



**Л.Г. Журерова**

# ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ

*Монография*



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С. АМАНЖОЛОВА

**Л.Г. Журерова**

**ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ  
ОБРАБОТКА СТАЛИ**

*Монография*

Усть-Каменогорск, 2022



УДК 621.785:621.016  
ББК 34.3  
Ж 91

Рекомендовано к изданию Ученым советом Восточно-Казахстанского  
университета имени С. Аманжолова  
(Протокол №13 от 30.06. 2022 г.)

**Рецензенты:**

**Плотников С.В.**, академик НАЕН РК, д.ф.м.-н., профессор кафедры физики  
ВКТУ имени Д. Серикбаева;  
**Козлиц Л.И.**, д.ф.м.-н., профессор кафедры физики и технологий  
ВКУ имени С. Аманжолова

**Журавова Л.Г.**

**Ж 91 Плазменно-электролитическая обработка стали:** монография /  
Л.Г. Журавова. – Усть-Каменогорск: издательство «Берел» ВКУ имени  
С. Аманжолова, 2022. – 131 с.

ISBN 978-601-314-611-9

Монография посвящена одной из практически значимых тем в  
материаловедении, а именно, поверхностному модифицированию материалов с  
применением способа плазменно-электролитической химико-термической  
обработки. В данной монографии рассмотрены результаты изменения  
структурно-фазового состояния и механико-трибологических свойств стали при  
плазменно-электролитической цементации, азотирования, нитроцементации и  
диффузионном борировании. Установлены оптимальные режимы и  
технологические особенности плазменно-электролитической химико-  
термической обработки.

Монография предназначена для научных сотрудников, инженеров,  
докторантов, магистрантов и студентов старших курсов, а также широкому  
кругу читателей, специализирующихся в области физического  
материаловедения и инженерии поверхности.

УДК 621.785:621.016  
ББК 34.3

ISBN 978-601-314-611-9

© ВКУ имени С. Аманжолова,  
© Журавова Л.Г., 2022

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава 1. ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ФАЗОВО-СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ СТАЛЕЙ</b> .....	8
1.1 Анализ существующих способов поверхностного модифицирования сталей классическими методами химико-термической обработки.....	8
1.2 Основные закономерности диффузионного насыщения сталей при плазменно-электролитическом нагреве.....	10
1.3 Особенности структурно-фазового состояния конструкторной стали 30ХГСА в исходном состоянии.....	20
Литература к главе 1.....	25
<b>Глава 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМЕННО- ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ 30ХГСА</b> .....	28
2.1 Описание технологических параметров и исследование физико- химических характеристик плазменно-электролитической обработки.....	28
2.2 Формирование электрического тока в окрестности опущенного в электролит образца и теоретический расчет параметров парагазовой оболочки.....	34
2.3 Теоретический метод расчета коэффициентов диффузии в электролитах.....	38
Литература к главе 2.....	44
<b>Глава 3. МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ 30ХГСА СПОСОБАМИ ПЛАЗМЕННО- ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ</b> .....	46
3.1 Плазменно-электролитическая цементация.....	47
3.2 Способ плазменно-электролитического азотирования.....	53
3.3 Диффузионное плазменно-электролитическое борирование.....	59
3.4 Плазменно-электролитическая нитроцементация.....	64
3.5 Влияние режимов плазменно-электролитической химико- термической обработки на изменение микротвердости, трибологических и коррозионных свойств поверхностных слоев стали 30ХГСА.....	70
Литература к главе 3.....	83
<b>Глава 4. MORFOЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБОЗОВАНИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ</b> .....	87
4.1 Структурно-фазовое состояние основных и вторичных фаз до и после плазменно-электролитического модифицирования.....	87



4.2 Морфологические составляющие основной фазы образцов и количественные характеристики дислокационной структуры .....	113
4.3 Изменение морфологии и фазового состава тонкой структуры стали 30ХГСА после плазменно-электролитической нитроцементации.....	117
4.4 Литература к главе 4.....	127

## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день тепловые методы модифицирования металлических сплавов, которые нацелены на усовершенствование механических, трибологических и технологических особенностей поверхностного слоя, находят практическое применение в промышленности и активно развивается. Так, во всем мире для получения новых материалов наряду с ионным и лазерным и т.д. модифицированием широко применяется относительно новая технология термообработок и термохимической обработки в электролитической плазме.

