

**ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ
ПРИ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЕ
ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

В.М. Константинов, И.А. Булойчик

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
E-mail: v_m_konst@mail.ru, ilya.by@gmail.com*

Аннотация. В статье представлены особенности реализации процессов термодиффузионного цинкования при антикоррозионной защите стальных термообработанных изделий. Рассмотрены варианты использования процессов термодиффузионного цинкования в качестве заключительной операции термической обработки изделий в интервале температур 350–700 °С. Показано, что наиболее эффективна реализация процессов термодиффузионного цинкования в качестве замены отпуска закаленных стальных изделий в интервале температур 380–450 °С. Использование способа термодиффузионного цинкования для антикоррозионной защиты деталей, прошедших окончательную термическую обработку может приводить к разупрочнению изделия и снижению его класса прочности, что связано с дополнительным термическим воздействием на структуру металла.

Ключевые слова: термодиффузионное цинкование; термическая обработка; коррозионная стойкость; энергоэффективность; диффузионный слой.

Способ термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ГДЦ) является актуальной альтернативой традиционным процессам антикоррозионной защиты на основе цинка за счет ряда специфических свойств формируемого на изделии защитного покрытия. Известно, что данный способ широко применяется для качественной антикоррозионной защиты крепежных элементов, и, в отличие от других способов цинкования, позволяет формировать в поверхностной зоне детали интерметаллидные диффузионные слои, механические и антикоррозионные свойства которых существенно превосходят обычные покрытия на основе цинка [1, 2].

Традиционно, нанесение защитных цинковых покрытий производится непосредственно после окончательной термообработки дета-

лей. Если в процессе термической обработки изделия предполагается использовать операции отпуска, то наиболее экономически выгодным решением является совмещение либо замена отпуска процессом термодиффузионного цинкования, что позволит исключить дополнительные затраты на антикоррозионную обработку изделий, а так же сократить количество оборудования и повысить эффективность использования производственных площадей предприятия. Следует отметить, что температурный интервал процессов термодиффузионного цинкования составляет от 350 до 700 °С в зависимости от ряда особых технологических параметров процесса [3]. Такой широкий интервал рабочих температур позволяет подобрать необходимый режим цинкования с учетом предварительной термической обработки изделий. Проведенный теоретический анализ процессов, протекающих при отпуске закаленной стали позволил предложить несколько вариантов включения диффузионного цинкования в общий цикл термической обработки стальных изделий (рис. 1).

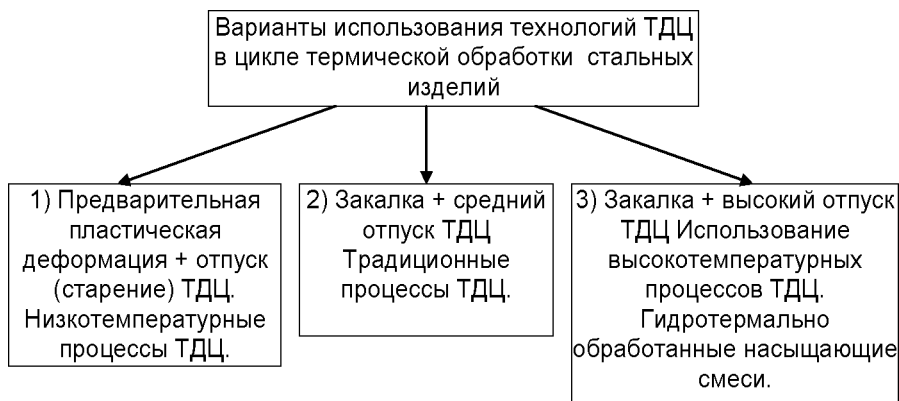


Рис. 1. Реализация процессов диффузионного цинкования в общем цикле термической обработки ряда металлоизделий

Использование процессов ТДЦ для замены высокого отпуска закаленных сталей возможно с использованием гидротермально обработанных насыщающих смесей. На порошке цинка, предварительно обработанного парами воды, формируется оксидная оболочка, препят-

ствующая спеканию порошка, которая за счет своей несплошности обеспечивает испарение цинка [4].

Наиболее эффективно процессы ТДЦ можно реализовывать при замене среднего отпуска – характерной завершающей стадией термической обработки для снятия внутренних напряжений большинства упругих элементов (граверные шайбы, пружины). Реализация данных процессов осуществима при использовании стандартных режимов диффузионного цинкования в порошковых насыщающих смесях (380–450 °С) и не требует сложных систем контроля атмосферы и подготовки насыщающей смеси.

На рис. 2, *а* представлен образец гравера, обработанный по интегрированной технологии цинкования с толщиной диффузионного слоя 20 мкм (рис. 2, *б*).

