

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДИФфуЗИОННО ОЦИНКОВАННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННО-УСТАЛОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**Константинов В.М., Булойчик И.А.**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
v\_m\_konst@mail.ru, ilya.by@gmail.com*

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.

Согласно данным [1], диффузионное цинкование не оказывает влияние на механические свойства, определяемые при статических испытаниях (относительное удлинение, а так же пределы прочности и текучести стали). Однако, для изделий подверженных термической обработке, а так же деталей с регламентируемыми требованиями к прочностным характеристикам обработка данным способом может вызвать изменение регламентируемых соответствующей нормативно-технической документации 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 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. Принимая во внимание тот факт, что для ряда деталей, эксплуатирующихся в условиях знакопеременных нагрузок при повышенном коррозионно-абразивном изнашивании (колонны штанг бурильных труб нефтедобывающих комплексов) формирование цинковых интерметаллидных диффузионных слоев является более предпочтительным в сравнении с бездиффузионными покрытиями на основе цинка, существует необходимость в исследовании влияния процессов термодиффузионного цинкования на изменение прочностных свойств термообработанных стальных изделий работающих в условиях коррозионно-усталостного воздействия. Был выполнен анализ известных данных по влиянию цинкования на усталостную прочность сталей. Так, на рисунках 1, 2 представлены усталостные кривые для образцов из низкоуглеродистой и среднеуглеродистой стали после различной обработки поверхности. Согласно данным источника [3], эффект от разупрочнения при диффузионном цинковании выше для сталей с большим содержанием углерода, что коррелирует с авторскими данными [4, 5]. Существенное значение имеет так же 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.

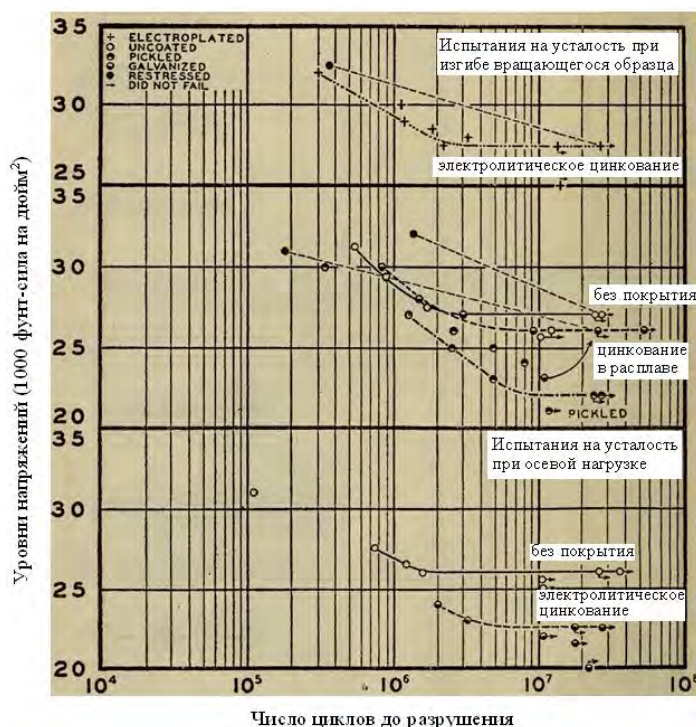


Рисунок 1 – Диаграмма усталостных напряжений для стали с содержанием углерода 0,02 % масс. [3]

