

Повышение стойкости диффузионно-титанированного твердосплавного режущего инструмента термической обработкой

А. Г. Соколов, Э. Э. Бобылёв, С. А. Арефьева

Рассмотрена технология нанесения диффузионных титановых покрытий на режущий инструмент из среды легкоплавких жидкометаллических растворов. Приведены результаты исследования процесса термической обработки твердосплавных режущих пластин из титановольфрамкобальтовых (ТК) и вольфрамкобальтовых (ВК) твердых сплавов после диффузионного титанирования из среды легкоплавких жидкометаллических растворов. Оценено влияние термической обработки режущего инструмента, имеющего диффузионное титановое покрытие, на его стойкость. Выяснено, что на износостойкость инструмента и микротвердость покрытия, оказывает влияние температура термообработки и её продолжительность, а также состав покрываемого материала. Микротвердость режущего инструмента из твердого сплава Т15К6 после термообработки составляет 30000 МПа, из твердого сплава ВК8 — 25000 МПа. Установлено, что термическая обработка твердосплавного инструмента, имеющего диффузионное титановое покрытие, позволяет повысить его стойкость в 1,5 – 2 раза относительно инструмента с покрытием, но без термообработки, относительно инструмента без покрытия, стойкость увеличивается в 7 раз.

Ключевые слова: твердосплавной инструмент, увеличение износостойкости, титановые покрытия, диффузионная металлизация.

Введение

В настоящее время наиболее применяемыми материалами для изготовления режущего инструмента являются твердые сплавы ТК и ВК. Преимуществом данных материалов является высокая твердость, износостойкость и теплостойкость. Однако, эксплуатационные свойства данных сплавов не удовлетворяют современным требованиям к режущему инструменту. В настоящее время наиболее применяемым способом для улучшения эксплуатационных свойств режущего твердосплавного инструмента является нанесение на его поверхность различных покрытий.

Существует три основных технологии, применяемые для нанесения покрытий на твердосплавной инструмент: метод химического осаждения покрытий (chemical vapor deposition — CVD); метод физического осаждения покрытий (physical vapor deposition — PVD); химико-термическая обработка (ХТО) [1–3].

Также, применяют обработку различными методами уже покрытых изделий, для придания им окончательных свойств и структуры. Для данной цели используют: механическую упрочняющую обработку, обработку концентрированными потоками энергии, ультразвуковую обработку, термическую обработку, комбинированную обработку и т.д. [4–6].

На настоящий момент наиболее устойчивыми к износу покрытиями, нанесенными способом диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов, являются покрытия на основе карбида титана TiC. Нанесение титановых покрытий на твердосплавный инструмент состоит из двух этапов: кратковременная высокотемпературная цементация и собственно нанесение титанового покрытия. Однако, в покрытии, сформировавшемся вследствие применения данного технологического процесса наблюдается значительная неравномерность распределения углерода. Это приводит к образованию зон с повышенным содержанием углерода в приповерхностных слоях, что вызывает

увеличение хрупкости покрытия. Для исключения этого явления изделия с покрытиями подвергают процессу старения по разработанной и запатентованной нами технологии. Данная обработка обеспечивает перераспределение углерода по покрытию, что вызывает дополнительное выделение вторичной дисперсной фазы в виде карбида титана. Эти процессы приводят к повышению твердости покрытия при одновременном снижении его хрупкости.

Цель данной работы — исследование влияния старения как окончательной стадии технологического процесса нанесения покрытий из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на эксплуатационные свойства твердосплавного инструмента с диффузионным титановым покрытием.

Методика

Диффузионные титановые покрытия наносили на пятигранные пластины PNUM-110408 из сплавов ВК8, Т15К6.

Покрытие наносили методом диффузионной металлизации с применением разработанной нами технологии [8] путем погружения твердосплавных пластин в ампулу с легкоплавким расплавом и их выдержки в изотермическом режиме в среде инертных газов. В качестве легкоплавкого расплава, осуществляющего доставку элемента к поверхности покрываемого изделия, использовали расплав эвтектического состава свинец – висмут – литий, в который в заданном количестве вводили титан.

Процесс диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов основан на явлении изотермического, селективного переноса элементов покрытия, растворенных в легкоплавком расплаве, на поверхность изделия с последующим диффузионным взаимодействием элементов покрытия с основным материалом изделия [7].

