

УДК 669.58

И. А. Булойчик

Учреждение образования «Белорусский национальный технический университет»,
пр-т Независимости, 65, 220013 Минск, Республика Беларусь, +375 (17) 293 93 30, ilya.by@gmail.com

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СЛОЕВ НА ОСНОВЕ ЦИНКА ПРИ ЦИНКОВАНИИ ТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДИФФУЗИОННЫМ СПОСОБОМ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Приведены данные по исследованию формирования цинковых интерметаллидных диффузионных слоев на термически упрочненных поверхностях в условиях структурного изменения металла. Для цинковых диффузионных слоев, сформированных на мартенситной стальной основе, наблюдали повышение значений микротвердости и зоны формирования твердого раствора цинка в железе (α -фаза) в сравнении с цинковыми диффузионными слоями, сформированными на стали с перлитной структурой.

Ключевые слова: термодиффузионное цинкование в порошковых насыщающих средах; защита от коррозии; диффузионный слой; микроструктура; микротвердость.

Рис. 5. Библиогр.: 5 назв.

I. A. Buloichyk

Belorussian National Technical University, 65 Nezavisimosti Ave., 220013 Minsk,
the Republic of Belarus, +375 (17) 293 93 30, ilya.by@gmail.com

ANALYSIS OF CHANGES IN THE STRUCTURE FORMATION OF ZINC-BASED INTERMETALLIC LAYERS DURING GALVANIZING OF HEAT-HARDENED STEEL PRODUCTS BY DIFFUSION METHOD FROM THE GAS PHASE

Data on the study of the formation of zinc intermetallic diffusion layers on thermally hardened surfaces under conditions of structural change of the metal are presented. For zinc diffusion layers formed on a martensitic steel base, an increase in the values of microhardness and the zone of formation of a solid solution of zinc in iron (α -phase) was observed in comparison with zinc diffusion layers formed on steel with a pearlite structure.

Key words: thermodiffusion galvanizing in powder saturating media; corrosion protection; diffusion layer; microstructure; microhardness.

Fig. 5. Ref.: 5 titles.

Введение. Проблемы антикоррозионной защиты металлоизделий были и остаются актуальными для промышленно развитых стран. Существует множество технологий получения антикоррозионных покрытий на стальных и чугунных деталях. Значительная часть производства антикоррозионных покрытий отведена технологиям цинкования. Следует отметить, что в настоящее время в Республике Беларусь существует достаточно большое количество предприятий, обеспечивающих цинкование изделий в расплавах цинка и электролитах. Однако традиционные цинковые покрытия, полученные данными способами, в ряде случаев не обеспечивают требуемые эксплуатационные показатели [1; 2]. Одним из альтернативных

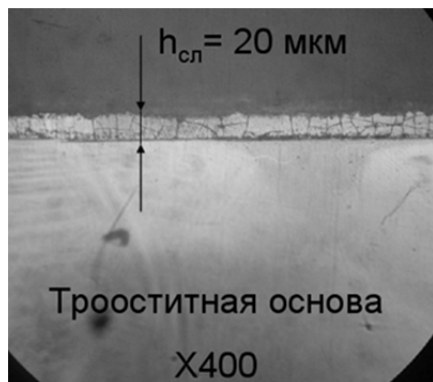
направлений в сфере получения защитных цинковых покрытий на стальных изделиях является способ термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (далее — ТДЦ). Преимущественной особенностью данного способа является возможность замены процессом ТДЦ ряда операций термической обработки деталей (отпуска), что ведет к снижению затрат на термическую и антикоррозионную обработку изделий.

