

CZU: 621.357:620.178.162

## УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Добря В. И, Попеску В.С.**

(Государственный Аграрный Университет Молдовы)

В данной работе приводится анализ процесса упрочнения гальванического железа при диффузии специальных паст из углерода и азота (нитроциментирование), нанесенных на восстановленную поверхность, которую затем нагревают токами высокой частоты до температуры 950...1100 С. Также сделан анализ процесса упрочнения гальванической композиции металлов - карбид бора при нагревании их токами высокой частоты. В результате разложения частиц карбида бора и диффузии её компонентов в гальваническом железе получаются высокие механические свойства.

### ВВЕДЕНИЕ

Ряд тяжело нагруженных деталей, подвергающиеся в процессе эксплуатации интенсивному изнашиванию и значительным циклическим или контактными нагрузкам при изготовлении упрочняются термической или химико-термической обработкой. Эти детали снимаются с эксплуатации при износе не более 0,3 мм, поэтому при их восстановлении предпочтение следует отдавать гальваническому способу наращивания изношенной поверхности. Однако гальванические покрытия, так же как и другие виды покрытия не всегда восстанавливают полный комплекс физико-механических свойств детали, приобретенными ими в процессе изготовления. Для придания таким деталям требуемого ресурса необходимо наносимые гальванические слои подвергать дополнительному упрочнению: термической или химико - термической обработке [1, 6].

Больше всего исследований проведено по науглероживанию (цементации) электролитического железа. В данных работах отмечено значительное улучшение эксплуатационных показателей восстановленных деталей. Однако классические способы химико-термической обработки не нашли широкого применения при восстановлении изношенных деталей, прежде всего из-за большой продолжительности процесса, что может

привести к заметным нарушениям размеров и формы детали, к изменению структуры и свойства ее сердцевины. Вместе с тем многие детали имеют обычно локальные износы, поэтому для них требуется местное упрочнение.

Электронагрев (индукционный, контактный и др.), применяемый при химико-термической обработке, устраняет отмеченные недостатки и позволяет существенно увеличить производительность процесса диффузионного насыщения (в 10 и более раз) и снизить энергозатраты [3, 4].

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наибольшее распространение в машиностроении получил метод обработки с нагревом ТВЧ. Около 70% (по весу) деталей автомобилей при изготовлении проходят термообработку токами высокой частоты [2, 5]. Этим способом удается относительно быстро и равномерно концентрировать тепловую энергию непосредственно в поверхностных слоях и проводить местное упрочнение. В ремонтном производстве наиболее эффективным является метод насыщения из паст (обмазок). Сущность его заключается в том, что пасты специального изготовления наносят на упрочняемую поверхность толщиной 2...5мм (толщина обмазки выбирается в зависимости от необходимой толщины диффузионного слоя). После предварительной сушки нанесенной пасты

при температуре 70...80<sup>0</sup>С детали помещают в индуктор, нагревают до 950...1150<sup>0</sup>С поверхности, покрытой пастой, выдерживают при этой температуре несколько минут, после чего проводят закалку с последующим низким отпуском (если это необходимо по условиям технологического процесса). При нагреве из пасты выделяются насыщенные элементы, которые адсорбируются поверхностью и, диффундируя вглубь, упрочняют покрытие.

Для совместного насыщения железных или железо-никелевых (2...4% Ni) гальванических покрытий углеродом и азотом рекомендуется паста следующего состава [4]: железисто-синеродистый калий (желтая кровяная соль) - 40...50%; древесный уголь - 34...44%; углекислый барий - 8%; маршалит (песок кварцевый искусственный) - 8%.

Эти компоненты предварительно измельчаются до дисперсности частиц 0.25мм, тщательно перемешивают, затем в полученный порошок добавляется связка – гидролизованый этилсиликатный клей.

