

## УДК 621.9.048

**Н.В. ТАРЕЛЬНИК**, к.э.н., доц. Сумского НАУ

### **НОВЫЙ СПОСОБ НИТРОЦЕМЕНТАЦИИ СТАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Предложен новый способ нитроцементации стальных деталей, включающий электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) углеродом в сочетании с ионным азотированием (ИА), при этом ионное азотирование осуществляют до или после операции электроэрозионного легирования в течение времени, достаточного для насыщения металла азотом на глубину зоны термического влияния. Приведен анализ микроструктур исследуемых образцов стали 40Х после различных методов упрочнения.

**Ключевые слова:** нитроцементация, электроэрозионное легирование, ионное азотирование, поверхностный слой, упрочнение.

**Введение.** Одним из основных показателей качества машин является их надежность. Наиболее распространенной причиной отказов машин является не поломка, а износ и повреждение рабочих поверхностей их деталей и рабочих органов. Как правило, все разрушения деталей начинаются с поверхности.

Использование упрочняющих и защитных покрытий существенно повышает качество продукции в машиностроении, обеспечивает надежную работу узлов и деталей в тяжелых условиях эксплуатации оборудования, позволяет снизить материальные и энергетические затраты на эксплуатацию машин, уменьшить расход дорогостоящих конструкционных материалов. Поэтому исследования в направлении создания новых защитных покрытий и повышение качества существующих актуальны и своевременны.

#### **Анализ основных достижений и публикаций**

Одним из наиболее простых с технологической точки зрения методов поверхностного легирования является электроэрозионное. Его достоинствами являются локальность воздействия, малый расход энергии, отсутствие объемного нагрева материала, простота автоматизации и «встраиваемости» в технологический процесс изготовления деталей, возможность совмещения операций.

При помощи электроэрозионного легирования (ЭЭЛ) можно повысить твердость металлической поверхности, нанесением на нее материала более высокой твердости или диффузионным введением в поверхностный слой необходимых химических элементов из окружающей среды, или из материала анода; или понизить твердость, нанося на поверхность более

мягкие материалы [1].

Однако ЭЭЛ термообработанных деталей, подвергаемых в условиях эксплуатации высоким удельным нагрузкам (детали штампов, валы прокатных станов и др.) не всегда приводит к желаемому результату. Причиной выхода из строя некоторых из них является то, что под слоем повышенной твердости после ЭЭЛ появляется зона отпуска – зона сниженной твердости. Это приводит к продавливанию упрочненного слоя и, как следствие, к быстрому износу детали. ЭЭЛ в данном случае принесет вред, особенно если допустимый износ легированной поверхности превышает толщину слоя повышенной твердости [1].

Согласно [2] «провал» твердости в зоне термического влияния можно устранить путем применения после ЭЭЛ дополнительной обработки для создания наклепа методом поверхностного пластического деформирования. Однако, следует отметить, что в данном случае общего повышения твердости в переходной зоне не наблюдается.

Согласно [3] проведение ионного азотирования (ИА) до или после ЭЭЛ позволяет устранить зоны пониженной твердости при использовании электродов из чистых твердых износостойких металлов. Кроме того, наблюдается более плавное изменение твердости упрочненного слоя и увеличение общей глубины зоны повышенной твердости.

Известен способ цементации стальных деталей электроэрозионным легированием (ЦЭЭЛ) [4], который имеет ряд достоинств, основными из которых являются:

- достижение 100% сплошности упрочнения поверхностного слоя;
- повышение твердости поверхностного слоя детали за счет диффузионно-закалочных процессов;
- легирование можно осуществлять в строго указанных местах, не защищая при этом остальную поверхность детали;
- отсутствие объемного нагрева детали, а следовательно поводок и короблений.

С целью снижения шероховатости поверхности деталей машин, с сохранением качества поверхностного слоя (отсутствие микротрещин, наличие слоя повышенной твердости, 100%-я сплошность и др.) и таким образом расширения области их применения, предложено после ЭЭЛ углеродом (графитовым электродом) производить легирование этим же электродом, но поэтапно [5].

**Постановка задачи.** По сравнению с цементацией и закалкой процесс азотирования протекает при более низкой температуре; азотированная поверхность имеет более высокую твердость, износостойкость и коррозионную стойкость, лучшую полируемость; свойства азотированной поверхности сохраняются практически неизменными при повторных нагревах вплоть до 500 - 600 °С, в то время как при нагревах цементированной и закаленной поверхности до 225 -275 °С твердость ее снижается.

Учитывая это свойство в предварительно азотированной поверхности не следует ожидать снижения твердости в зоне термического влияния после ЭЭЛ углеродом.

При ЭЭЛ углеродом (графитовым электродом) стальной азотированной поверхности происходит процесс аналогичный цианированию, только при обычном цианировании происходит одновременное насыщение поверхности азотом и углеродом, а в данном случае поочередное.

