обработки). Для второго теста – финишной (тонкой) обработки коленчатого вала (режим 3) инструмент с опытными вставками, полученными газовым науглероживанием, имел такую же низкую стойкость – 50% от стойкости стандартного инструмента. Пониженная стойкость инструмента с покрытием TaC при операциях грубой механической обработки деталей, характеризующаяся высокими усилиями резания, связана, как показал проведенный анализ, с их повышенной хрупкостью. В то же время режущий инструмент из твердосплавных вставок с покрытием TaC, полученным твердофазным науглероживанием, показал стойкость, равную 128% от стойкости стандартного инструмента. Следовательно, применение режущего инструмента со вставками с TaC-покрытием перспективно для операций финишной обработки деталей, где усилия резания ниже.

Проведенная в составе данного исследования серия экспериментов позволила установить, что разработанный метод обеспечивает высокое качество также и боридных покрытий NbB и TaB на инструментальной стали и твердосплавных вставках для режущего инструмента.

Сопоставительный анализ разработанного метода с известными, широко используемыми методами CVD и PVD, а также с так называемым термодиффузионным методом TD [5], показал следующее. Методы CVD и PVD, как указывалось выше, применяются уже много лет и характеризуются достаточно высокой производительностью. Они позволяют получать покрытия с очень гладкой поверхностью и контролируемой толщиной. Высокая температура осаждения в случае метода CVD гарантирует хорошее соединение между покрытием и металлом-основой, но при этом может наблюдаться обезуглероживание поверхности металла-основы [4]. Метод PVD осуществляется при достаточно низкой (<500 °C) температуре, поэтому обезуглероживание поверхности металла-основы полностью предотвращается. Однако метод PVD не обеспечивает получение высокопрочного металлургического соединения покрытия и металла-основы через промежуточную зону. Причина этого состоит в том, что в случае метода PVD плакиро-

ванный карбидный слой образуется непосредственно на поверхности металла-основы, в котором углерод и легирующие элементы уже связаны в карбидных и других фазах, поэтому взаимная диффузия элементов в зоне контакта покрытия с металлом-основой не осуществляется. В то же время метод TD обеспечивает развитие диффузии между покрытием и металлом-основой [5]. TD-процесс осуществляется путем погружения образцов (деталей) в соляную ванну при температуре 870–1037 °C и последующей выдержке в течение 1–8 ч. Тогда «металлические» составляющие карбидной фазы, содержащиеся в соляном расплаве в виде ионов, комбинируются с углеродом, содержащимся в инструментальной стали. Карбидные слои при этом формируются в результате диффузии в поверхностной зоне металла-основы и на некотором удалении от нее. Экспериментальные результаты доказывают, что карбидные покрытия, полученные методом TD, характеризуются более высоким сцеплением с металлом-основой, чем покрытия, полученные методами CVD и PVD. С другой стороны, в случае метода TD направленная диффузия углерода от металла-основы вызывает частичное обезуглероживание его поверхности, что снижает прочность соединения покрытия с основным металлом. В случае твердосплавных вставок обезуглероживание приводит к формированию в их поверхностной зоне η -фазы со стехиометрией вида $(Co_6W_6)C$ и $(Co_3W_3)C$, характеризующейся пониженными характеристиками твердости по сравнению с WC [1]. Разработанный двухступенчатый метод обеспечивает не только более хорошее металлургическое соединение, но и вследствие непрерывного внешнего аутсорсинга атомов углерода в отличие от метода TD предотвращает обезуглероживание поверхности металла-основы и образование η -фазы. Карбидные покрытия, полученные настоящим методом, являются плотными и непористыми, потому что интенсивная диффузия «внешнего» углерода в металлический слой покрытия и переходную зону в процессе науглероживания обеспечивает образование карбидной фазы по всему объему покрытия и расширяет его ареал в сторону металла-основы. Кроме того, в случае применения разработанного метода предотвращается присущая методу TD повышенная вероятность образования пор в прилегающем к переходной зоне в «основном» металле, возникающих в результате массивного оттока атомов углерода из металла-основы в покрытие.

