Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты). 2020 Том 22 № 1 с. 54–64
ISSN: 1994-6309 (print) / 2541-819X (online)
DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-54-64

Обработка металлов
(технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

Влияние нанесения диффузионных титановых покрытий из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на механические свойства режущего твердосплавного инструмента

Эдуард Бобылёв [a, *], *Наталья Клокова* [b]

Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия

[a] https://orcid.org/0000-0001-7754-1807, ebobylev@mail.ru; [b] https://orcid.org/0000-0001-5781-7829, msat_kubgtu@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.793.5

История статьи:
Поступила: 07 декабря 2019
Рецензирование: 19 декабря 2019
Принята к печати: 30 января 2020
Доступно онлайн: 15 марта 2020

Ключевые слова:
Режущий твердосплавной инструмент
Диффузионные титановые покрытия
Стойкость инструмента
Механические свойства
Карбид титана

Финансирование
Исследования выполнены по гранту, предоставленному Российским Фондом фундаментальных исследований, договор № 18-38-00382.

АННОТАЦИЯ

Введение. Одним из наиболее распространенных способов улучшения эксплуатационных характеристик режущего твердосплавного инструмента является нанесение на его поверхность функциональных покрытий. При этом широкое распространение получили покрытия на основе карбида титана TiC. Достаточно высокий научный и практический интерес с точки зрения формирования функциональных покрытий представляет технология диффузионной металлизации режущих инструментов, изготовленных из твердых сплавов, в расплавах Pb-Bi-Li-Ti, позволяющая многократно повысить их стойкость. Однако влияние функциональных покрытий на основе карбида титана TiC на механические свойства твердых сплавов описано недостаточно полно. **Цель работы:** анализ влияния диффузионного насыщения режущего твердосплавного инструмента в среде Pb-Bi-Li-Ti на их механические характеристики. **Методами исследования** являлись испытания на макро- и микротвердость, исследования предела прочности при изгибе, ударной вязкости и вязкости разрушения. **Результаты и обсуждение.** Выявлено, что сформировавшиеся функциональные диффузионные слои влияют на механические характеристики покрытых инструментов. При этом основное влияние на механические свойства покрытых изделий оказывала температура диффузионного насыщения и его длительность. При формировании диффузионных слоев толщиной до 5 мкм для сплавов группы ВК предел прочности при изгибе, ударная вязкость и вязкость разрушения плавно возрастают, при дальнейшем увеличении толщины происходит снижение вышеуказанных характеристик, для сплавов типа ТК толщина составляет 4 мкм. Было выявлено, что нанесение диффузионных титановых покрытий способно увеличить такие механические характеристики твердосплавного инструмента, как твердость (до 91 HRA), предел прочности при изгибе (для сплавов ТК – 1380 МПа, для сплавов ВК – 1875 МПа), ударную вязкость (для сплавов ТК – 2,99 кДж/м^2, для сплавов ВК – 5,97 кДж/м^2) и вязкость разрушения (для сплавов ТК – 7,65 МПа, для сплавов ВК – 11,9 МПа).

Для цитирования: *Бобылёв Э.Э., Клокова Н.Л.* Влияние нанесения диффузионных титановых покрытий из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на механические свойства режущего твердосплавного инструмента // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. –Т. 22, № 1. – С. 54–64. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-54-64.

Введение

При обработке металлов резанием наиболее широкое распространение получили режущие инструменты, изготовленные из порошковых твердых сплавов типа ТК и ВК. Такие материалы обладают высокой твердостью, износостойкостью, теплостойкостью, что обеспечивает им высокую производительность процесса резания. Как известно, наибольшее влияние на свойства материалов оказывает состояние их поверхностного слоя, при этом свойства могут изменяться в широком диапазоне за счет нанесения покрытий на поверхность материала. Наиболее значимой отличительной особенностью режущего инструмента является его износостойкость, поэтому наибольшее применение по отношению к режущему инструменту находят износостойкие покрытия [1–10].

***Адрес для переписки**
Бобылёв Эдуард Эдуардович, старший преподаватель
Кубанский государственный технологический университет,
ул. Московская, 2,
350072, г. Краснодар, Россия
Тел: +7-918-975-8933; **e-mail:** ebobylev@mail.ru

Увеличению износостойкости режущего инструмента способствуют покрытия на основе таких химических соединений, как карбиды, нитриды, бориды, главной особенностью которых является высокая микротвердость и высокая температурная стабильность [3–7]. При этом наиболее распространенными элементами для нанесения покрытий являются хром, титан, кремний, вольфрам и т. д. При этом карбид титана TiC представляет существенный интерес, поскольку он обладает высокой микротвердостью – до 32 000 МПа и высокой термической стабильностью [8–14]. Современные технологические способы повышения свойств инструментов за счет нанесения покрытий можно разбить на три группы: химическое осаждение элементов покрытий (CVD), физическое осаждение элементов покрытий (PVD) и химико-термическая обработка [1–2, 6–7, 8–15].

Диффузионное насыщение твердых сплавов титаном в расплавах Pb-Bi-Li-Ti является перспективной упрочняющей технологией в связи с возможностью получения покрытий на основе карбида титана TiC, представляющих собой диффузионно-насыщенные слои, что является преимуществом с точки зрения качества покрытий по сравнению с покрытиями, получаемыми методами PVD и CVD [16–18].

Известны работы, направленные на изучение механических свойств деталей, изготовленных из сталей и твердых сплавов, на поверхность которых было нанесено покрытие из карбида титана при помощи технологий PVD и CVD [9, 10, 13, 14]. Однако в настоящее время не существует данных о влиянии диффузионного титанирования в расплавах Pb-Bi-Li-Ti на механические свойства твердосплавного режущего инструмента. Нет зависимостей, описывающих влияние таких характеристик покрытия, как толщина и микротвердость, на механические свойства покрытого изделия, также отсутствуют данные о влиянии на механические свойства таких технологических параметров, как температура диффузионного насыщения и длительность.

***Цель работы*:** анализ влияния диффузионного насыщения режущего твердосплавного инструмента в среде Pb-Bi-Li-Ti на их механические характеристики.

