

В результате выполненных исследований по распределению элементов в наплавленных покрытиях установлено, что количество хрома колеблется в следующих пределах: в центре дендрита >19%; на краю дендрита >20%; в твердой фазе >30%. Распределение никеля практически равномерное по структуре и находится в пределах 13,34-14,96%. Медь в структуре распределяется равномерно и изменяется в количествах 3,37-4,42%.

На основе данных по распределению элементов в наплавленных покрытиях определены коэффициенты усвоения легирующих элементов из проволочного электрода в наплавленное покрытие, которые составляют: для хрома и никеля 95-100%, меди – 67-70%.

Исследование структуры наплавленных покрытий показало, что при дополнительном легировании хромом количество эвтектики в структуре увеличивается и это приводит к повышению твердости и износостойкости наплавленных покрытий. Наплавленные покрытия, дополнительно легированные хромом, никелем и медью не склонны к межкристаллитной коррозии и обладают коррозионной стойкостью в серной кислоте на уровне стали 12Х18Н10Т.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Стефанович А.В. Исследование структуры и свойства наплавленных покрытий, полученных из проволоки, предварительно подвергнутой химико-термической обработке./А.В. Стефанович //В кн. Металлургия. Минск, 2011 – Ч.2 с. 179-188.

2 Химушин Ф.Ф., Нержавеющие стали/ Ф.Ф. Химушин. М.: Металлургия, 1987. 798с.

УДК 621.702

П.С. Гурченко, д-р техн. наук; И.А. Булойчик мл. науч. сотр.  
(БНТУ, г. Минск)

#### **РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИФФУЗИОННОГО ЦИНКОВАНИЯ В ЦИКЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

В большинстве случаев, нанесение защитных покрытий на детали производится непосредственно после окончательной термообработки деталей. Стандартные операции термической обработки заключаются в обеспечении ряда циклов нагрев - охлаждение с целью формирования структуры, обеспечивающей необходимые эксплуатационные характеристики изделия и могут составлять значительную часть себестоимости изделия. В данном случае антикоррозионную обработ-

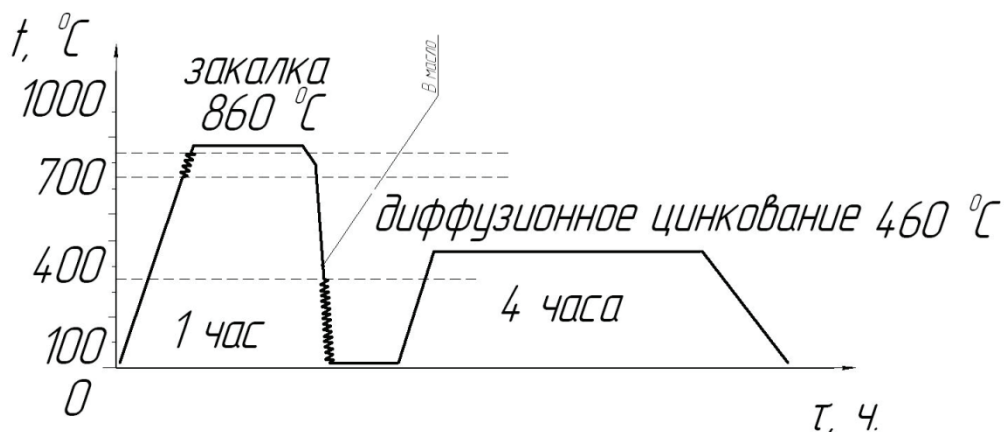
ку производят с применением технологий электролитического цинкования после окончательных операций термической обработки. Однако, при реализации данных технологий на производстве значительные затраты идут на разработку систем очистки и регенерации отходов, от данного типа производств, что влечет за собой дополнительные экономические потери. Альтернативным способом антикоррозионной защиты на основе цинка является термодиффузионное цинкование в порошковых насыщающих средах (ТДЦ). Преимущественной особенностью способа ТДЦ является возможность совмещения с рядом операций термической обработки деталей (замена отпуска), что ведет к снижению затрат на термическую и антикоррозионную обработку изделий [1, 2].