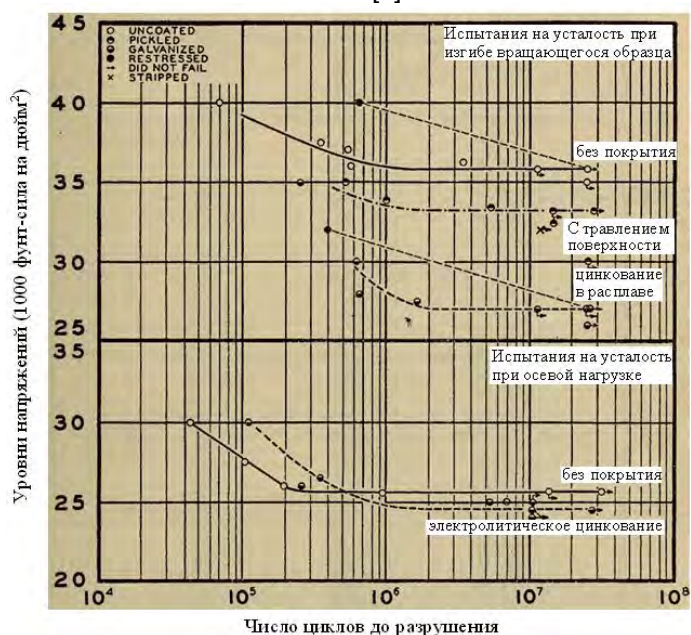


Рисунок 2 – Диаграмма усталостных напряжений для стали с содержанием углерода 0,45 % масс. [3]

Следует так же 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 металловедчески обоснованный подбор фазового состава для минимизации влияния на усталостные характеристики стали. В то же время, согласно данным [1] авторским результатам, приведенным в таблице 1 и на рисунке 3, 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

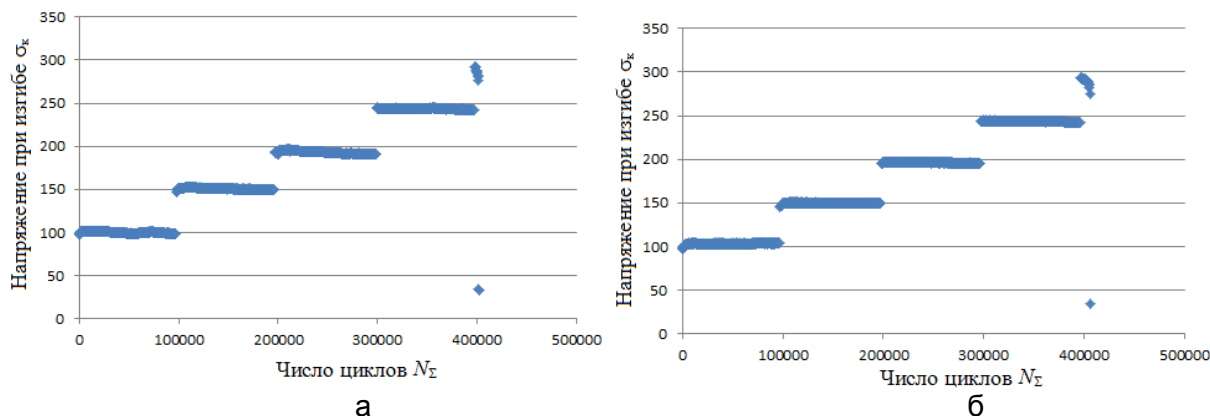


Рисунок 3 – Сравнение зависимостей напряжений при изгибе от числа циклов испытаний для образцов с защитным диффузионным слоем (а) и без защитного слоя (б) для образцов из стали 65Г после коррозионных испытаний

Таким образом, термодиффузионное цинкование в порошковых насыщающих средах не влияет на изменение статических усталостных прочностных характеристик низкоуглеродистых сталей низких классов прочности. Характер влияния ТДЦ на механические свойства высокопрочных сталей требует дальнейших исследований. Увеличение содержания углерода в стали может снизить усталостную прочность после ТДЦ. Не смотря на снижение ряда прочностных характеристик для сталей с высоким содержанием углерода, указанный способ цинкования можно с успехом применять для антикоррозионной защиты стальных деталей нефтегазоперерабатывающих комплексов (колонны насосных штанг), работающих в условиях повышенного коррозионно-эрозионного изнашивания и выполненных из низкоуглеродистых и среднеуглеродистых сталей.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов, Диффузионные цинковые покрытия, Москва, Металлургия 1972, 248с.
2. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts [Электронный ресурс] / V M Konstantinov, I A Bulochyk. 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. 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.
4. Константинов В.М., Исследование влияния термодиффузионного цинкования на усталостную прочность сталей / Константинов В.М., Булойчик И.А. // XII Международная научно-техническая конференция «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». ФТИ НАН РБ, – Минск, 2017 с. 100-101.
5. Константинов В.М., Булойчик И.А. Влияние термодиффузионного цинкования на прочностные свойства термически обработанных стальных изделий. Актуальные проблемы в машиностроении. Том 4. № 4. 2017, г. Новосибирск, с. 107-112.