

УДК 621.793

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО КАРБИДНОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Шматов А.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, e-mail: shmatovalexander@gmail.com

В статье представлены особенности технического выполнения и примеры практического применения термохимической технологии поверхностного карбидного упрочнения металлообрабатывающих инструментов. Отмечено, что наиболее эффективной и простой является технология получения износостойких поликарбидных покрытий путем термодиффузионной обработки инструментальных сталей и твердых сплавов в насыщающих порошковых средах из нескольких алуминотермически восстановленных оксидов карбидообразующих металлов. Эти насыщающие среды содержат: 1) оксиды карбидообразующих металлов Me_xO_y , которые являются поставщиками насыщающих элементов; 2) галоидное соединение NH_4Cl , которое генерирует в контейнере активную газовую фазу для массопереноса насыщающих элементов от среды к обрабатываемому инструменту; 3) «балластную» добавку Al_2O_3 , которая предотвращает спекание порошковой смеси; 4) «восстановитель» Al для восстановления оксидов насыщающих металлов. Процессы поверхностного карбидного упрочнения инструментов осуществляются в два этапа: 1) предварительное приготовление насыщающей среды путем синтеза металлов из оксидов в составе смеси: 98% (50% Al_2O_3 + 50% (70% Me_xO_y + 30% Al)) + 2% NH_4Cl , где Me_xO_y = оксиды Cr_2O_3 , TiO_2 , V_2O_5 , MnO_2 , MoO_3 , Nb_2O_5 ; 2) проведение химико-термической обработки инструментов в восстановленной порошковой смеси при 1000–1100 °С. После нанесения поликарбидных покрытий износостойкость стальных штампов и оснастки повысилась в 2–10 раз, а твердосплавных резцов и фрез – в 1,5–20 раз по сравнению с традиционными. Суммарный экономический эффект от внедрения данной термохимической технологии составил 540,3 тыс. долл. в эквиваленте.

Ключевые слова: термохимическая технология, инструментальные стали и твердые сплавы, поверхностное карбидное упрочнение, износостойкие многокомпонентные карбидные покрытия

PRACTICAL REALIZATION OF THERMOCHEMICAL TECHNOLOGY FOR SURFACE CARBIDE STRENGTHENING METALWORKING TOOLS

Shmatov A.A.

Belarusian National Technical University, Minsk, e-mail: shmatovalexander@gmail.com

The features of the technical implementation and examples of the practical application of the thermochemical technology for surface carbide strengthening of metalworking tools are presented in this article. It is noted that the most effective and simple technology is the production of wear-resistant polycarbide coatings by thermal diffusion treatment of tool steels and hard alloys in saturating powder media from several aluminothermically reduced oxides of carbide-forming metals. These saturating media contain: (1) carbide-forming metal oxides Me_xO_y , which are suppliers of saturating elements; (2) an halide compound NH_4Cl , which generates an active gas phase in the container for mass transfer of saturating elements from the medium to the tool being processed (3) «ballast» additive Al_2O_3 , which prevents sintering of the powder mixture; (4) «reductant» Al for the reduction of oxides of saturating metals. The processes of surface carbide strengthening of tools are carried out in two stages: (1) Preliminary preparation of a saturating media by aluminothermic synthesis of metals from oxides with the following mixture composition: 98% (50% Al_2O_3 + 50% (70% Me_xO_y + 30% Al)) + 2% NH_4Cl , where Me_xO_y = oxides Cr_2O_3 , TiO_2 , V_2O_5 , MnO_2 , MoO_3 , Nb_2O_5 ; (2) Thermochemical treatment of tools in this synthesized powder mixture at 1000–1100 °C. After applying polycarbide coatings, the wear resistance of steel dies and snaps increased by 2–10 times, and of carbide cutters and mills by 1.5–20 times as compared with traditional ones. The total economic effect from the introduction of this thermochemical technology amounted to 540.3 thousand dollars in equivalent.