Следует отметить, что метод ИА имеет значительные преимущества перед обычным азотированием (минимальные поводки, снижение энергозатрат и длительности процесса и др.) и широко применяется при упрочнении поверхностей деталей компрессорного и насосного оборудования, работающих в тяжелых условиях. Это штоки, серьги, поршни, защитные втулки и др.

Учитывая, то что при ЭЭЛ наименьшая шероховатость поверхности формируется при использовании графитовых электродов (легирование углеродом) представляет научный и практический интерес проведение металлографических и дюрOMETрических исследований стальных поверхностей после ЦЭЭЛ и ИА проводимых в различных последовательностях.

Таким образом, **целью** работы является повышение качества поверхностей стальных деталей после ЦЭЭЛ проводимой до, или после ИА.

#### **Методика исследований**

Ниже приведена методика и результаты проведенных исследований.

Для ИА и ЦЭЭЛ использовали специальные образцы, изготовленные из стали 40Х в виде катушки, состоящей из двух дисков, диаметром 50 мм и шириной 10 мм, соединенных между собой проставкой диаметром 15 мм и имеющей два технологических участка такого же диаметра (рис. 1,а). Поверхности дисков шлифовались до  $Ra = 0,5$  мкм.

Процесс ЦЭЭЛ производился в автоматическом режиме с помощью установки модели «ЭИЛ – 8А». Образцы закреплялись в патроне токарного станка, после чего производилась поэтапная ЦЭЭЛ, путем последующего легирования графитовым электродом марки ЭГ-4 (ОСТ 229-83) с энергией разряда 0,42 Дж (1-й этап) и 0,1 Дж (2-й этап) с производительностью, соответственно 2 и 5 мин/см<sup>2</sup> (рис. 2).

Из упрочненных образцов вырезали сегменты из которых изготавливали шлифы (рис. 1, б).

Шлифы исследовали на оптическом микроскопе «Неофот-2», где проводилась оценка качества слоя, его сплошности, толщины и строения зон подслоя – диффузионной зоны и зоны термического влияния. Одновременно проводился дюрOMETрический анализ на распределение микротвердости в поверхностном слое и по глубине шлифа от поверхности. Замер микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды под нагрузкой 0,05 Н.



а б  
Рис. 1 – Образец для ИА и ЦЭЭЛ (а); шлифы (б).



Рис. 2 – ЦЭЭЛ стали 40X с использованием токарного станка.  
Ионное азотирование образцов проводили при температуре 520 °С в течение 12 ч  
на установке НГВ-6,6/6-И1

На всех этапах обработки измеряли шероховатость поверхности на приборе профилографе - профилометре мод. 201 завода «Калибр».

#### **Результаты исследований**

На рис. 3 изображены микроструктуры образцов стали 40X после ИА (а), ЭЭЛ углеродом (б) и ИА с предыдущим и последующим ЭЭЛ углеродом, соответственно (в) и (г), а в табл. 1. представлено распределение микротвердости по глубине слоя.

На всех микрофотографиях четко просматривается «белый», не поддающийся травлению обычными реактивами слой. Его микротвердость наиболее высокая и в зависимости от вида упрочнения колеблется от 7010 МПа при ИА и ЭЭЛ углеродом до 8250 и 11190 МПа при ИА, соответственно, с предыдущим и последующим ЭЭЛ углеродом.

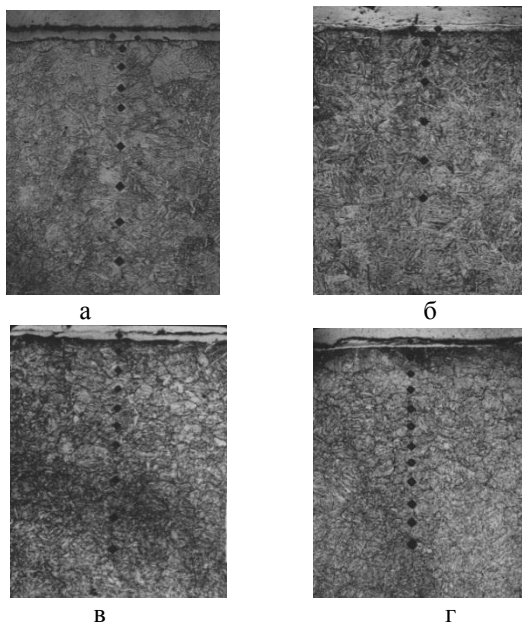


Рис. 3 – Структура образцов стали 40X после:  
 а – ИА; б – ЭЭЛ ЭГ-4; в – ЭЭЛ ЭГ-4 + ИА; г – ИА + ЭЭЛ ЭГ-4

