

## К ПРОБЛЕМЕ ПРОЧНОСТИ ДИФФУЗИОННО ОЦИНКОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Константинов В.М., Булойчик И.А.

БНТУ, г. Минск, Беларусь, e-mail: v\_m\_konst@mail.ru, ilya.by@gmail.com

В большинстве случаев, нанесение защитных покрытий на крепежные элементы производится непосредственно после окончательной термообработки деталей. Детали не подверженные термообработке, а так же изделия с не регламентируемыми 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.

Известно, что для качественной антикоррозионной защиты крепежных элементов широко применяется способ термодиффузионного цинкования в порошковых насыщающих средах, который, в отличие от других способов цинкования, позволяет формировать в поверхностной зоне детали интерметаллидные диффузионные слои, механические и защитные свойства которых существенно превосходят обычные покрытия на основе цинка [1, 2].

Однако при использовании данного способа для защиты термообработанных элементов металлоконструкций с регламентируемыми требованиями к классу прочности возникают проблемы, связанные с потерей изделиями прочностных характеристик в связи с воздействием температуры на структуру металла 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 подходящих для цинкования данным способом.

Следует отметить, что температурный интервал процессов термодиффузионного цинкования составляет от 350 до 700 °C в зависимости от времени выдержки и ряда особых технологических параметров процесса. Такой широкий интервал рабочих температур позволяет подобрать необходимый режим цинкования с учетом предварительной термической обработки изделий. В случае если требуется произвести антикоррозионную защиту деталей прошедших окончательную термообработку, например, закалка + отпуск, процесс термодиффузионного цинкования целесообразно проводить при температурах ниже температуры отпуска с выдержкой, обеспечивающей формирование диффузионного слоя необходимой толщины, но не достаточной для существенного разупрочнения обрабатываемого изделия.

Если в процессе термической обработки изделия предполагается использовать операции отпуска, то наиболее рациональным решением проблемы будет совмещение либо замена отпуска процессом термодиффузионного цинкования. Данный вариант обработки особенно актуален для ряда упругих элементов, термообработка которых заключается в реализации процессов закалки и среднего отпуска. С учетом того, что для большинства марок сталей, из которых изготавливают упругие элементы, температурный интервал среднего отпуска совпадает с температурами термодиффузионного цинкования, замена стандартной операции для снятия внутренних напряжений цинкованием является актуальной альтернативой.

На рис. 1 а представлен образец гравера, обработанный по интегрированной технологии цинкования с толщиной диффузионного слоя порядка 20 мкм (рис. 1 б). После цинкования, твердость граверов составляла 43-47 HRC, что обеспечивает соответствие регламентируемых параметров эксплуатационных свойств для данного типа деталей.



Рисунок 1 – а) Образец гравера, после термодиффузионного цинкования  
б) Микроструктура диффузионного цинкового слоя, X500

Следует так же учесть, что в случае необходимости цинкования упругих элементов предварительно упрочненных холодной пластической деформацией с последующим низкотемпературным старением целесообразно применять низкотемпературные способы цинкования, так как рабочая температура большинства деталей после такой обработки не превышает 150 - 200 °С [3].

С целью определения возможного снижения прочностных характеристик были проведены испытания на растяжение болтов в состоянии поставки, после отжига по режимам совпадающим с режимами цинкования и непосредственно после цинкования.

В качестве образцов для анализа были предоставлены высокопрочные термообработанные болты различных классов прочности 4.6; 8.8; 9.8; 10.6. 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. И для каждого варианта испытаний проводили математическую обработку результатов. Затем определяли разность между средним значением предела прочности в состоянии поставки и отпуска и, соответственно, после цинкования (рис. 2)

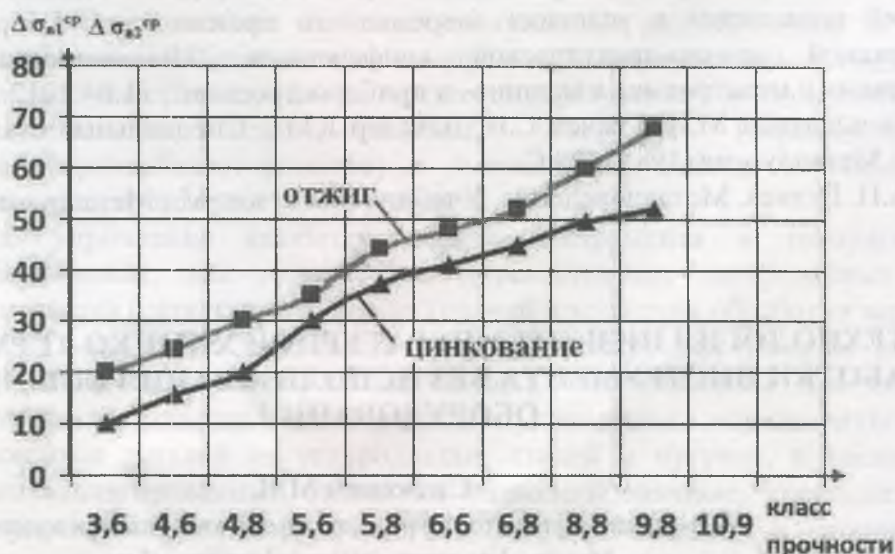


Рисунок 2 – Зависимость изменения разности среднего значения предела прочности при цинковании (450°С, 1ч) –  $\Delta \sigma_{0.2ср1}$  и отпуске (450°С, 1ч) –  $\Delta \sigma_{0.2ср2}$  от значения класса прочности.

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  $\sigma_b$  и условного предела текучести  $\sigma_{0.2}$ .

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. Однако при обработке деталей с различными габаритами и массой возможно изменение допустимого значения класса прочности изделия, подходящего для обработки способом термодиффузионного цинкования, что связано с изменением температурно-временных параметров процесса. В частности, увеличение времени выдержки предварительно упрочненного изделия способом закалки и последующего отпуска, может привести к активации диффузионных процессов и структурным изменениям в 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. Дальнейшее повышение температуры приводит к процессам возврата и рекристаллизации, что является причиной снижения прочности металла [4].

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 эффективным решением является совмещение среднего отпуска с процессом нанесения защитного покрытия, что позволяет повысить срок службы изделий с существенным снижением затрат на антикоррозионную обработку. Не смотря на то, что с увеличением класса прочности высокопрочных болтов при нанесении цинкового диффузионного покрытия разупрочнение возрастает, данным способом можно обрабатывать изделия с классами прочности до 8.8.

#### **Список литературы**

1. Е.В. Проскуркин, Н.С. Горбунов, Диффузионные цинковые покрытия, Москва, Металлургия 1972, 248с.
2. Константинов В.М., Булойчик И.А. Гегеня Д.В. Анализ перспективных технологий цинкования в условиях современного производства, Сборник материалов международной научно-практической конференции “Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении”, 11.04.2012.
3. Гольдштейн М.И. Грачев С.В. Векслер Ю.Г., Специальные стали. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1985, 408 С.
4. А.П. Гуляев, Металловедение. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986, 544 С.

### **ТЕХНОЛОГИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Ситкевич М.В.**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь, sitkevich\_v@mail.ru*

На предприятиях машиностроительного профиля Республики Беларусь используются десятки видов инструмента и техоснастки, изготавливаемых из дорогостоящих легированных инструментальных сталей типа P18, P6M5, P6M5K5, P12, P9, P6M3, P3M3, X12M, X12Ф1, 4X5MФC, 5X3B3MФC, 7X3, 5XHM и др. В большинстве случаев преимущественной причиной выхода из строя деталей, производящихся из