

ного поражения "традиционного" карбидного слоя в этом месте начинается интенсивное разрушение самого изделия, то в комбинированном покрытии коррозия распространяется в продольном направлении по поверхности раздела карбид—никель. Последнее установлено при металлографическом анализе образцов и происходит за счет того, что при обнажении никеля коррозионный ток электрохимической системы "карбида хрома — твердый раствор никеля" снижается, и растворение второй фазы системы длительное время происходит в поверхностном слое, не переходя в глубь покрытия. Гравиметрическими и металлографическими исследованиями установлено, что стравливание карбидного слоя наблюдается после выдержки образцов в пищевых кислотах в течение 1000...1500 ч.

Следовательно, для обеспечения высокой защитной способности диффузионных слоев в растворах пищевых кислот никелированные изделия необходимо насыщать хромом с добавками более сильных карбидообразователей (ванадия, титана), растворимых в высших карбидах хрома  $Me_7C_3$  и  $Me_3C_2$ . Использование таких покрытий для защиты деталей оборудования пищевой промышленности позволило получить годовой экономический эффект более 60 тыс. руб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федорченко И.М., Гуслиенко Ю.А., Лучка М.В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов с электрохимическими покрытиями // Защитные покрытия на металлах. — Киев. — 1981. — Вып. 15. — С. 24—28. 2. А.с. 870497 (СССР). Способ получения диффузионных покрытий на углеродистых сталях / Л.С. Ляхович, Л.Г. Ворошнин, Б.С. Кухарев и др. 3. Коррозионная стойкость в морской воде углеродистой стали с защитными покрытиями / Г.В. Земсков, Р.Л. Коган, В.П. Курис и др. // Защитные покрытия на металлах. — Киев, 1979. — Вып. 13. — С. 77—79.

УДК 621.785.539

К.Э. МОХАМЕД,

Б.С. КУХАРЕВ, канд. техн. наук (БПИ)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ СВОЙСТВ АЛЮМОЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОБРАЗЦАХ ИЗ СТАЛИ МАРКИ СТЗ

Алюмоцинковые покрытия на образцах из углеродистой стали, полученные из расплава цинка с различным содержанием Al, превосходят по коррозионной стойкости покрытия на основе чистых металлов Al или Zn [1, 2].

Исследовалась возможность получения алюмоцинкового покрытия диффузионным методом из порошковых сред при осуществлении процесса насыщения образцов последовательным методом по схеме: цинкование с последующим алитированием [3].

В работе [4] рассматривалось получение комплексного алюмоцинкового покрытия при осуществлении процесса насыщения по схеме: алитирование с последующим цинкованием. Коррозионная стойкость полученного покрытия в 3 %-ном растворе NaCl при периодическом погружении образцов во много раз выше, чем цинковых или алюминиевых.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния состава алитирующей среды, температурных параметров алитирования и последующего цинкования на электрохимические характеристики и коррозионную стойкость стали марки Ст3 с алюмоцинковым покрытием в различных средах, имитирующих условия атмосферной коррозии.

Процесс алитирования проводили в порошковой среде, содержащей 70 % (по массе) ферроалюминия (Al от 10 до 50 %), 30 % оксида алюминия и 1 % активатора процесса  $AlF_3$ , при температурах 800 и 850 °C в течение 4 ч.

Процесс цинкования осуществляется при температурах 400, 450, 500 и 550 °C в течение 4 ч в порошковой смеси: 50 % Zn + 45 %  $Al_2O_3$  + 4 % MgO + 1 % LiF.

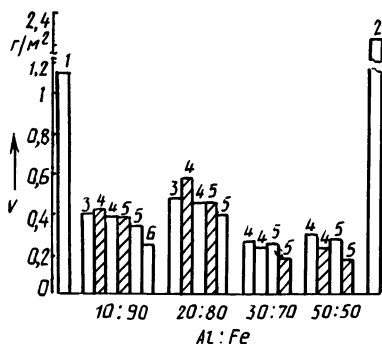


Рис. 1. Коррозионная стойкость покрытий в 3%-м растворе NaCl: 1 — чистое алитирование при 850 °C в смеси 50:50; 2 — чистое цинкование при 500 °C; 3 ... 6 — алитирование при 850 и 800 °C (заштриховано) с последующим цинкованием соответственно при 400, 450, 500 и 550 °C

Коррозионную стойкость исследовали путем периодического погружения образцов в 3%-й раствор NaCl на 1 ч и выдержки их на открытом воздухе в течение 7 ч. На рис. 1 показана скорость  $v$  коррозии покрытий (в сутки) после 15 сут испытания. Видно, что последующее цинкование алитированных образцов повышает коррозионную стойкость алюминидных покрытий, причем этот эффект возрастает по мере увеличения содержания Al в насыщающей среде.