Электролитическая плазма представляет собой газообразный слой очень сложного химического состава, который формируется вокруг обрабатываемой поверхности в электролите, состоящем из активных атомов внедрения. Активные атомы поглощаются и внедряются в поверхностный слой, формируя новые фазообразования, за счет которых изменяется химический состав, структура и ее механические, трибологические свойства.

С использованием современных экспериментальных и аналитических методов металлографического, растрового и просвечивающего электронно-микроскопического и рентгенодифракционного анализов, а также методов определения микротвердости и износостойкости, изучено целенаправленное изменение структурно-фазовых состояний тонкой структуры и твердости, трибологических свойств модифицированных поверхностных слоев образцов из стали 30ХГСА под воздействием плазмы-электролита. Определены оптимальные режимы упрочнения поверхности стали 30ХГСА плазменно-электролитическим модифицированием. Разработан способ поверхностного упрочнения образцов конструкционной стали 30ХГСА в различных жидких активных средах.

Научные исследования, направленные на установление оптимальных режимов способа локального плазменно-электролитического модифицирования деталей из конструкционных сталей, использующихся в машиностроительной отрасли РК активно развиваются. Формируются новые научные направления - школы, занимающиеся вопросом модифицирования, упрочнения материалов при плазменном воздействии.

Как известно, высококачественные износостойкие стали становятся все более высокотехнологичными материалами, которые находят широкое применение в различных отраслях промышленности. В связи с этим растет и требования к составу, макро- и микроструктурному состоянию, и особенно их технологическим эксплуатационным свойствам. На законодательном уровне требования к качественным характеристикам материала отражаются условием снижения материальных и энергетических затрат на производство, а также интенсификации и актуализация технологического процесса, оборудования.



Повышение требований к качеству материала стимулирует создание новых методов и способов целенаправленного изменения фазового состава и морфологии структуры их поверхностных слоев. В частности, широкое распространение получили методы воздействия на поверхность деталей плазмой электролита. Наиболее перспективной, ресурсосберегающей технологией среди них является метод плазменно-электролитического модифицирования.

Дополнительное повышение поверхностной прочности, твердости и износостойкости деталей при плазменно-электролитической обработке (ПЭО) можно также достичь за счет модифицирования поверхностного слоя путем легирования и диффузионного насыщения в активных электролитах.

Анализ существующих способов термической обработки (ТО) изделий из конструкционных сталей показывает, что задача разработки технологических аспектов способа плазменно-электролитического модифицирования деталей из конструкционных сталей часто подвигнувшись температурно-силовым воздействиям, обеспечивающая высокие эксплуатационные характеристики, является актуальной и своевременной.

Таким образом, тематика монографии, направленная на исследование экспериментально-теоретических аспектов диффузионного насыщения, модифицирования и термохимической обработки поверхностных слоев образцов, позволяет решить современную актуальную задачу создания новых, ресурсосберегающих технологических способов упрочнения и получения износостойких покрытий, повышающие эксплуатационные характеристики деталей машин и конструкций из конструкционной стали 30ХГСА. Не менее значимым аргументом в пользу достоверности сделанных экспериментальных работ по изучению тонкой структуры и морфологических особенностей поверхностных слоев, полученных плазменно-электролитическим модифицированием, является применение количественных методов просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с помощью которых можно получить новые и углубленные результаты, которые позволят оценить изменения морфологии структуры упрочненного материала.

В монографии приведены полученные новые экспериментальные результаты влияния технологических параметров поверхностного упрочнения способом плазменно-электролитического модифицирования на морфологию структуры, фазовый состав, трибологические свойства, микротвердость и износостойкость поверхностных слоев конструкционной стали 30ХГСА. Полученные систематизированные теоретические и экспериментальные результаты плазменно-электролитической обработки дают конструктивные представления о процессе формирования модифицированного поверхностного слоя на конструкционных сталях, его фазовом составе, структурных состояниях, технологических, механических,

физико-химических характеристиках. Вместе с тем, возникновение в конструкционной стали 30ХГСА таких структурных составляющих как карбиды, сложные карбонитриды которые способствуют упрочнению поверхностных слоев стали, становится возможным благодаря диффузионному насыщению азотом и углеродом при плазменно-электролитической обработке.

