

процессе испытаний отмечен также и хрупкий характер разрушения боридного слоя, который имеет место главным образом на поздних стадиях.

Л и т е р а т у р а

1. Бельский Е.И., Пикуло В.М. К методике прецизионных испытаний на износ диффузионноупрочненных сталей. -- В сб.: Металлургия, вып. 4, Минск, 1973.

УДК 621.785.53

Ф.И. Пантелеенко, Б.С. Кухарев
канд.техн.наук, С.И. Кошина

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ДИФФУЗИОННЫХ ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Цинковые покрытия используются как антикоррозионные. Естественно, что их защитные свойства определяются фазовым составом и структурой диффузионного слоя. Приведем результаты исследования влияния условий насыщения и термической обработки на строение цинковых покрытий, полученных насыщением в порошковых смесях ($10-50\%Zn + 90-50\% Al_2O_3$) + $1-5NH_4Cl$ ($t^{\circ} = 500-700^{\circ}C$, $\tau = 1-3$ ч) в контейнерах с плавкими затворами. Исследование выполнено на углеродистых ст. 20, 45, У8 и техническом железе. Образцы перед насыщением очищали от загрязнений и окалины и обезжировали в четыреххлористом углероде. насыщение проводили по стандартной технологии. После насыщения контейнеры вместе с образцами охлаждали на спокойном воздухе.

Влияние условий химико-термической обработки и состава смеси на толщину диффузионного слоя на ст. 45 приведено в табл. 1. Изменение содержания активатора (NH_4Cl) в смеси от 1 до 5% не изменяет толщины слоя. Несколько необычной в данном случае является зависимость толщины диффузионного слоя от температуры процесса. Экспоненциальный закон роста слоя в случае цинкования из порошков не соблюдается. Как правило, фазовый состав слоя соответствует однофазным областям диаграммы состояния при температуре насыщения. Фазовый состав слоя идентифицировали с использованием металлографического, фазового рентгеноструктурного и микрорентге-

Таблица 1. Влияние состава смеси, температуры и продолжительности процесса диффузионного цинкования ст. 45 на толщину слоя

Содержание Zn в смеси, вес, %	Температура, °C								
	500			600			700		
	Продолжительность насыщения, ч								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	$\frac{4}{1+3}$	$\frac{16}{1+15}$	$\frac{27}{2+27}$	$\frac{30}{2+28}$	$\frac{46}{3+43}$	$\frac{58}{3+55}$	$\frac{42}{42+0}$	$\frac{56}{56+0}$	$\frac{70}{70+0}$
20	$\frac{12}{1+11}$	$\frac{34}{2+32}$	$\frac{50}{3+47}$	$\frac{65}{6+59}$	$\frac{100}{8+92}$	$\frac{122}{8+114}$	$\frac{70}{15+55}$	$\frac{95}{16+79}$	$\frac{100}{20+80}$
30	$\frac{20}{2+18}$	$\frac{45}{2+43}$	$\frac{55}{4+51}$	$\frac{90}{7+83}$	$\frac{120}{9+111}$	$\frac{135}{10+125}$	$\frac{102}{18+84}$	$\frac{120}{23+97}$	$\frac{120}{23+97}$
40	$\frac{28}{2+27}$	$\frac{50}{3+47}$	$\frac{70}{5+65}$	$\frac{110}{8+102}$	$\frac{154}{10+144}$	$\frac{170}{12+158}$	$\frac{115}{19+96}$	$\frac{140}{42+98}$	$\frac{142}{45+97}$
50	$\frac{33}{2+31}$	$\frac{58}{3+55}$	$\frac{85}{5+80}$	$\frac{124}{9+115}$	$\frac{165}{12+153}$	$\frac{180}{16+164}$	$\frac{120}{21+99}$	$\frac{165}{47+118}$	$\frac{170}{50+120}$

Примечание. $\frac{4}{1+3}$ (4 — общая толщина слоя; 1+3 — толщина Γ - и δ -фаз (при $t^{\circ} = 500^{\circ}\text{C}$ и 600°C) или $\Gamma + \alpha$ - и $\delta + \Gamma$ -фаз при $t^{\circ} = 700^{\circ}\text{C}$).

носпектрального анализом. Установлено, что фазовый состав слоя определяется в основном температурой процесса и составом насыщающей смеси. После цинкования при температуре 500°C в смеси с 5% цинка в течение 1—3 ч на железе и сталях формируется диффузионный слой, представляющий собой твердый раствор цинка в α -железе (α -фаза), микротвердость которой $H_{50} = 130 - 170 \text{ кг/мм}^2$. При увеличении содержания цинка больше 10%, помимо α -фазы, в слое формируется более богатая цинком Γ -фаза, образующая сплошную зону небольшой толщины* (сверху которой формируется тонкий слой) δ -фазы. Микротвердость Γ и δ -фаз составляет $510-550 \text{ кг/мм}^2$ и $300-410 \text{ кг/мм}^2$ соответственно. При насыщении в богатых цинком смесях (20—50%) диффузионный слой состоит из α -, Γ - и δ -фаз, причем большую часть слоя занимает δ -фаза. Так, при цинковании в смеси с 50% ($t^{\circ} = 500^{\circ}\text{C}$, $\tau = 3 \text{ ч}$) толщина слоя по зонам составляет: δ — 80 мкм, Γ — 5 мкм. Повышение температуры процесса до 600°C качественно не изменяет строения диффузионного слоя, увеличивается лишь толщина отдельных зон слоя (табл. 1). В случае цинкования при 700°C строение слоя резко изменяется. При насыщении в бедных цинком смесях (5—10% цинка) слой

* Здесь и далее под термином "толщина слоя" понимается толщина более богатых цинком чем α -фаза зон ввиду отсутствия четкой границы между α -фазой и структурой основы.