Keywords: thermochemical technology, tool steels and hard alloys, surface carbide strengthening, wear-resistant multicomponent carbide coatings

Предлагаемая технология упрочнения инструментов отвечает основным требованиям быстрого внедрения на предприятиях, благодаря ее простоте, высокой эффективности и технологичности при использовании стандартного оборудования и дешевых компонентов.

Термохимическая технология для получения износостойких диффузионных поликарбидных покрытий на стальных и твердосплавных инструментах

Среди методов поверхностного упрочнения инструментов совместным терми-

ческим и химическим воздействием наибольший интерес представляют процессы получения поликарбидных покрытий, поскольку карбиды превосходят по физико-химическим и механическим свойствам другие тугоплавкие соединения [1]. С другой стороны, экстремальное повышение свойств достигается в твердых растворах, образованных при наличии взаимной растворимости нескольких карбидов переходных металлов [1–3]. Карбидные покрытия можно получать многими известными способами, однако сформировать покрытия, комплексно легированные несколь-

кими карбидами, не всегда удается [4–6]. Лучшие современные термохимические процессы с применением вакуума и высокоэнергетических источников нагрева позволяют осаждать многослойные покрытия, отдельный слой которых состоит только из одного и редко двух карбидов. Эти процессы поверхностного упрочнения отличаются большой энергоемкостью и дороговизной [7, 8].

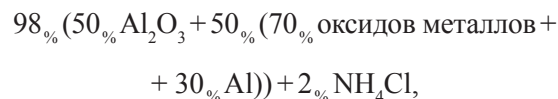
В настоящей работе для нанесения поликарбидных покрытий на инструменты применили простой способ химико-термической обработки (ХТО) с использованием герметичных контейнеров, содержащих насыщающую смесь [9, 10]. Этот метод позволяет сформировать на сталях и твердых сплавах диффузионные покрытия, состоящие из нескольких взаиморастворимых друг в друге карбидов [2, 10]. Насыщающие среды для получения многокомпонентных диффузионных карбидных покрытий включают следующие основные компоненты: 1) порошки карбидообразующих металлов и сплавов, ферросплавов, оксидов и других их соединений – являются поставщиками насыщающих элементов; 2) галоидные соединения аммония, алюминия и щелочных металлов и др. – генерируют в контейнере активную газовую фазу, которая осуществляет массоперенос насыщающих элементов от среды к обрабатываемому инструменту; 3) «балластные» добавки в виде оксида алюминия, магнезия и др. – предотвращают спекание порошковой смеси, обеспечивают высокую ее газопроницаемость и предотвращают ее припекание к обрабатываемым инструментам; 4) «восстановитель» в виде алюминия – в случае восстановления оксидов насыщающих металлов-карбидообразователей.

Высокая стоимость порошков карбидообразующих металлов предопределяет высокую стоимость самих насыщающих сред. Использование алюминотермического метода самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для получения этих насыщающих сред позволило существенно удешевить процессы ХТО [9, 10]. Суть метода заключается в замене дорогостоящих порошков элементов более дешевыми их оксидами. При приготовлении порошковых смесей для ХТО проводят предварительное восстановление оксидов насыщающих элементов алюминием, который является недорогим компонентом. Анализ изменений изобарных потенциалов реакций образования оксидов карбидообразующих металлов показал, что алюминий восста-

навливает оксиды Ti, Cr, Nb, Mn, V, W, Mo и др.