Суть технологии заключается в том, что изделия погружают в расплав легкоплавкого металлического элемента, в котором в определенной пропорции растворены элементы покрытий. Изделия выдерживают в расплаве при заданных температурах от 10 мин до 5 ч. За это время элементы покрытий диффундируют в поверхностный слой изделия, легируют их, образуя диффузионное покрытие [7].

Достоинствами рассматриваемой технологии диффузионной металлизации из среды легкоплавких жидкометаллических растворов, по сравнению с другими методами металлизации, являются, прежде всего:

— простота как технологических операций, так и технологического оборудования;

— возможность формирования на поверхности изделий как однокомпонентных, так и многокомпонентных покрытий;

— возможность управлять составом, структурой и свойствами покрытий за счет изменения режимов металлизации;

— возможность наносить покрытия на тонкостенные изделия самой сложной конфигурации;

— возможность совмещать металлизацию с термической обработкой, что позволяет сократить как длительность технологического процесса, так и материальные и энергетические затраты;

— данная технология может быть применена практически для всех конструкционных, инструментальных сталей, сталей с особыми физико-химическими свойствами, а также и для твердых сплавов типа ВК, ТК и титано-тантало-вольфрамовых (ТТК).

Перед нанесением покрытия пластины были подвергнуты кратковременной высокотемпературной цементации. Цементация служит для насыщения поверхности инструмента углеродом, за счет которого впоследствии формируется покрытие. Цементацию проводили с применением технологии вакуумной цементации в среде пропан-бутановой смеси в вакуумной печи ВМІ ВМІСRО.

После нанесения покрытия, пластины подвергали старению при температуре 500 – 800 °С по разработанной и запатентованной нами технологии. Старение проводили с целью перераспределения углерода по покрытию и выделения второй дисперсной фазы в виде карбида титана.

Процесс нанесения покрытия осуществляли в разработанной, запатентованной и изготовленной нами установке для диффузионной металлизации в среде легкоплавких жидкометаллических растворов [9]. Данная установка обеспечивает возможность нанесения покрытий в открытой жидкометаллической ванне в циклическом режиме и совмещать процесс диффузионной металлизации с термической обработкой материала покрываемого изделия.

Исследования по оценке влияния диффузионных титановых покрытий на стойкость режущего инструмента проводили путем натурных испытаний при токарной обработке резанием. Токарную обработку осуществляли проходными резцами с механическим креплением пластин. Были использованы твердосплавные пятигранные пластины из сплавов ВК8, Т15К6 без покрытия и с титановыми диффузионными покрытиями, нанесенными по предлагаемой технологии.

Характеристики стойкости инструмента определяли при точении прутков, изготовленных из стали У10 после закалки и среднего отпуска, HRC = 43 – 45.

Токарную обработку проводили при скорости резания 130 м/мин, с величиной подачи 0,8 мм/об, глубиной резания 1 мм. За период стойкости принимали время, за которое инструмент терял режущие свойства.

Твердость пластин определяли по методу Роквелла и методу микро-Виккерса. Твердость по Роквеллу измеряли на твердомере ТК-2М по стандартной методике, по шкале "А". Металлографические исследования проводили на микрошлифах, подготовленных по стандартной методике на исследовательском микроскопе Olympus GX51. Исследования по определению толщины покрытий, их структуры и микротвердости осуществляли на микротвердомере ПМТ-3.

Для выявления структуры покрытия применяли метод термического травления, заключающийся в нагреве образцов в течение 10 – 15 минут при температуре 450 – 500 °С в воздушной среде. При этом структурные составляющие основы и покрытия окрашиваются в разные цвета, в зависимости от скорости их окисления.

Анализ результатов исследований

При нанесении диффузионных титановых покрытий на твердосплавный инструмент, на его поверхности образуется покрытие толщиной 3 – 6 мкм. При этом, покрытия характеризуются наличием двух слоев: поверхностного и переходного. Поверхностный слой образуется вследствие диффузии углерода, полученного во время предварительной цементации, к титану. Переходной слой характеризуется наличием в нем карбидов титана и элементов покрываемого материала, что свидетельствует о том, что формирование данного слоя осуществляется за счет гетеро диффузии элементами покрытия и элементами покрываемого материала. Микрофотография сплава Т15К6 с диффузионным титановым покрытием представлена на рис. 1.