Ниже дана общая характеристика внешнего вида покрытий после испытания:

Процесс	Характеристика поверхности
Цинкование, $t_{Zn} = 500$ °C, $\tau = 4$ ч	Сильное потемнение, продукты коррозии цинка — в виде пятен
Алитирование + цинкование (алитирование в смесях, бедных алюминием, — 10...20 % Al)	Незначительное потемнение, тонкий налет серо-белых продуктов коррозии
Алитирование + цинкование (алитирование в смесях, богатых алюминием, — 30...50 % Al)	Появление незначительных очагов коррозии стали
Алитирование, $t_{Al} = 850$ °C, $\tau = 4$ ч (в смеси — 50 % Al)	Образование сплошного слоя красной ржавчины

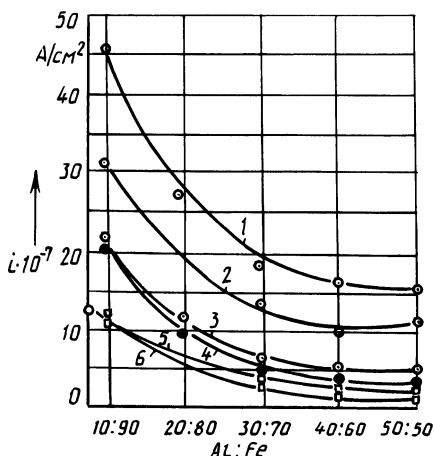
Электрохимические исследования проводили на потенциостате типа П-5848 в 3%-м растворе NaCl. Установлено, что электродные потенциалы ком-

плексного покрытия находятся в пределах  $-0,89...-0,96$  В. В случае же цинкования и алитирования (в смесях с высоким содержанием алюминия) эти значения соответственно равны  $-0,81$  и  $-0,65$  В. Электродный потенциал углеродистой стали марки Ст3 в этой среде составляет  $-0,49$  В. Это свидетельствует о наличии защитного протекторного действия у исследуемых покрытий по отношению к стали марки Ст3.

Токи коррозии определяли методом четырех точек в зависимости от исследуемых параметров процесса насыщения. Полученные результаты (рис. 2) показывают, что плотность  $i$  токов коррозии при алитировании уменьшается с увеличением температуры насыщения смеси и содержания в ней

Рис. 2. Зависимость плотности токов коррозии от условий ХТО:

1,2 — чистое алитирование при 800, 850 °С (4 ч); 3,4 — алитирование при 800 °С с последующим цинкованием при 450, 500 °С; 5,6 — алитирование при 850 °С с последующим цинкованием при 400, 450 °С, С — чистое цинкование при 500 °С



алюминия. При содержании алюминия в смеси свыше 30 % заметного уменьшения плотности токов коррозии не наблюдается.

С повышением температуры последующего цинкования (см. рис. 2) снижается плотность токов коррозии по сравнению с чистым алитированием или цинкованием. Это особенно видно при алитировании цинкуемых образцов в смесях, богатых алюминием (30 % Al).

Электрохимические исследования подтверждают результаты испытания образцов в 3 %-м растворе NaCl при оценке их стойкости по потере массы.

Результаты длительных коррозионных испытаний (табл. 1) при влажности воздуха 98 % и температуре 25 °С оценивали по плотности коррозионных очагов, развивающихся на поверхности образцов. Эта оценка соответствует ASTM-стандарту G46-76. При этом виде испытаний комплексные покрытия превосходили по коррозионной стойкости алюминиевые. На образцах, алитированных в смеси, содержащей 30 % Al, возникает  $2,5 \cdot 10^3$  очагов на 1 м<sup>2</sup>. После цинкования образцов, алитированных в этой же смеси, следов коррозии не обнаружено. На поверхности образцов с цинковым и комплексным покрытиями после 5 суток испытания образовалась темно-серая пленка продуктов коррозии.

Результаты рентгеноструктурного анализа показали наличие в слое соединений FeAl и Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, причем основной фазой при насыщении в смесях с низким содержанием алюминия является FeAl.

Табл. 1. Плотность коррозионных очагов, развивающихся при испытании в течение 215 сут (очагов на  $1 \text{ м}^2$ )

Соотношение Al: Fe в алирующей среде	Чистое алитирование при		Алитирование с последующим цинкованием			
	800 °C	850 °C	$t_{\text{Zn}} 400 \text{ °C}$ , $t_{\text{Al}} 850 \text{ °C}$	$t_{\text{Zn}} 450 \text{ °C}$		$t_{\text{Zn}} 500 \text{ °C}$
				$t_{\text{Al}} 850 \text{ °C}$	$t_{\text{Al}} 800 \text{ °C}$	$t_{\text{Al}} 800 \text{ °C}$
50 : 50	$1 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	Нет следов коррозионного разрушения	$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$
30 : 70	$1 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^3$	То же	Нет следов коррозионного разрушения	Нет следов коррозионного разрушения
20 : 80	$5 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^3$	За время испытания 5 суток образовалась темно-серая пленка на поверхности образцов			
10 : 90	$1 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^4$				

При соотношении Al : Fe = 30 : 70 в алирующей среде после цинкования наряду с линиями фазы FeAl имеются линии, которые принадлежат соединению  $\text{Al}_3\text{Zn}_5$ . После цинкования образцов, алитированных в смесях, бедных алюминием, ослабевают линии основной фазы FeAl и наряду с фазой  $\text{Al}_3\text{Zn}_5$  появляются линии фазы  $\text{FeZn}_7$  и чистого цинка.