Анализ термической обработки ряда деталей автотракторной техники показал, что перспективными для использования ТДЦ в качестве завершающей операции термической и антикоррозионной обработки являются не только упругие термоупрочняемые элементы, но так же ряд стальных деталей, изготавливаемых из конструкционных марок сталей [3]. С учетом особенностей условий эксплуатации, наибольший интерес представляет обработка ряда крепежных элементов способом ТДЦ после предварительного термического упрочнения закалкой. На основании проведенного анализа номенклатуры крепежных элементов ОАО “МАЗ” для замены отпуска процессами термодиффузионного цинкования наиболее подходят крепежные элементы, изготовленные из нелегированных либо низколегированных марок сталей не склонных к отпускной хрупкости, отпускаемых по стандартной технологии при температурах, сопоставимых с температурами реализации стандартных режимов ТДЦ. Согласно программам термической обработки предприятия ОАО “МАЗ”, для разработки технологии совмещающей процессы нанесения антикоррозионных диффузионных слоев способом ТДЦ с общим циклом термической обработки деталей машин, наиболее подходящими являются детали, обрабатываемые в соответствии с режимами, представленным в таблице 1.

**Таблица 1 – Режимы термической обработки крепежных изделий ОАО МАЗ**

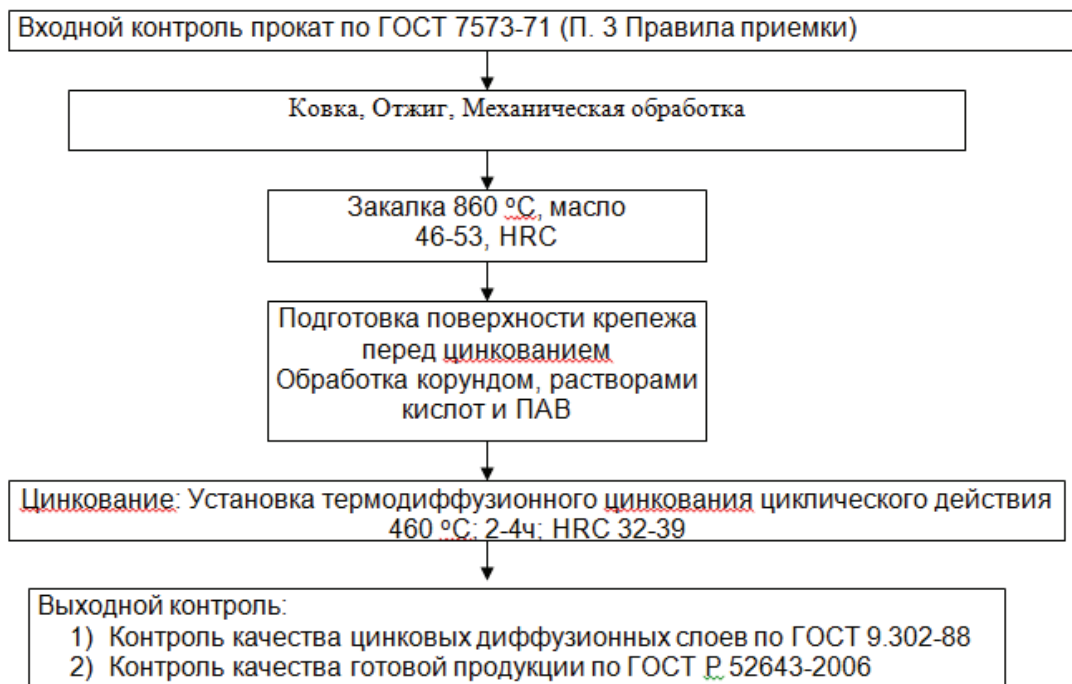
| № Прог. | Материал (Сталь) | Термообработка °С |             |        |             | HRC   |
|---------|------------------|-------------------|-------------|--------|-------------|-------|
|         |                  | закалка           | время, мин. | отпуск | время, мин. |       |
| 1       | 20Г2Р, 30Г1Р     | 850±10            | 45          | 460±5  | 50          | 32-39 |
| 4       | 40Х              | 850±10            | 45          | 430±5  | 50          | 39-46 |
| 7       | 35               | 840±10            | 40          | 480±5  | 50          | 32-38 |

На рисунке 2 представлено графическое представление режима окончательной термической обработки крепежных элементов из стали 40Х, включающее замену стандартной операции “отпуск” процессом ТДЦ.