Таблица 1 – Шероховатость и распределение микротвердости в поверхностном слое стали 40X после упрочнения различными способами

| Вид упрочнения | Микротвердость, МПа (шаг измерения ~ 30 мкм) |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Ra, мкм |
|----------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
|                | 1  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |         |
| ИА             | 7010   | 5010 | 4800 | 4800 | 4800 | 4010 | 3700 | 3000 |      |      | 0,5     |
| ЭЭЛгр          | 7010   | 5010 | 4010 | 3860 | 3100 |      |      |      |      |      | 0,8     |
| ЭЭЛгр+ИА       | 8250   | 5490 | 5010 | 5010 | 4600 | 4410 | 4410 | 3580 | 3000 |      | 0,8     |
| ИА+ЭЭЛгр       | 11190  | 5490 | 5220 | 4600 | 4410 | 4410 | 4230 | 3860 | 3700 | 3100 | 0,8     |

Ниже располагается переходная, диффузионная зона, с плавно снижающейся микротвердостью, переходящей в микротвердость основы (3000-3100 МПа).

Глубина зоны повышенной твердости при ЭЭЛ углеродом составляет 60-70 мкм при ИА до 190 мкм, а при ИА с предыдущим и последующим ЭЭЛ углеродом, соответственно, 220 и 250 мкм.

### Выводы:

1. Предложен новый способ нитроцементации стальных деталей, когда стальную деталь подвергают ЭЭЛ углеродом (графитовым электродом) в сочетании с ИА, при этом ИА осуществляют до или после операции ЭЭЛ в

течение времени, достаточного для насыщения металла азотом на глубину зоны термического влияния.

2. Наибольшая толщина и микротвердость поверхностного слоя формируются при нитроцементации, осуществляемой в последовательности ИА + ЭЭЛ углеродов (графитовым электродом).

**Список литературы:** 1. *Лазаренко Н.И.* Электроискровое легирование металлических поверхностей / *Н.И. Лазаренко* – М.: Машиностроение, 1976. – 45 с. 2. *Андреев В.И.* Повышение эксплуатационных характеристик рабочих поверхностей деталей / *В.И. Андреев* // Вестник машиностроения. – М.: Машиностроение, 1978. – №7. – С.71–72. 3. Патент України на винахід № 103701, 23Н 5/00. Спосіб зміцнення поверхонь сталевих деталей, підданих термічній обробці. / *В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник* / Опубл. 11.11.2013, бюл. № 21. 4. Патент України на винахід № 82948, 23С 8/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / *В.С. Марцинковский, В.Б.Тарельник, А.В. Белоус* / Опубл. 25.03.2008, бюл. № 10. 5. Патент України на винахід № 101715, 23Н 9/00. Спосіб цементації сталевих деталей електроерозійним легуванням / *В.С. Марцинковский, В.Б. Тарельник, М.П. Братушак* / Опубл. 25.01.2013, бюл. № 8.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Lazarenko N.I.* Jelektroiskrovoe legirovanie metallicheskih poverhnošej – Moscow: Mashinostroenie, 1976. – 45 P. 2. *Andreev V.I.* Povyshenie jekspluatacionnyh harakteristik rabochih poverhnošej detalej. Vestnik mashinostroenija. – Moscow: Mashinostroenie, 1978. – No7. – P.71–72. 3. *V.P. Marcinkovskij, V.B. Tarel'nik* Patent Ukraini na vinahid No 103701, 23N 5/00. Sposib zmichenija poverhon' stalevih detalej, piddanih termicnij obrobci. Opubl. 11.11.2013, bjul. No 21. 4. *V.P. Marcinkovskij, V.B.Tarel'nik, A.V. Belous* Patent Ukraini na vinahid No 82948, 23S 8/00. Sposib cementacii stalevih detalej elektroerozijnim leguvannjam. Opubl. 25.03.2008, bjul. No 10. 5. *V.P. Marcinkovskij, V.B. Tarel'nik, M.P. Bratushshak* Patent ukraini na vinahid No 101715, 23N 9/00. Sposib cementacii stalevih detalej elektroerozijnim leguvannjam. Opubl. 25.01.2013, bjul. No 8.

*Поступила (received) 06.10.2014*

**УДК 681.518.3**

**О.Ф. ЄНІКЄЄВ**, канд. техн. наук, УкрДАЗТ, Харків;

**Ф.М. ЄВСЮКОВА**, науч. сотр. НТУ «ХПИ»;

**Л.О. ШИШЕНКО**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## **РОЗПОДІЛЕНА КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ**

На основі методів безпосереднього цифрового та покоординатного управління, ієрархічного принципу та непрямих вимірів амплітуди мікронерівностей розроблено концепцію побудови комп'ютерної системи для підвищення ефективності алмазного шліфування в умовах неповної інформації. Запропоновано метод та апаратні засоби для компенсації кінематичної похибки первинних перетворювачів миттєвої швидкості.

**Ключові слова:** концепція, архітектура, структурно-логічна організація, методи підвищення точності.

**Вступ.** Впровадження до машинобудівного виробництва України

© О.Ф. Енікєєв, Ф.М. Євсюкова, Л.О. Шищенко, 2014