

В.М. КОНСТАНТИНОВ, д-р техн. наук,
И.А. БУЛОЙЧИК (БНТУ)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИФфуЗИОННЫХ ЦИНКОВЫХ СЛОЕВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Термодиффузионное цинкование (ТДЦ) получило широкое распространение для антикоррозионной защиты стальных металлоизделий. Однако, температурный интервал ТДЦ (300–700 °С) накладывает определенные ограничения на обрабатываемые изделия в связи с разупрочняющим воздействием температур ТДЦ. Так, например, для ответственных строительных металлоконструкций нежелательные структурные изменения недопустимы.

Согласно данным [1], диффузионное цинкование не оказывает влияние на механические свойства, определяемые при статических испытаниях (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 характеристик, регламентируемых соответствующей нормативно-технической документацией. 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 высокотвердых, но в то же время хрупких фаз, в которых возможно зарождение и развитие усталостных трещин. На основании ранее проведенных исследований было установлено, что после диффузионного цинкования свыше 420 °С вероятность разупрочнения термически обработанного стального крепежа возрастает [2]. Это особенно актуально для высокопрочных крепежных элементов классом прочности более 8.8. В то же время, согласно данным источника [3], 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.

Был выполнен анализ известных данных по влиянию цинкования на усталостную прочность сталей. Так, на рисунках 1–3 представлены усталостные кривые для образцов из низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали после различной обработки поверхности, включая диффузионное цинкование.

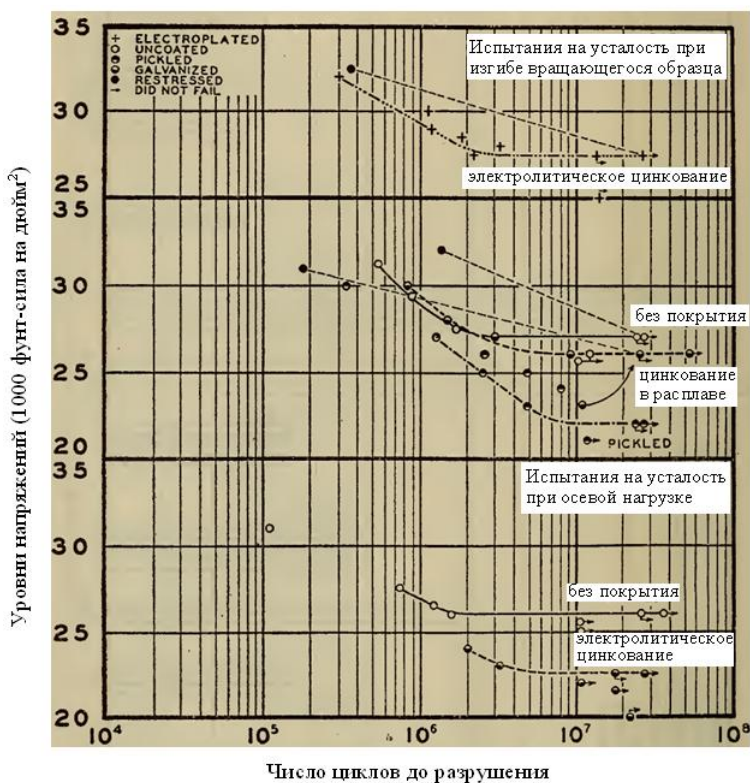


Рисунок 1 – Диаграмма усталостных напряжений для стали с содержанием 0,02 % масс. С [3]