Методика исследований

Диффузионное насыщение проводилось по разработанной и запатентованной технологии [20, 21]. Важно отметить, что при диффузионном насыщении по выбранной технологии деталь обрабатывается в несколько стадий: предварительная высокотемпературная цементация, диффузионное насыщение, термическая обработка.

Диффузионному насыщению подвергались образцы из твердых сплавов ТК и ВК, подготовленные по ГОСТ 20019–74, размерами 35×5×5 мм.

При диффузионном насыщении в расплавах покрываемые изделия погружаются в расплав, являющийся реакционно-транспортной средой. Расплав Pb-Bi-Li имеет эвтектический состав, в который в количестве до 5 % добавлялся титан. Расплав нагревают до необходимой температуры, затем в него погружаются покрываемые образцы. Образцы находятся в расплаве от 10 мин до 5 ч в изотремическом режиме. За это время элементы покрытия диффундируют в поверхностный слой изделия, легируют их и образуют диффузионное покрытие [16–19]. Технология диффузионного насыщения в расплавах Pb-Bi-Li-Ti основана на явлении изотермического переноса масс. Так, элемент-диффузант (в данном случае титан), находясь в расплаве, диффундирует к поверхности покрываемого изделия и образует в поверхностных слоях карбид титана TiC [16–19].

Перед процессом диффузионного насыщения изделия подвергались кратковременной высокотемпературной цементации в вакууме. Цементация служит для исключения явления декарбидизации слоя материала-основы под покрытием. Явление декарбидизации ухудшает механические характеристики покрытых изделий за счет появления зоны под покрытием, отличающейся пониженной твердостью. Цементация проводилась в пропан-бутановой смеси.

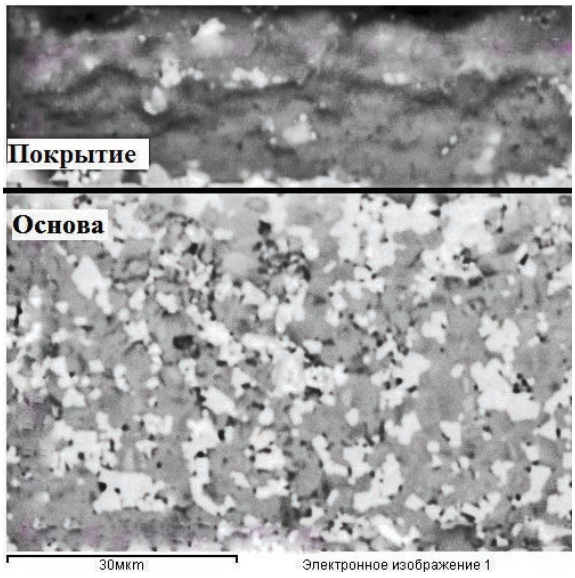
Нанесение покрытий осуществлялось в разработанной и запатентованной установке для диффузионного насыщения [16–19]. Особенность установки состоит в том, что она позволяет проводить обработку в открытой ванне, а также совмещать процесс диффузионного насыщения с термической обработкой.

Исследование механических свойств твердых сплавов с покрытиями и без покрытий осуществлялось по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТов.

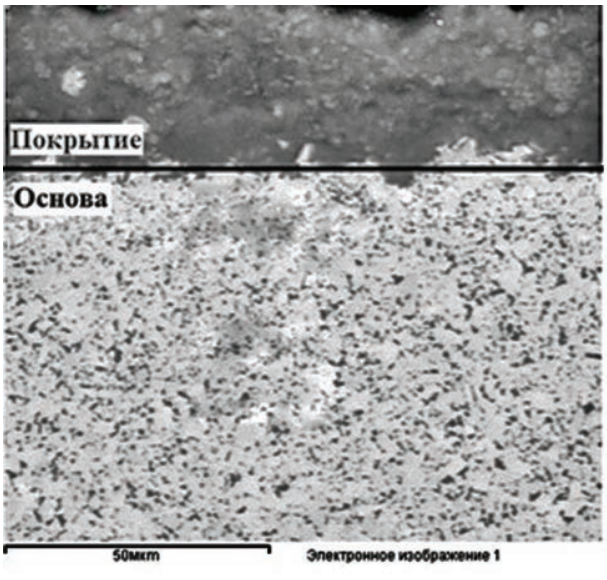
В ходе исследования измерялась твердость пластин по методу Роквелла. Твердость определялась на твердомере ТК-2М по шкале «А». Металлографические исследования проводились на косых микрошлифах. Измерялась также микротвердость структурных составляющих поверхностного слоя. Микротвердость определялась по методу Виккерса на микротвердомере EmcoTest DuraScan80 при нагружении до 0,49 Н. Производилась серия из трех этапов измерений, после чего строился график изменения микротвердости.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования было выявлено, что вследствие диффузионного насыщения титаном твердых сплавов типа ТК и ВК из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на их поверхности формируются износостойкие покрытия на основе карбида титана TiC. На рис. 1 представлены микрофотографии твердых сплавов Т15К6 и ВК8 с нанесенным на их поверхность покрытием. На кинетику диффузионного переноса масс влияет состав поверхностного слоя покрываемого изделия и его матрицы. Поэтому условно покрытие можно рассматривать, как состоящее из двух слоев: поверхностного (3…6 мкм) и переходного (до 20 мкм). Поверхностный слой образуется вследствие взаимной диффузии углерода из цементованного слоя в титан и характеризуется высоким содержанием карбида титана TiC. При этом при возрастании температуры микротвердость увеличивается за счет повышения содержания в поверхностном слое карбидов титана TiC [16, 18]. Массоперенос в переходной зоне характеризуется наличием в матрице карбидов титана TiC, вольфрама WC, кобальта Co и их диффузионных параметров. Таким образом, формирование переходного слоя протекает за счет взаимной диффузии между элементами покрытия и элементами покрываемого материала. Очевидно, что на микроструктурах выделить переходную зону невозможно. Подробнее кинетика формирования покрытия, а также элементный и фазовый состав рассмотрены в работе [16]. При этом основной упрочняющий эффект достигается на стадии диффузионного насыщения, поскольку при предварительной цементации кобальтовая связка, вступающая во взаимодействие с углеродом, способствует образованию карбида кобальта Co_2C, обладающего намного меньшей



а



б

Рис. 1. Диффузионное титановое покрытие на твердом сплаве:
а – Т15К6; *б* – ВК8

Fig. 1. Diffusion titanium coating on hard alloy:
а – 79 %WC–15 %TiC–6%Co; *б* – 92 %WC–8 %Co

твердостью, чем карбиды TiC и WC, из которых состоит твердый сплав [16, 18].

