

УДК 621.785

**ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КАРБИДНЫХ ДИФФУЗИОННЫХ СЛОЕВ,  
ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НАСЫЩЕНИИ СТАЛИ В СИЛИКОТЕРМИЧЕСКИХ СМЕСЯХ**

*канд. техн. наук, доц. А.М. ДОЛГИХ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Исследована износостойкость диффузионных защитных карбидных покрытий на углеродистых сталях. Для определения износостойкости покрытий карбидного типа, полученных в порошковых металлургических смесях, были проведены испытания: на сухое трение скольжения на машине типа МИ и машине Шкоды – Савина; на абразивное изнашивание о закрепленные абразивные частицы на машине Х4-Б; на трение скольжения в агрессивных средах. Испытания проводились в соответствии с гостированной методикой и стандартной статистической обработкой полученных экспериментальных данных. Полученные в ходе исследования материалы имеют практическое применение, предложенные составы и технология нанесения защитных покрытий методом химико-термической обработки могут быть рекомендованы в качестве износостойких, значительно улучшающих показатели эксплуатационной стойкости и надежности деталей машин и механизмов. В процессе испытаний зафиксировано стабильное повышение износостойкости для всех видов покрытий.*

Для обеспечения современного уровня развития машиностроения в целом и обеспечения технических характеристик современных механизмов разрабатываются и внедряются высокоэффективные методы повышения прочностных свойств, применяются в широких масштабах износостойкие покрытия для повышения качества, надежности и долговечности продукции машиностроения.

Одним из признанных методов повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и инструмента является химико-термическая обработка, которая радикальным образом изменяет состав и физико-химические свойства поверхностных слоев деталей, что позволяет значительно повысить их износостойкость. Необходимость широкого внедрения в промышленность наиболее перспективных процессов химико-термической обработки, изучение закономерностей формирования, состава и свойств диффузионных слоев приобретает все большее значение. Особый интерес представляет изучение свойств и закономерностей формирования диффузионных слоев, образованных несколькими карбидообразующими элементами, что позволяет получать более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с насыщением одним элементом.

Многочисленные литературные данные показывают, что диффузионные слои на основе карбидов переходных металлов обладают высокой жаростойкостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред. Процессы диффузионного насыщения металлов и сплавов хромом изучены достаточно глубоко, в то время как ряд других перспективных процессов химико-термической обработки, например ванадирование, недостаточно разработаны и не получили промышленного применения.

**Основная часть.** С учетом того обстоятельства, что настоящее исследование посвящено изучению свойств комплексных карбидных диффузионных слоев и что наибольшее практическое применение получили карбидные слои на основе карбида хрома, более подробно рассмотрим процесс диффузионного хромирования.

Методы диффузионного хромирования по классификации Г.Н. Дубинина [1], основанной на физико-химических характеристиках насыщающей фазы, подразделяются на: насыщение из твердой фазы (твердофазный метод); насыщение из паровой фазы (парофазовый метод); насыщение из газовой фазы (газовый метод); насыщение из жидкой среды (жидкостной метод). Предложенная классификация универсальна и охватывает практически все известные способы получения диффузионных слоев на сталях и сплавах.

Газовый контактный способ (в порошковых засыпках) является наиболее простым и надежным для промышленного применения и обеспечивает более высокое качество поверхности, чем хромирование парофазовым или жидким методами. В этом случае активная газовая среда возникает в результате взаимодействия порошков хрома или феррохрома с одним из галоидных газов (HCl, HF, HJ и др.) в непосредственной близости от изделия. Смесь для термодиффузионного насыщения содержит также 15...45 % по массе балластной добавки, предотвращающей ее спекание в период проведения химико-термической обработки (например, окись алюминия) и активатор NH<sub>4</sub>Cl или NH<sub>4</sub>J [3]. Несмотря на универсальность, высокую скорость формирования и высокое качество диффузионных слоев при насыщении из порошковых смесей с участием активаторов, в качестве недостатка можно отметить трудоемкость приготовления и высокую стоимость порошков насыщающих элементов, приготовленных на основе ферросплавов и лигатур насыщающих элементов.