Выполненная работа позволяет сделать следующие выводы.

1. После цинкования получаемые комплексные покрытия по коррозионной стойкости и по внешнему виду можно разделить на два типа в зависимости от мощности алирующей среды: повышенной и пониженной коррозионной стойкости.

2. Комплексные алюмоцинковые покрытия, полученные при указанных выше условиях обработки, обладают более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с цинкидными и алюминидными покрытиями.

3. Повышение температуры цинкования или содержания алюминия в смеси увеличивает коррозионную стойкость покрытия.

4. Наилучшими результатами с точки зрения качества поверхности и коррозионной стойкости обладают образцы, обработанные по следующему режиму: алитирование при 850 °C в течение 4 ч в смеси ферроалюминия, содержащего 40 % Al, с последующим цинкованием при 450 °C в течение 4 ч. Коррозионная стойкость в этом случае возрастает в 9 и 5 раз в сравнении со стойкостью соответственно оцинкованных и алитированных образцов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. H. E. Townsend, C. F. Meitzner, Corrosion resistance of Zn - 4%Al and Zn - 7%Al alloy Coatings compared to Zn and Zn - 54%Al alloy Coatings // Materials performance. - 1983. - 22.-No. 1. - P. 54.2. Ф у д з и Х. Листовая сталь с покрытием сплавами

алюминий—цинк // БОСЭЙ Канри. — 1983. — 27— № 7. — С. 205. 3. М о х а м е д К.Э., К у х а р е в Б.С., Л я х о в и ч Л.С. Цинкование алитированной стали 3 // Металлургия.— Минск, 1985. — Вып. 20. — С. 43—45. 4. М о х а м е д К.Э., К у х а р е в Б.С., Л я х о в и ч Л.С. Диффузионное комплексное покрытие на углеродистой стали Ст3//Тез. докл. научн.-техн. конф. — Гомель, 1985. — Ч. II. — С. 30.

УДК 621.785.53

Е.И. СОКОЛОВСКИЙ,

Э.Д. ЩЕРБАКОВ, кандидаты техн. наук (БПИ)

## СТРУКТУРА ДИФФУЗИОННЫХ СЛОЕВ СИСТЕМ Cr—Al, Cr—Ti, Cr—Si НА КОРРОЗИОННО—СТОЙКИХ СТАЛЯХ

С целью повышения эксплуатационных характеристик коррозионно-стойких сталей исследовали системы диффузантов хром—алюминий, хром—титан, хром—кремний. Насыщение проводили в порошковых смесях на основе окислов насыщающих элементов. Изучена зависимость толщины, микротвердости и фазового состава диффузионных слоев на образцах из сталей 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, сплава 06ХН28МДТ от составов смесей и условий насыщения.

Установлено, что при содержании в смеси до 30 % Al (по массе) происходит насыщение сталей хромом. При 30...40 % Al имеет место одновременное насыщение сталей хромом и алюминием, а свыше 40 % Al формируются алитированные слои. С увеличением концентрации алюминия в смеси происходит интенсивный рост диффузионного слоя, микротвердость его падает. Алюминий, увеличивая диффузионную подвижность хрома, способствует снижению его концентрации в поверхностной зоне слоя.

Хромированные слои на образцах из сталей 12Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т состоят из трех основных зон (рис. 1): слаботравящейся на поверхности, включающей в себя две подзоны с линией раздела. Поверхностная подзона представляет собой  $\alpha'$ -фазу (твердый раствор железа в хrome) с включением  $\sigma$ -фазы. Вторая подзона — тонкая прослойка  $\sigma$ -фазы. Промежуточная, наиболее развитая — зона столбчатых кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора с включением  $\sigma$ -фазы. Максимальная микротвердость слоя 1100...1200 HV наблюдается в подзоне  $\sigma$ -фазы, в зоне столбчатых кристаллов она плавно снижается до 350...400 HV на границе слоя с основой.

Химический состав сталей оказывает существенное влияние на структуру диффузионных слоев. Так, на сплаве 06ХН28МДТ зона столбчатых кристаллов имеет гораздо меньшую, а внешняя зона большую по сравнению с исследованными сталями толщину. В структуре хромированного слоя сплава 06ХН28МДТ отсутствует подзона сплошной  $\sigma$ -фазы, слой имеет следующее строение:  $\alpha' + \sigma$  и  $\sigma + \alpha$ . Формирование хромированных диффузионных слоев сопровождается перераспределением легирующих элементов. Анализ концентрационных кривых свидетельствует о том, что формирование слоя сопровождается не только диффузией атомов хрома в глубинные слои сталей, но и встречной диффузией атомов основы к поверхности, а также десорбцией атомов железа и никеля с поверхности.