Разработанные процессы получения диффузионных поликарбидных покрытий на стальных и твердосплавных инструментах осуществляют в два этапа (рис. 1):

1. Предварительное приготовление насыщающей смеси методом алюминотермии. Процесс осуществляют путем СВС синтеза карбидообразующих металлов из оксидов в составе порошковой смеси, мас. %:



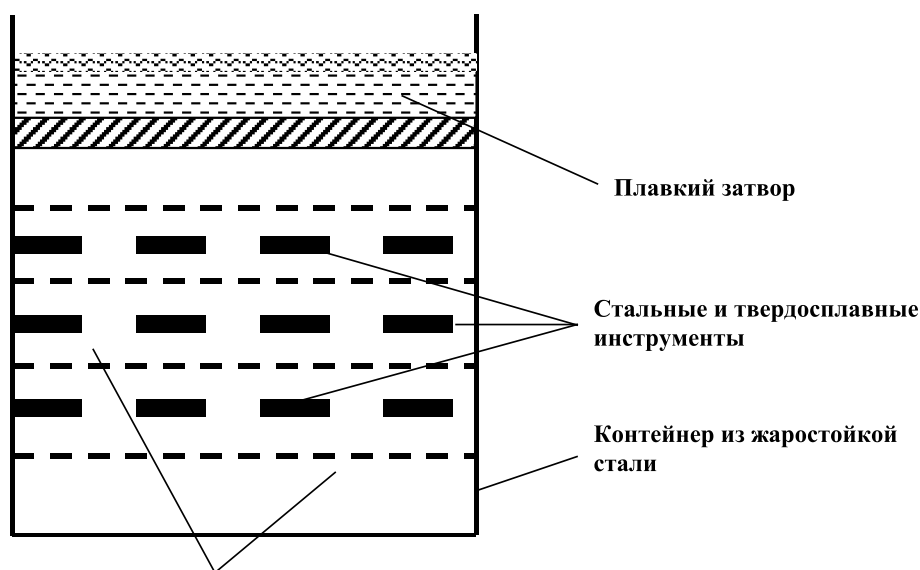
где оксиды $\text{Me}_x\text{O}_y = \text{Cr}_2\text{O}_3, \text{TiO}_2, \text{V}_2\text{O}_5, \text{MnO}_2, \text{MoO}_3, \text{Nb}_2\text{O}_5$ являются поставщиками карбидообразующих металлов. Восстановленную порошковую смесь размалывают и просеивают до размера гранул менее 500 мкм. После добавления в нее активатора (2% NH_4Cl) насыщающая смесь для ХТО считается готовой к применению.

2. Проведение технологического процесса ХТО. При этом образцы инструментов упаковывают в контейнер из жаропрочной стали, заполненный предварительно приготовленной насыщающей смесью, которую герметично защищают плавким затвором из борного ангидрида или силикатного стекла (рис. 2). Затем контейнер с образцами загружают в печь, разогревают до температуры 1000–1100 °С, и выдерживают в течение 4–6 ч. Время выдержки зависит от толщины карбидного покрытия. По окончании процесса инструменты извлекают из охлажденного контейнера, а насыщающие порошковые смеси после их регенерации многократно используют.

В результате ХТО формируются сплошные многокомпонентные карбидные покрытия толщиной 4–7 мкм на твердых сталях и 25–70 мкм на инструментальных сталях с поверхностной твердостью до 28–37 ГПа, сравнимой с твердостью карбида кремния. В отличие от инструментальных сталей, твердые сплавы имеют меньшую толщину карбидных слоев, что связано с тем, что углерод твердосплавной матрицы связан в устойчивые карбиды и это снижает мощность подводимого к поверхности диффузионного потока углерода для образования с насыщаемыми металлами их карбидов [2, 11]. Термохимическая технология получения износостойких диффузионных поликарбидных покрытий предназначена для повышения сопротивления абразивному, окислительному и диффузионному изнашиванию металлообрабатываемых инструментов из сталей и твердых сплавов [10].



