АНАЛИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЦИНКОВЫХ ДИФФУЗИОННЫХ СЛОЕВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

В. М. Константинов, И. А. Булойчик

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, тел.: (+375 29) 305-41-36;
e-mail: Ilya.by@Gmail.com

Анализ свойств цинковых покрытий и термодиффузионных слоев, а также условий их применения в различных областях промышленности показывает, что в ряде производственных ситуаций цинковые покрытия должны обладать не только повышенной коррозионной стойкостью, но также быть устойчивыми к изнашиванию и иметь высокую степень сцепления с поверхностью защищаемого изделия. Термодиффузионные покрытия с этих позиций имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с гальваническими [1]. Применение способов термодиффузионного цинкования в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли промышленности представляет существенный интерес с точки зрения защиты изделий от коррозионно-эрозионного воздействия агрессивных сред [2].

С учетом этого перспективным является создание многокомпонентных диффузионных слоев, состоящих помимо цинка и железа из атомов более тугоплавких элементов по сравнению с цинком. Такие слои обладают в 2–2,3 раза более высокой коррозионной стойкостью по сравнению с однокомпонентными цинковыми слоями [3], а также повышенным комплексом механических свойств. При легировании цинковых слоев алюминием, медью и титаном наблюдались уменьшение хрупкости цинковых слоев в 1,1–1,3 раза, а также повышение их износостойкости в 1,2–1,3 раза [3].

Обсуждаемые многокомпонентные покрытия имеют определенную разницу в структуре (рис. 1). В отличие от диффузион-

ных слоев, полученных на основе порошков из чистого цинка, где концентрация атомов цинка постепенно изменяется по сечению диффузионного слоя, введение в порошковую смесь дополнительных легирующих элементов позволяет формировать слои с преимущественным расположением более тугоплавких легирующих атомов в поверхностной зоне диффузионного слоя.

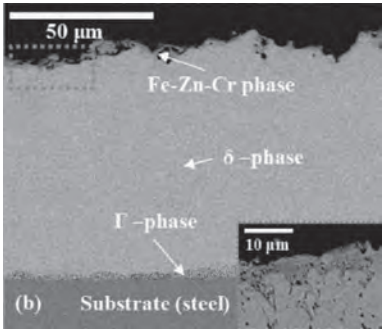

Рис. 1. Микроструктура многокомпонентного диффузионного слоя на основе цинка, дополнительно легированного хромом [4]

Результаты спектрального анализа многокомпонентных диффузионных слоев подтверждают факт нахождения более тугоплавких элементов в поверхностной зоне диффузионного слоя (рис. 2).

Такое строение существенно влияет на характер коррозионного разрушения диффузионного слоя. Так, например, коррозионная стойкость стали 40Х после цинкования с дополнительным введением атомов меди, титана и алюминия в 2–2,3 раза выше,

Рис. 2. Данные спектрального анализа диффузионного слоя на основе цинка, дополнительно легированного атомами Al [4]

чем после цинкования в порошке из чистого цинка [3]. Данный факт можно объяснить тем, что при взаимодействии с коррозионно-активной средой на поверхности многокомпонентных диффузионных цинковых слоев образовуются плотные пленки из нерастворимых продуктов окисления железа, цинка и легирующих элементов более сложного химического состава, чем в случае однокомпонентного насыщения цинком, которые активно препятствуют дальнейшему распространению коррозии. В определенной степени обсуждаемые покрытия по характеру электрохимического поведения являются комбинированными – анодно-катодными. При этом электрохимическая защита цинксодержащего слоя усиливается изоляционным действием наружной зоны слоя.

Легирование Al, Cu, Ti, Mg и рядом других элементов также повышает механические характеристики диффузионных слоев на основе цинка (твердость, износостойкость). Наличие более тугоплавких элементов в поверхностной зоне диффузионного слоя формирует с железом и цинком интерметаллидные соединения, обладающие большей твердостью по отношению к остальной части диффузионного слоя, что также обеспечивает сжимающие напряжения.

Анализ микрохрупкости показал, что напряжение скола диффузионных слоев, дополнительно легированных атомами меди, титана и алюминия, соответствовало $\sigma_{ск}$ (ZnAl) = 5,2–5,6 МПа и было в 1,1–1,3 раза ниже этой характеристики для нелегированных цинковых слоев $\sigma_{ск}$ (Zn) = 5,7–7,3 МПа [3]. Легирование поверхности диффузионного слоя повышает его релаксационную способность при пластической деформации и уменьшает его хрупкость, что связано с постепенным изменением твердости по всему сечению диффузионного слоя за счет наличия достаточно твердой зоны, представленной интерметаллидным соединением $FeZn_7$ (δ-фаза), которая находится под зоной, легированной дополнительными более тугоплавкими элементами.

