

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»**



**«Энергосбережение. Наука и образование»**

Сборник докладов  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
28 ноября 2017 г. в городе Набережные Челны

**Набережные Челны – 2017**

УДК 620.9:001:37 (063)

ББК 31.15я431

Э 65

«Энергосбережение. Наука и образование»: (2017; Набережные Челны): сборник докладов международной конференции, 28 ноября 2017 г. / ред. кол. Исафилов И.Х. [и др.]; под ред. д-ра техн. наук И.Х. Исафилова. - Набережные Челны: Издательско-полиграфический центр Набережночелнинского института К(П)ФУ, 2017. – 791с.

Сборник докладов международной конференции издан при финансовой поддержке министерства образования и науки Российской Федерации.

Данный сборник содержит доклады участников конференции «Энергосбережение. Наука и образование» состоявшейся 28 ноября 2017 года. Тематика докладов охватывает широкий круг вопросов в области энергосбережения, отражающие научные и практические результаты в области энергосбережения.

#### Главный редактор

доктор технических наук, профессор

Исафилов Ирек Хусеинмарданович

#### Технические редакторы

Рахимов Радик Рафисович

Валиев Рамиль Ильдарович

#### Члены редколлегии:

1. Исафилов Ирек Хусеинмарданович, д.т.н., профессор, зав. отделением информационных технологий и энергетических систем Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) Федерального университета, председатель программного комитета.
2. Цой Александр Петрович, Президент Казахстанской Ассоциации холодильной промышленности; академик Международной Академии Холода, профессор, Алматинский Технологический Университет, Казахстан.
3. Кашапов Наиль Фаикович, д.т.н., профессор, проректор по инженерной деятельности, Казанский (Приволжский) федеральный университет.
4. Гуреев Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, проректор по развитию, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева.
5. Щеренко Александр Павлович, д.т.н., профессор, Московский институт энергобезопасности и энергосбережения.
6. Мельничук Борис Михайлович, национальный координатор Проекта ЮНИДО в РФ.
7. Громов Андрей Николаевич - начальник центра стратегического развития, ОАО «Всероссийский Институт Лёгких Сплавов».
8. Аляшев Юрий Леонидович, Заместитель министра строительства, архитектуры и ЖКХ РТ.
9. Кротова Наталья Анатольевна, Заместитель Руководителя Исполнительного комитета г. Набережные Челны.
10. Яруллин Рафинат Саматович, д.х.н., профессор, президент Ассоциации «Некоммерческое партнерство «Камский инновационный территориально-производственный кластер».
11. Мартынов Евгений Васильевич, д.т.н., профессор, Директор ГАУ «Центр энергосберегающих технологий РТ при Кабинете Министров РТ».
12. Башаров Фарид Рашидович, Генеральный директор Союза «Торгово-промышленная палата г. Набережные Челны РТ»

© Набережночелнинский  
институт К(П)ФУ, 2017 год

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗОН УПРОЧНЕНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ НА ИЗНОС

Хафизов А.А., Шакиров Ю.И., Валиев Р.И.

Набережночелнинский институт (филиал) К(П)ФУ, Россия, г. Набережные Челны

E-mail: [almazok75@vandex.ru](mailto:almazok75@vandex.ru)

**Аннотация.** В данной работе приводится исследование влияния структурных параметров зон упрочнения, получаемых плазменной обработкой, на абразивный износ.

**Введение.** В последнее время все больше применяются локальные методы повышения физико-механических характеристик поверхностных слоев контактирующих пар. Широко используется плазменная обработка материалов. Вследствие быстрого нагрева локального объема металла плазменной струей и резкого охлаждения нагретой зоны за счет отвода тепла в тело детали в поверхностных слоях формируется метастабильная структура с высокими физико-механическими свойствами, в частности микротвердостью [1]. Микротвердость материала является одним из наиболее важных параметров, влияющих на характер абразивного износа [2].

Однако при одинаковой твердости износостойкость материалов при различных структурах может варьироваться в широких пределах. Совершенно очевидно, что одного знания микротвердости недостаточно для оценки износа. Определить зависимость характера абразивного износа от структуры материала можно с помощью целенаправленного упрочнения его с целью повышения износостойкости материала.

**Целью данной работы** было исследование влияния структурных параметров зон упрочнения, получаемых плазменной обработкой, на абразивный износ. При этом структура варьировалась путем изменения режимов плазменной обработки. Исследования проводились на сером

чугуне СЧ20, широко применяющимся при изготовлении ряда ответственных узлов трения тракторов и сельскохозяйственных машин.

