



УДК 621.74

Поступила 21.10.2013

И. А. БУЛОЙЧИК, БНТУ

Научный руководитель д-р техн. наук В. М. КОНСТАНТИНОВ, БНТУ

ТЕРМОДИФФУЗИОННОЕ ЦИНКОВАНИЕ УЛУЧШАЕМЫХ И ПРУЖИННЫХ СТАЛЕЙ

Рассмотрены некоторые особенности использования способа термодиффузионного цинкования улучшаемых и пружинных сталей. Продемонстрирована возможность использования способа термодиффузионного цинкования в качестве заключительной операции термообработки в интервале температур 350–700 °С с целью снятия внутренних напряжений после закалки. Представлена комплексная энергосберегающая технология термодиффузионного цинкования упругих элементов.

Some peculiarities of using the method of thermodiffusion galvanization of improved and spring steels are considered in the article. Possibility of using the method of thermodiffusion galvanization as final operation of heat treatment in temperature range of 350–700 °C for the purpose of removal of internal tension after chilling is demonstrated. The complex energy saving technology of thermodiffusion galvanization of resilient elements is presented.

В большинстве случаев нанесение защитных покрытий на крепежные элементы производится непосредственно после окончательной термообработки деталей. Детали, не подверженные термообработке, а также крепежные элементы с минимальными классами 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 [1–3], 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. Следует отметить, что температурный интервал процессов термодиффузионного цинкования составляет от 350 до 700 °С 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 термо-

диффузионного 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 показаны сравнительные схемы режимов термической и антикоррозионной обработки деталей с использованием стандартной технологии антикоррозионной защиты (рис. 1, а) и интегрированного процесса диффузионного цинкования (рис. 1, б).

Из рисунка видно, что интеграция процесса диффузионного цинкования в общий цикл термической обработки изделий позволяет сократить затраты на нагрев металла и уменьшить общее вре-

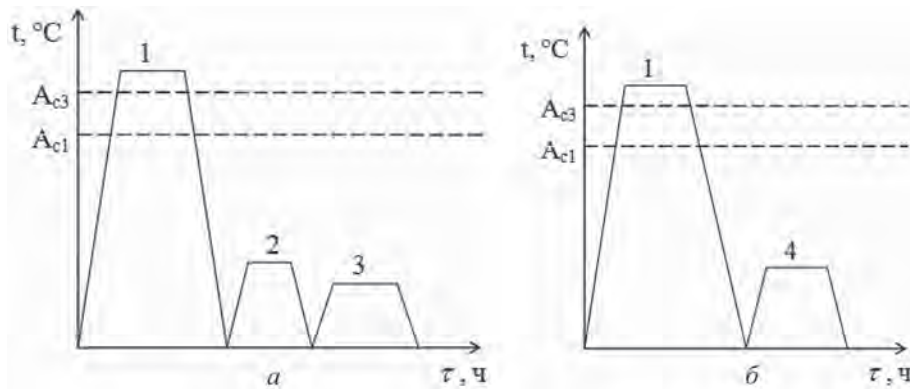


Рис. 1. Сравнение обработки изделий по стандартной технологии (а) и технологии с интеграцией процесса ТДЦ (б): 1 – нагрев под закалку, выдержка; 2 – отпуск, выдержка; 3 – нанесение защитного покрытия; 4 – формирование антикоррозионного слоя способом ТДЦ

мя техпроцесса. Проведенный теоретический анализ процессов, протекающих при отпуске закаленной стали, позволил предложить несколько вариантов включения диффузионного цинкования в общий цикл термической обработки стальных изделий (рис. 2).

