

пользованием элементарной "ячейки" в виде полубесконечного параллелепипеда, построенного с помощью куба с гранецентрированным расположением центров областей повышенного содержания хрома (рис. 2). Результаты расчетов вполне удовлетворительно согласуются с экспериментом.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ду ль н е в Г.Н., З а р и ч н я к Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. — Л., 1974. 2. Р а й ч е н к о А.И. Диффузионные расчеты для порошковых смесей. — Киев, 1969. 3. Ч е р н я в с к и й К.С. Стереология в металловедении. — М., 1977.

УДК 669.781

*Е.Ф.Керженцева*

### ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДИФфуЗИОННО—УПРОЧНЕННЫХ В ПАСТАХ СТАЛЕЙ\*

Исследована износостойкость в условиях сухого трения скольжения боридных, бороалюминиевых, хромовых, хромкремниевых и хромтитановых слоев, полученных в пастах.

В состав паст входили наполнитель: насыщающая смесь и связующее вещество. Хромовые, хромкремниевые и хромтитановые слои были получены в алюмотермических насыщающих смесях. Боридные и бороалюминиевые слои были получены в насыщающих смесях на основе борного ангидрида и карбида бора.

Некоторые составы применяемых насыщающих смесей: хромирование (100% [30%  $Al_2O_3$  + 70% (70%  $Cr_2O_3$  + 30% Al ) + 5%  $NH_4Cl$ ]); хромсилицирование (100% { 30%  $Al_2O_3$  + 70% [30% Al + 70%(75%  $Cr_2O_3$  + 25% $SiO_2$ )] } + 5%  $NH_4Cl$ ); борирование (80%  $B_4C$  + 20% $Na_3AlF_6$ ); бороалитирование (80% [90% $B_4C$  + 10%Al] + 20%  $Na_3AlF_6$ ).

В качестве связующего вещества был использован гидролизированный этилсиликат и смесь ацетона с клеями на основе фенолоформальдегидных смол, модифицированных поливинилбутиралем.

Испытания на изнашивание проводили на машине типа МИ. Образец (10 x 10 x 15 мм) с притертыми торцами подвергали диффузионному упрочнению. Затем, закрепив неподвижно, его изнашивали в паре с образцом из стали P18 (наружный диаметр 40 мм, толщина 10 мм, HRC 60–62). Пара-

\*Работа выполнена под руководством докт.техн.наук Л.Г.Ворошнича.

раметры испытаний: скорость скольжения 1,2 м/с, удельное давление 16 кгс/см<sup>2</sup>, путь трения 500, 750 и 1000 м. Износ определяли по потере массы, мгс.

Установлено, что износостойкость углеродистых сталей значительно повышается при нанесении диффузионных слоев (табл. 1). Причем нанесение карбидохромовых слоев повышает износостойкость сталей 45 и У8 в 3–6 раз, а боридных и бороалюминиевых – в 7–18 раз.

Следует отметить, что наиболее эффективными с точки зрения износостойкости в условиях сухого трения скольжения являются бороалитированные слои, полученные из паст на основе карбида бора. Это относится как к углеродистым, так и к инструментальным сталям.

С повышением содержания углерода в стали эффект поверхностного упрочнения выше. Так, потеря массы при изнашивании диффузионно-уп-

Т а б л и ц а 1. Износостойкость диффузионно-упрочненных в пастах сталей в условиях сухого трения скольжения