Было выявлено, что нанесение диффузионных титановых покрытий существенно влияет на износостойкость покрытый твердых сплавов. При этом износостойкость инструмента с покрытием зависит от его макротвердости, микротвердости нанесенного на его поверхность покрытия, толщины покрытия. Вышеперечисленные характеристики диффузионных титановых покрытий способны существенно увеличить эксплуатационные свойства режущего твердосплавного инструмента, при этом они зависят от режимов нанесения покрытий – температуры процесса диффузионного насыщения и его длительности. Твердость пластин после диффузионного насыщения может увеличиваться до 91 HRA, твердость пластин до диффузионного насыщения составляла не более 90 HRA (рис. 2). При этом микротвердость пластин после диффузионного насыщения достигает 30 000 МПа, микротвердость твердого сплава Т15К6 без покрытия составляет 18 600 МПа, ВК8 – 16 400 МПа. Подробно влияние покрытий на структуру, микротвердость, элементный и фазовый состав поверхностных слоев инструментов описано в работах [16, 18].

Установлено, что нанесение диффузионных титановых покрытий на поверхность твердосплавного режущего инструмента влияет на свойства материала как при статическом, так и при динамическом нагружении.

Изменение механических характеристик покрытого материала обеспечивается за счет формирования на его поверхности покрытия на основе карбида титана TiC.

Нанесение диффузионных титановых покрытий способствует увеличению прочности при изгибе твердосплавного инструмента. При этом для сплава ВК8 до диффузионного насыщения предел прочности при изгибе составлял 1630 МПа, после диффузионного насыщения наблюдается увеличение предела прочности при изгибе до 1875 МПа, для сплава Т15К6 до диффузионного насыщения предел прочности составлял 1200 МПа, после диффузионного насыщения произошло его увеличение до 1380 МПа.

На свойства покрытого материала влияет структурно-фазовый состав нанесенного на его поверхность покрытия, который зависит от режимов нанесения покрытия. Однако слишком большое содержание карбида титана TiC в покрытии способно снизить механические свойства материала за счет увеличения хрупкости. Диффузионное насыщение сплавов типа ТК, обладающих большей твердостью, чем сплавы ВК, при повышенных температурах приводит к снижению механических характеристик. Так, повышение температуры диффузионного насыщения сплава ВК8 до 1100 °С, напротив, способствует увеличению прочности на изгиб до 1875 МПа. При дальнейшем возрастании температуры наблюдается резкое снижение предела прочности на изгиб. При насыщении сплава Т15К6 наи-

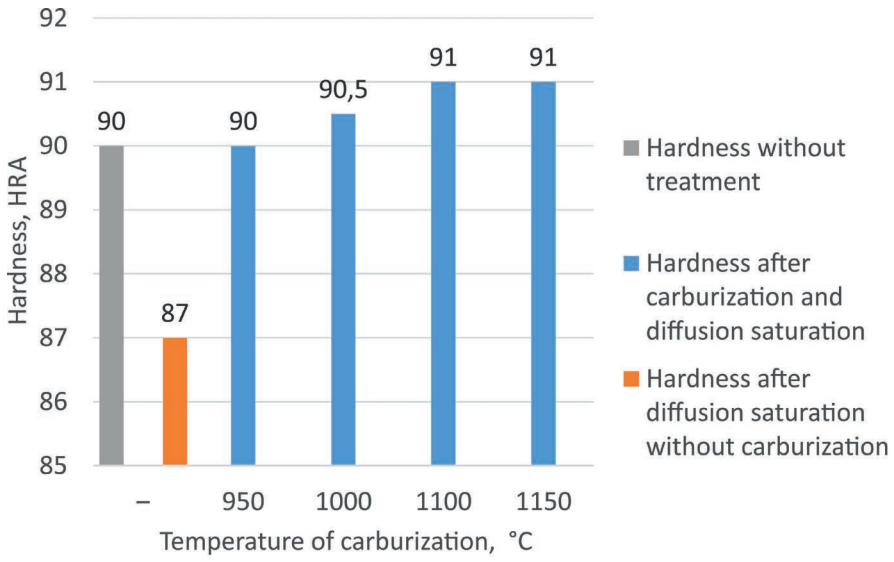


Рис. 2. Твердость пластин после диффузионного насыщения

Fig. 2. Hardness of plates after diffusion saturation

большее увеличение предела прочности на изгиб наблюдается при температуре 1000 °С и составляет 1380 МПа. Зависимость предела прочности на изгиб от температуры нанесения покрытия представлена на рис. 3.

В ходе исследований установлено, что толщина поверхностного слоя покрытия, содержащая наибольшее количество карбидов, оказывает значительное влияние на предел прочности при изгибе. Стоит отметить, что толщина покрытия на сплавах ТК и ВК влияет на их прочностные свойства по-разному. Для исследования влияния толщины покрытия на предел прочности при изгибе диффузионное насыщение сплавов типа ТК происходило при температуре 1000 °С, для сплава типа ВК при температуре 1100 °С. Для сплавов типа ВК наибольшее увеличение предела прочности обеспечивается при формировании покрытий толщиной 5 мкм, значение предела прочности составляет 1875 Мпа. Для сплавов ТК наибольшее увеличение предела прочности наблюдается при формировании покрытия толщиной 4 мкм, при прочности на изгибе составляет 1380 МПа. В случае формирования покрытия большей толщины наблюдается снижение значений предела прочности. Это объясняется тем, что покрытие формируется на основе карбида титана TiC [16], обладающего высокой хрупкостью. При этом при увеличении толщины покрытия происходит возрастание дефектов структуры материала, что также снижает механические свойства покрытого изделия. Зависимость предела прочности при изгибе от толщины покрытия представлена на рис. 4.

Диффузионное насыщение твердых сплавов в среде Pb-Bi-Li-Ti также влияет на динамические прочностные характеристики твердых сплавов, в частности, на ударную вязкость и трещиностойкость.

