

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИФфуЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Константинов В.М., Булойчик И.А.

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

При использовании способа термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах (ТДЦ), принимая во внимание температурный интервал данного процесса, который находится в диапазоне от 300 до 700°C могут возникнуть проблемы, связанные с потерей изделиями эксплуатационных свойств в связи с разупрочняющим воздействием температур ТДЦ на структуру стали. Согласно данным источника [1], диффузионное цинкование не оказывает влияние на относительное удлинение, а также пределы прочности и текучести стали. Однако, для изделий, подверженных термической обработке, а также деталей с регламентируемыми требованиями к прочностным характеристикам обработка данным способом может вызвать изменение регламентируемых соответствующей нормативно-технической документацией характеристик. Изменение эксплуатационных свойств термически обработанных стальных изделий может произойти как за счет термического воздействия температур реализации процесса ТДЦ на структуру стали, так и за счет формирования в поверхностной зоне детали интерметаллидного диффузионного слоя, состоящего из высокопрочных, но в то же время хрупких фаз, в которых возможно зарождение и развитие усталостных трещин. Так, согласно данным источника [2], где представлены исследования влияния цинкования в расплаве и электролитического цинкования на усталостную прочность сталей после различного типа термической обработки, отмечено снижение прочностных показателей для образцов, оцинкованных в расплаве, что связано с зарождением и распространением усталостных трещин в зоне формирования твердых интерметаллидных фаз диффузионного слоя. В свою очередь, данных об исследовании влияния процессов диффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах на изменение прочностных характеристик термически обработанных стальных изделий не достаточно. Интересным для исследования является и тот факт, что в отличие от цинкования в расплавах, для диффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах с учетом широкого температурного интервала реализации процесса возможно управление фазовым составом формируемого на изделии диффузионного слоя, за счет чего возможен теоретический подбор фазового состава с минимальным влиянием на усталостные характеристики стали. На основании ранее проведенных исследований было установлено, что после диффузионного цинкования свыше 420°C вероятность разупрочнения термически обработанного крепежа возрастает [3]. Таким образом, существует необходимость в исследовании влияния процессов термодиффузионного цинкования на изменение прочностных свойств стальных изделий, подверженных термической обработке, а также определении условий эксплуатации стальных изделий, целесообразных для цинкования данным способом.

С целью определения влияния формирования цинкового диффузионного слоя на усталостные характеристики стальных изделий, провели сравнительное исследование механических свойств при циклических нагрузках термически обработанных образцов из стали 45, обработанных способом ТДЦ и без антикоррозионной обработки. Режимы термической обработки исследуемых образцов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Термическая обработка образцов перед проведением испытаний

Тип образцов	Режимы термической обработки	
	Закалка	Отпуск
Диффузионный слой отсутствует	Нагрев под закалку до 850 °С – в защитной атмосфере. Выдержка 30 мин.	Отпуск 450 °С, 180 мин (3 часа)
Обработанные способом ТДЦ	Охлаждение вертикально – в воду.	ТДЦ в стационарном тигле при 450 °С, 120 мин

Испытания проводили ускоренным методом ступенчатого нагружения по схеме, представленной на рисунке 1.



Частота вращения образца составляла 3000 мин⁻¹. Заданное значение начального уровня амплитуды напряжений при изгибе (σ_n) составлял 200 МПа. Интервал приращения амплитуды напряжений при изгибе ($\Delta\sigma$) приняли равным 50 МПа. Длительность ступени нагружения (n_i) составляла 10^5 циклов. Число циклов n_k на последней ступени нагружения определяли достижением предельного состояния (изломом образца). Переход на каждую ступень нагружения осуществляли без промежуточных пауз. Испытания проводили непрерывно до наступления предельного состояния (излома образца). По результатам испытаний определяли предельное напряжение при изгибе σ_k и долговечность образца N_{Σ} .

Результаты испытаний на механическую усталость для каждого исследуемого образца приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов на механическую усталость

№ образца	Предельное напряжение при изгибе σ_k , МПа	Долговечность образца N_{Σ} , цикл
Образцы с диффузионным слоем		
1	350	332350
2	300	253523
3	350	353364
Образцы без защитного покрытия		
4	400	484016
5	400	436715

Образцы с цинковым диффузионным слоем продемонстрировали меньшую долговечность и меньшее предельное напряжение при изгибе в сравнении со стальными образцами без защитного цинкового покрытия. Данный факт может быть обусловлен формированием хрупких интерметаллидных фаз (Γ – фаза) в переходной зоне от стальной основы к диффузионному слою в исследуемых образцах. Они являются концентраторами напряжений, которые при увеличении знакопеременной внешней нагрузки, могут являться причиной зарождения усталостной трещины. Фрактографический анализ изломов образцов после испытаний с цинковым диффузионным слоем (а) и без защитного покрытия (б) свидетельствуют о формировании усталостной трещины в поверхностной зоне детали (рис. 2).



Рисунок 2 – Характер изломов образцов после проведения испытаний
(а) – образец с цинковым диффузионным слоем
(б) – образец без защитного покрытия

Применяя технологии ТДЦ для антикоррозионной защиты деталей с регламентируемыми прочностными параметрами, следует учитывать влияние температур реализации процесса ТДЦ на структуру и эксплуатационные свойства изделий после предварительной и окончательной термической обработки. Для ряда деталей, испытывающих в процессе эксплуатации до 10^2 циклов нагружений (статическое нагружение), совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия является эффективным технологическим решением и позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку. Для деталей, работающих в условиях повторно статического (малоциклового) и усталостного (многоциклового) нагружений, испытывающих при эксплуатации свыше 10^4 циклов нагружений, антикоррозионная защита способом ТДЦ, может стать причиной снижения усталостных свойств за счет наличия высокотвердых хрупких фаз в цинковом диффузионном слое.

Список литературы:

1. Proskurkin E.V., Gorbunov N.S. «Diffusion Zinc Coatings», Moscow, «Metallurgy», 1972.
2. W.H. Swanger, R.D. France. Effect of Zinc coatings on the endurance properties of steel / Bureau of standards journal of research. Washington, April 30, 1932.
3. V M Konstantinov, I A Bulochyk. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 71 (2015) 012063 IOP, Link: <http://iopscience.iop.org/1757-899X/71/1/012063>.