Многие исследователи отмечают универсальность свойств диффузионных карбидных слоев, образующихся при диффузии хрома в стали, содержащие углерод, высокую микротвердость карбидов хрома Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> и Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, составляющую 16000...18000 МПа [2]. Теплостойкость хромированного слоя сохраняется

до температуры 300...400 °С. Карбидные хромовые слои имеют хорошее сцепление с основой. При сжатии хромированных образцов из стали У12 на 5...10 % происходит лишь растрескивание слоя [1, 2].

Диффузионное хромирование является эффективным средством защиты деталей машин, работающих в условиях высоких температур и нагрузок, от адгезии. При наличии диффузионного слоя, состоящего из карбидов хрома, температура начала адгезионного взаимодействия контактирующих поверхностей повышается на 200 °С [4]. Также хромированная высокоуглеродистая сталь имеет повышенную износостойкость, превосходящую износостойкость цементированных и азотированных деталей [5]. В то же время насыщение одним только хромом не обеспечивает достаточной скорости формирования диффузионного слоя – хромированные слои по ряду свойств и скорости формирования уступают многокомпонентным диффузионным карбидным слоям на основе хрома. В связи с этим особый интерес представляет изучение свойств и закономерностей формирования диффузионных слоев, образованных несколькими карбидообразующими элементами, что позволяет получать более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с насыщением одним элементом. При многокомпонентном насыщении возможно получение слоев, имеющих сложный фазовый состав. В ряде случаев полученные соединения сложного состава и строения позволяют значительно повысить эксплуатационные характеристики изделий по сравнению с однокомпонентным насыщением. Следует отметить и тот факт, что многие карбиды металлов обладают широкой областью гомогенности и, следовательно, изменяют свои свойства в довольно широких пределах. В зависимости от положения металла в периодической системе Д.И. Менделеева происходит непрерывное изменение структуры и свойств образующихся карбидов.

Анализ тройных диаграмм систем вида Cr – Me – C для металлов IV, V и VI групп Периодической системы показывает, что большая часть карбидов способна образовывать твердые растворы, содержащие второй карбидообразующий элемент. Изменяя соотношения элементов в насыщающей смеси, можно изменять парциальное давление составляющих газовой среды и тем самым оказывать влияние на соотношение элементов в диффузионном слое. Уравнение изотермы адсорбции для одного из диффундирующих компонентов ( $Me_1$ ), имеет вид [6]:

$$\alpha_{Me_1} = \frac{K_{Me_1} \cdot P_{Me_1}}{1 + \sum K_{Me_1} \cdot P_{Me}}, \quad (1)$$

где  $\alpha_{Me_1}$  – заполнение поверхности компонентом  $Me_1$ ;  $P_{Me_1}$  – парциальное давление;  $K_{Me_1}$  – константа равновесия, зависящая от температуры.

Из уравнения (1) видно, что адсорбция компонента  $Me_1$  возрастает с повышением его парциального давления. Адсорбция одного из компонентов диффузионной системы может быть подавлена преимущественной адсорбцией другого и тем в большей степени, чем больше парциальное давление одного металла превосходит парциальное давление другого. При определенном содержании элементов в насыщающей смеси происходит преимущественная адсорбция какого-либо одного элемента насыщаемой поверхностью и диффузионный отвод его вглубь образца. При этих условиях концентрация второго элемента в диффузионном слое уменьшается. В определенном интервале компонентов, входящих в состав насыщающей смеси, происходит одновременная диффузия двух элементов, лимитируемая их адсорбционной способностью и диффузионной подвижностью. Поэтому при многокомпонентном насыщении подбор состава смеси и соотношения входящих в нее ингредиентов имеет большое значение.