Одним из значительных недостатков TD-метода по сравнению с методами PVD и CVD являются затруднения, связанные с осуществлением целена-

правленного контроля толщины и качества поверхности карбидных покрытий. Поэтому, помимо тщательной регулировки параметров процесса электролитического осаждения, в методе TD предусмотрено выполнение последующей ручной очистки получаемого карбидного покрытия от солевых поверхностных образований и последующей полировки. В случае разработанного двухступенчатого метода гладкая поверхность карбидного покрытия требуемой толщины и другие показатели его качества гарантированно обеспечиваются путем описанного выше пошагового регулирования электрохимического осаждения слоев на первом этапе этого процесса, а также путем введения в соляную ванну при электролизе специальной добавки. Толщина покрытия регулируется путем тщательного контроля длительности осаждения карбидообразующих элементов при электролизе. Кроме того, для экстраординарных случаев, связанных с нарушением технологии процесса («элементное истощение электролитов», неконтролируемые изменения режимов осаждения и др.), когда поверхность покрытия, полученного разработанным двухступенчатым методом, является некачественной (грубой), в разработанном методе предусмотрена операция электролитической полировки осажденного при электролизе металлического покрытия. По сравнению с операцией ручной полировки уже готового карбидного покрытия в методе TD электролитическая полировка металлических покрытий образцов (деталей) из карбидообразующих элементов в разработанном методе имеет очевидные преимущества в плане снижения материальных и временных издержек.

Как показано выше, применение твердосплавных вставок, покрытых плакированным слоем карбида TaC по разработанному методу, перспективно для режущего инструмента, используемого при операциях чистовой (финишной) обработки деталей определенных групп. Низкая стойкость инструмента с покрытием TaC, полученным с помощью разработанного метода, при операции грубой механической обработки резанием, т. е. при более высокой удельной нагрузке, вызвана повышенной хрупкостью этого покрытия. В современных технологиях получения покрытий используются комбинированные покрытия с двойными или даже несколькими подслоями карбидных и других фаз для обеспечения более высоких служебных свойств и, в частности, для предотвращения их хрупкого разрушения. Так, комбинация карбидов TaC, TiC с оксидом алюминия (и, возможно, с другими соединениями и сплавами) может обеспечить получение очень твердых и химически устойчивых покрытий,

не склонных к трещинообразованию даже при значительных нагрузках. Представляется целесообразной, например, комбинация покрытия TiN, достаточно прочно связанного с металлом-основой, с более высоким по твердости «упрочняющим» покрытием TaC и защитным (в плане препятствия окислению при высоких температурах) слоем оксида алюминия на внешней поверхности. В связи с этим одной из основных тенденций дальнейших исследований по разработанному двухступенчатому методу является получение комбинированных плакированных покрытий с высоким комплексом служебных свойств и качественной гладкой поверхностью.

Проведенный анализ показал, что применение разработанного метода, помимо инструментальных сталей и режущего инструмента, имеет значительную перспективу для повышения эксплуатационных характеристик сменных деталей оборудования горно-металлургического комплекса и деталей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) автомобильного транспорта.

В последние годы в барабанных мельницах для измельчения железорудного сырья начали применяться комбинированные резинометаллические футеровки [6]. Использование разработанного метода для поверхностного упрочнения металлических вставок (износостойкие стали и чугуны) резинометаллических футеровок позволит значительно повысить сопротивление абразивно-ударно-коррозионному износу и увеличить, тем самым, срок службы таких футеровок и других резинометаллических сменных деталей оборудования горно-металлургического комплекса.

Проблема износа валков и проводящей арматуры прокатных станов [7, 8] остается острой и в настоящее время. В связи с этим применение разработанного метода, например, для упрочнения рабочих поверхностей валков обжимных и сортовых станов, эксплуатирующихся при высоких температурах и высоких удельных нагрузках, в сочетании с традиционными методами наплавки сможет внести свой вклад в решение этой проблемы.