Осаждение железных покрытий осуществлялось из хлористых или сульфатных электролитов. Для образования исходной структуры электролитического железа пригодного для упрочнения использовали периодический ток, средняя плотность которого составляла 25...50А/м<sup>2</sup> [3]. При осаждении композиционных покрытий железо-карбид бора в хлористый электролит добавляли частицы карбида бора дисперсностью 1,3,7,14,21,28 мкм, которые поддерживались в электролите во взвешенном состоянии.

Следует отметить, что для осаждения железных покрытий, пригодных для последующего упрочнения, необходимо применять высококонцентрированные составы электролитов [1, 3, 6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

При электрохимико-термическом углеродоазотировании наибольшая толщина диффузионного слоя образуется

(при идентичных условиях упрочнения) при насыщении мягких (мокротвердость после электролиза не более 2,58 ГПа.), ненапряженных, крупнокристаллических покрытий с размером блоков мозаики более 38 нм. Такие покрытия содержат минимальное количество инородных включений (шлак, оксиды железа и др.) и дефектов кристаллического строения.

Установлено, что углеродоазотирование покрытий из этой пасты с нагревом ТВЧ до 950...1150<sup>0</sup>С способствует получению в течение 3,5 мин. диффузионных слоев толщиной 0,30...0,54 мм. Выдержка на изотерме свыше 3,5 мин является нецелесообразной, так как за этот период паста истощается и после этого начинается процесс обезуглероживания и деазотирования поверхности.

После процесса насыщения в поверхностных слоях деталей содержатся 1,0...1,2% углерода и 0,2...0,3% азота. Структура углеродоазотированных и закаленных железных или железоникелевых покрытий состоит из карбонитридов железа, мартенсита и небольшого количества остаточного аустенита (Рис.1). Микротвердость упрочненных покрытий достигает 6,2...10,1 ГПа (HRC 60...68). После упрочнения резко возрастают эксплуатационные свойства наносимых покрытий. Так, износ углеродоазотированных железных и железоникелевых покрытий в 2,5...5,0 раз ниже, чем у стали 45, закаленной с нагревом ТВЧ и приближается к износостойкости цементированной стали 18ХГТ. Появляющееся в покрытиях в результате насыщения и закалки сжимающее внутреннее напряжение способствует повышению циклической и контактной прочности восстановленной детали. Контактная прочность углеродоазотированных железных и железоникелевых покрытий достигает 3,20...3,48 ГПа, что превышает на 50...65% контактную прочность цементированной стали 20Х. А циклическая прочность стали 45 с упрочненными покрытиями равна 480...510 МПа.

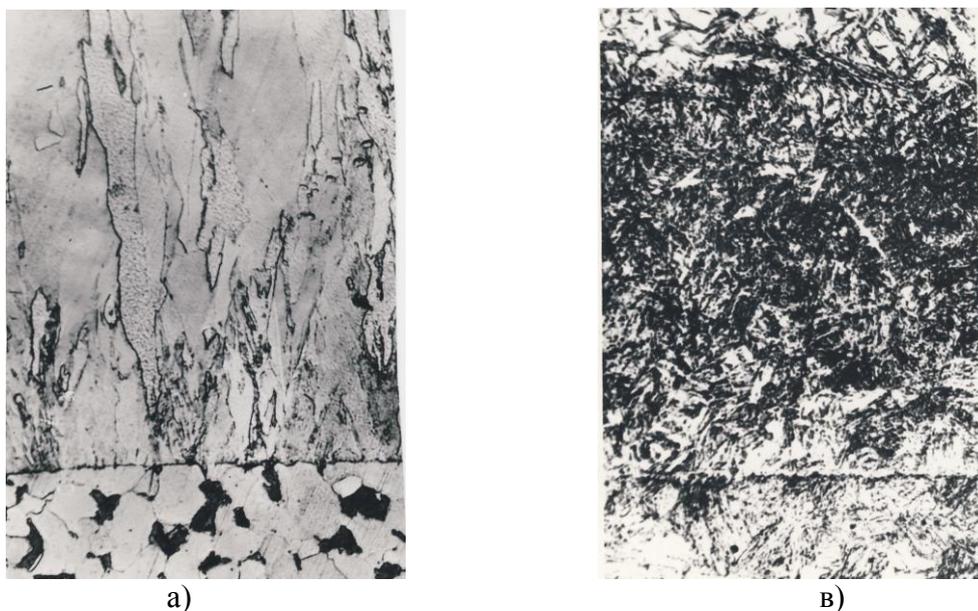


Рис.1. Исходная (а) и упрочненная (в) микроструктура электролитического железа.