Ударная вязкость сплава ВК8 без покрытия составляет 5,69 кДж/м^2, у сплава Т15К6 ударная вязкость составляет 2,84 кДж/м^2. Формирующийся вследствие диффузионного насыщения диффузионный слой характеризуется повышенной по сравнению с материалом-основой микротвердостью, которая может достигать 30 000 МПа [16–18]. Как правило, в таком случае наблюдается снижение ударной вязкости. Однако твердый сплав, являющийся порошковым материалом, имеет на поверхности концентраторы напряжений в виде пор. В случае диффузионного насыщения наблюдается уменьшение количества пор в поверхностном слое, что способствует некоторому увеличению ударной вязкости. При этом ударная вязкость, так же как и предел прочности при изгибе, зависит от режимов диффузионного насыщения.

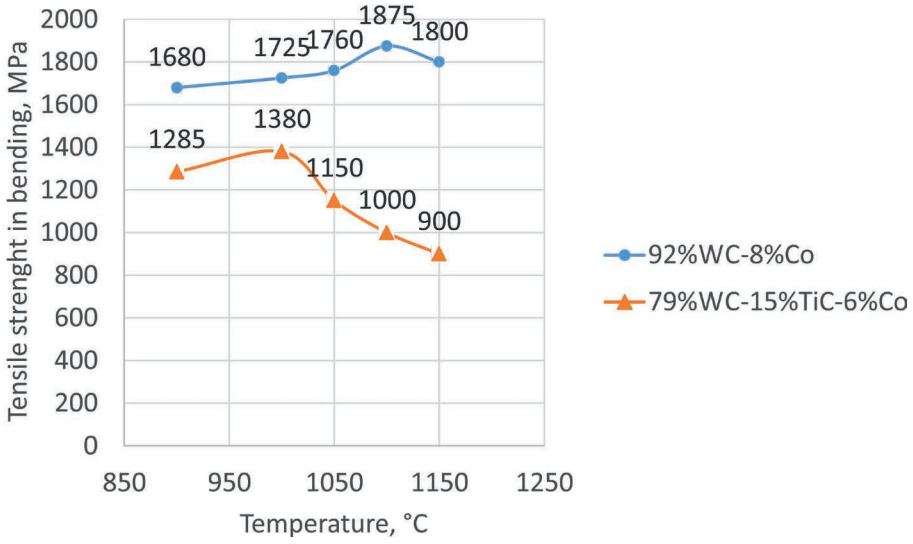


Рис. 3. Зависимость предела прочности при изгибе от температуры нанесения покрытия

Fig. 3. Dependence of tensile strength in bending on diffusion saturation temperature

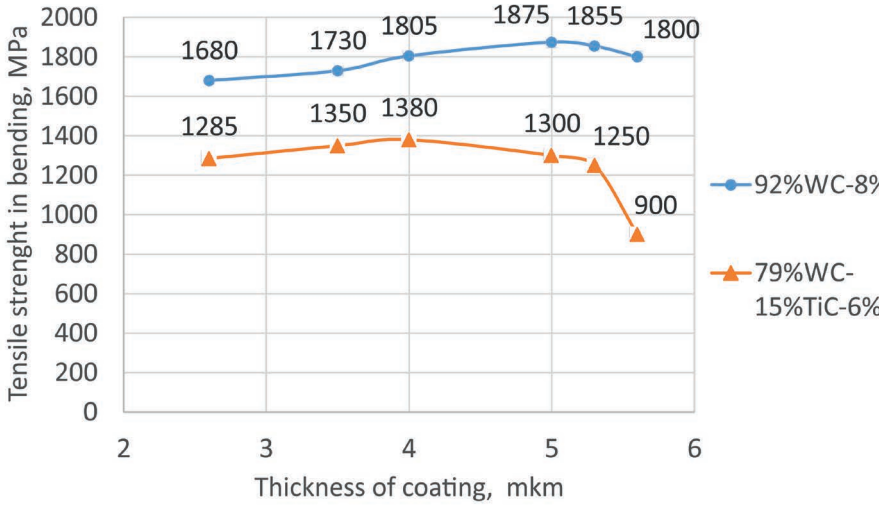


Рис. 4. Зависимость предела прочности при изгибе от толщины покрытия

Fig. 4. Dependence of tensile strength in bending on coatings thickness

Было выявлено, что ударная вязкость инструментов после диффузионного насыщения в среде Pb-Bi-Li-Ti снижается при увеличении температуры насыщения, что обусловлено увеличением количества карбида титана TiC в поверхностных слоях покрываемого изделия. Однако наибольшая эффективность процесса резания инструментом группы ВК наблюдается при нанесении покрытия при температуре около 1100 °С, инструментом группы ТК – при 1000 °С [18]. Несмотря на это при данных температурах значения ударной вязкости не максимальны. Зависимость ударной вязкости от температуры нанесения покрытия показана на рис. 5.

При анализе влияния толщины диффузионных покрытий на ударную вязкость выявлено, что увеличение толщины покрытия отрицательно влияет на ударную вязкость. Максимальные значения ударной вязкости наблюдались для сплавов группы ТК при толщине покрытия 4 мкм, для сплавов группы ВК – при 5 мкм. При дальнейшем увеличении толщины покрытий наблюдается снижение ударной вязкости, что объясняется увеличением количества дефектов структуры покрытия и влиянием хрупкого карбида титана. Зависимость ударной вязкости от толщины покрытия представлена на рис. 6.