Тип покрытий	Путь трения	Потеря массы, мгс					
		45	У8	ХВГ	Х12Ф1	5ХНМ	ДИ-23
Хромирование	500	15,0	4,8	4,4	4,1	3,7	3,4
	750	19,7	7,9	9,8	7,9	5,9	4,5
	1000	31,4	10,2	15,0	12,4	9,0	4,1
Хромосилицирование	500	5,0	4,3	5,2	2,3	2,0	4,1
	750	7,8	6,6	9,8	4,96	3,8	8,95
	1000	14,6	7,9	17,4	12,4	6,5	12,0
Хромотитанирование	500	10,4	4,4	2,9	4,9	4,4	3,1
	750	19,7	7,9	5,4	7,9	8,2	3,6
	1000	24,4	13,2	7,8	15,3	8,1	4,0
Борирование (на основе В <sub>4</sub> С)	500	2,4	2,6	3,6	1,9	1,6	1,1
	750	4,4	4,9	4,5	3,1	2,7	1,7
	1000	7,0	5,6	5,0	3,9	2,7	2,2
Бороалитирование (на основе В <sub>4</sub> С)	500	2,2	1,9	1,3	1,3	2,0	1,3
	750	4,1	3,3	2,0	1,98	2,9	2,4
	1000	5,0	3,9	2,2	2,2	3,6	4,4
Бороалитирование (на основе В <sub>2</sub> О <sub>3</sub> )	500	3,2	1,5	2,3	1,8	1,5	1,5
	750	6,0	2,6	4,5	2,8	2,3	2,2
	1000	12,4	3,0	9,9	3,9	4,0	2,7
Без покрытия	500	56,4	25,2	36,6	27,6	27,9	23,5
	750	78,6	39,4	58,9	39,7	41,2	35,8
	1000	90,4	42,1	74,9	47,3	48,8	40,7

роченной стали У8 значительно ниже, чем стали 45. Это наблюдается при нанесении и карбидохромовых, и боридных слоев.

При сравнении износостойкости инструментальных сталей ХВГ, Х12Ф1, 5ХНМ, ДИ-23 (45Х3В3МФС) после термообработки и после диффузионного упрочнения с последующей термообработкой было обнаружено, что стали, содержащие в большем количестве карбидообразующие элементы, изнашиваются меньше. В закаленном и отпущенном состоянии наибольшей износостойкостью обладает сталь ДИ-23, износостойкость сталей Х12Ф1 и 5ХНМ близка, а низколегированной стали ХВГ в 1,5 меньше стали ДИ-23 и в 1,3 раза меньше сталей Х12Ф1 и 5ХНМ.

Для стали ХВГ наиболее предпочтительны, с точки зрения износостойкости, алюминотермическое хромотитанирование и бороалитирование из насыщающей смеси на основе карбида бора (повышение стойкости в 10 и 34 раза соответственно), для стали Х12Ф1 – борирование и бороалитирование (повышение стойкости в 12 и 22 раза), для стали 5ХНМ – хромосилицирование и бороалитирование из насыщающей смеси на основе борного ангидрида (повышение стойкости в 8 и 18 раз соответственно). Для стали ДИ-23 могут быть рекомендованы все исследованные процессы диффузионного упрочнения, позволяющие повысить износостойкость в 10–18 раз.

УДК 669.781

*Г.В.Борисенок, Ю.В.Туров, Ю.Н.Громов,  
О.Б.Кутасов*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИКО–ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОБАЛЬТА КАК СВЯЗКИ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

В работе предпринята попытка смоделировать химический состав кобальтовой связи твердых сплавов типа ВК путем последовательного насыщения кобальта марки К1 вольфрамом и углеродом, а также исследовать с помощью металлографического и дюрOMETрического методов анализа структуру и твердость получаемых диффузионных слоев после химико-термической обработки и термообработки (закалки и старения).

Для получения на кобальте вольфрамированных слоев исследовались порошковые алюминотермические составы, содержащие окись вольфрама (поставщик атомов вольфрама) и порошок алюминия (восстановитель) в различных соотношениях, а также постоянное количество (30% по массе) окиси алюминия (“инертная” добавка) и хлористого аммония (2% по массе) – активатора. Насыщение проводили при температуре 1050<sup>0</sup>С в течение 4 и 6 ч.

После вольфрамирования проводили цементацию образцов кобальта при температуре 950<sup>0</sup>С, продолжительности 4 ч в составе (% по массе): 90% древесный уголь, 10% сода (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>