При упрочнении более твердых железных покрытий скорость диффузии уменьшается на 30...35%, а после закалки в структуре появляется тростит, снижающий твердость и прочность насыщенных слоев (Рис.2). Причиной снижения диффузионной активности насыщающих элементов в покрытиях с высокой исходной твердостью является наличие в них трещин, повышенного содержания инородных включений и дефектов кристаллического строения, влияющих на диффузионные процессы. Содержание в железоникелевых покрытиях никеля, влияющего на

критические точки превращения аустенита, способствует увеличению прокаливаемости насыщенного осадка. Поэтому практически все железоникелевые осадки с содержанием 2-4% Ni пригодны для последующего электрохимико-термического упрочнения.

В результате нагрева покрытий и пограничной зоны основы происходит перекристаллизация пограничных зерен и диффузия легирующих элементов основы в покрытие, вследствие чего происходит сращивание покрытия с основой и существенное увеличение прочности сцепления (Рис.1 и Рис.2).

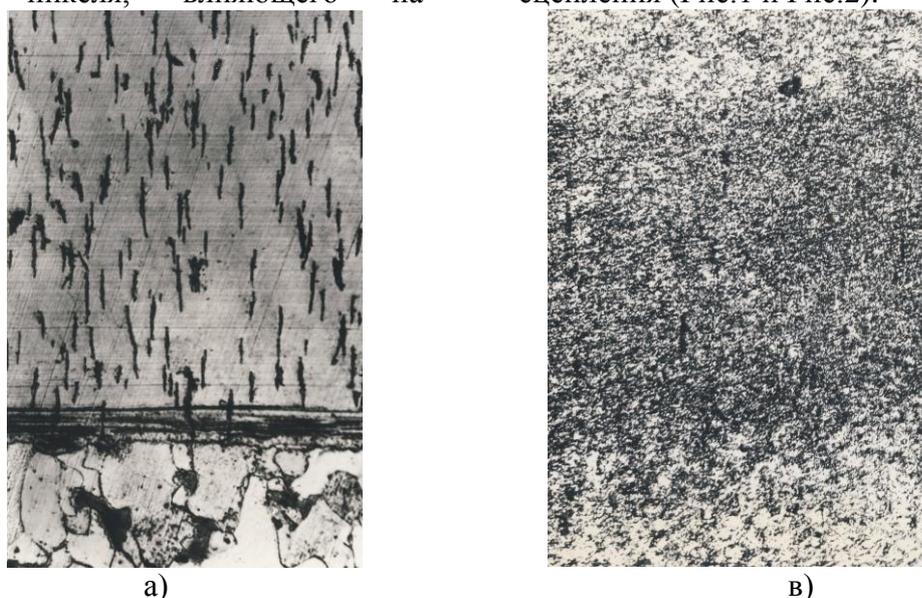


Рис.2. Исходная (а) и упрочненная(в) структура железных трещиноватых покрытий.

Был изучен способ борирования гальванического железа с нагревом ТВЧ из пасты состава: карбид бора – 87%; древесный уголь – 10%; фтористый натрий – 3%. В качестве связки использовался также гидролизированный этилсиликатный клей. Термообработка при 900...950<sup>0</sup>С способствует формированию за 5,0...5,5 мин. диффузионного слоя толщиной 0,020...0,025 мм, состоящего только из бориров FeV и Fe<sub>2</sub>V с микротвердостью (13,2...15,6) ГПа. Повышение температуры обработки до 1100...1150<sup>0</sup>С увеличивает толщину диффузионного слоя и способствуют образованию в течении 5 минут диффузионных слоёв толщиной 0,23...0,28 мм.