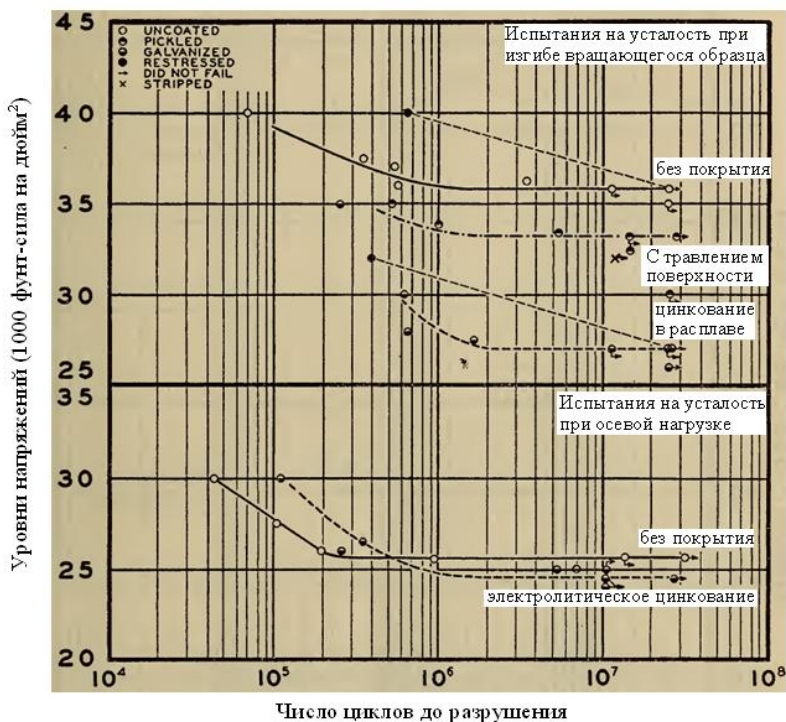


Рисунок 2 – Диаграмма усталостных напряжений для отожженной стали с содержанием 0,45 % масс. С [3]

Согласно данным источника [3], эффект от разупрочнения при диффузионном цинковании выше для термообработанных сталей с большим содержанием углерода. Это хорошо согласуется с ранее полученными данными, приведенными в работах [4, 5]. Существенное значение имеет также содержание углерода в стали. Авторский опыт и литературные данные дают основание полагать, что падение значений усталостной прочности при термодиффузионном цинковании строительных сталей с малым содержанием углерода будет меньше в сравнении с высокоуглеродистыми сталями.

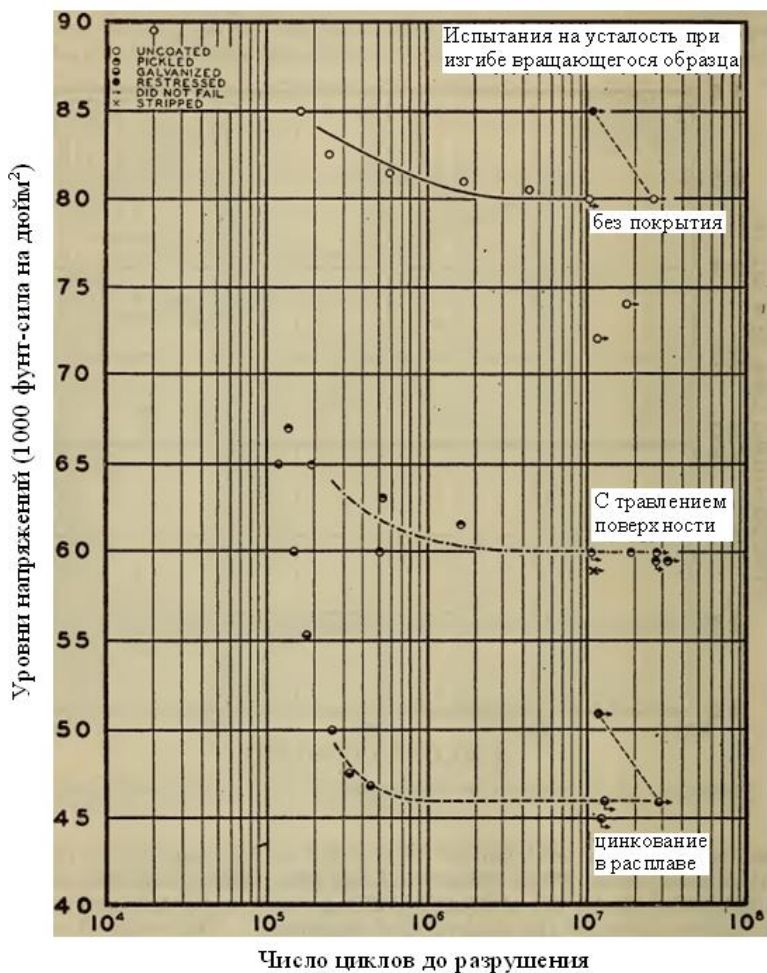


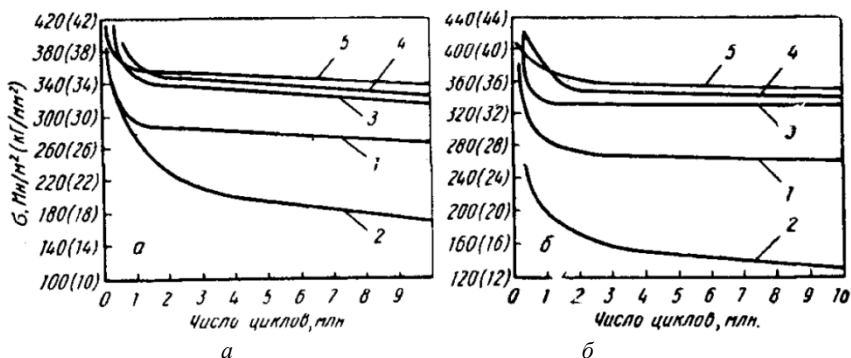
Рисунок 3 – Диаграмма усталостных напряжений для закаленной стали с содержанием 0,45 % масс. С [3]