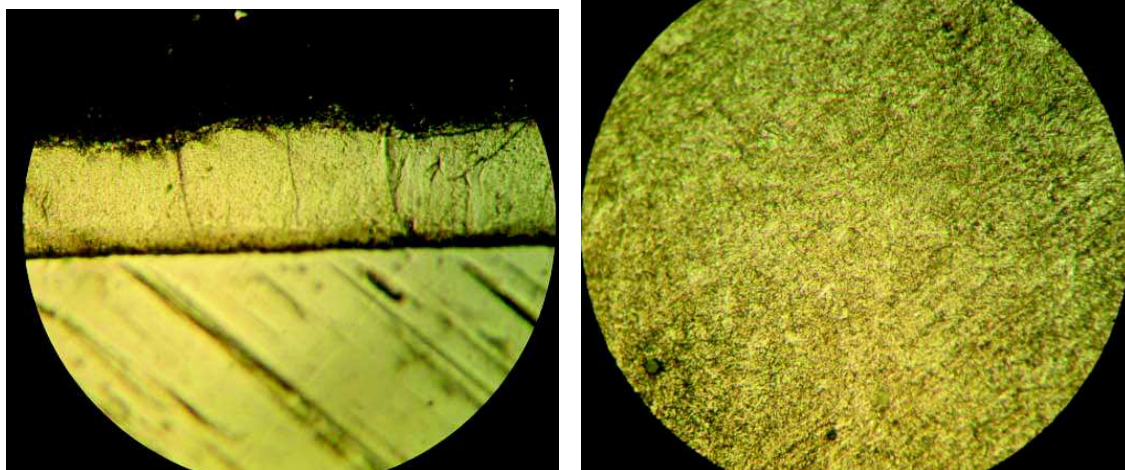


**Рисунок 2 – Схема обработки крепежных элементов с учётом использования диффузионного цинкования после предварительного термического упрочнения**

Разработанная технология совместной термической и антикоррозионной обработки крепежных элементов, представленная на рисунке 3, позволяет получать диффузионный слой цинка в поверхностной зоне крепежного элемента с формированием тростосорбитной структуры в сердцевине изделия (рисунок 4).



**Рисунок 3 - Блок-схема техпроцесса изготовления крепежных изделий совместно с процессом термодиффузионного цинкования**



а)

б)

а) Микроструктура цинкового интерметаллидного диффузионного слоя, сформированного на мартенситной основе крепежного элемента  
hсл. – 40 мкм, X 1000;

б) Микроструктура сердцевины обработанного по разработанной технологии крепежного элемента, представляющая тростосорбит отпуска твердостью 38 HRC X1000

**Рисунок 4 – Микроструктурный анализ крепежа Болт М16х110 10.9**

По результатам циклических коррозионных испытаний стойкость крепежных элементов изготовленных в соответствии с представленной технологией составляет 240 часов до начала разрушения стальной основы (рисунок 5).



**Рисунок 5 – Поверхность образцов с диффузионным цинковым слоем (А) и электролитическим цинковым покрытием (Б) после 240 часов испытаний в камере соляного тумана**

Разработанная технология совместной термической и антикоррозионной обработки крепежных элементов позволяет снизить производственные затраты на обработку ряда крепежных элементов из конструкционных марок сталей за счет формирования антикоррозионного

покрытия и требуемых эксплуатационных свойств изделий в одну технологическую операцию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Константинов В.М., Булойчик И.А. Some aspects of sherardizing implementation during anticorrosive defence of heat-treated metal parts. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering 71/012063. 2015.

2 Булойчик И.А. Реализация процессов термодиффузионного цинкования при антикоррозионной защите термообработанных стальных изделий, 12-я международная научно-техническая конференция «Наука - образованию, производству, экономике», Минск 2014 том 1, С. 363.

3 Константинов В.М., Гурченко П.С., Булойчик И.А. Разработка совмещенного процесса термической и антикоррозионной обработки стальных деталей автотехники, Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении-2014, Минск 2014 том 3, С. 384-387.

УДК 621.315.592

А.Г. Смирнов, проф., д-р техн. наук  
(БГУИР, г. Минск)

### **РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ДИСПЛЕЙНЫХ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

Актуальность исследований эффектов и явлений в наноструктурированных материалах обусловлена, с одной стороны, значительным вниманием мирового научного сообщества к данной тематике, а, с другой стороны, общими мировыми тенденциями в развитии современных технологий. Сегодня практически все индустриально развитые страны мира активно осваивают 6-й технологический уклад, в котором нанотехнологии играют основную роль [1]. Его основу составляют нанотехнологии и наноматериалы разработкой и использованием которых занимаются все страны, претендующие на позиции мировых лидеров. Поэтому сейчас бурно развиваются такие новые перспективные направления знаний, как оптоэлектроника, наноэлектроника, нанофотоника, спинтроника и др.