Выявленные в настоящей работе закономерности формирования модифицированного поверхностного слоя и изменения тонкой структуры могут быть использованы материаловедами для сравнительного анализа морфологии и структурно-фазовых превращений других типов конструкционных сталей при плазменно-электролитической обработке.

В работе предложены способ и оптимальные режимы плазменно-электролитического модифицирования конструкционной стали 30ХГСА защищены авторскими свидетельствами на изобретение, что тоже имеет не малое практическое значение для исследователей при выборе видов и режимов модифицирования конструкционных материалов.

Основные преимущества и практическая значимость плазменно-электролитического модифицирования в работе представляющие интерес для практиков-материаловедов заключается в следующем: отсутствие деформаций металла; обработка проводится локально, что исключает образование трещин, коробления металла, обезуглероживания поверхности; возможность упрочнения внутренних поверхностей и полостей; отсутствие необходимости специальной изоляции и подготовки поверхностей перед упрочнением; обладает экологической безопасностью: не требуется утилизация отходов и использование специальных очистных сооружений; легко поддается автоматизации, что приводит к повышению качества и значительному снижению себестоимости процесса обработки.

Все главы 1-4 монографии написаны автором Л.Г. Журеровой доктором PhD.

Настоящие исследования финансировались Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08857733).



- 45 Satbayeva Z., Zhuretova L., Tabieva E. Plasma Electrolytic Cementation of 0.3Cr-1Mn-1Si-Fe Steel // Key Engineering Materials. – 2020. – Vol. 839 – P. 196-202.
- 46 Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Журерова Л.Г., Скаков М.К. Влияние электролитно-плазменной нитроцементации на фазовый состав стали 30ХГС // Материаловедение. – 2016, – No. 8. – С. 6–31.
- 47 Попова Н.А., Журерова Л.Г., Никоненко Е.Л., Скаков М.К. Фазовые превращения в стали 30ХГС под действием электролитно-плазменной нитроцементации // Вестник ТГУ, серия Химия. 2016. №1(3). – С. 60-70.
- 48 Попова Н.А., Никоненко Е.Л., Журерова Л.Г., Калашников М.П., Скаков М.К., Козлов Э.В. Влияние электролитно-плазменного воздействия на структурно-фазовые превращения в стали 30ХГС // Тезисы докладов. Межд. конф. Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций, 19-23 сентября. – 2016. Томск. РФ. ИФПМ СО РАН. № 2(288). – С. 59.
- 49 Satbayeva Z., Zhuretova L., Tabieva E. Plasma electrolytic cementation of 0.3c-1cr-1mn-1si-fe steel// XV Российская ежегодная конференция «Физико-химия и технология неорганических материалов», Барнаул, Россия, 2019. PP. 196-202.
- 50 Rakhadilov B., Zhuretova L., Tabieva E. Plasma-electrolytic Nitriding of 0.3Cr-1Mn-1Si-Fe Construction Steel // METAL 2019 - 28th International Conference on Metallurgy and Materials, Confer.Proc., 2019. – P.1174-1179.
- 51 Баяганова Л.Б. Формирование модифицированных слоев на поверхности низкоуглеродистой стали методом воздействия электролитной плазмой / Диссертация на соискание ученой степени доктора философии. – Усть-Каменогорск: -2014. – С. 158.

Л.Г. Журерова

## Плазменно-электролитическая обработка стали

Монография

Ответственный за выпуск *Исламова С.А.*

Отпечатано методом прямого копирования с оригинала автора  
За содержание Издательство ответственности не несет

Подписано в печать 13.09.2022 г.      Формат 60x84/16  
Объем 7,62 усл.-печ.л.                      9,79 уч.-изд.л.  
Тираж 500 экз.                                      Заказ 654

Издательство «Береза» Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова  
070020, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 42