В ходе исследований было установлено, что старение твердосплавного инструмента после диффузионного титанирования, обеспечивает повышение его стойкости, при этом степень повышения стойкости определяется режимами процесса термической обработки (старения).

С целью установления влияния режимов процесса старения на стойкость диффузионно-титанированного твердосплавного режущего инструмента старению были подвергнуты пластины, изготовленные из твердых сплавов ВК и ТК. На пластины было нанесено диффузионное титановое покрытие при температурах 1000 и 1100 °С, при этом пластины

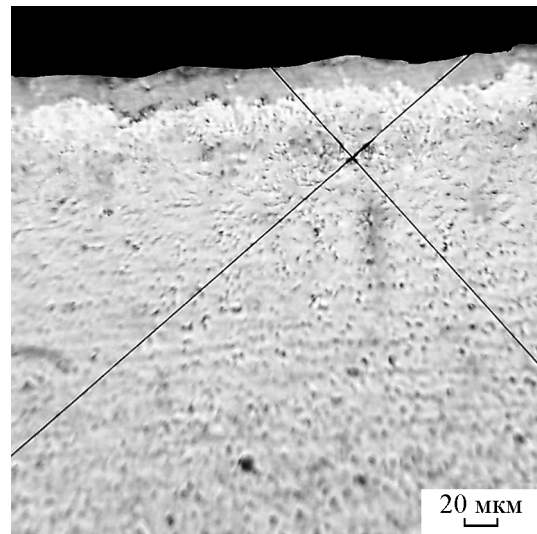


Рис. 1. Микроструктура твердого сплава Т15К6 с диффузионным титановым покрытием.

были подвергнуты предварительной кратковременной высокотемпературной цементации при температурах 1000 – 1100 °С. После нанесения покрытия осуществляли старение инструментов в диапазоне температур 150 – 800 °С. Время выдержки варьировали в интервале от 60 до 120 мин.

Было показано, что на эксплуатационные свойства режущего инструмента влияют время выдержки при старении, температура старения, состав покрываемого материала.

При старении твердых сплавов типа ТК и ВК происходит увеличение их стойкости за счет перераспределения углерода и выделения второй дисперсной фазы в виде карбида титана, при этом микротвердость остается на уровне 91HRA для сплава Т15К6 и 89,5HRA для сплава ВК8. Увеличение стойкости относительно инструмента без покрытия составляет более чем в 7 раз. За 100 % принимали стойкость резца без покрытия (рис. 2). Зависимость стойкости инструмента после старения от режимов нанесения покрытия представлена на рис. 2.

Оптимальное время выдержки при изучаемых температурах составило 90 мин. Выбор времени выдержки объясняется тем, что при малой длительности старения диффузионные процессы не успевают завершиться, и его эффективность снижается. При длительности выдержки свыше 90 мин не было выявлено улучшения эксплуатационных свойств обрабатываемого инструмента. Это связано с окончанием перераспределения углерода и выделения второй дисперсной фазы, поэтому применение длительной выдержки и увеличение энергозатрат на термообработку нецелесообразно.