Можно отметить перспективность металлотермического метода получения насыщающих смесей, разработанного на кафедре «Материаловедение и термическая обработка металлов» Белорусской государственной политехнической академии. Применение данного метода позволяет получать более экономичные смеси по сравнению со смесью традиционного состава (на основе ферросплавов), легко варьировать состав насыщающих смесей введением в определенных соотношениях соответствующих окислов металлов. Металлотермический метод, широко применяемый в черной и цветной металлургии, химии [7] для получения металлов, ферросплавов и лигатур, в химико-термической обработке до недавнего времени практически не применялся. Это связано с тем, что в металлотермических смесях, разработанных для металлургических целей, в процессе прохождения реакции восстановления развиваются температуры, превышающие температуру плавления большинства технически важных металлов и сплавов. При этом методе, в качестве поставщиков насыщающих элементов используют дешевые и доступные окислы насыщающих элементов, а в качестве их восстановителя – элемент, стоящий в ряду активности металлов левее восстанавливаемого. Основным из условий самопроизвольного протекания реакций металлотермического восстановления является более высокая прочность окисла металла-восстановителя по сравнению с окислом восстанавливаемого элемента.

Диффузионное насыщение образцов проводили из силикотермических смесей с использованием в качестве восстановителей технического силикокальция или кремния. Насыщение проводили по отдельному варианту. Перед процессом компоненты смеси тщательно перемешивали, засыпали в металличе-

ский контейнер и восстанавливали в печи при температуре проведения процесса 800...1100 °С. После прохождения реакции восстановления контейнер охлаждали на воздухе. Обезжиренные образцы упаковывали в контейнер и загружали в шахтную электрическую печь с селитовыми нагревателями, нагретую до рабочей температуры. Процесс диффузионного насыщения вели под плавким затвором из борного ангидрида. Регулировка рабочей температуры в печи осуществлялась с помощью электронного потенциометра КСП-4 (градуировка ХА). При проведении процесса насыщения термопару устанавливали в непосредственной близости от стенок контейнера (не допуская касания).

Исследование состава, структуры и свойств диффузионных слоев проводили по следующей методике. После реализации процесса химико-термической обработки визуально оценивали качество поверхности образцов. Анализ микроструктуры и измерение толщины диффузионного слоя проводили на металлографических микроскопах МИМ-7, МИМ-8 при увеличении 100...1000 на поперечных и косых шлифах. Микротвердость полученных покрытий замеряли на приборе ПМТ-5 по методике, предложенной ГОСТ 9450-76 при нагрузке на индентор 0,49 и 0,98 Н.

Распределение элементов по толщине диффузионных слоев определяли с помощью микроанализатора MS-46 на поперечных нетравленных шлифах при локальности пучка 2 мкм. Концентрация элементов определялась сравнением интенсивностей линий характеристического спектра данного элемента с интенсивностью той же линии эталона. Относительные ошибки при определении концентрации элементов не превышали 10 %. Шероховатость поверхности образцов до и после насыщения оценивали на профилографе-профилометре модели 201 завода «Калибр» согласно ГОСТ 2789-73.

Испытания на износостойкость при трении скольжения без смазки (сухое трение скольжения) проводили на машине типа МИ и на машине типа Шкоды – Савина. При испытании на машине типа МИ образец размерами 10 × 10 × 15 мм с притертыми торцами, закрепленный неподвижно, изнашивали в паре с контртелом из быстрорежущей стали P18 ГОСТ19265-73 (наружный диаметр диска 40 мм, толщина 10 мм, твердость поверхности 60...62 HRCэ) при скорости скольжения 1 м/с и удельном давлении 1,96 МПа. Износостойкость оценивали по потере массы на единицу рабочей поверхности образца, приходящейся на километр пути трения. Образцы охлаждались с температуры насыщения в контейнерах на спокойном воздухе и дополнительной термической обработке не подвергались.

При испытании на машине типа Шкоды – Савина износ оценивали по объему лунки (мм<sup>3</sup>), вытертой диском (материал диска – твердый сплав ВК2 ГОСТ3882-74, твердость 72...75 HRCэ, диаметр 60 мм, толщина 4 мм) за 0,33 часа при нагрузке 49 Н и частоте вращения диска 12,2 с<sup>-1</sup>.

Испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы проводили по методике, описанной в ГОСТ 17367-71, на машине Х4-Б (ГОСТ 17367-71). Образцы, с нанесенными карбидными покрытиями, диаметром 5 и высотой 15 мм изнашивали торцевой поверхностью о шлифовальную шкурку зернистостью 14А 10 нм, ГОСТ 6456-75. Для улучшения чистоты эксперимента каждый образец изнашивался по новой дорожке. В качестве эталона использовали образцы из закаленной и низкоотпущенной стали У10 с твердостью 60...61 HRCэ. Износостойкость оценивали по потере массы образца. Взвешивание производили на аналитических весах ВЛА-200 ГМ с точностью 0,1 мг.

Износостойкость при трении скольжения в агрессивных средах исследовали на специально сконструированной установке, выполненной на основе вертикально-сверлильного станка 2М112. Испытания проводили в контейнере, изготовленном из нержавеющей стали Х25, в агрессивной среде. Образец фиксировался в державке, его исследуемая поверхность устанавливалась строго в одной плоскости с горизонтальной поверхностью вращения торца контртела, изготовленного из твердого сплава Ti5K6 (ГОСТ3882-74). В качестве агрессивных сред при испытаниях служили: вода при 20 °С и 25 %-ный раствор серной кислоты в воде. Образцы размерами 5 × 10 × 15 мм изнашивали при удельном давлении 1,96 МПа и относительной скорости скольжения 2,2 м/с.

Составы смесей, используемых для насыщения образцов на износ, приведены в таблице 1. Для проведения всех видов сравнительных испытаний на износостойкость был выбран следующий режим насыщения: температура процесса химико-термической обработки  $t = 1100$  °С, продолжительность процесса  $\tau = 6$  ч. Режим насыщения обеспечивал толщину диффузионных слоев, достаточную для проведения сравнительных испытаний.

Сравнительные данные по износостойкости одно- и многокомпонентных диффузионных слоев карбидного типа в условиях сухого трения скольжения при испытании на машине типа МИ и машине типа Шкоды – Савина приведены в таблице 2.

При сравнении результатов экспериментов, полученных на двух типах машин, при испытаниях в условиях сухого трения скольжения видно, что эти данные идентичны. На машине типа МИ наибольшую износостойкость показали ванадированные слои, затем слои типа Cr + Nb, Cr + V, Cr (20 % Kp1), Cr + Si (30 % СК25), Cr + Ti, Cr + Si (30 % Kp1). На машине типа Шкоды – Савина диффузионные слои, показавшие наибольшую износостойкость, в порядке убывания стойкости располагаются следующим образом: V (35 % СК25), Cr (20 % Kp1), Cr + Nb, Cr + V, Cr + Ti, Cr (20 % СК25).

Таблица 1

## Исследуемые составы силикотермических смесей

Тип слоя	Состав смеси
Cr (20 % Кр1)	98 % [30 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 70 % (20 % Кр1 + 80 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr (20 % СК25)	98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (20 % СК25 + 80 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr (25 % СК25)	98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (25 % СК25 + 75 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
V (30 % СК25)	98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (30 % СК25 + 70 % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
V (35 % СК25)*	98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (35 % СК25 + 65 % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Si (25 % Кр1)	98 % [30 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 70 % (25 % Кр1 + 75 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Si (30 % Кр1)	98 % [30 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 70 % (30 % Кр1 + 70 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Si (30 % СК25)	98 % [40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % (30 % СК25 + 70 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )] + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Ti*	98 % {40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % [30 % СК25 + 70 % (60 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 40 % TiO <sub>2</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Zr*	98 % {30 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 70 % [25% СК25 + 75% (60 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 40 % ZrO <sub>2</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + V*	98 % {40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % [30 % СК25 + 70 % (40 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Nb*	98 % {40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % [30 % СК25 + 70 % (60 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 40 % Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + Mo*	98 % {40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % [35 % СК25 + 65 % (60 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 40 % MoO <sub>3</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl
Cr + W*	98 % {40 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 60 % [30 % СК25 + 70 % (80 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 20 % WO <sub>3</sub> )]} + 2 % NH <sub>4</sub> Cl

\* – на состав получено положительное решение на выдачу авторского свидетельства.