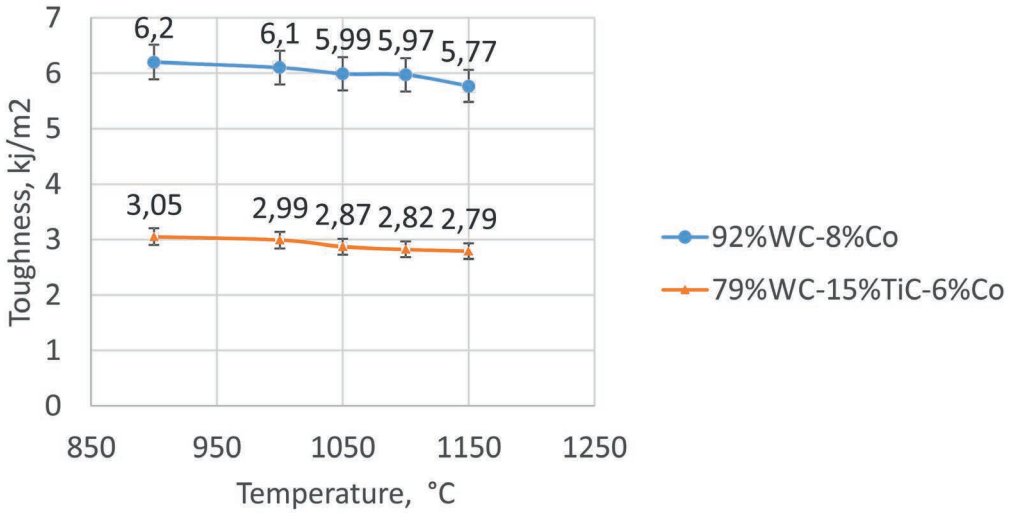


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости от температуры нанесения покрытия

Fig. 5. Dependence of toughness on the temperature of the coating

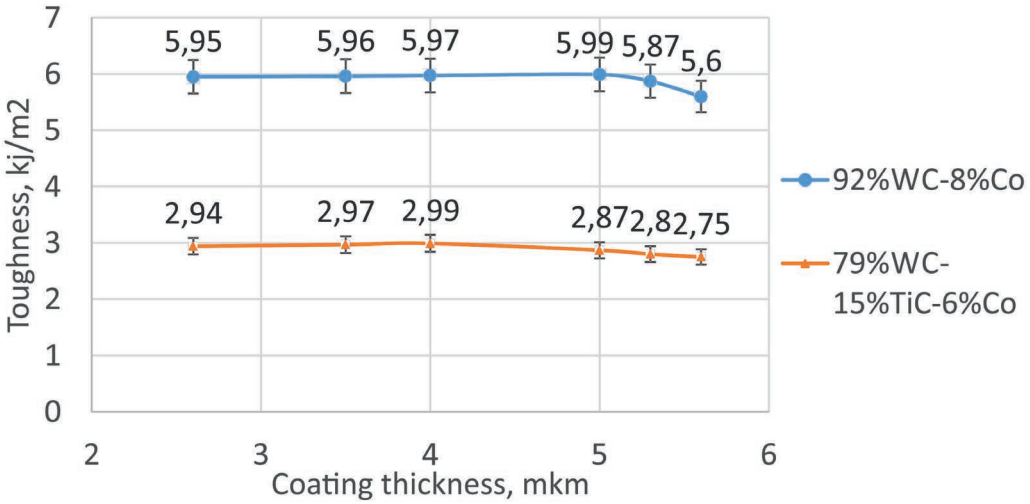


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости от толщины покрытия

Fig. 6. Dependence of fracture toughness on diffusion saturated layer thickness

Диффузионное насыщение твердых сплавов ТК и ВК в расплаве Pb-Bi-Li-Ti способствует незначительному увеличению вязкости разрушения $К_{1с}$. Для твердого сплава ВК8 без покрытия вязкость разрушения составляет 11,6 МПа, для сплава Т15К6 – 7,2 МПа. Увеличение вязкости разрушения также связано с уменьшением количества пор и различных дефектов на поверхности инструмента после нанесения покрытия. Нанесение диффузионных титановых покрытий в определенных режимах способствует увеличению вязкости разрушения сплавов типа ВК в среднем на 3 %, сплавов типа ТК – на 6 %.

Как было отмечено выше, диффузионное насыщение твердого сплава способствует некоторому увеличению ударной вязкости, однако с увеличением температуры насыщения данный показатель снижается. На сплавах типа ТК, обладающих изначально меньшей ударной вязкостью, чем сплавы ВК, увеличение температуры диффузионного насыщения оказывает большее влияние. При наиболее высоких температурах насыщения наблюдается охрупчивание поверхностного слоя инструмента, что ведет к снижению вязкости разрушения до показателей инструмента без покрытия (рис. 7).

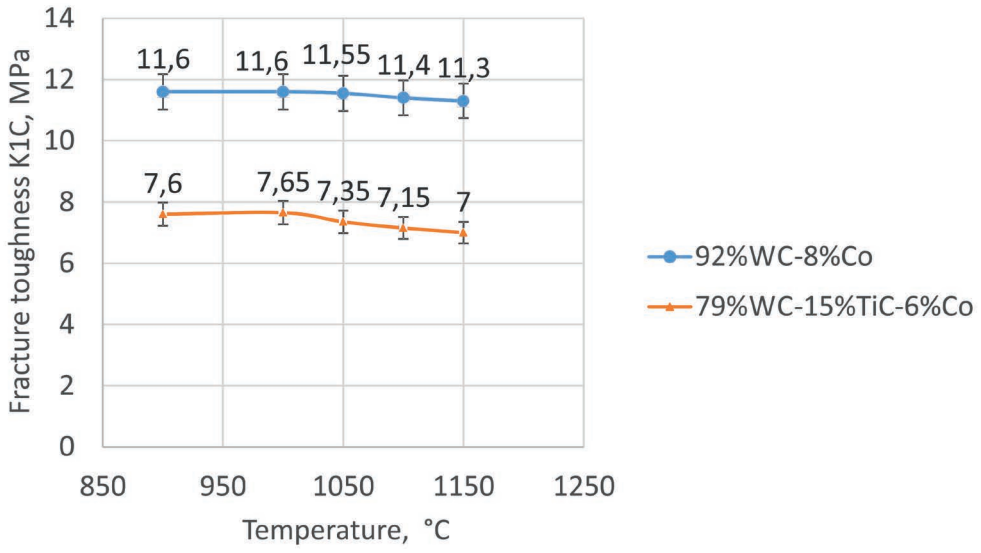


Рис. 7. Зависимость вязкости разрушения от температуры нанесения покрытия

Fig.7. Dependence of fracture toughness on diffusion saturation temperature

Было также установлено, что на вязкость разрушения влияет толщина диффузионного покрытия. При увеличении толщины покрытия до 4 мкм для сплава типа ТК и до 5 мкм для сплава типа ВК происходит незначительное увеличение вязкости разрушения, при дальнейшем увеличении толщины покрытия показатель снижается. Зависимость вязкости разрушения от толщины покрытия представлена на рис. 8.