Рис. 1. Блок-схема технологических операций технологического процесса химико-термической обработки (ХТО) инструмента



Порошковая смесь для ХТО: 98 % (50 % Al_2O_3 + 35 % Me_xO_y + 15 % Al) + 2 % NH_4Cl ,
 где $Me_xO_y = Cr_2O_3, TiO_2, V_2O_5, MnO_2, MoO_3, Nb_2O_5$

Режим процесса ХТО: температура 1000–1100 °С; время: 4–6 ч

Рис. 2. Схема упаковки инструментов в контейнере с порошковой смесью и режим проведения технологического процесса химико-термической обработки (ХТО)

Промышленная апробация поликарбидных покрытий, полученных на режущих и штамповых инструментах методом ХТО

Лучшие карбидные покрытия на основе Cr-Ti-V, Cr-Ti-Mn, Cr-V, Ti-Mn и Ti-V-Mo прошли апробацию в производственных условиях [10]. Производственные испытания (таблица) показали, что в результате многокомпонентной диффузионной карбидизации стальных инструментов их стойкость по сравнению с серийными увеличилась: у клеев из стали У8 и матриц из стали ДИ-23 для холодной высадки – в 2–3 раза; у пресс-форм из стали ХВГ для прессования изделий из железных и керамических порошков – в 2–6 раз; у матриц из стали Х12 для вытяжки изделий из нержавеющей

стали – в 2 раза; а пресс-форм из стали У8 для прессования пластмассовых изделий – в 2 раза; у направляющих из стали У8, предназначенных для навивки пружин – более 10 раз; у форсунок из стали У8 для распыления малярных составов – в 2–3 раза; у ножей для обрезки бумаги и картона – в 3 раза. А эксплуатационная стойкость твердосплавных инструментов после нанесения поликарбидных покрытий повысилась: у цельно изготовленных концевых фрез из сплава ВК6М – в 4–20 раз; у неплетачиваемых режущих пластин из сплава Т15К6 для чистовой токарной обработки стальных изделий – в 2–4 раза; у торцевых фрез, собранных из пятигранных пластин марки Т15К6, для черновой обработки стальных заготовок – в 1,5–4 раза.

Результаты испытаний и промышленного использования инструментов с многокомпонентными диффузионными карбидными покрытиями

Вид инструмента	Материал инструмента	Обрабатываемый материал	Стойкость K_w	Промышленное использование
ПО «Гомсельмаш»				
Клеймы	Сталь У8	Конструкционные стали	2–3	
Матрицы холодной высадки	Сталь ДИ-23		2–3	
Направляющие для навивки пружин	Сталь У8	Пружинные стали	Выше 10	

Окончание таблицы				
Вид инструмента	Материал инструмента	Обрабатываемый материал	Стойкость K_w	Промышленное использование
Минский филиал ВНИСМИ				
Малярные форсунки	Сталь У8	Малярные составы	2–3	
Минский завод шестерен				
Пресс-формы	Сталь ХВГ	Железный порошок	2–3	
БР НПО порошковой металлургии (ПМ)				
Пресс-формы для импульсного прессования	Сталь ХВГ	Тугоплавкие соединения	6	Внедрено в 1982 г. с эконом. эффектом 25 000 руб. (41,7 тыс. \$)
Витебское ПО «Химпласт»				
Пресс-формы	Сталь У8	Пластмассы	2	Внедрено в 1986 г. с эконом. эффектом 55 800 руб. (93,0 тыс. \$)
Ножи	Сталь У10	Бумага	3	
ПО «Атлант»				
Фрезы концевые цельные	Твердый сплав ВК6М	Сталь У8 (HRC 59)	4–4,8	
КП Минский мотовелозавод (ММВЗ)				
Торцевые фрезы сборные для черновой обработки	Твердый сплав Т15К6	Стали ШХ15, 4Х5МФС	3–4	
ПО «БелАЗ»				
Режущие пластины для чистовой токарной обработки	Твердый сплав Т15К6	Сталь 9ХС	3	Внедрено в 1997 г. с эконом. эффектом 2 млрд руб. РБ (339,0 тыс. \$)
		Стали ШХ15, 40Х	3–4	
		Сталь 45 (30 HRC)	2	
БПО «Экран»				
Матрицы вытяжки	Сталь Х12	Сталь 10Х18Н10Т	2	Внедрено в 1987 г. с эконом. эффектом 40 000 руб. (66,7 тыс. \$)
Торцевые фрезы сборные для черновой обработки	Твердый сплав Т15К6	Малоуглеродистые стали	1,5–2	
Фрезы концевые цельные	Твердый сплав ВК6М	Сталь ДИ-22 (HRC 60)	6–20	