Совмещение процессов старения, а также низкого отпуска с ТДЦ целесообразно при необходимости антикоррозионной защиты стальных деталей, для которых температурный интервал окончательной термической обработки находится в пределах не ниже 300°C. Активность протекания диффузионных процессов при ТДЦ в большей степени зависит от давления паров цинка внутри насыщающего пространства, а также количества кислорода, способствующего окислению насыщаемой поверхности и препятствующему протеканию диффузионных процессов между металлической основой и цинком [3]. С целью обеспечения возможности протекания диффузионных процессов между насыщающей смесью и стальной основой при минимальном давлении паров цинка процесс ТДЦ целесообразно проводить с использованием вакуумных систем либо продувкой инертными газами, вытесняющими кислород из рабочего пространства контейнера [4]. Использование процессов ТДЦ для замены высокого отпуска закаленных сталей возможно с использованием гидротермально

обработанных насыщающих смесей. Порошок цинка, предварительно обработанный парами воды, имеет температуру плавления, значительно превышающую температуру плавления чистого цинка, предотвращая спекание насыщающей смеси. Наиболее эффективно процессы ТДЦ можно реализовывать при замене среднего отпуска, характерной завершающей термической обработке для снятия внутренних напряжений большинства упругих элементов (граверные шайбы пружины). Реализация данных процессов осуществима при использовании стандартных режимов диффузионного цинкования в порошковых насыщающих смесях и не требует сложных систем контроля атмосферы и подготовки насыщающей смеси. На кафедре «Материаловедение в машиностроении» был разработан и внедрен в производство совмещенный технологический процесс термической обработки и ТДЦ граверных шайб (рис. 3).

На рис. 4 показан образец гравера, обработанный по интегрированной технологии цинкования с толщиной диффузионного слоя порядка 20 мкм.

На рис. 5, а представлена микроструктура сердцевины шайбы из стали 65 Г после закалки, которая соответствует мартенситу и некоторому количеству аустенита остаточного.

Окончательная структура изделия формируется в процессе термомодифицированного цинкования в по-



Рис. 2. Реализация процессов диффузионного цинкования в общем цикле термической обработки ряда металлоизделий



Рис. 3. Блок-схема процесса термической обработки, совмещенного с диффузионным цинкованием граверных шайб

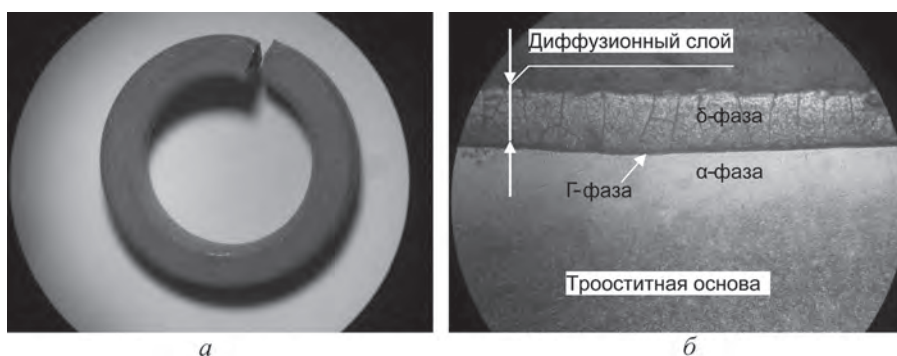


Рис. 4. Образец гравера после термодиффузионного цинкования (а); микроструктура диффузионного цинкового слоя (б). а – $\times 10$; б – $\times 400$

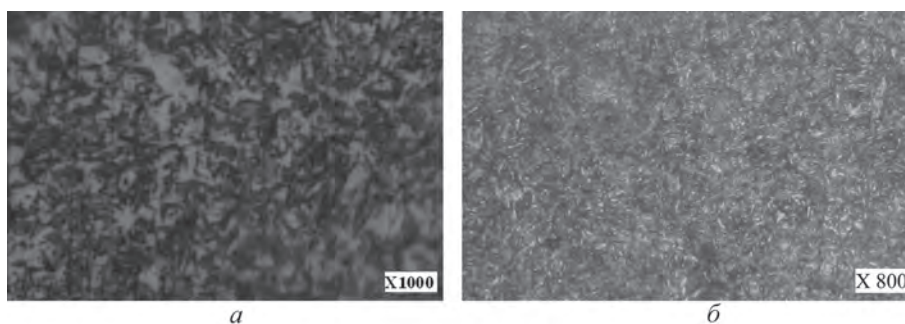


Рис. 5. Микроструктура сердцевины шайбы после закалки (а) и отпуска способом ТДЦ (б)