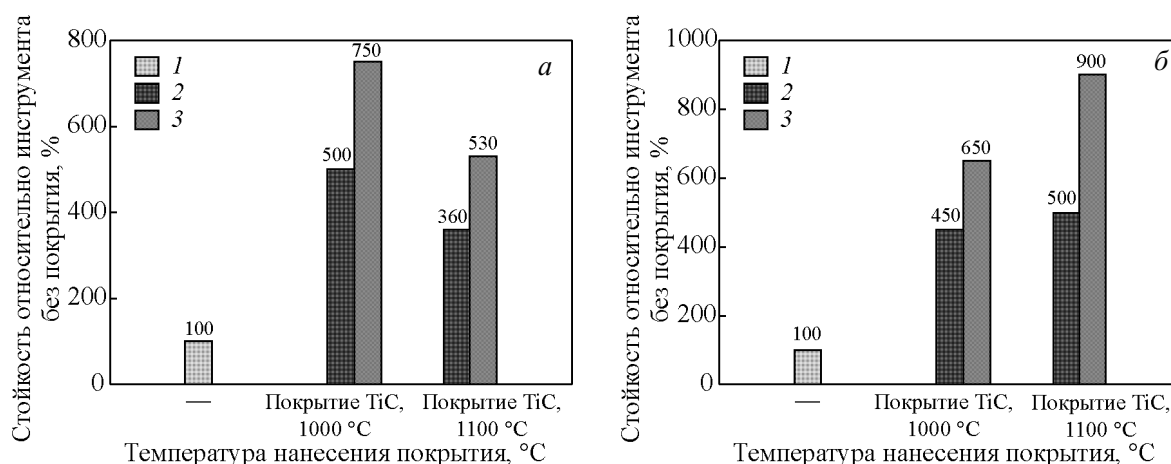


Рис. 2. Зависимость стойкости твердосплавного инструмента состава: а – Т15К6; б – ВК8, имеющих диффузионные титановые покрытия, подвергнутые старению, от режимов нанесения покрытия: 1 – без покрытия, 2 – после титанирования, 3 – после старения.

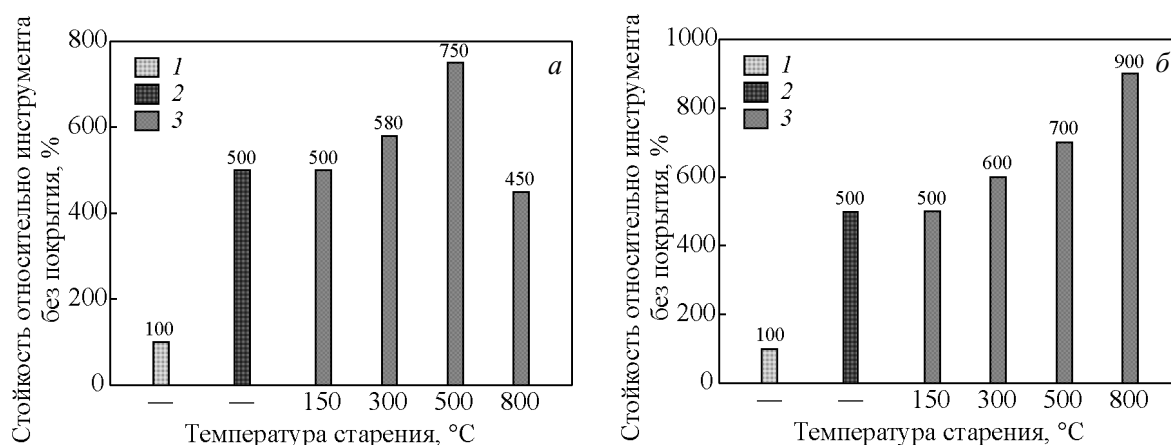


Рис. 3. Зависимость стойкости инструментов из сплавов: а – Т15К6; б – ВК8, имеющих диффузионные титановые покрытия: 1 – без покрытия, 2 – без старения, 3 – после старения.

Температура, при которой проводится старение оказывает наибольшее влияние на эксплуатационные характеристики инструмента. При этом влияние температуры на свойства покрытий, нанесенных на сплавы ТК и ВК — различно.

При температуре старения ниже 300 °С улучшения эксплуатационных свойств не происходит ни в случае обработки инструмента, изготовленного из сплава ТК, ни в случае обработки ВК (рис. 3). Это связано с низкой интенсивностью диффузионных процессов при данных температурах. При температуре старения 300 °С наблюдается повышения стойкости на 66 % в случае Т15К6 (рис. 3а), и на 100 % — в случае обработки ВК8 (рис. 3б).

Наибольшее увеличение стойкости инструмента из сплавов ТК наблюдается при температуре старения 500 °С. Данная температура обеспечивает опти-

мальное распределение углерода в приповерхностных слоях обрабатываемого инструмента и выделение второй дисперсной фазы в виде карбида титана. При этом происходит увеличение стойкости обработанного инструмента более, чем в 6 раз относительно инструмента без покрытия и в 1,5 раза относительно аналогичного инструмента без старения. При старении инструментов, изготовленного из сплавов группы ВК, при данной температуре происходит увеличение стойкости инструмента более, чем в 6 раз относительно инструмента без покрытия, в 1,4 — относительно аналогичного инструмента без старения (рис. 3).