состоит не из отдельных зон, а из смеси α и Γ -фаз. При насыщении в более богатых цинком смесях (20–50% цинка) диффузионный слой состоит из α -твердого раствора и смеси $\alpha + \Gamma$ и $\delta + \Gamma$ -фаз, что подтверждается данными микрорентгеноспектрального анализа. С поверхности образца в отдельных местах формируется очень тонкая хрупкая зона, которая по данным послыонного рентгеновского анализа представляет собой смесь δ и ϵ -фаз.

С целью выяснения возможности получения требуемых структур диффузионных цинковых слоев изучалась природа процессов, протекающих в диффузионном цинковом слое при его термической обработке. Цинкованные образцы подвергали нагреву в порошковых смесях (не содержащих цинка и обеспечивающих неокислительную атмосферу) в контейнерах с плавкими затворами и выдерживали различное время от 2 мин до 3 ч. Структура образцов фиксировалась через каждые 2 мин охлаждением их в воде с температуры изотермической выдержки. Цинкование образцов проводили по режиму: $t^{\circ} = 700^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1\text{ч}$ в смеси (20% Zn + 80% Al_2O_3) + 2% NH_4Cl , исходная структура α -твердый раствор, зона смеси $\Gamma + \alpha$ -фаз и зона смеси $\delta + \Gamma$ -фаз. При изотермической выдержке при 500°C изменения в слое протекают медленно. Наиболее активно протекает трансформация диффузионного слоя при 700°C . Уже в процессе нагрева до 700°C начинает расти зона смеси Γ - и α -фаз, зона смеси $\delta + \Gamma$ -фаз соответственно уменьшается и в ней увеличивается количество Γ -фазы. После выдержки 2 мин с поверхности также появляется и растет зона Γ -фазы, толщина зоны $\delta + \Gamma$ -фазы при этом уменьшается. В зоне $\Gamma + \alpha$ -фаз растет количество α -твердого раствора. После выдержки в течение 30–35 мин весь слой состоит из смеси $\alpha + \Gamma$ -фаз. Дальнейшая выдержка лишь изменяет их соотношение (увеличивается количество α -фазы за счет Γ -фазы).

Полученные результаты позволяют утверждать, что в случае выдержки при 700°C происходит не только диффузионная разгонка слоя, но и интенсивное уменьшение концентрации цинка в слое за счет его испарения и диффузии в порошковую смесь. Эти процессы особенно интенсивно протекают в начальный момент выдержки за счет подплавления δ -фазы и облегчения всех диффузионных процессов и особенно процессов испарения. Подтверждением этого положения является гетерогенность структуры диффузионного слоя, свидетельствующая о резком различии в скорости описанных процессов в отдельных

участках диффузионного слоя и как следствие — образование развитой системы микрокапилляров по всей толщине диффузионного слоя.

Резюме. Приведенные результаты могут быть использованы при необходимости получения заданной структуры диффузионного слоя при эксплуатации цинкованных изделий.

УДК 621.785.3

Л.Г. Ворошнин, докт. техн. наук,
Ф.И. Пантелеенко

ДИФфуЗИОННОЕ ЦИНКОВАНИЕ СТАЛЕЙ В ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ

Данные по кинетике формирования, фазовому составу и свойствам диффузионного слоя при насыщении из порошков и других методах цинкования довольно многочисленны и подробно описаны в [1...5] и др.

Целью настоящей работы является исследование наименее изученных моментов цинкования из порошковых сред.

Влияние основных технологических параметров процесса цинкования: состава насыщающей среды, температуры и времени насыщения на толщину диффузионного слоя и его строение показано на рис. 1 и 2. При сравнительно низких температурах цинкования (до 600°С) структура слоя соответствует однофазным областям диаграммы состояния системы Fe — Zn (рис. 3) и определяется преимущественно температурой процесса и активностью насыщающей среды.

Механизм формирования цинковых покрытий значительно менее ясен. Можно считать установленным [1], что при цинковании в порошковых смесях насыщение протекает преимущественно за счет твердофазного или жидкофазного контакта Fe (сталь) Zn, а не за счет газовой фазы, формирующейся в насыщающей среде при температуре процесса. Это, в частности, однозначно доказывается следующим экспериментом: образцы помещали в насыщающую смесь лишь частично, остальная часть образцов засыпалась инертной засыпкой (шамотом). Контейнер герметизировался плавким затвором. Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о том, что толщина слоя на той части образцов, которая была помещена в активную среду, значительно больше, а концентрация в нем цинка выше. Об этом