**Методика исследований.** Образцы материала подвергались обработке струей плазмы полученной в электрическом разряде между электролитом и твердым металлическим электродом (рисунок 1) с выходной мощностью 9 кВт [3] при скорости движения струи 10 мм/с и диаметра пятна 6-8 мм в интервале 2-6 кВт.

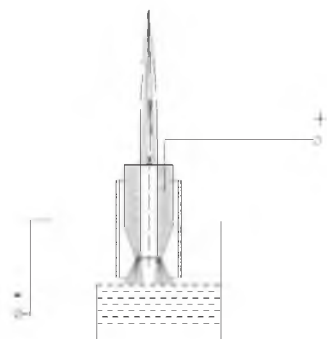


Рисунок 1. Устройство для получения плазменной струи с разрядной камерой в форме усеченного полого цилиндра с диэлектрической трубкой

Оценка микротвердости образцов обработанных плазменной струей, проводилась на приборе «Дуримет». Микротвердость измерялась послойно, через 30 мкм от поверхности в глубину зоны обработки по результатам 4-5 измерений при нагрузке 0,5 Н. На этом же приборе определялась абразивная износостойкость упрочненных слоев чугуна. Алмазная пирамида царапанием моделировала условия взаимодействия закрепленного абразива с поверхностью металла.

Количественный микроструктурный анализ проводился по методике, изложенной в [4]. Количественный анализ структуры дополнительно вносит ясность в понимание механизма образования метастабильного состояния упрочненной зоны. Кроме того, он позволяет оценить, какую роль играет изменение структуры при плазменной обработке в повышении физико-механических свойств материалов.

Размер структурных составляющих определяется скоростью охлаждения нагретого объема металла, которая зависит от теплофизических свойств материала и параметров плазменной обработки. От сочетания этих факторов происходит образование различных по размеру зон обработки: оплавления и термического влияния. В пределах каждой из них наблюдается свой градиент температур, приводящий к различному распределению зерен структуры по размерам. В связи с отмеченным исследование абразивной износостойкости и количественных характеристик микроструктуры метастабильного состояния проводилось отдельно по зонам.

Исходная структура чугуна СЧ20 представляет собой пластинчатый перлит с графитовыми включениями. После обработки плазменной струей в поверхностном слое образуются две зоны-оплавления (заковки и жидкого состояния) и термического влияния (рисунок 2). Первая зона имеет дендритное состояние (рисунок 3), графитовые включения отсутствуют, так как полностью растворились в жидком металле. Структура зоны оплавления сильно измельчена, она состоит из мелких дендритов, выросших при кристаллизации расплавленного металла, окруженных тонкодисперсным ледебуритом.



Рисунок 2. Поверхность чугуна СЧ20 упрочненная плазменной струей. Зона заковки жидкого (1) и твердого (2) состояния (x40).



Рисунок 3. Дендритная структура зоны оплавления (x640)

На рисунке 4 приведена зависимость среднего диаметра дендритов и площади зоны оплавления, образующихся при обработке на различной мощности струи. Изменение мощности плазменной струи от 2 до 6 кВт незначительно повышает значения среднего диаметра дендритов от 1.2 до 1.5 мкм. Основной рост диаметра наблюдается при увеличении мощности до 4,5 кВт.

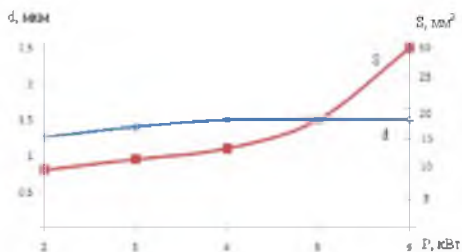


Рисунок 4. Изменение среднего диаметра дендритов и площади зоны оплавления, в зависимости от мощности плазменной струи

Площадь зоны оплавления возрастает в 4 раза при увеличении мощности струи по сравнению с первоначально получаемой при обработке на 2 кВт. Поскольку длина струи при проведении данных исследований оставался постоянным 20 мм, площадь зоны определяется ее глубиной, изменяющейся с мощностью плазменной струи (рисунок 5).