Следует также принять во внимание 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 обоснованный подбор фазового состава для минимизации

влияния на усталостные характеристики стали. В то же время, согласно данным [1] и авторским результатам, приведенным в таблицах 1, 2 и на рисунках 4, 5, термодиффузионное цинкование не влияет на снижение предела прочности, а в ряде случаев с учетом особенностей коррозионной среды повышает предел выносливости стали в коррозионно-активной среде, предотвращая формирование коррозионных трещин в поверхностной зоне изделия за счет наличия цинкового интерметаллидного диффузионного слоя.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов на усталость, после коррозионных испытаний [1]

Марка стали	Вид обработки	Предел коррозионной усталости, МПа, определенный на стендах со скоростями:	
		3000 об/мин	45 об/мин
40X	Без защитного покрытия	175	120–130
40X	Термодиффузионное цинкование	270	260
20ХН		320	330
15НМ		325	340
35Г2		340	345



1 – сталь 40X; 2 – сталь 40X без защитного покрытия; 3 – сталь 20ХН; 4 – сталь 20НМ; 5 – сталь 35Г2

Рисунок 4 – Кривые коррозионной усталости стали при испытаниях на быстроходном (а) и тихоходном (б) стендах [1]

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов на механическую усталость для стали 65Г (после коррозионных испытаний)

№ образца	Предельное напряжение при изгибе σ_k , МПа	Долговечность образца N_Σ , цикл
Образцы с диффузионным слоем		
1	250	365159
2	300	398041
3	300	419716
Образцы без защитного покрытия		
4	300	395994
5	300	396893
6	300	439398

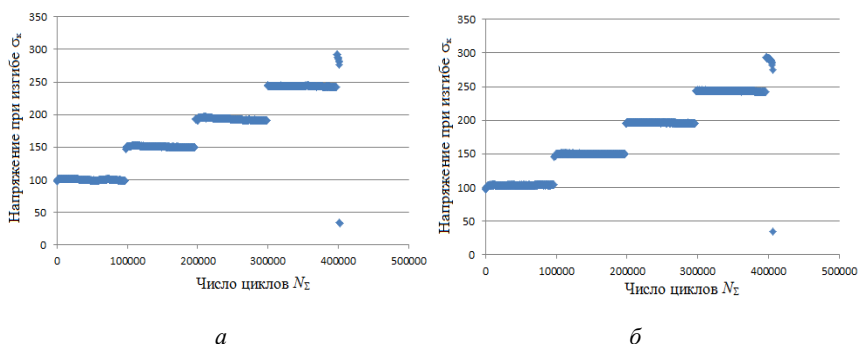


Рисунок 5 – Сравнение зависимостей напряжений при изгибе от числа циклов испытаний для образцов с защитным диффузионным слоем (а) и без защитного слоя (б)

Таким образом, термодиффузионное цинкование в порошковых насыщающих средах не влияет на изменение статических усталостных прочностных характеристик низкоуглеродистых строительных сталей низких классов прочности. Характер влияния ТДЦ на механические свойства высокопрочных строительных сталей требует дальнейших исследований. Увеличение содержания углерода в строительной стали может снизить усталостную прочность после ТДЦ.

Несмотря на снижение ряда прочностных характеристик для сталей с высоким содержанием углерода, указанный способ цинкования можно с успехом применять для антикоррозионной защиты строительных элементов нефтегазоперерабатывающих комплексов (колонны насосных штанг), работающих в условиях повышенного коррозионно-эрозионного изнашивания и выполненных из низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей.

Список литературы

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

2. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts [Электронный ресурс] / V.M. Konstantinov, I.A. Buloichyk. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering № 71, 2015 Article ID: 012063. – Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/1757-899X/71/1/012063>. – Дата доступа: 08.05.17

3. Swanger, W.H. Effect of Zinc coatings on the endurance properties of steel / W.H. Swanger, R.D. France // Bureau of standards journal of research. Washington, April 30, 1932.

4. Константинов, В.М. Исследование влияния термодиффузионного цинкования на усталостную прочность сталей / В.М. Константинов, И.А. Булойчик // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы XII Междунар. науч.-техн. конф.; ФТИ НАН РБ. – Минск, 2017. – С. 100–101.

5. Константинов, В.М. Влияние термодиффузионного цинкования на прочностные свойства термически обработанных стальных изделий / В.М. Константинов, И.А. Булойчик // Актуальные проблемы в машиностроении. – Новосибирск. – 2017. – Том 4. – № 4. – С. 107–112.