Традиционно для целого ряда деталей ДВС (коленчатые и распределительные валы, поршневые гильзы, пальцы, клапаны, гильзы цилиндров, коромысла, толкатели и др.) с целью повышения износостойкости их рабочих поверхностей используются различные методы газового и твердофазного науглероживания, азотирования, цианирования в сочетании с термической обработкой, а в ряде случаев, например, в сочетании с еще и дополнительным лазерным оплавлением [9]. Учитывая необходимость повышения эксплуатационного ре-

сурса, прецизионной точности по толщине упрочненного слоя-покрытия для рабочих поверхностей, высокой вязкости и стойкости к трещинообразованию металла-основы деталей ДВС, использование разработанного метода в этой сфере представляется особо перспективным.

Выводы

Проведенные исследования формирования высокостойких покрытий в поверхностной зоне инструментальной стали и твердосплавных вставок для режущего инструмента при различных режимах их получения разработанным двухступенчатым методом и анализ перспективы его использования позволили сделать следующие выводы.

1. Установлено, что формирование плакированных слоев из высокостойких карбидных (боридных) фаз в поверхностной зоне исследованных образцов определяется внешним аутсорсингом атомов углерода (бора), а не их массивированной диффузией из металла-основы.

2. Определено, что полученные этим методом карбидные (боридные) покрытия характеризуются высокой удельной плотностью (отсутствием пор, других дефектов) и прочностью металлургического соединения с металлом-основой.

3. Показано, что интенсивный внешний аутсорсинг атомов углерода (бора) предотвращает обезуглероживание поверхностной зоны исследованных материалов – инструментальной стали и твердосплавных вставок для режущего инструмента.

4. Установлено, что требуемая толщина и высокое качество поверхности покрытия в разработанном методе обеспечиваются контролируемыми режимами электрохимического осаждения, в том числе на начальной стадии процесса.

5. Определено, что перспективным направлением использования разработанного метода является упрочнение рабочих поверхностей сменных деталей горно-металлургического оборудования, валков и проводящей арматуры обжимных и прокатных станков, деталей двигателей внутреннего сгорания.

Литература

1. Тугоплавкие соединения: Справ. / Г. В. Самсонов, И. М. Виноцкий. М.: Металлургия, 1976.
2. Merle E. Sibert, John T. Burwull. Electrolytic cladding process: U. S. Pat. 2,828,251. Patented March 25. 1958. Application Sept. 30. 1953. Serial № 383, 401.
3. Morris A. Steinberg, Robert G. Mc. Allen. Production of hard surfaces on base metals: U. S. Pat. 2,950,233. Patented Aug. 23. 1960. Filed Apr. 29. 1954. Serial № 429,553.
4. S a v i c h W. Deposition and thermal diffusion of borides and carbides of refractory metals: U. S. Pat. 6,458,218 B1. Patented Okt. 1. 2002. Application № 09/759,299. Filed Jan. 16. 2001.
5. TD Tool Coating Process Extends Die Life Rework By More than Six Fold for Athletic Locker Manufacturer, List Industries // Modern Application News, July 2003.
6. Левченко Г. В., Нестеренко А. М., Плюта В. Л., Свистельник О. Я. Комбинированные износостойкие детали для сменного горно-металлургического оборудования // Черная металлургия. М.: ОАО «Черметинформация», 2010. Вып. 5. С. 27–30.
7. Эксплуатация валков обжимных и сортовых станков / Н. М. Воронцов, В. Т. Жадан, В. Я. Шнееров и др. М.: Металлургия, 1973.
8. Северденко В. П., Бахтинов Ю. Б., Бахтинов В. Б. Валки для профильного проката. М.: Металлургия, 1979.
9. Чернета О. Г., Коробочка О. М. Ефективні матеріали та покриття при виготовленні і відновленні деталей автомобілів // Навч. посібник. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008.