Однако, дальнейшее увеличение температуры старения влияет на свойства инструментов, изготовленных из сплавов групп ТК и ВК, по-разному. При температуре старения 800 °С у инструмента,

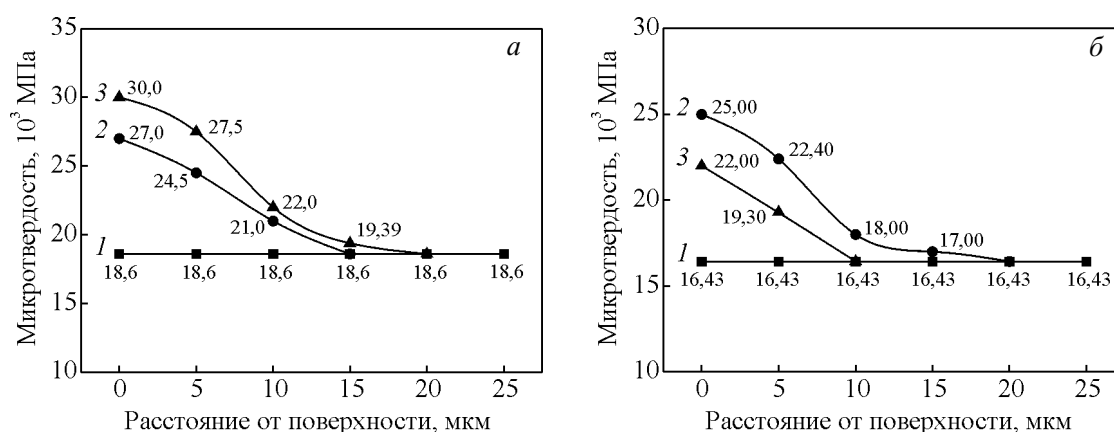


Рис. 4. Микротвердость пластин из сплавов: а – Т15К6; б – ВК8, имеющих диффузионное титановое покрытие: 1 – без покрытия, 2 – до старения, 3 – после старения.

изготовленного из сплава Т15К6, имеющего диффузионное титановое покрытие, микротвердость снижается до 85 HRA, а стойкость становится ниже, чем у инструмента без старения (рис. 3а). В то же время, работоспособность инструмента, изготовленного из сплава ВК8 с нанесенным на поверхность диффузионным титановым покрытием, увеличивается в 1,8 раза относительно инструмента без старения (рис. 3б), а его микротвердость остается на уровне 89,5 HRA. Падение микротвердости и стойкости инструментов марки ВК происходит лишь при дальнейшем увеличении температуры до 900 °С. Такая разница в эксплуатационных характеристиках после старения при повышенных температурах инструментов из сплавов Т15К6 и ВК8 объясняется тем, что в сплаве марки Т15К6 меньшее содержание кобальта и вольфрама. Элементом, который насыщается углеродом при предварительной цементации, является кобальт. С повышением температуры старения, в сплаве Т15К6 происходит образование большого количества хрупкого карбида титана с одновременным выгоранием части углерода, что отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах инструмента.

При старении твердосплавного инструмента, имеющего титановое покрытие, влияние старения проявляется в изменении структуры покрытия, что ведет к увеличению стойкости инструмента. Микротвердость покрытия на сплаве Т15К6 после диффузионного титанирования при 1000 °С и старении при 500 °С, составила 30000 МПа, до старения микротвердость инструмента имела значение 27000 МПа (рис. 4а). Микротвердость покрытия, полученного на сплаве ВК8 после диффузионного титанирования при 1100 °С и старении при 800 °С составила 25000 МПа, до старения микротвердость инструмента была

22000 МПа (рис. 4б). Также, в обоих случаях увеличивается микротвердость переходной зоны между покрытием и твердым сплавом (рис. 4).

Старение твердосплавных инструментов из сплавов ТК и ВК, имеющих диффузионные титановые покрытия, способно повысить их стойкость в 1,5 – 2 раза относительно инструмента без старения и более, чем в 7 раз — относительно инструмента, не имеющего покрытие. Таким образом, старение твердосплавного инструмента, имеющего диффузионное титановое покрытие, может эффективно применяться для улучшения его эксплуатационных свойств.

Выводы

1. Старение твердосплавных инструментов, имеющих диффузионные титановые покрытия, может применяться как эффективный способ их модифицирования. После старения, стойкость инструментов возрастает более чем в 7 раз относительно инструментов без покрытия, и в 1,5 – 2 раза относительно аналогичных инструментов с покрытиями, но без старения.

