

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии
и управления качеством

**ВЛИЯНИЕ АЛИТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ
НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 4091 группы
направления 22.03.01 «Материаловедения и технологии материалов»,
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»
института физики

Корсуковой Ирины Денисовны

Научный руководитель,
доцент, к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.В. Терин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,
д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С.Б. Вениг

инициалы, фамилия

Саратов 2024

Введение. В последние десятилетия исследователи пытаются придать материалам более высокую прочность и подходящую пластичность в условиях серьезного загрязнения окружающей среды. Мартенситные стали широко используются для обеспечения высокой прочности и твердости в автомобильной, энергетической и аэрокосмической промышленности [1].

В настоящее время отечественными предприятиями и производственными организациями проводятся исследования по разработке состава новых и совершенствованию серийных высокопрочных сталей, технологий их получения и термической обработки, направленные на повышение прочностных характеристик, ударной вязкости, надежности, коррозионной стойкости. Особое внимание уделяется снижению стоимости получаемых полуфабрикатов и повышению технологичности при изготовлении деталей из них. Основные усилия разработчиков новых сталей направлены на решение следующих задач:

- создание новых высокопрочных конструкционных сталей, в том числе мартенситостареющих и упрочняемых вакуумной и ионно-вакуумной химико-термической обработкой, позволяющих повысить значения выносливости и прочности материалов;

- создание высокопрочных коррозионно-стойких конструкционных свариваемых сталей, в том числе со сверхравновесным содержанием азота, обладающих высокими характеристиками прочности, ударной вязкости и выносливости;

- создание новых сталей для подшипниковых деталей, по своим характеристикам не уступающих зарубежным аналогам [2].

Алитирование является одним из наиболее эффективных методов повышения эксплуатационных свойств (коррозионная стойкость, жаро- и износостойкость) деталей машин и инструментов. Твердофазные способы проведения данных методов химико-термической обработки (далее – ХТО) требуют длительной выдержки при высокой температуре, что отрицательно влияет на структуру и свойства материала основы. В связи с этим подбор

обоснованных температурно-временных параметров процессов твердофазного борирования и алитирования является актуальной задачей. При применении термической обработки (закалка, отпуск) невозможно достичь заданных механических и эксплуатационных свойств. Альтернативой является химико-термическая обработка (ХТО), заключающаяся в диффузионном насыщении поверхности металлов и сплавов различными химическими элементами. Детали, подвергнутые ХТО, могут заменить собой изделия из дорогих специальных сталей и сплавов [3].

Сталь 65Г пользуется наибольшим спросом среди всех российских марок пружинных сплавов. Обладает повышенной твердостью, высоким модулем упругости и сопротивлением деформациям. В соответствии с ГОСТ 14959 – 2016 сталь 65Г – конструкционная рессорно-пружинная сталь. Содержит 0,65% углерода и менее 1,35% марганца. Используется для производства рессор, пружин, тормозных дисков и других деталей, требующих повышенной износостойкости. Из неё также делают: ножи, шестерни, топоры, пилы, проволоку, пружинные кольца, ударные инструменты, корпуса подшипников, шестерни, кулачковые муфты, буровые инструменты, арматуру и другие изделия [4].

Целью бакалаврской работы являлось исследовать влияние алитирования на структуру и свойства низколегированной стали 65Г.

На основе поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- разработать технологию упрочнения стали 65Г;
- провести детальное исследование элементного состава поверхности алитированных образцов;
- исследовать развитость и изменения в морфологии поверхности алитированных образцов;
- исследовать механические свойства алитированных образцов.

Выпускная квалификационная работа занимает 58 страниц, имеет 58 рисунков и 16 таблиц.

Обзор составлен по 40 информационным источникам.

Во введение рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой литературный обзор о современном состоянии технологий упрочнения низколегированных сталей, исследования по упрочнению низколегированной стали 65Г и исследования влияния алитирования на свойства стали.

Во втором разделе работы представлено технологическое оборудование, используемое в процессе исследования.

В третьем разделе представлен процесс алитирования стали 65Г с помощью химико-термической обработки.

Четвертый раздел содержит информацию о морфологии поверхности образцов стали 65Г, полученных с помощью химико-термической обработки.

В пятом разделе представлено исследование атомно-молекулярной структуры образцов стали, полученных с помощью химико-термической обработки.