Таким образом, диффузионное насыщение твердых сплавов в расплавах Pb-Bi-Li-Ti способствует увеличению таких механических характеристик твердых сплавов типа ТК и ВК, как твердость – до 91 HRA; предел прочности при изгибе для сплавов ТК – до 1380 МПа, для сплавов ВК – до 1875 МПа; ударная вязкость для сплавов ТК – до 2,99 кДж/м^2, для сплавов ВК – до 5,97 кДж/м^2; вязкость разрушения для сплавов ТК – до 7,65 МПа, для сплавов ВК – до 11,9 МПа. Увеличение механических характеристик покрытого инструмента способствует увеличению эксплуатационных характеристик покрытого режущего инструмента, что способствует увеличению производительности процесса механической обработки. Однако при формировании толстых покрытий, а также покрытий, нанесенных при повышенных температурах, механические характеристики, кроме предела прочности при изгибе на сплавах ВК, снижаются относительно инструмента без покрытия, что обусловлено наличием в диффузионном слое большого количества хрупкого карбида титана TiC.

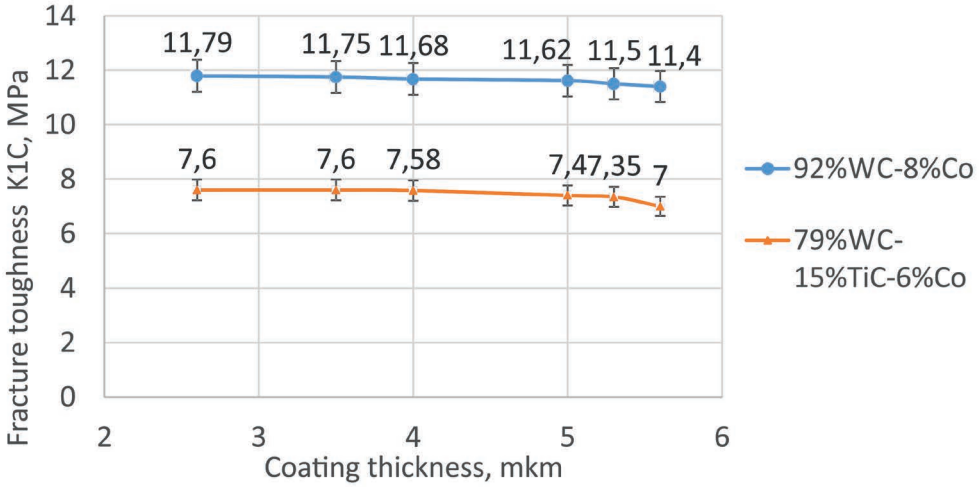


Рис. 8. Зависимость вязкости разрушения от толщины покрытия

Fig. 8. Dependence of facture toughness on diffusion saturated layer thickness

Выводы

1. Установлено влияние диффузионного насыщения твердосплавного инструмента типа ТК и ВК титаном из среды Pb-Bi-Li-Ti на его механические характеристики благодаря формированию на его поверхности функционального покрытия.

2. Механические характеристики инструментов с покрытием увеличиваются при малой толщине покрытия (до 4…5 мкм) и уменьшаются при формировании толстых покрытий вследствие увеличения количества дефектов.

3. Увеличение механических характеристик также наблюдается при пониженных температурах насыщения (900…1000 ºС). При повышении температуры нанесения наблюдается снижение механических характеристик режущего инструмента, что понижает стойкость инструмента при дальнейшем его использовании.

Список литературы

1. *Ильин А.А., Строганов Г.Б., Скворцова С.В.* Покрытия различного назначения для металлических материалов: учебное пособие. – М.: Альфа-М: Инфра-М, 2013. – 144 с. – (Современные технологии. Магистратура). – ISBN 978-5-98281-355-8.

2. *Григорьев С.Н.* Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов втузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с. – ISBN 978-5-94275-591-1.

3. *Bobzin K.* High-performance coatings for cutting tools // CIRP Journal of Manufacturing Science and

Technology. – 2017. – Vol. 18. – P. 1–9. – DOI: 10.1016/j.cirpj.2016.11.004.

4. *Caliskan H., Panjan P., Curbanoglu C.* Hard coatings on cutting tools and surface finish // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Comprehensive Materials Finishing. – 2017. – Vol. 3. – P. 230–242. – DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09178-5.

5. Evolution of conventional hard coatings for its use on cutting tools / R. Haubner, M. Lessiak, R. Pitonak, A. Köpf, R. Weissenbacher // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2017. – Vol. 62. – P. 210–218. – DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2016.05.009.

6. High temperature oxidation and cutting performance of AlCrN, TiVN and multilayered AlCrN/TiVN hard coatings / Y.-Y. Chang, S.-Y. Weng, C.-H. Chen, F.-X. Fu // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 332. – P. 494–503. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.06.080.

7. *Cardarelli F., Taxil P., Savall A.* Tantalum protective thin coating techniques for the chemical process industry: molten salts electrocoating as a new alternative // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 1996. – Vol. 14, iss. 5–6. – P. 365–381.

8. Understanding the diffusion wear mechanisms of WC-10%Co carbide tools during dry machining of titanium alloys / C. Ramirez, A. Idhil Ismail, C. Gendarme, M. Dehmas, E. Aeby-Gautier, G. Poulachon, F. Rossi // Wear. – 2017. – Vol. 390–391. – P. 61–70. – DOI: 10.1016/j.wear.2017.07.003.

9. *Платонов Г.Л., Аникин В.Н., Аникеев А.И.* Изучение роста износостойких слоев из карбида титана на твердых сплавах // Порошковая металлургия. – 1980. – № 8 (212). – С. 48–52.

10. Диффузионные карбидные покрытия / В.Ф. Лоскутов, В.Г. Хижняк, Ю.А. Куницкий, М.В. Киндрачук. – Киев: Техника, 1991. – 168 с. – ISBN 5-335-00501-7.