При формировании интерметаллидных слоев на основе цинка важное значение имеет структура стальной основы, на которой происходит диффузионное взаимодействие атомов насыщающего элемента и насыщаемой основы. В большинстве случаев при антикоррозионной обработке стальных изделий данным способом формирование диффузионного слоя происходит на ферритно-перлитных структурах с низким содержанием легирующих элементов. С учетом традиционного температурного интервала протекания процессов ТДЦ (380...420 °С) формирование диффузионного цинкового слоя на стальных изделиях возможно также после закалки на мартенсит. В этом случае процесс происходит в условиях диффузионного распада пересыщенного твердого раствора (мартенсита) [3]. Формирование диффузионного слоя происходит на поверхности с большой степенью дефектности кристаллического строения в условиях значительных структурных напряжений. С одной стороны, из теории диффузии известно, что чем выше степень дефектности (дислокации, границы раздела фаз и др.) насыщаемой подложки, тем интенсивнее будет происходить диффузионное проникновение насыщающего атома в поверхность подложки за счет увеличенного количества «легких путей диффузии». Процессы интенсивной фазовой перекристаллизации во время распада мартенсита при отпуске также могут активировать взаимную диффузию атомов железа и цинка, способствуя более активному формированию диффузионного слоя. С другой стороны, с учетом данных источника [4], где указано, что формирование диффузионных слоев на основе цинка происходит в условиях взаимной диффузии атомов железа и цинка, значительные термические и структурные напряжения в мартенсите, а также большая, по сравнению с перлитными структурами, концентрация углерода могут препятствовать встречной диффузии атомов железа и замедлять формирование интерметаллидных фаз диффузионного слоя. Следовательно, рассматривая процессы диффузионного взаимодействия атомов цинка с поверхностью пересыщенного твердого раствора (мартенсита), следует учитывать влияние закалочных напряжений на характер диффузии атомов железа.

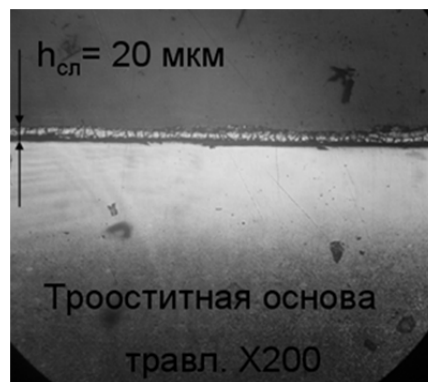
Материалы и методы исследования. Для определения свойств и состава диффузионных слоёв использовали методы оптической микроскопии в совокупности с методом измерения микротвердости вдавливанием алмазных наконечников по ГОСТ 9450-76.

Организация исследования. Цинкованию подвергали образцы из стали 65Г в структурном состоянии перлит зернистый (состояние поставки проволоки из стали 65Г), мартенсит в отожженном состоянии при 830 °С, структурно соответствующему ферритно-перлитной структуре (Ф + П). Формирование слоя производили термодиффузионным цинкованием во вращающемся контейнере и в стационарных тиглях с применением порошковых насыщающих сред на основе чистого цинка без применения активаторов при различной длительности выдержки. С применением вращающегося контейнера длительность выдержки образцов составляла 30 и 50 мин. Длительность выдержки образцов с применением стационарных тиглей составляла до 2,5 ч.

Результаты исследования и их обсуждение. Толщина цинковых диффузионных слоев, полученных во вращающемся контейнере, составляла порядка 20 мкм для каждого типа подложек (рисунки 1—3).

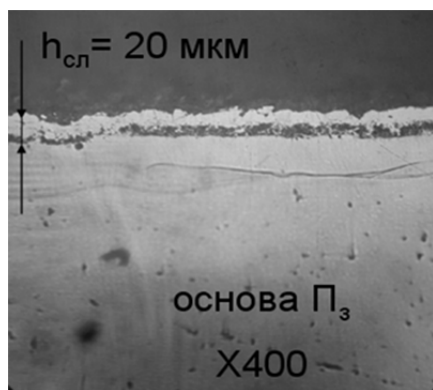


а)

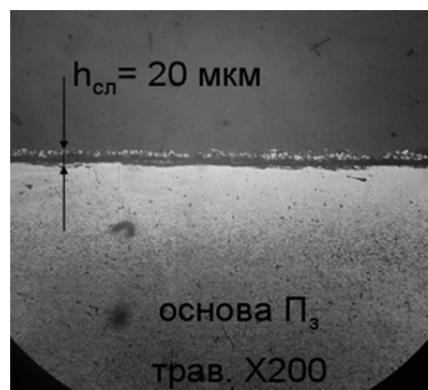


б)

Рисунок 1. — Диффузионный цинковый слой, полученный на стали 65Г после закалки. Исходная структура стальной основы: мартенсит тетрагональный и аустенит остаточный. Цинкование 410 °С, 30 мин: а — шлиф не травлен; б — травление 3 % HNO_3

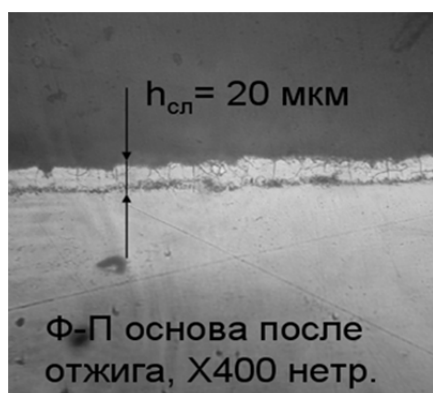


а)



