

ния проводили при скорости скольжения 0,42 м/с и удельном давлении 150 кгс/см². В результате испытаний было установлено, что износостойкость образцов, легированных бором в процессе формирования отливки в 6 раз выше, чем закаленных, но в 1,7 раза ниже, чем борированных при температуре 900°С. Данные показатели можно связать со структурой диффузионных слоев и их микротвердостью. Однако при температуре 900°С в течение 4 ч формируется сплошной боридный слой (микротвердость 1800 кгс/мм²) толщиной всего 160 мкм, который в случае длительных износных испытаний разрушается значительно раньше.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что в результате поверхностного легирования вследствие диффузионных процессов при кристаллизации и охлаждении обеспечивается хорошее качество поверхности отливок при значительной толщине и равномерности диффузионного слоя. Литые борированные стали, обладающие высокими показателями целого ряда эксплуатационных свойств, могут быть с успехом применены для изготовления инструмента, работающего в условиях повышенных температурно-силовых воздействий.

УДК 621.785.5

Л.С. Ляхович, В.Ф. Протасевич, И.Г. Вербчану

СВОЙСТВА ТИТАНИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ

В работе изучены свойства диффузионных титанированных покрытий на углеродистых и легированных сталях. Титанирование проводили в смесях двух составов: $Ti + Al_2O_3 + NH_4Cl$ (1); $Ti + Al_2O_3 + NH_4Cl + ZnCl_2$ (2), а также вакуумным способом из титановой губки (на установке треста Укрцветремонт).

При сопоставимых режимах титанирования наибольшая толщина покрытий получается при насыщении из смеси (2), наименьшая — при вакуумном. Покрытия, получаемые вакуумным способом, отличаются светлым серебристым цветом. При насыщении из смеси (1) и в вакууме на высокоуглеродистых сталях с поверхности обычно формируется сплошной карбидный слой. При титанировании в смеси (2) на поверхности формируется гетерогенная карбидная зона, состоящая из смеси карбидов титана и титанидов железа. Микротвердость карбидного слоя при насыщении в смеси (2) колеблется в пределах 1200–3000 кгс/мм². Микротвердость карбидных покрытий, полученных в смеси (1) и вакуумным способом, измерить не удалось из-за малой толщины карбидного слоя.

Покрyтия, полученные вакуумным способом, отличаются хорошей сцепляемостью с основой на всех исследованных 55 марках стали. При насыщении из порошковых смесей сцепляемость покрытий несколько хуже, что может объясняться большей толщиной слоя. Так, на сталях 9ХС, 3Х15, ХВГ обнаружyлись сколы после насыщения в обеих смесях, а на стали У8 – в смеси (1). Микрохрупкость покрытий на высокоуглеродистых сталях при насыщении из смеси (2) ниже, чем получаемых насыщением из смеси (1) примерно на 2–3 балла (оценка по методике, применяемой для азотированных слоев).

Испытания на износ проводили на сталях 45, У8, Х12М, обработанных по режимам, приведенным в матрице планирования (табл. 1). В результате реализации дробной реплики 2^{7-4} получили модель, описывающую лишь износ стали 45: $Y = 1,23 - 0,097X_2 - 0,097X_3 + 0,097X_5 + 0,092X_6 + 0,097X_7$.

Испытания при сухом трении скольжения проводили на машине типа МТ-1 (контр-тело – твердосплавный диск, скорость вращения – 780 об/мин, усилие прижатия – 5 кгс). Минимальный износ на стали Х12М зафиксирован на образцах с максимальной толщиной карбидной зоны. На стали У8 максимальная износостойкость достигнута при условиях обработки, соответствующих основному уровню матрицы планирования.

Т а б л и ц а 1. Матрица планирования при оптимизации титанирования по износостойкости на сталях

Характеристика	Фиктивная переменная	Факторы							Параметр оптимизации
		$t_{\text{хто}},$ °С	$\tau_{\text{хто}},$ ч	$t_{\text{выд.}},$ °С	$\tau_{\text{выд.}},$ ч	ZnCl ₂ , %	Ti, %	TiO ₂ , %	
Основной уровень		1000	4	725	1,0	5,0	47,5	10	Износ, мм ³
Интервал варьирования		50	1	75	0,5	2,5	7,5	5	
Верхний уровень		1050	5	800	1,5	7,5	55,0	15	
Нижний уровень		950	3	650	0,5	2,5	40,0	5	
Код	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	У
Дробная реплика	2^{7-4}	–	(1), abcd	abef,	acfg,	adeg,	bceg,	bdfg,	cdef

Т а б л и ц а 2. Матрица планирования при оптимизации титанирования по коррозионной стойкости сталей в 5%-ной лимонной кислоте

Характеристика	Фиктивная переменная	Факторы							Параметр оптимизации
		t _{хто'} °С	t _{хто'} ч	t _{выд'} °С	τ _{выд'} мин	ZnCl ₂ %	Ti %	NH ₄ Cl, %	
Основной уровень		1050	5	650	45	10	60	1,0	Удельная потеря массы, г/м ²
Интервал варьирования		50	1	50	30	5	10	0,5	
Верхний уровень		1100	6	700	75	15	70	1,5	
Нижний уровень		1000	4	600	15	5	50	0,5	

Испытания на коррозионную стойкость проводили в двух средах: 5%-ных растворах винной и лимонной кислот. Предварительные исследования показали, что по отношению к титановым покрытиям на сталях 08кп, 20 и У8 обе среды обладают близкой агрессивностью. В дальнейшем сделана попытка оптимизации условий титанирования данных сталей для работы в лимонной кислоте. Факторы, подвергавшиеся исследованию в этом случае и условия их изменения, приведены в табл. 2. Образцы обрабатывали по той же дробной реплике, что и при испытаниях на износ. Большое расхождение между результатами испытаний привело к неоднородности ряда дисперсий, полученных в опытах матрицы, и как следствие, оказалось невозможным построить модель процесса. На стали У8 титанированные покрытия в лимонной кислоте оказались нестойкими при данных условиях обработки из-за появления сколов. Анализ микроструктур стали 08кп показал, что максимальная коррозионная стойкость достигается в опытах, в которых на поверхности стали формируется слой титанидов железа с подслоем из твердого раствора с выделениями интерметаллида TiFe₂. Толщина слоя интерметаллида составляла при этом около 30 мкм. При увеличении слоя интерметаллидов он начинает скалываться и стойкость стали падает. На стали 20 наивысшая стойкость получена в тех опытах, в которых на поверхности формируется сплошной карбидный слой, что указывает на возможность повышения коррозионной стойкости и высокоуглеродистых сталей. При этом не следует стремиться к получению слишком толстых карбидных слоев, а обратить внимание прежде всего на сплошность покрытия.