11. Formation of Titanium Carbide (TiC) and TiC@C core-shell nanostructures by ultra-short laser ablation of titanium carbide and metallic titanium in liquid / A. De Bonis, A. Santagata, A. Galasso, A. Laurita, R. Teghil // Journal of Colloid and Interface Science. – 2017. – Vol. 489. – P. 76–84. – DOI: 10.1016/j.jcis.2016.08.078.

12. Titanium carbide coating with enhanced tribological properties obtained by EDC using partially sintered titanium electrodes and graphite powder mixed dielectric / Z.J. Xie, Y.J. Mai, W.Q. Lian, S.L. He, X.H. Jie // Surface and Coatings Technology. – 2016. – Vol. 300. – P. 50–57. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.04.080.

13. Effect of titanium carbide coating on the osseointegration response in vitro and in vivo / M. Bramaa, N. Rhodese, J. Hunte, A. Ricci, R. Teghil, S. Migliaccio, C.D. Rocca, S. Leccisotti, A. Lioi, M. Scandurra, G. De Maria, D. Ferro, F. Pu, G. Panzini, L. Politi, R. Scandurra // Biomaterials. – 2007. – Vol. 28, iss. 4. – P. 595–608. – DOI: 10.1016/j.biomaterials.2006.08.018.

14. On the effect of the substrate to target position on the properties of titanium carbide/carbon coatings / J. Daniel, P. Soucek, L. Zábranský, V. Buršíková, M. Stupavská, P. Vašina // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 328. – P. 462–468. – DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.06.076.

15. *Balogh Z., Schmitz G.* Diffusion in metals and alloys // Physical Metallurgy. – 5th ed. – Amsterdam: Elsevier, 2014. – Vol. 1. – P. 387–559. – DOI: 10.1016/b978-0-444-53770-6.00005-8.

16. *Бобылёв Э.Э., Соколов А.Г.* Элементно-фазовый состав и свойства диффузионных титановых покрытий на режущем твердосплавном инструменте типа ТК и ВК // Письма о материалах. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 222–228. – DOI: 10.22226/2410-3535-2017-3-222-228.

17. *Sokolov E.G., Artem'ev V.P.* Effect of pores in powder materials on the formation of titanium and chromium diffusion coatings // Metal Science and Heat Treatment. – 2002. – Vol. 44, N 9–10. – P. 459–459. – DOI: 10.1023/A:1021981401891.

18. *Соколов А.Г., Бобылёв Э.Э.* Влияние диффузионного титанирования из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на работоспособность режущего твердосплавного инструмента типа ТК и ВК // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 4. – С. 46–59. – DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.4-46-59.

19. *Chaevsky M.* Comparison of methods of formation of protective coating from high-temperature liquid media // Metal Science and Heat Treatment. – 2001. – Vol. 43, N 11–12. – P. 446–466.

20. Патент 2451108 Российская Федерация, МПК C 23 C 10/26 (2006.01). Способ обработки инструмента из стали или твердого сплава / А.Г. Соколов, Мансиа Салахалдин. – Опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14. – 5 с.

21. Патент 2521187 Российская Федерация, МПК C 23 C 10/18; C 23 C 2/04 (2006.01). Устройство для диффузионной металлизации в среде легкоплавких жидкометаллических растворов / А.Г. Соколов. – Опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18. – 8 с.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science. 2020 vol. 22 no. 1 pp. 54–64
ISSN: 1994-6309 (print) / 2541-819X (online)
DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-54-64

Obrabotka metallov -
Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

Influence of Diffusion Saturation from Liquid Metal media Solutions to Mechanical Properties of Hard Alloy Cutting Tool

Eduard Bobylyov [a, *], ***Natalya Klokova*** [b]

Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya st., Krasnodar, 350072, Russian Federation

[a] https://orcid.org/0000-0001-7754-1807, ebobylev@mail.ru; [b] https://orcid.org/0000-0001-5781-7829, msat_kubgtu@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:
Received: 07 December 2019
Revised: 19 December 2019
Accepted: 30 January 2020
Available online: 15 March 2020

Keywords:
Carbide-tipped tool
Diffusion titanium coatings
Tool life
Mechanical properties
Titanium carbide

Funding
The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (contract No 18-38-00382).

ABSTRACT

Introduction. One of the most popular ways to increase operational properties of cutting carbide-tipped tool is applying functional coatings on its surface. At the same time, coatings based on titanium carbide TiC are widely used. A sufficiently high scientific and practical interest, from the point of view of the formation of functional coatings, is the technology of diffusion metallization of cutting tools made of hard alloys in Pb-Bi-Li-Ti melts, which can significantly increase its resistance. However, the effect of functional coatings based on titanium carbide TiC on the mechanical properties of hard alloys is described insufficiently. **The purpose of the work** is to analyze the effect of diffusion saturation of a carbide cutting tool in a Pb-Bi-Li-Ti medium on its mechanical characteristics. **The methods of investigation** are the following: tests for macro- and microhardness, studies of flexural strength, impact strength and fracture toughness. **Results and Discussion.** It is revealed that the formed functional diffusion layers affect the mechanical characteristics of coated instruments. In this case, the main influence on the mechanical properties of the coated products is exerted by the temperature of diffusion saturation and its duration. When forming diffusion layers with a thickness of up to 5 μm for VK alloys, the flexural strength, impact strength and fracture toughness gradually increase, with a further increase in thickness, the above characteristics decrease, for TK alloys the thickness is 4 μm. It is found that the application of diffusion titanium coatings can increase such mechanical characteristics of carbide tools as hardness (up to 91 HRA), tensile strength in bending (for 9%WC-15%TiC-6%Co – 1380 MPa, for 92%WC-8%Co – 1875 MPa), impact strength (for 79%WC-15%TiC-6%Co – 2.99 kJ/m^2, for 92%WC-8%Co – 5.97 kJ/m^2) and fracture toughness (for 79%WC-15%TiC-6%Co – 7.65 MPa, for 92%WC-8%Co – 11.9 MPa).

For citation: Bobylyov E.E., Klokova N.L. Influence of Diffusion Saturation from Liquid Metal media Solutions to Mechanical Properties of Hard Alloy Cutting Tool. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 1, pp. 54–64. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-54-64. (In Russian).