рошковой насыщающей среде. Под воздействием температуры цинкования происходит распад пересыщенного твердого раствора (мартенсита) с формированием трооститной структуры (рис. 5, б). После цинкования твердость граверов составляла 43–47 HRC, что обеспечивает соответствие регламентируемых параметров эксплуатационных свойств для данного типа деталей [5]. При использовании способа ТДЦ для защиты термообработанного крепежа с высоким классом прочности возникают проблемы, связанные с потерей изделиями прочностных характеристик при воздействии

температуры на структуру металла во время процесса цинкования. 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. 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 трех для образцов с различными классами прочности. Для каждого класса прочности опреде-

ляли предел прочности при растяжении в состоянии поставки, после отжига и термодиффузионного цинкования (рис. 6).

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 σ_B и условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, что связано с активацией диффузионных процессов при дополнительном термическом воздействии и, как следствие, изменении структуры стали. Установлено, что для образцов с классами прочности вплоть до 8.8 снижение указанных характеристик не выходит 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. Так, например, для высокопрочного крепежа с классами прочности 9.8–10.6, имеющего структуру сорбита отпуска нагрет 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 [7]. Несмотря на то что в отличие от классических способов нанесения защитных покрытий на основе цинка для термодиффузионного цинкования возможно разупрочнение изделий, прошедших предварительную тер-

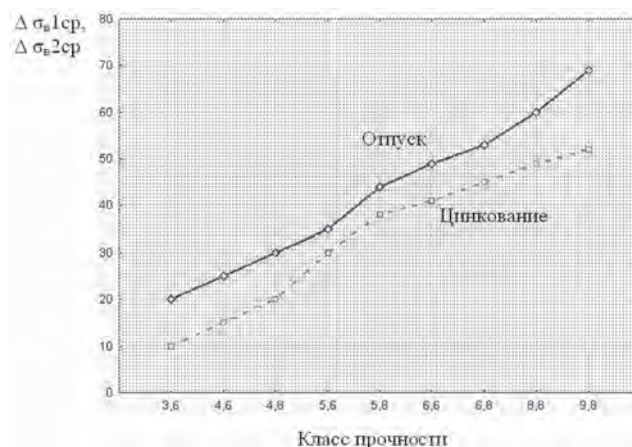


Рис. 6. Зависимость изменения разности среднего значения предела прочности при цинковании (450 °С, 1 ч) $\Delta \sigma_B1$ ср и отпуске (450 °С, 1 ч) $\Delta \sigma_B2$ ср от значения класса прочности $\Delta \sigma$

мическую обработку, рациональный подход к выбору температурных режимов, а также учет класса прочности обрабатываемого изделия позволит выгодно применять данный способ в качестве антикоррозионной защиты. Для ряда деталей, таких, например, как граверные шайбы, 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.

Литература

1. Чертов В. М. Новые способы цинкования // Технология машиностроения. 2007. № 11. С. 10–12.
2. Константинов В. М., Булойчик И. А., Зданович О. В. Повышение эффективности процессов термодиффузионного цинкования за счет использования термостатирования // Респ. межвед. сб. науч. тр. «Металлургия»: 2012. № 34. С. 121–126.
3. Проскуркин Е. В., Горбунов Н. С. Диффузионные цинковые покрытия. М.: Металлургия, 1972.
4. Константинов В. М., Булойчик И. А. Анализ способов интенсификации диффузионных процессов при цинковании на различных стадиях химико-термической обработки // Межвед. сб. науч. тр. «Металлургия»: 2012. Вып. 34. С. 88–95.
5. ГОСТ 6402–70. Шайбы пружинные. Технические условия.
6. ГОСТ 53644–2009. Болты высокопрочные цилиндрические и конические для мостостроения, гайки и шайбы к ним. Технические условия.
7. Гуляев А. П. Металловедение: Учеб. для вузов. М.: Металлургия, 1986.