2. Выбор режима нанесения покрытия существенно влияет на свойства инструментов после старения. Так, при старении инструментов из сплавов группы ТК наибольший эффект достигается при нанесении покрытий при сравнительно низких, относительно изучаемых, температурах (1000 °С). При старении инструментов группы ВК, напротив, наибольший эффект достигается при старении покрытий, нанесенных при повышенных, относительно изучаемых, температурах (1100 °С).

3. С увеличением температуры старения, стойкость инструментов увеличивается. Однако, при прохождении повышенных температур (800 °С для сплавов с низкой концентрацией кобальта и 900 °С

для сплавов с высокой концентрацией кобальта), стойкость инструментов и их макротвердость, падают.

4. Элементный состав покрываемых материалов также влияет на результат, получаемый после старения. Так, сплавы с низкой концентрацией кобальта нерационально подвергать старению при температурах выше 500 °С, напротив, с повышением концентрации кобальта, температура старения покрытий может быть увеличена.

Литература

1. Ильин А.А., Строганов Г.Б., Скворцова С.В. Покрытия различного назначения для металлических материалов. М.: Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2013, 144 с.
2. Козырева Л.В. Химическое газофазное осаждение как метод получения наноструктурных материалов. Ресурсосберегающие технологии ремонта восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. 12 международная научно-практическая конференция. Санкт-Петербург 13 – 16 апреля 2010 г. Ч. II. СПб.: СПбГПУ, 2010, с. 174 – 178.
3. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико-термическая обработка металлов. М.: Металлургия, 1985, 256 с.
4. Соколов А.Г., Мансия Салахалдин. Механизм и особенности формирования диффузионных никель-медных покрытий из среды легкоплавких жидкометаллических растворов на твердых сплавах. Технология металлов, 2012, № 2, с. 38 – 43.
5. Кадарметов А.М., Сухочев Г.А. Особенности процесса воздушно-плазменного нанесения и упрочнения покрытий при модуляции электрических параметров. Упрочняющие технологии и покрытия, 2009, № 4, с. 17 – 23.
6. Петрова Л.Г., Александров В.А., Шестопалова Л.П. Формирование наноструктурных дисперсно-упрочненных покрытий путем химико-термической обработки легированных сталей в отдельных атмосферах воздуха и аммиака. Упрочняющие технологии и покрытия, 2010, № 4, с. 25 – 33.
7. Соколов А.Г., Артемьев В.П. Повышение работоспособности инструмента методами диффузионной металлизации. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2006. 228 с.
8. Соколов А.Г., Мансия Салахалдин. Способ обработки инструмента из стали или твердого сплава. Патент РФ №2451108, МПК C23 C 10/26 (2006.01). Заявлено 04.10.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. № 14.
9. Соколов А.Г. Устройство для диффузионной металлизации в среде легкоплавких жидкометаллических растворов. Патент РФ № 2521187, МПК C23C 10/18; C23C 2/04 (2006.01). Заявлено 25.10.12; опубл. 27.06.2014, Бюл. № 18.