Фазовый состав упрочненных слоев представлен боридом FeV и Fe<sub>2</sub>V, борцементитом, карбидом железа и эвтектикой Fe-B-C. Под борцементированным слоем находится зона (0,05...0,07мм), состоящая только из углерода. Микротвердость таких покрытий равна 8,2...11,8 ГПа.



а)



в)

Рис.3. Исходная структура композиции железо-карбид бора с различными размерами вторичной фазы.

Для ускорения разложения вторичной фазы и сокращения общей продолжительности нагрева рекомендуется применять быстрый электронагрев со скоростью при выходе на режим не менее 20<sup>0</sup>С/с. Композиции железо-карбид бора

Весьма перспективным является метод упрочнения термообработкой композиционных гальванических покрытий, заключающийся в том, что при нагреве композиции в пределах 900...1200<sup>0</sup>С вторичная фаза покрытия разлагается и диффундирует в матрицу, формируя с ней высокотвердые и высокоизносостойкие структурные соединения. В качестве вторичной фазы могут применяться микропорошки дисперсностью 1...40 мкм как отдельных элементов (графит, аморфный бор и др.), так и более сложных соединений (карбид или нитрид бора, карбид кремния, карбид железа и др.). Содержание этих частиц может составлять до 20% (по весу) от всей композиции (рис.3). Так как расстояние между частицами составляет единицы или десятки микрон, то продолжительность термообработки до полного их разложения и выравнивания концентрации в матрице составляет не более 2,0...2,5 мин. При этом толщина полученного упрочненного слоя равна толщине нанесенного покрытия [4].

после термообработки при температуре 1150<sup>0</sup>С и охлаждения на воздухе представлен боридом FeV и Fe<sub>2</sub>V, карбидом железа, карбоборидом Fe<sub>23</sub>(C,B)<sub>6</sub> и эвтектикой Fe – В – С (Рис.4).