В шестом разделе представлен процесс алитирования низколегированной стали 65Г с помощью лазерной химико-термической обработки.

Седьмой раздел содержит информацию о морфологии поверхности образцов стали 65Г, полученных с помощью лазерной химико-термической обработки.

В восьмом разделе представлено исследование атомно-молекулярной структуры образцов стали, полученных с помощью лазерной химико-термической обработки.

Основное содержание работы

В ходе исследования были изготовлены две партии образцов из стали 65Г. Первая партия изготавливалась с помощью химико-термического алитирования.

Перед термической обработкой на образцах были созданы дефекты для ускорения протекания процесса. Далее на поверхность образцов был нанесен

порошок оксида алюминия Al_2O_3 , образцы помещались в муфельную печь при разных режимах, представленных в таблице 1. После выдержки в печи образцы отпускались при комнатной температуре.

Таблица 1 – Информация о режимах алитирования образцов

№	Название образца	Шлифовка образцов	Время термического воздействия, час	Температура, °С	Состав наносимой смеси
1	1.4	да	2	900	Al_2O_3 + Жидкое стекло
2	2.4	да	4	700	Al_2O_3 + Жидкое стекло
3	3.1	да	4	950	Al_2O_3 + БФ6
4	3.2	да	6	950	Al_2O_3 + БФ6
5	Эталон	–	–	–	–

На рисунке 1 представлена зависимость толщины полученных слоев

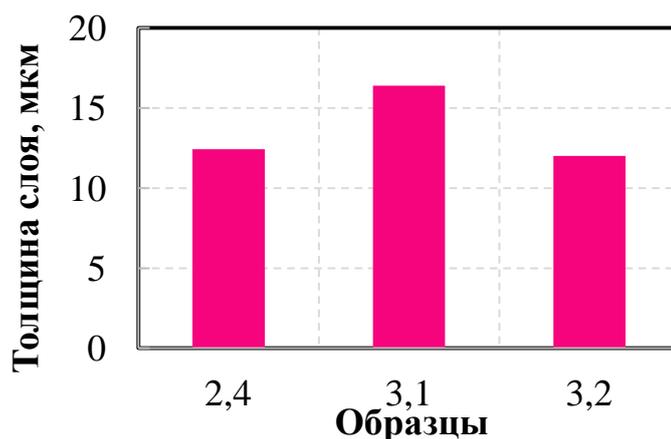


Рисунок 1 – Зависимость толщины полученных слоев от времени алитирования и подготовки поверхности

Анализируя изображения можно наблюдать, что изменение режима алитирования практически не влияет на толщину получаемых слоев и морфологию поверхности.

Исследование твердости первой партии образцов показало, что объемная твердость материала практически не изменяется при различных режимах алитирования.

Исследование микротвердости представлено на рисунке 2.

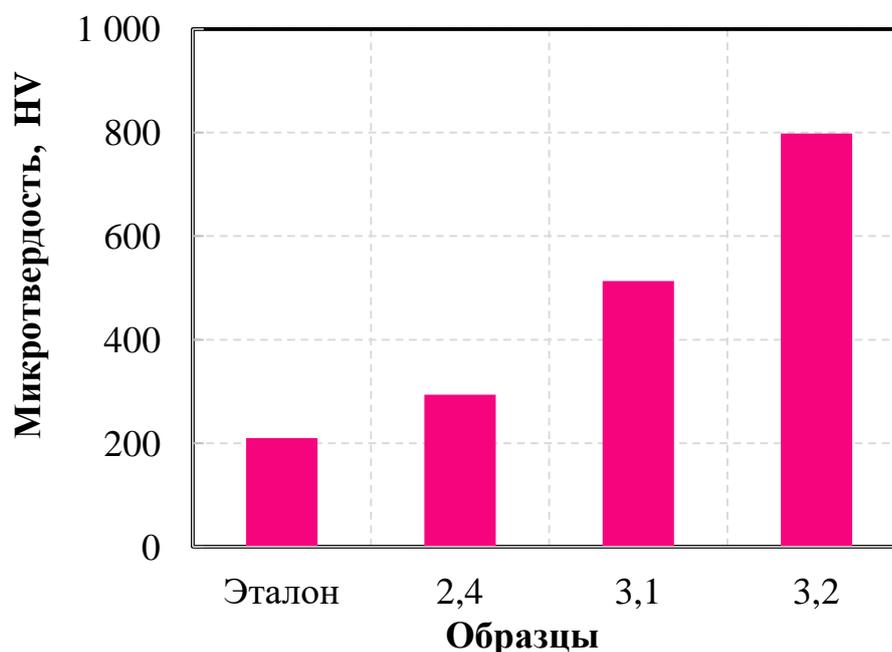


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости образцов от времени алитирования и подготовки поверхности

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что с изменением режима алитирования микротвердость образцов изменяется.