References

1. Il'in A.A., Stroganov G.B., Skvortsova S.V. *Pokrytiya razlichnogo naznacheniya dlya metallicheskih materialov* [Coatings of various purposes for metallic materials]. Moscow, Al'fa-M: NITs INFRA-M, 2013, 144 p.
2. Kozyreva L.V. *Khimicheskoe gazofaznoe osazhdenie kak metod polucheniya nanostrukturnykh materialov* [Chemical vapor deposition as a method of obtaining of nano-structured materials]. *Tekhnologii remonta vosstanovleniya i uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki ot nano- do makrourovnya* [Technology of repair, restoration and hardening of details of machines, mechanisms, equipment, instrument and tooling from nano- to macro-level]. 12 mezhduнародnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Sankt-Peterburg 13 – 16 aprelja 2010 g. — 12 International scientific-practical conference, no. II. St-Petersburg, SPbGPU, 2010, pp. 174 – 178.
3. Lakhtin Yu.M., Arzamasov B.N. *Khimiko-termicheskaya obrabotka metallov. Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Chemical heat treatment of metals. Textbook for high school]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985, 256 p.
4. Sokolov A.G., Mansia Salakhaldin. *Mekhanizm i osobennosti formirovaniya diffuzionnykh nikel'-mednykh pokrytii iz srede legkoplavkikh zhidkometallicheskih rastvorov na tverdyykh splavakh* [The mechanism and features of the diffusion formation of Nickel-copper coating from the environment of fusible liquid-metal solutions on hard alloys]. *Tekhnologiya metallov — Metal technology*, 2012, no. 2, pp. 38 – 43.
5. Kadarmetov A.M., Sukhochev G.A. *Osobennosti protsessy vozdušno-plazmennogo nanoseniya i uprochneniya pokrytii pri modulyatsii elektricheskikh parametrov* [The features of the process air plasma, applying and hardening coatings with modulation of the electric parameters]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya — Hardening technologies and coatings*, 2009, no. 4, pp. 17 – 23.
6. Petrova L.G., Aleksandrov V.A., Shestopalova L.P. *Formirovanie nanostrukturnykh dispersno-uprochnennykh pokrytii putem khimiko-termicheskoi obrabotki legirovannykh staley v razdel'nykh atmosferakh vozdukhа i ammiaka* [The formation of nanostructured disperse-strengthened coatings by chemical-thermal treatment of alloy steels in separate atmospheres of air and ammonia]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya — Hardening technologies and coatings*, 2010, no. 4, pp. 25 – 33.
7. Sokolov A.G., Artem'ev V.P. *Povyshenie rabotosposobnosti instrumenta metodami diffuzionnoi metallizatsii* [Improving the efficiency of the instrument by diffusion metallization]. Rostov-on-Don: SKNTs VSh Publ., 2006, 228 p.
8. Sokolov A.G., Salakhaldin Mansia. *Sposob obrabotki instrumenta iz stali ili tverdogo splava* [The method of

- processing of tool steel or hard alloy]. Patent RF no. 2451108, 2012.
9. Sokolov A.G., *Ustrojstvo dlja diffuzionnoj metallizacii v srede legkoplavkih zhidkometallicheskih rastvorov* [The

device for the diffusion metallization from the medium of the fusible liquid metal solutions]. Patent RF no. 2521187, 2014.

Статья поступила в редакцию 16.05.2016 г.

Соколов Александр Григорьевич — Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, 350072, ул. Московская, 2), доктор технических наук, профессор, специалист в области нанесения функциональных покрытий на металлы. E-mail: sag-51@bk.ru

Бобылёв Эдуард Эдуардович — Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, 350072, ул. Московская, 2), аспирант. E-mail: ebobylev@mail.ru.

Арефьева Светлана Александровна — Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар, 350072, ул. Московская, 2), кандидат технических наук, доцент, специалист в области нанесения покрытий и композиционных материалов. E-mail: svetlkobz@mail.ru

The increasing resistance of the carbide cutting tools have diffusion titanium coatings by heat treatment

A. G. Sokolov, E. E. Bobylev, S. A. Aref'eva

Describes the technology of applying titanium diffusion coatings on cutting tools of medium of fusible liquid-metal solutions. The results of research of process of heat treatment of carbide inserts of type VC and TC after diffusion tianation from medium of fusible liquid-metal solutions. The results of influence of heat treatment of the cutting tool with diffusion titanium coating to its durability. It founded that the wear resistance of the tool and the microhardness of the coating influenced by the temperature of heat treatment and its duration, and the composition of the coated material. The microhardness of the cutting tool from hard alloy T15K6 after heat treatment is 30000 MPa, of hard alloy VK8 is 25,000 MPa. It is established that thermal treatment of carbide tools, the diffusion of titanium have a coating, allows to increase its durability in 1,5 – 2 times compared to the coated tool, but without heat treatment, relative to the tool without coating, durability is increased 7 times.

Keywords: carbide-cutting tools, the increase in wear resistance, titanium coating, diffusion metallization.

Sokolov Alexander — Kuban state technological University (Krasnodar, 350072, Moskovskaya str, 2), Dr Sci (Eng), professor, specialist in the field of application of functional coatings on metals. E-mail: sag-51@bk.ru.

Bobylev Eduard — Kuban state technological University (Krasnodar, 350072, Moskovskaya str, 2), post-graduate student. E-mail: ebobylev@mail.ru.

Aref'eva Svetlana — Kuban state technological University (Krasnodar, 350072, Moskovskaya str, 2), PhD, associate professor, specialist in the field of coating and composite materials. E-mail: svetlkobz@mail.ru.