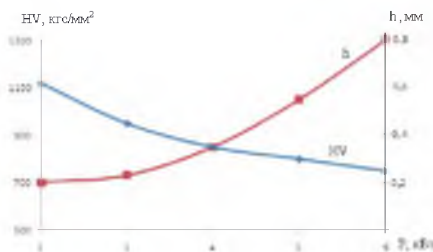


Рисунок 5. Изменение микротвердости и глубины зоны оплавления чугуна СЧ20 в зависимости от мощности плазменной струи

Однако ее значение в отличие от площади зоны возрастает только в 3,5 раза при увеличении мощности струи от 2 до 6 кВт. Это связано с изменением теплофизических параметров сплава от температуры нагрева. На рисунке 4 показано изменения микротвердости зоны оплавления при обработке на различной мощности плазменной струи. Максимальная величина микротвердости (850-1120 HV) достигается при обработке плазменной струей при мощности 2-3 кВт. Увеличение мощности при упрочнении приводит к образованию структуры с пониженным значением микротвердости, причем уменьшение ее величины наблюдается до 700 HV, но это более чем 3 раза превосходит значение исходного материала (200 HV). Изменения микротвердости от мощности плазменной струи объясняется тем, что в результате нагрева выше температуры плавления и быстрого охлаждения происходит кристаллизация аустенитных зерен, затем - распад аустенита (образуется мартенсит высокой твердости). Увеличение мощности уменьшает скорость охлаждения, вследствие чего увеличиваются размеры дендритов и соответственно иглы мартенсита, твердость его падает. Зона термического влияния при этом нагревается выше критической точки - происходит превращение перлитной основы в аустенит, причем чем медленнее происходит охлаждение, тем больше подрастает аустенитное зерно и, затем, в результате превращения, образуется более крупный мартенсит.

Структура зоны оплавления, образующаяся при обработке плазменной струей в интервале мощности 2.5-4 кВт, имеет максимальное сопротивление абразивному износу.

Следует отметить, что этой зоне, как отмечалось выше (рисунок 4) присущи минимальные значения среднего диаметра дендритов. Дальнейшее повышение мощности свыше 4,5 кВт способствует образованию структуры с более крупными дендритами, следовательно, низкой абразивной износостойкостью. Структура же зоны закалки из твердого состояния, в отличие от вышележащих слоев, с повышением мощности плазменной струи имеет большее сопротивление абразивному износу. При обработке плазменной струей свыше 4,7 кВт, имеет лучшую износостойкость, чем зоны оплавления.

Увеличение мощности плазменной струи изменяет характер износостойкости между зонами упрочнения. В зоне закалки из жидкого состояния образуется большее количество мартенсита, чем в зоне термического влияния. Следовательно, мартенситное превращение не получает достаточного развития в процессе механического воздействия, и это обуславливает значительное уменьшение пластичности структуры зоны оплавления.

**Вывод.** Таким образом, наибольшей износостойкостью будут обладать поверхностные слои, упрочненные плазменной струей, сочетающие пластичность и прочность с определенной стабильностью структуры после закалки.

#### Список литературы

1. Khafizov A.A., Kotlyar L.M., Shakirov B. Yu., Shakirov Yu.I., Valiyev R.I., Zaborowski T. Products surface hardening by plasma electrothermal installation containing a liquid cathode. Smart technologies in shaping the surface/ Gorzow Wlkp., 2015.
2. Kashapov L., Kashapov N. and Kashapov R., Journal of Physics: Conference Series, Volume 479, Issue 1, article id. 012011 (2013).



3. Шакиров Ю.И., Валиев Р.И., Хафизов А.А., Шакирова Г.Ю. Многоканальная плазменная установка с электролитическим катодом. Научно - технический журнал «Автомобильная промышленность». Москва, 2011, №2, 36-38 с.

4. Козырев С.П., Дубняков В.Н. и др. Разработка технологии лазерного упрочнения материалов деталей трактора «Беларусь». М., 1983.

## **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STRUCTURAL PARAMETERS OF PLASMA TREATMENT ZONES FOR WEAR**

Khafizov A.A., Shakirov Yu.I., Valiev R.I.

Naberezhnye Chelny Institute (Branch) K(P)FU, Russia, Naberezhnye Chelny

E-mail: [almazok75@vandex.ru](mailto:almazok75@vandex.ru)

**Annotation.** In this paper, we study the influence of structural parameters of hardening zones obtained by plasma treatment on abrasive wear.

## **РЕСУРСО- И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КАРЕТКИ СИНХРОНИЗАТОРА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ КАМАЗ**

Коваленко С.Ю., Грибков К.В., Назаров Ф.Л.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

E-mail: [kovalenko-osu@yandex.ru](mailto:kovalenko-osu@yandex.ru)

**Аннотация.** В работе приводится обоснование экономической целесообразности восстановления деталей автомобилей, в первую очередь, с точки зрения ресурсосбережения, а также потенциальные резервы экономии при восстановлении кареток синхронизаторов коробок передач с применением электроэрозионного способа обработки деталей.

Важным резервом повышения эффективности использования техники, экономии материальных и топливно-энергетических ресурсов и, наряду с этим, ресурсосбережения и экологической защиты окружающей среды является восстановление изношенных деталей [1].