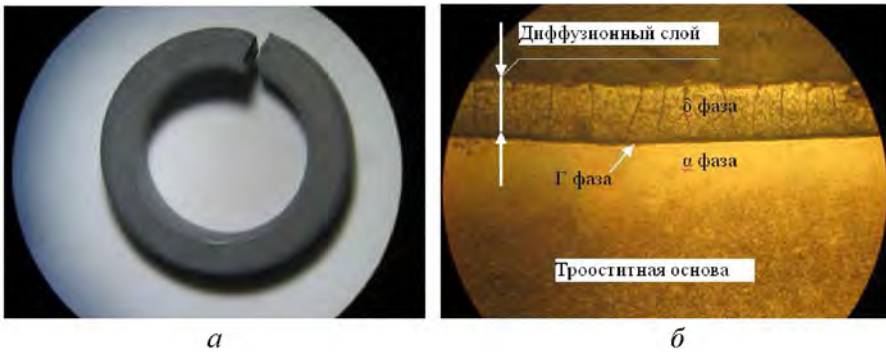


Рис. 2. Образец гравера, после термодиффузионного цинкования $\times 10$ (*а*); микроструктура диффузионного цинкового слоя, $\times 400$ (*б*)

Окончательная структура изделия формируется в процессе термодиффузионного цинкования в порошковой насыщающей среде. Под воздействием температуры цинкования происходит распад пересыщенного твердого раствора (мартенсита) с формированием трооститной структуры (рис. 3, *а*, *б*).

После цинкования, твердость граверов составляла 43–47 HRC, что обеспечивает соответствие регламентируемым параметрам эксплуатационных свойств для данного типа деталей [5].

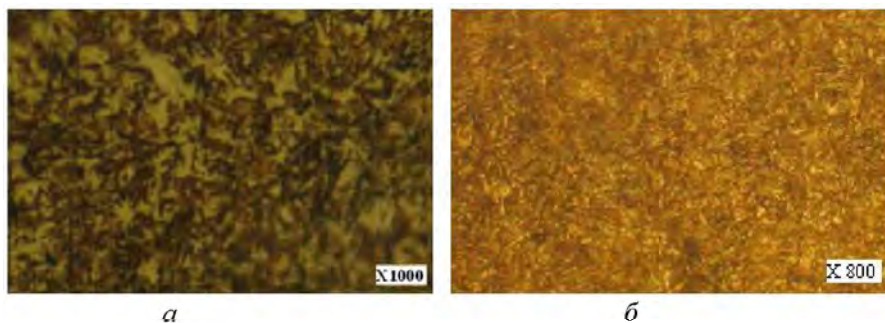


Рис. 3. Микроструктура сердцевины шайбы после закалки (а) и отпуска способом ТДЦ (б)

Детали не подверженные термообработке, а так же изделия с не регламентированными требованиями к классу прочности можно цинковать практически всеми способами цинкования. В данном случае выбор способа цинкования зависит от целесообразности цинкования конкретного вида деталей с учетом их размеров и сложности формы. Однако, при использовании термодиффузионного цинкования для защиты термообработанных стальных элементов металлоконструкций с регламентированными требованиями к классу прочности могут возникнуть проблемы, связанные с потерей изделиями прочностных характеристик в связи с воздействием температуры на структуру стали во время процесса цинкования. Таким образом, существует необходимость в исследовании влияния процессов термодиффузионного цинкования на снижение прочностных характеристик изделий подверженных термической обработке, а так же определении допустимых значений класса прочности изделий, подходящих для цинкования данным способом.

С целью определения возможного снижения прочностных свойств были проведены испытания на растяжение болтов в состоянии поставки, после отжига по режимам, совпадающим с режимами цинкования и непосредственно после цинкования способом ТДЦ. Количество испытаний составляло не менее 3-х для образцов с различными классами прочности. Для каждого класса прочности определяли предел прочности при растяжении в состоянии поставки, после отжи-

Секция 3

га и термодиффузионного цинкования. В качестве образцов для анализа использовали высокопрочные термообработанные болты различных классов прочности 4.6; 8.8; 9.8; 10,6 [6]. Количество испытаний составляло не менее 3-х для образцов с различными классами прочности. Для каждого класса прочности определяли предел прочности при растяжении в состоянии поставки, после отжига и термодиффузионного цинкования. Затем определяли разность между средним значением предела прочности в состоянии поставки и отпуска и, соответственно, после цинкования (рис. 4).