Исследование шероховатости поверхности показало, что с увеличением времени термической обработки образцов шероховатость поверхности увеличивается.

На рисунке 3 представлен рентгенофазовый анализ первой партии алитированных образцов с отмеченным фазовым составом.

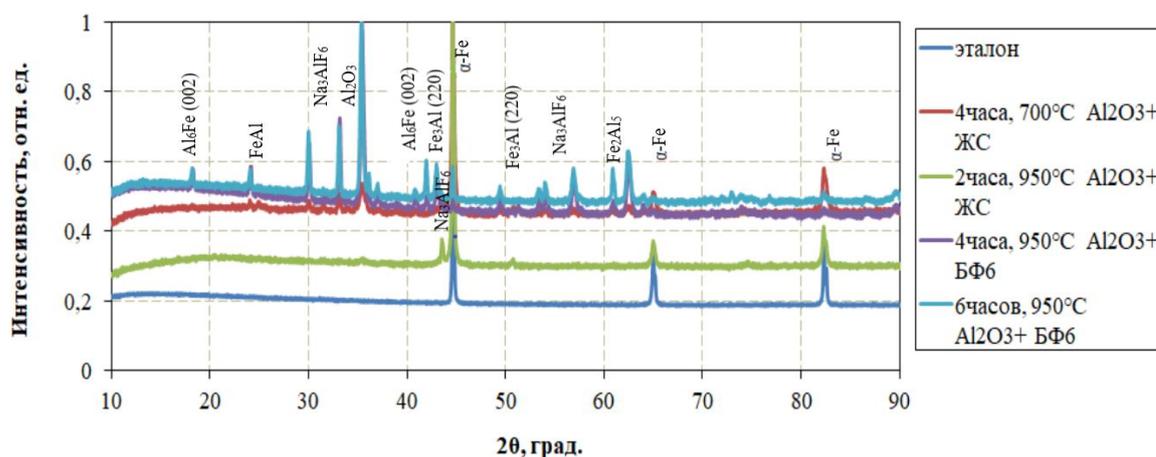


Рисунок 3 – Рентгенофазовый анализ алитированных образцов с отмеченными фазовым составом

На алитированной поверхности образовался в основном слой Fe_2Al_5 , а также фазы Na_3AlF_6 и Al_2O_3 . По мере удаления от поверхности обнаружено присутствие фаз α -Fe и Fe_3Al (220), а также твердого раствора α -Fe.

Вторая партия изготавливалась с помощью лазерного химико-термического алитирования.

Перед термической обработкой образцов была проведена лазерная обработка. Далее на поверхность образцов был нанесен порошок оксида алюминия. После образцы помещались в муфельную печь при разных временных режимах, приставленных в таблице 2. После выдержки в печи образцы отпускались при комнатной температуре.

Таблица 2 – Информация о режимах алитирования образцов

Название образца	Лазерная обработка	Время термического воздействия, час	Температура, °C	Состав наносимой смеси
Исходный образец без обработки	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Название образца	Лазерная обработка	Время термического воздействия, час	Температура, °С	Состав наносимой смеси
Исходный образец с лазерной обработкой	+	-	-	-
2	-	2	900	Al ₂ O ₃
2Л	+	2	900	Al ₂ O ₃
4	-	4	900	Al ₂ O ₃
4Л	+	4	900	Al ₂ O ₃
6	-	6	900	Al ₂ O ₃
6Л	+	6	900	Al ₂ O ₃

На рисунке 4 представлена зависимость толщины полученных слоев от времени алитирования и подготовки поверхности.