Таблица 2

## Сравнительная износостойкость диффузионно-упрочненных сталей У8, У10 после насыщения в силикотермических смесях (условия насыщения: t = 1100 °С, τ = 6 ч)

Тип слоя	Абразивный износ Сталь У8		Сухое трение скольжение Сталь У10				Трение скольжение в агрессивной среде. Сталь У8	
	потеря массы, мг		машина Шкоды – Савина		машина типа МИ		износ, мкм	
	ε	ε	Объем лунки, мм	ε	Потеря массы, мг	ε	Вода, 20 °С	25 %-ный раствор H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в воде
Cr (20 % Кр1)	2,4	7,5	0,22	2,5	1,6	13,3		
Cr (20 % СК25)	1,3	13,5	0,35	1,5	1,7	12,5	50	78
Cr (25 % СК25)	2	9	0,77	0,7	1,8	11,8		
V (30 % СК25)	1,6	11,4	0,16	3,8	5,2	4,1		
V (35 % СК25)	0,7	26,5	0,12	4,5	0,8	26,5	15	7
Cr + Si (25 % Кр1)	–	–	0,54	1	1,9	11,2		
Cr + Si (30 % Кр1)	2,7	6,6	0,49	1,1	1,8	11,8		
Cr + Si (30 % Кр25)	2,1	8,6	0,50	1,1	1,7	12,5		
Cr + Ti	1,5	12,2	0,33	1,6	1,7	12,5	65	50
Cr + Zr	2,4	7,5	0,42	1,3	12,1	1,7		
Cr + V	1,4	12,5	0,28	1,9	1,5	14,1	60	18
Cr + Nb	2,8	6,3	0,25	2,2	1,5	14,5	115	120
Cr + Mo	1,6	11,25	0,51	1,1	17,1	1,2		
Cr + W	1,6	11,15	0,45	1,2	2,2	9,6		
В исходном состоянии*	18,0	1	0,54	1	21,2	1		

\* – закалка плюс низкий отпуск.

Необходимость проведения исследований по определению износостойкости диффузионно-упрочненных сталей при трении скольжения в агрессивной среде возникла из-за того, что в процессе эксплуатации деталей в промышленных условиях они нередко подвергаются одновременному воздействию нескольких разрушающих факторов. В технической литературе этот вопрос освещен недостаточно.

Для выяснения закономерностей разрушения полученных диффузионных слоев при одновременном воздействии агрессивной среды и трения скольжения были проведены испытания. В качестве агрессивных сред выбрали воду с температурой 20 °С и 25 %-ный водный раствор серной кислоты, наиболее часто применяемый в химической промышленности.

Кинетики износа диффузионно-упрочненных сталей, при испытаниях в условиях трения скольжения в агрессивных средах приведены в таблице 2.

Типы карбидных слоев по их стойкости в агрессивных средах располагаются в порядке убывания в следующие ряды: в воде (при 20 °С) V – Cr – Cr + V – Cr + Ti – Cr + Nb; в 25 %-ном растворе серной кислоты в воде – V – Cr + V – Cr + Ti – Cr – Cr + Nb.