б)

Рисунок 2. — Диффузионный цинковый слой, полученный на стали 65Г после закалки. Исходная структура стальной основы: перлит зернистый. Цинкование 410 °С, 30 мин: а — шлиф не травлен; б — травление 3 % HNO_3



а)



б)

Рисунок 3. — Диффузионный цинковый слой, полученный на стали 65Г после полного отжига. Исходная структура стальной основы: перлит пластинчатый + феррит избыточный. Цинкование 410 °С, 30 мин: а — шлиф не травлен; б — травление 3 % HNO_3

Следует отметить, что для цинковых диффузионных слоев, полученных на стальной мартенситной основе, характерна большая равномерность формирования (сохранение одинаковой толщины диффузионного слоя на разных участках шлифа). Повышение значений микротвердости для цинковых диффузионных слоев, сформированных на мартенситной подложке, объясняется более активным протеканием диффузионных процессов при формировании цинкового диффузионного слоя на подложке такого типа, что, в свою очередь, влияет на фазовый состав формируемого диффузионного слоя. Отличительной особенностью диффузионно-оцинкованных образцов с мартенситной основой является увеличенная зона α -фазы, представленная на шлифе в виде слабо травящейся светлой полосы под цинковым диффузионным слоем, а также повышение значений микротвердости диффузионного слоя до 3 300 МПа в сравнении с цинковыми диффузионными слоями, сформированными на перлитной и ферритно-перлитной основах (рисунки 4, 5).

Повышение значений микротвердости для цинковых диффузионных слоев, сформированных на мартенситной подложке, связано с более активным протеканием сорбционных и диффузионных процессов при формировании цинкового диффузионного слоя на стальной подложке мартенситного типа, что, в свою очередь, влияет на фазовый состав формируемого диффузионного слоя.

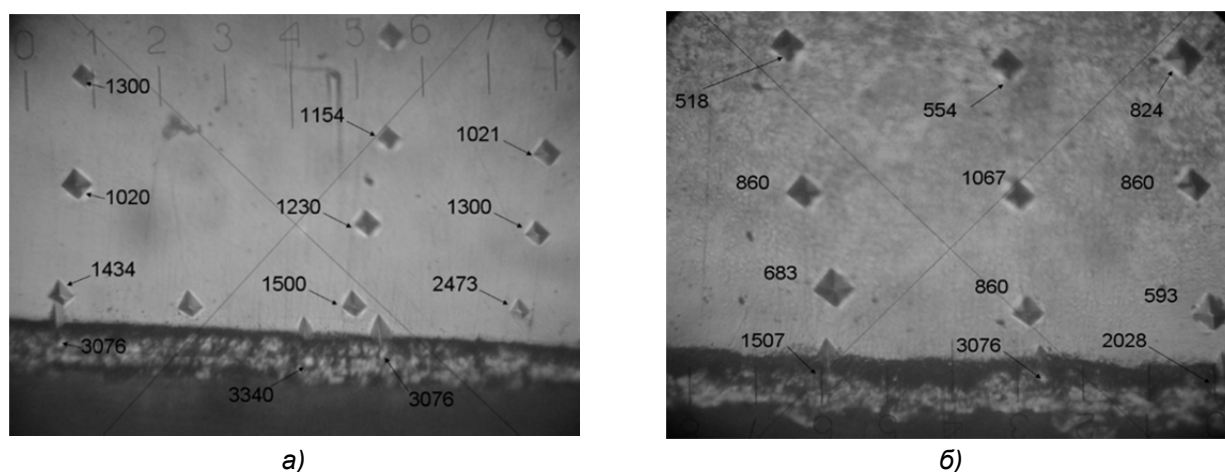


Рисунок 4. — Микротвердость на мартенситной (а) и ферритно-перлитной стальных основах (б) после термодиффузионного цинкования при 410 °С, 30 мин