Следует отметить, что при использовании для цинкования смесей, составленных из нескольких металлических компонен-

тов, следует учитывать возможное изменение фазового состава насыщающей смеси в процессе нагрева до температур цинкования. На рис. 3 приведена диаграмма состояния Zn–Al.

Из диаграммы видно, что при соотношении (мас. %) 90% Zn и 10%Al возможно формирование эвтектического сплава с температурой плавления порядка 380 °С. Температура плавления данного сплава ниже температуры плавления чистого цинка, соответственно испарение порошка будет происходить значительно интенсивнее. Скорость формирования диффузионного слоя в значительной мере зависит от давления паров цинка внутри реторты. С повышением давления паров цинка внутри реторты происходит активация диффузионных процессов.

Дополнительное легирование позволяет формировать защитные термодиффузионные слои повышенной стойкости к истиранию и воздействию агрессивных сред по сравнению с обычными термодиффузионными слоями из цинка и железа.

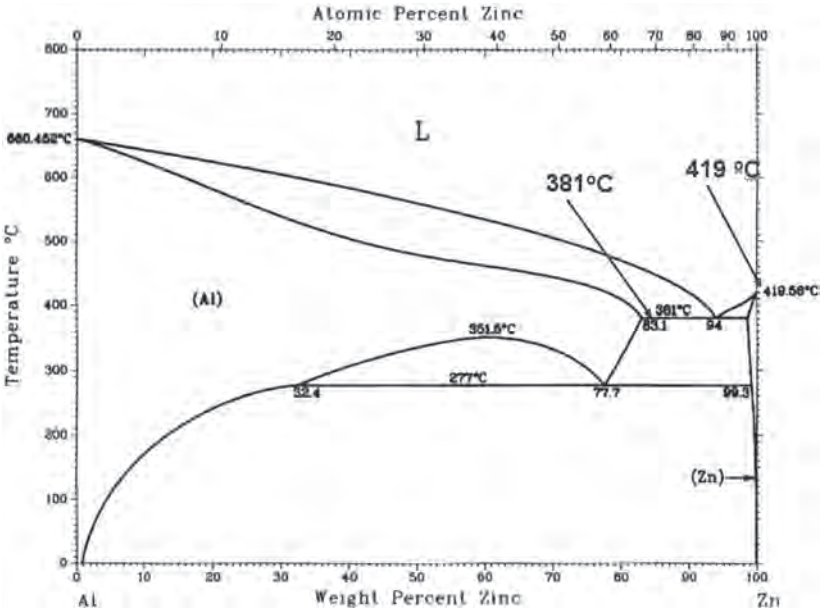

Рис. 3. Диаграмма состояния Zn–Al

Присутствие в поверхностной зоне цинкового диффузионного слоя атомов более тугоплавких по сравнению с цинком металлов позволяет формировать на поверхности изделия более плотные защитные пленки на основе продуктов взаимодействия легирующих элементов и коррозионно-активной среды, снижая интенсивность коррозионного разрушения диффузионного слоя в целом.

Литература

1. *Ворошнин, Л. Г.* Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л. Г. Ворошнин, Ф. И. Пантелеенко, В. М. Константинов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: ФТИ, 2001. – 148 с.

2. Инновационная технология цинкования «Неоцинк» – новые возможности для защиты от коррозии длинномерных металлических изделий и конструкций / Е. В. Проскуркин [и др.] // Нац. металлургия. – 2009. – № 1. – С. 72–77.

3. *Баландин, Ю. А.* Диффузионное многокомпонентное цинкование стали 40Х в виброкипящем слое / Ю. А. Баландин, А. С. Колпаков, Е. В. Жарков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009. – № 1. – С. 46–49.

4. The effect of Al and Cr additions on pack cementation zinc coatings / D. Chaliampalias [et. al.] // Appl. Surface Sci. – 2010. – N 256. – P. 3618–3623.

ОЦЕНКА ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТ УПРОЧНЕНИЯ ОСНОВЫ В СИСТЕМЕ КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ – НИТРИД ТИТАНА

В. М. Константинов, А. В. Ковальчук

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, тел.: (+375 29) 638-88-27,
факс: (+375 17) 293-91-16, e-mail: V_M_Konst@mail.ru

Целью работы являлась оценка изменения эксплуатационных свойств в системе конструкционная сталь – нитрид титана от упрочнения стальной основы химико-термической обработкой. Задачами исследований были установление эффекта повышения