**Сравнительная износостойкость диффузионно-упрочненных сталей в условиях абразивного изнашивания.** Сравнительная износостойкость диффузионных слоев карбидного типа, полученных на стали У8, при насыщении в разработанных силикотермических смесях, в условиях абразивного изнашивания приведена в таблице 2. Из полученных данных видно, что все разработанные типы диффузионных слоев, значительно повышают абразивную износостойкость стали У8. Максимальной износостойкостью обладают ванадированные и хромированные слои. Диффузионные слои, образованные при насыщении одновременно двумя элементами Cr + V, Cr + Ti, Cr + Mo, Cr + W обеспечивают одинаковую износостойкость, несколько меньшую износостойкость показывают хромосилицированные слои. Минимальной стойкостью обладают слои типа Cr + Zr и Cr + Nb. По убывающей стойкости против абразивного изнашивания, слои можно расположить в следующий ряд: V – Cr – Cr + V – Cr + Ti – Cr + Mo – Cr + W – Cr + Si – Cr + Zr – Cr + Nb. По степени усиления влияния карбидообразующих элементов, диффундирующих совместно с хромом, на повышение износостойкости диффузионно-упрочненной стали У8, можно выявить следующий ряд: ниобий – цирконий – кремний – вольфрам – молибден – титан – ванадий. Можно отметить значительное преимущество ванадированных слоев по сравнению с хромированными (для данных условий испытаний).

Значительное влияние на эксплуатационные свойства поверхности и выбор вида последующей механической обработки оказывают технологические характеристики диффузионно-упрочненных поверхностей сталей. Изменение шероховатости поверхности, размеров и массы образцов после химико-термической обработки показано в таблице 3.

Таблица 3

Изменение шероховатости поверхности, размеров и массы образцов после диффузионного насыщения сталей в силикотермических смесях (условия насыщения:  $t = 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau = 6\text{ ч}$ )

Тип слоя	Шероховатость поверхности для стали, Ra		Изменение размеров образцов, (толщина 5 мм) для стали	Изменение массы, г/м <sup>2</sup> , для стали
	У10	08кп		
Cr (20 % Кр1)	1,05	0,71	0,07	238
Cr (20 % СК25)	0,52	0,55	0,08	259
Cr (25 % СК25)	0,56	0,59	0,08	243
V (30 % СК25)	1,1	0,63	0,01	1
V (35 % СК25)	1,0	0,56	0,04	17
Cr + Si (25 % Кр1)	0,69	0,59	0,12	243
Cr + Si (30 % Кр1)	1,15	2,1	0,06	207
Cr + Ti	1,0	1,1	0,06	228
Cr + Zr	0,69	3,4	0,04	100
Cr + V	0,72	2,2	0,08	170
Cr + Nb	0,8	0,44	0,07	297
Cr + Mo	1,2	1,3	0,06	16
Cr + W	0,71	0,6	0,09	255
В исходном состоянии	0,36	0,39	–	–

Шероховатость поверхности детали после проведения процесса химико-термической обработки является важной характеристикой, показывающей необходимость в дополнительных механических операциях по улучшению качества поверхности. Шероховатость поверхности до и после химико-термической обработки оценивалась по среднему арифметическому отклонению профиля микронеровностей (Ra). Практически для всех исследованных типов диффузионных слоев после химико-термической обработки шероховатость поверхности повышается на один класс. Лучшими показателями обладают хромированные слои Cr (20 % СК25) и Cr (25 % СК25), класс чистоты которых снижается на несколько разрядов: с 8в у исходной поверхности до 8а у хромированной. Самые неудовлетворительные показатели для стали У10 у диффузионных слоев типа Cr + Mo, V (30 % СК25), Cr + Si (30 % Кр1), на стали 08 кп – Cr + Zr, Cr + V, Cr + Si (30 % Кр1).

Анализ изменения размеров образцов после диффузионного насыщения (см. табл. 3) показывает, что прирост размеров образцов стали У10 приблизительно в два раза выше, чем для стали 08 кп. Это можно объяснить тем, что на стали У10 формируется карбидный слой, преимущественно растущий наружу за счет встречной диффузии углерода к поверхности образца. На стали 08кп рост размеров образца преимущественно происходит за счет образования слоя  $\alpha$ -твердого раствора.

Изучение влияния диффузионного насыщения на изменение линейных размеров и качество поверхности важно при упрочнении точных деталей, не подвергающихся дальнейшей механической доводке.