References

1. Il'in A.A., Stroganov G.B., Skvortsova S.V. *Pokrytiya razlichnogo naznacheniya dlya metallicheskikh materialov* [Coatings of various purposes for metallic materials]. Moscow, Al'fa-M Publ., Infra-M Publ., 2013. 144 p. ISBN 978-5-98281-355-8.

2. Grigor'ev S.N. *Metody povysheniya stoikosti rezhushchego instrumenta* [Methods to improve the durability of the cutting tool]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2011. 368 p. ISBN 978-5-94275-591-1.

3. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2017, vol. 18, pp. 1–9. DOI: 10.1016/j.cirpj.2016.11.004.

4. Caliskan H., Panjan P., Curbanoglu C. Hard coatings on cutting tools and surface finish. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Comprehensive Materials Finishing*, 2017, vol. 3, pp. 230–242. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09178-5.

*** Corresponding author**
Bobylyov Eduard Ed., Senior Lecturer
Kuban State Technological University,
2 Moskovskaya st.,
350072, Krasnodar, Russian Federation
Tel.: +7-918-975-8933; **e-mail**: ebobylev@mail.ru

5. Haubner R., Lessiak M., Pitonak R., Köpf A., Weissenbacher R. Evolution of conventional hard coatings for its use on cutting tools. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2017, vol. 62, pp. 210–218. DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2016.05.009.

6. Chang Y.-Y., Weng S.-Y., Chen C.-H., Fu F.-X. High temperature oxidation and cutting performance of AlCrN, TiVN and multilayered AlCrN/TiVN hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 2017, vol. 332, pp. 494–503. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.06.080.

7. Cardarelli F., Taxil P., Savall A. Tantalum protective thin coating techniques for the chemical process industry: molten salts electrocoating as a new alternative. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 1996, vol. 14, iss. 5–6, pp. 365–381. DOI: 10.1016/S0263-4368(96)00034-0.

8. Ramirez C., Idhil Ismail A., Gendarme C., Dehmas M., Aeby-Gautier E., Poulachon G., Rossi F. Understanding the diffusion wear mechanisms of WC-10%Co carbide tools during dry machining of titanium alloys. *Wear*, 2017, vol. 390–391, pp. 61–70. DOI: 10.1016/j.wear.2017.07.003.

9. Platonov G.L., Anikin V.N., Anikeev A.I. Izuchenie rosta iznosostoikikh sloev iz karbida titana na tverdykh splavakh [Growth of wear-resistant titanium carbide layers on hard metals]. *Poroshkovaya metallurgiya = Soviet Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 1980, no. 8 (212), pp. 48–52. (In Russian).

10. Loskutov V.F., Khizhnyak V.G., Kunitskii Yu.A., Kindrachuk M.V. *Diffuzionnye karbidnye pokrytiya* [Diffusion carbide coatings]. Kiev, Tekhnika Publ., 1991. 168 p. ISBN 5-335-00501-7.

11. De Bonis A., Santagata A., Galasso A., Laurita A., Teghil R. Formation of Titanium Carbide (TiC) and TiC@C core-shell nanostructures by ultra-short laser ablation of titanium carbide and metallic titanium in liquid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2017, vol. 489, pp. 76–84. DOI: 10.1016/j.jcis.2016.08.078.

12. Xie Z.J., Mai Y.J., Lian W.Q., He S.L., Jie X.H. Titanium carbide coating with enhanced tribological properties obtained by EDC using partially sintered titanium electrodes and graphite powder mixed dielectric. *Surface and Coatings Technology*, 2016, vol. 300, pp. 50–57. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.04.080.

13. Brama M., Rhodes N., Hunt J., Ricci A., Teghil R., Migliaccio S., Rocca C.D., Leccisotti S., Lioi A., Scandurra M., De Maria G., Ferro D., Pu F., Panzini G., Politi L., Scandurra R. Effect of titanium carbide coating on the osseointegration response in vitro and in vivo. *Biomaterials*, 2007, vol. 28, iss. 4, pp. 595–608. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2006.08.018.

14. Daniel J., Soucek P., Zábranský L., Buršíková V., Stupavská M., Vašina P. On the effect of the substrate to target position on the properties of titanium carbide/carbon coatings. *Surface and Coatings Technology*, 2017, vol. 328, pp. 462–468. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.06.076.

15. Balogh Z., Schmitz G. Diffusion in metals and alloys. *Physical Metallurgy*. 5th ed. Amsterdam, Elsevier, 2014, vol. 1, pp. 387–559. DOI: 10.1016/b978-0-444-53770-6.00005-8.

16. Sokolov A.G., Bobylyov E.E. The element-phase composition and properties of the surface layers of carbide-tipped tools made of TK and WC-Co alloys. *Pis'ma o materialakh = Letters on Materials*, 2017, vol. 7, iss. 3, pp. 222–228. DOI: 10.1023/A:1021981401891. (In Russian).

17. Sokolov E.G., Artem'ev V.P. Effect of pores in powder materials on the formation of titanium and chromium diffusion coatings. *Metal science and Heat Treatment*, 2002, vol. 44, no. 9–10, pp. 459–459. DOI: 10.1023/A:1021981401891.

18. Sokolov A.G., Bobylyov E.E. Influence of the diffusion titanizing from low-melting liquid metal medium on the performance of Ti-WC-Co and WC-Co cutting carbide-tipped tool. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2018, vol. 20, no. 4, pp. 46–59. DOI: 10.17212/1994-6309-2018-20.4-46-59. (In Russian).

19. Chaevsky M. Comparison of methods of formation of protective coating from high-temperature liquid media. *Metal Science and Heat Treatment*, 2001, vol. 43, no. 11–12, p. 446–466.

20. Sokolov A.G., Mansia Salakhaldin. *Sposob obrabotki instrumenta iz stali ili tverdogo splava* [The method of processing of tool steel or hard alloy]. Patent RF, no. 2451108, 2012.

21. Sokolov A.G. *Ustroistvo dlya diffuzionnoi metallizatsii v srede legkoplavkikh zhidkometallicheskikh rastvorov* [A device for the diffusion metallization in the environment of the fusible liquid metal solutions]. Patent RF, no. 2521187, 2014.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2020 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).