Технологические процессы поверхностного карбидного упрочнения стальных и твердосплавных инструментов нашли применение на белорусских предприятиях ПО «БелАЗ», БР НПО ПМ, Витебском ПО «Химпласт», БПО «Экран». Суммарный экономический эффект от использования этих процессов составил около 540,3 тыс. долл. США в эквиваленте.

В заключение следует отметить: а) что технология ХТО носит ограниченный характер применения: идеально подходит для любых видов твердосплавных инструментов и некоторых стальных инструментов, преимущественно штамповых; б) диффузионные поликарбидные покрытия рекомендуется наносить на стальные инструменты, когда их изготавливают из малодеформируемых сталей (ХВГ, Х12, др.) или если изменения размеров инструментов после высокотемпературного нагрева при ХТО и последующей термообработки не превышают разрешенные допуски; в) технология более эффективна, если правильно выбраны материал инструмента и состав насыщающей среды; г) с увели-

чением твердости обрабатываемого сплава стойкость упрочненных твердосплавных и стальных инструментов возрастает; д) качество поверхности изделий после их обработки режущими и штамповыми инструментами с поликарбидными покрытиями выше, чем после обработки инструментами без покрытий.

Заключение

Термохимическая технология получения износостойких поликарбидных покрытий путем термодиффузионной обработки инструментальных сплавов в насыщающих многокомпонентных карбидообразующих средах является простым и эффективным способом поверхностного карбидного упрочнения металлообрабатывающих инструментов. После нанесения поликарбидных покрытий стойкость стальных штампов и техоснастки повысилась в 2–10 раз, а твердосплавных резцов и фрез – в 1,5–20 раз по сравнению с традиционными. Суммарный экономический эффект от внедрения данной термохимической технологии составил 540,3 тыс. долл. в эквиваленте.

Список литературы

1. Самсонов Г.В., Упадхья Г.Ш., Нешпор В.С. Физическое материаловедение карбидов. Киев: Наук. думка, 1974. 456 с.
2. Shmatov Alexander, Soos Lubomir, Krajny Zdenko Forming of diffusion multi-carbide coatings on tool alloys. Bratislava: Slovak Technical University, 2018. 137 p.
3. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. Архангельск: Изд-во Север. федерал. ун-та, 2015. 327 с.
4. Герасимова Н.С. Химико-термическая обработка. Калуга: Изд-во КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. 48 с.
5. Бутуханов В.А., Лыгденов Б.Д. Влияние состава насыщающих порошковых сред на структуру и свойства диффузионных карбидных покрытий // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. 2016. № 2 (71). С. 80–86.
6. Лобанов М.Л., Кардонина Н.И., Россина Н.Г., Юровских А.С. Защитные покрытия. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 200 с.
7. Хокинг М., Васантасри В., Сидки П. Металлические и керамические покрытия. М.: Мир, 2000. 518 с.
8. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 335 с.
9. Ляхович Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. М.: Металлургия, 1981. 424 с.
10. Шматов А.А. Научные и технологические основы термохимических и термоциклических методов упрочняющей обработки металлообрабатывающих инструментов: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.01 и 05.02.07. Минск, 2019. 344 с.
11. Shmatov A.A., Soos L., Krajny Z. Process for producing diamond-like carbide coatings on hard. MM Science Journal. 2019. No. 2. P. 2887–2890.