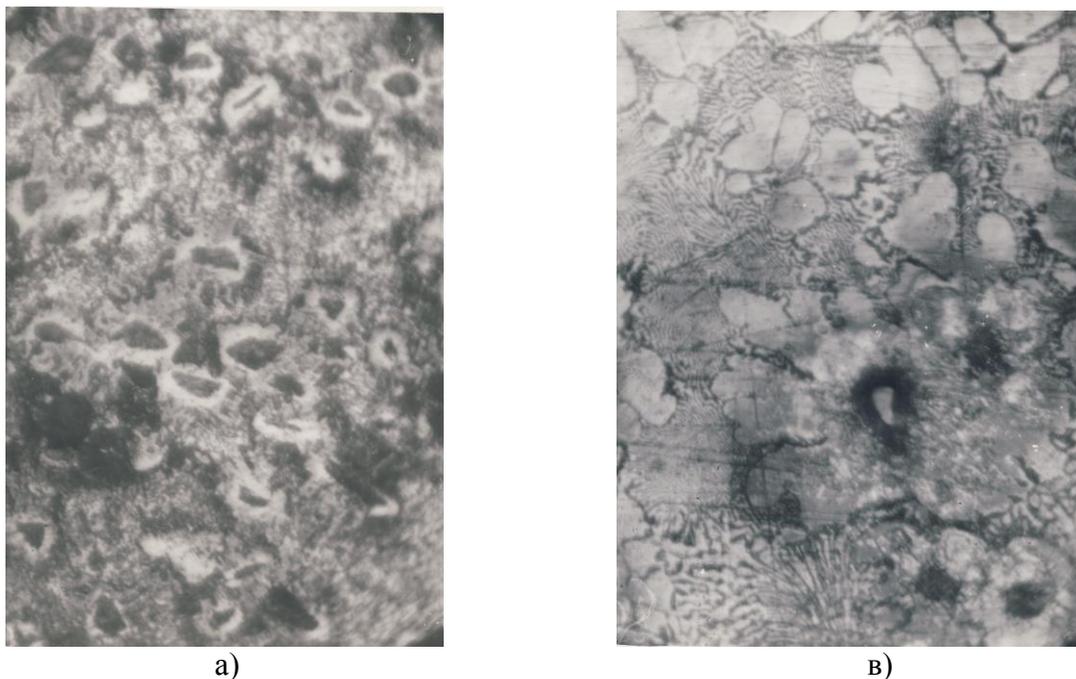


Рис.4. Структура термообработанной композиции железо-карбид бора.

Соотношение между указанными структурными составляющими, определяющими микротвердость покрытия, находится в зависимости от содержания в матрице вторичной фазы. Так, при наличии в покрытиях 6...7%  $B_4C$  в структуре больше находится  $FeB$  и  $Fe_{23}(C,B)_6$ . Микротвердость покрытий равна 8,5...11,0 ГПа.

Такие покрытия обладают большей вязкостью, чем другие упрочненные композиции. С увеличением содержания вторичной фазы до 15...20% количество вышеуказанных структурных составляющих повышается, а из боридных фаз увеличивается формирование боридов типа  $Fe_2B$ . Микротвердость покрытия повышается до 11,5...16,0 ГПа. Образование структурных составляющих придает термообработанной композиции высокую стойкость против износа и коррозии.

### ВЫВОДЫ

1. Для углеродазотирования гальванических железных покрытий наиболее пригодна паста следующего состава: желтая кровяная соль – 50%, древесный уголь – 34%, углекислый барий и маршалит – по 8%, компоненты которые связаны

этилсиликатным клеем. Выявлено, что лучше всего упрочняются покрытия с исходным размером блоков мозаики более 38 нм.

2. Термическая обработка с нагревом ТВЧ композиции железо-карбидбора способствует растворению вторичной фазы композиционных гальванических покрытий с образованием химических соединений, имеющих высокую твердость, контактную прочность и износостойкость.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Добря, В.И. Разработка технологии восстановления деталей машин железнением с последующим электрохимико-термическим упрочнением. Диссертация на соиск. уч. ст.канд. наук, Кишинев, 1984.

2. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов /И. Н. Кидин и др.-М.: Metallurgia. 1978. 320 с.

3. Петров, Ю.Н.; Косов, В.П.; Стратулат, М.П. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями: Картя молдовеняскэ, 1976. 151 с.

4. Scifos, S.; Dobrea V. Influența prelucrării termice a compozitelor galvanice de fier asupra rezistenței la oboseală și la

temperaturi ridicate ale pieselor recondiționate. Lucrări științifice Vol. 28. Realizări și perspective în mentenanța tehnicii agricole. Chișinău. 2011. P. 228-234.

5. Popescu, V.; Voinescu D. Încălzirea plasmă-electrolitică și utilizarea ei în

agricultură. Tezele celei de-a 57-a conferință științifică, UASM. Chișinău. 2004. P. 179.

6. Шадринцев, В.А. Основы выбора рационального способа восстановления автомобильных деталей металлопокрытиями. М-Л.: Машгиз. 1962. 296 с.

CZU: 621.357:620.178.162

## **IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF RESTORED MACHINE PARTS USING ELECTROCHEMICAL AND THERMAL TREATMENT**

**Dobrea V., Popescu V.**

(State Agrarian University of Moldova)

The present paper contains an analysis of the process of galvanic iron hardening during the diffusion of carbon and nitrogen special pasta (nitrocimentation), deposited on the restored surface which is latter heated by high frequency currents to a temperature of 950...1100 °C with. We have also analysed the process of galvanic metal composition - boron calcium carbide when heated by high frequency currents. High mechanical properties are obtained in galvanic iron as a result of boron calcium carbide particle resolution and diffusion of its components.

Prezentat la redacție la 17 ianuarie 2012