По изменению массы образцов можно косвенно судить о реакциях, протекающих на поверхности во время прохождения процессов химико-термической обработки.

Хлориды металлов, образующиеся при взаимодействии металлов с продуктами разложения хлористого аммония, могут участвовать в реакциях следующих типов:



В зависимости от температуры проведения процесса диффузионного насыщения и ряда других факторов преимущественное развитие получает та или иная реакция. При прохождении реакций типа (2) и (4) происходит уменьшение массы образцов, при прохождении реакции типа (3) – ее увеличение. Доказательством вышеизложенного служит следующее: сталь 08кп имеет меньший прирост массы, что связано с большей, чем у стали У10, концентрацией на поверхности стали железа, избыток которого способствует прохождению реакций типа (2) и (4). Уменьшение массы образцов наблюдается только в случае насыщения ванадием стали 08кп. Это объясняется повышенной растворимостью железа в окислах ванадия, присутствующих в составе смеси из-за неполного восстановления пятиоксида ванадия. После проведения всех других процессов насыщения из разработанных силикотермических смесей масса образцов возрастает.

#### Выводы

- 1) диффузионные слои, полученные при насыщении в силикотермических смесях, показали высокую износостойкость в условиях сухого трения скольжения, износа в агрессивной среде и абразивного износа;
- 2) доказана эффективность защитных покрытий, полученных методом химико-термической обработки в силикотермических смесях;
- 3) показано, что практически для всех типов покрытий, полученных при насыщении в силикотермических смесях, происходит прирост массы образцов. При этом происходит некоторое ухудшение качества поверхности образцов, которое зависит от типа диффузионного процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинин, Г.Н. Диффузионное хромирование сплавов / Г.Н. Дубинин. – М.: Машиностроение, 1984. – 452 с.
2. Упрочнение стальных изделий химико-термической обработкой. Диффузионное хромирование: Метод. указания / Гос. комитет стандартов. – Горький, 1978. – 22 с.
3. Грибоедов, Ю.Н. Кинетика и механизм диффузионного насыщения стали хромом в замкнутом реакционном пространстве / Ю.Н. Грибоедов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1988. – № 3. – С. 49 – 54.
4. Защита инструмента диффузионным хромированием от схватывания / Н.А. Лавренко [и др.] // Защитные покрытия на металлах. – 1975. – Вып. 9. – С. 85 – 87.
5. Минкевич, А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / А.Н. Минкевич, В.И. Андрущечкин // Металловедение и термическая обработка металлов. Итоги науки и техники. ВИНТИ. АН СССР. – М., 1975. – С. 111 – 152.
6. Земсков, Г.В. Некоторые особенности одновременного диффузионного насыщения двумя элементами / Г.В. Земсков // Защитные покрытия на металлах. – 1972. – Вып. 6. – С. 28 – 34.
7. Ляхович, Л.С. Применение метода металлотермии для химико-термической обработки / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин // Защитные покрытия на металлах. – 1975. – Вып. 9. – С. 17 – 24.

Поступила 30.11.2009

#### WEAR RESISTANCE OF THE CARBIDE DIFFUSIVE LAYERS RECEIVED AT SATURATION OF THE STEEL IN SILICOTHERMAL MIXES

A. DOLGIKH

*Wear resistance of diffusive protective carbide coverings on carbonaceous steels is investigated. For definition of wear resistance of coverings the carbide type, received in powder metal-thermal mixes, following kinds of tests have been spent: test for a friction dry slidings by the machine of MI-type; test for a friction dry slidings by the machine of Shkoda – Savin-type; test for abrasive wear process the fixed abrasive particles by H4-B machine; test at a sliding friction in excited environments. Tests were spent according to standart a technique and standard statistical processing of the received experimental data. The materials presented in article have the practical application, the offered structures and technology of drawing of sheetings by a method of chemicothermal processing can be recommended as wearproof, considerably improving indicators of operational firmness and reliability of details of machin and mechanisms. In the course of tests stable increase of wear resistance for all kinds of coverings is fixed.*