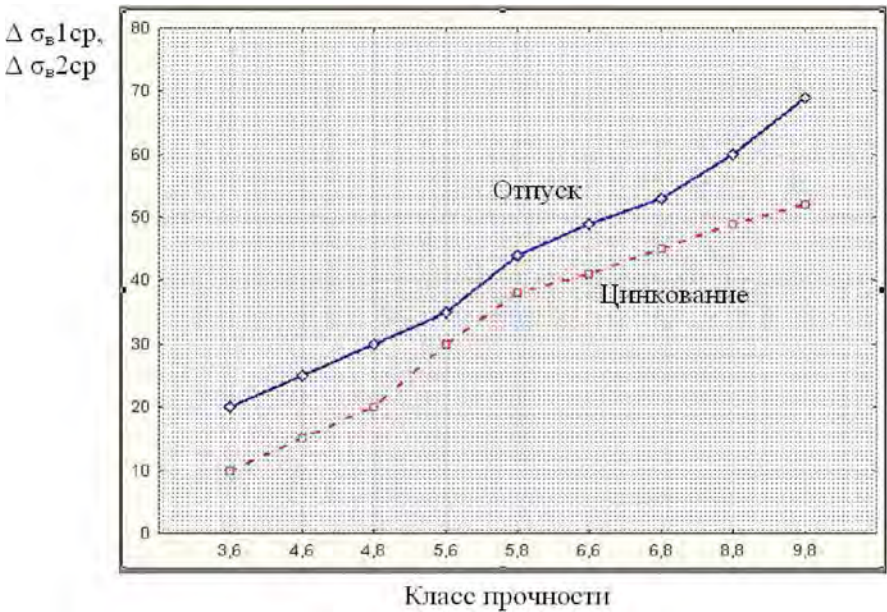


Рис. 4. Зависимость изменения разности среднего значения предела прочности при цинковании (450 °С, 1ч) – $\Delta \sigma_{в1ср}$ и отпуске (450 °С, 1ч) – $\Delta \sigma_{в2ср}$ от значения класса прочности

В ходе испытаний для образцов с различными классами прочности подверженных термодиффузионному цинкованию (450 °С, 1 ч) и отпуску (450 °С, 1 ч) наблюдали снижение значений предела прочности $\sigma_{в}$ и ус-

ловного предела текучести $\sigma_{0,2}$, что связано с активацией диффузионных процессов при дополнительном термическом воздействии и, как следствие, изменении структуры стали. Так, например, для высокопрочного крепежа с классами прочности 9,8–10,6 имеющего структуру сорбита отпуска нагрев и выдержка свыше 650 °С приводит к распаду «игольчатой» структуры цементитных пластин и формированию мелких равновесных зерен. Установлено, что для образцов с классами прочности вплоть до 8,8 снижение указанных характеристик не выходят за пределы допустимых значений оговоренных соответствующей нормативно-технической документацией (ГОСТ Р 52643–2006). Следует отметить, что эффект разупрочнения при цинковании меньше в сравнении с отжигом, что связано с отсутствием обезуглероживания при процессах диффузионного цинкования, а так же формированием более твердого, в сравнении со стальной основой, интерметаллидного цинкового диффузионного слоя, обеспечивающего наличие сжимающих напряжений на поверхности изделия.

Не смотря на то, что в отличие от классических способов нанесения защитных покрытий на основе цинка для термодиффузионного цинкования возможно разупрочнение изделий прошедших предварительную термическую обработку, рациональный подход к выбору температурных режимов, а так же учет класса прочности обрабатываемого изделия позволит выгодно применять данный способ в качестве антикоррозионной защиты. Для ряда деталей, таких например, как упругие элементы, эффективным решением является совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия, что позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку. При необходимости цинкования элементов прошедших окончательную термическую обработку (крепеж высокого класса прочности), следует учитывать, что с увеличением класса прочности при нанесении цинкового диффузионного покрытия разупрочнение возрастает. Поэтому, данным способом можно обрабатывать изделия с классами прочности до 8,8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проскуркин, Е.В. Диффузионные цинковые покрытия / Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов. – М. : Металлургия, 1972. – 248 с.

Секция 3

2. 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. – С. 107–111.
3. Воропнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки / Л.Г. Воропнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – Минск : Новое знание, 2010. – 304 с.
4. Галин, Р.Г. Новая технология изготовления порошковых насыщающих смесей для диффузионного цинкования / Р.Г. Галин // *МиТОМ*. – 1996. – № 1. – С. 21–25.
5. ГОСТ 6402–70. Шайбы пружинные. Технические условия.
6. ГОСТ Р 52643–2006. Болты и гайки высокопрочные и шайбы для металлических конструкций. Общие технические условия.