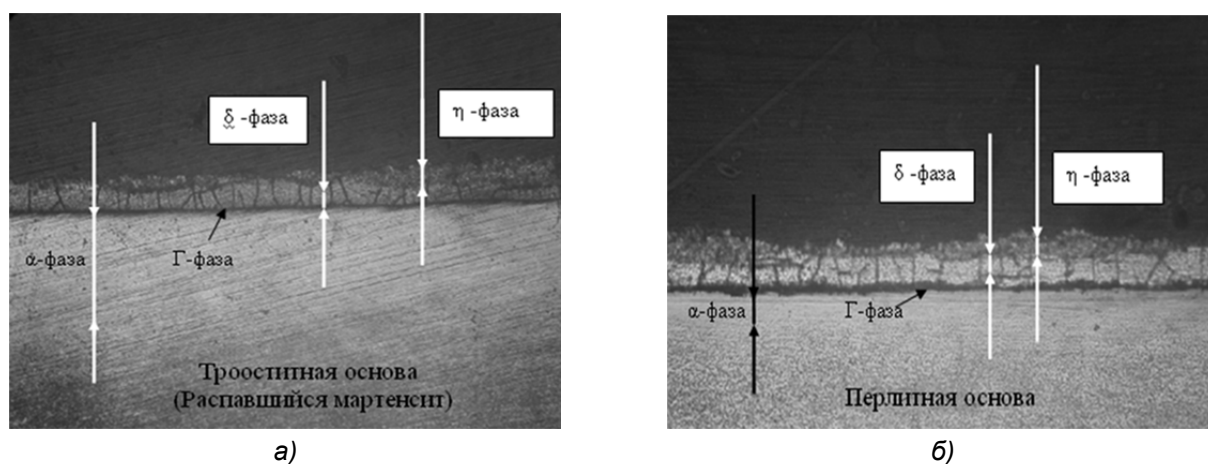


Рисунок 5. — Различия формирования зоны α -фазы для цинковых диффузионных слоев сформированных на мартенситной (а) и перлитной (перлит зернистый) основах (б), $\times 400$

Увеличение зоны α -фазы для цинковых диффузионных слоев, сформированных на мартенситной основе, связано с наличием большого количества дефектов структуры, характерных для мартенсита закалки и являющихся дополнительными «путями» диффузии для атомов насыщающего элемента. Если принять, что α -фаза (твердый раствор цинка в железе) формируется одной из первых при формировании диффузионного цинкового слоя [5], то увеличение зоны α -фазы для мартенситной основы может быть связано с более активной диффузией (на большую глубину) атомов цинка в металлическую поверхность за счет большей дефектности кристаллического строения мартенситной стальной основы в сравнении с перлитной.

Заключение. Исходная структура стального изделия перед процессом цинкования может оказывать существенное влияние на характер формирования диффузионного слоя. Наличие мартенситной структуры стальной основы влияет на характер формирования цинковых диффузионных слоев, что подтверждается увеличением зоны твердого раствора цинка в железе (α -фазы) после процесса цинкования. Для цинковых диффузионных слоев, сформированных на ферритно-перлитных и перлитных основах, характерна неравномерность формирования, что может быть связано с более низкой активностью протекания диффузионных процессов на данном типе стальной основы.

Список цитируемых источников

1. Константинов, В. М. Антикоррозионные цинковые покрытия на стальных изделиях: перспективы термодиффузионных покрытий / В. М. Константинов, Н. И. Иваницкий, Л. А. Астрейко // *Литье и металлургия*. — 2013. — № 4 (73). — С. 107—110.
2. Константинов, В. М. Исследование структурообразования гальванически оцинкованных покрытий при термическом воздействии / В. М. Константинов, И. А. Булойчик // *Вестн. БарГУ. Сер. «Физико-математические науки (Физика). Технические науки (Машиностроение и машиноведение. Процессы и машины агроинженерных систем)»*. — 2013. — Вып. 1. — С. 96—101.
3. Константинов, В. М. Особенности реализации процессов термодиффузионного цинкования при антикоррозионной защите термообработанных стальных изделий / В. М. Константинов, И. А. Булойчик // *Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий: материалы 3-го Респ. науч.-техн. семинара, Минск, 5—6 дек.* / Белорус. гос. техн. ун-т. — Минск, 2013. — С. 66—70.
4. Сотсков, Н. И. Исследование физико-химических и технологических процессов при термодиффузионном цинковании / Н. И. Сотсков, Б. М. Жуков // *Промышл. и гражд. стр-во*. — 2009. — № 5. — С. 28—31.
5. Проскуркин, Е. В. Диффузионные цинковые покрытия / Е. В. Проскуркин, Н. С. Горбунов. — М.: Металлургия, 1972. — 248 с.

Поступила в редакцию 14.10.2021.