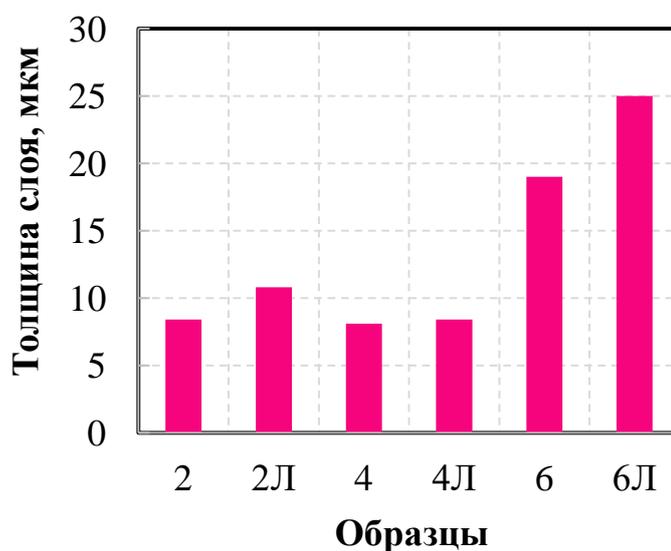


Рисунок 4 – Зависимость толщины получаемого слоя от времени алитирования и подготовки поверхности

Для образцов подвергнутых термообработке в течение 6 часов наблюдалось увеличение толщины алитированного слоя в 3 раза по отношению

к образцам, которые находились в муфельной печи 2 и 4 часа при температуре 900°C.

С помощью сканирующей электронной микроскопии было установлено, что на поверхности алитированных образцов, не подвергнутых лазерной обработке, наблюдается рост зерен в зависимости от времени термической обработки.

При исследовании твердости образцов было установлено:

- для исходных образцов лазерная обработка поверхности приводит к увеличению объемной твердости образцов на 25%. Термообработка при 2, 4 и 6 часах приводит к одинаковым значениям твердости, можно сделать вывод, что лазерная обработка не оказывает существенного влияния на изменение объемной твердости с течением времени алитирования;

- наибольшая объемная твердость, равная 66 по шкале HRA (шкала Роквелла с нагрузкой 60 кгс), наблюдается у образцов подвергнутых лазерной термической обработке при 2 часах.

При исследовании микротвердости образцов было установлено:

- для исходных образцов лазерная обработка поверхности приводит к увеличению поверхностной твердости образцов на 38%;

- термообработка при 2 часах позволяет получить увеличение микротвердости образца в 2,6 раз относительно исходного образца с помощью термической обработки и в 3,3 с помощью лазерной термической обработки;

- термообработка при 4 часах позволяет получить увеличение микротвердости образца в 2,9 раза относительно исходного образца с помощью термической обработки в 5 раз с помощью лазерной термической обработки;

- термообработка при 6 часах позволяет получить увеличение микротвердости образца в 5,1 раза относительно исходного образца с помощью термической обработки и в 5,3 с помощью лазерной термической обработки.

Следует сделать вывод, что если важна скорость технологического процесса, то высокой микротвердости можно достигнуть за меньшее время предварительно обработав образец лазером.

В ходе исследования шероховатости образцов было установлено, что в образцах предварительно обработанных лазером с увеличением времени алитирования шероховатость уменьшается, а в образцах без предварительной обработки лазером значительно увеличивается.

Также следует отметить, что при времени алитирования начиная с 4 часов шероховатость образцов без лазерной обработки выше, чем у образцов с лазерной обработкой.

Анализ химического состава образцов установил, что содержание алюминия на поверхности образцов увеличилось относительно эталона, но зависимости количества алюминия на поверхности от времени термической обработки и лазерной термической обработки не наблюдается.

Заключение. При выполнении выпускной квалификационной работы были подобраны технологические режимы близкие к оптимальным (концентрация и состав реагентов, температурные и временные режимы), а также получены и исследованы две лабораторные партии образцов.

Первая партия обладает следующими свойствами:

- толщина получаемых слоев в результате алитирования порядка 13 мкм (SEM);
- элементный состав по алюминию увеличился относительно эталона и практически не зависит от временных и температурных режимов (EDX и OES).

Обнаружено:

- увеличение в 1.5 раза объемной твердости (по Роквеллу) получаемых образцов, которая практически не зависит от временных и температурных режимов;
- увеличение поверхностной твердости (по Виккерсу) и шероховатости (профилометрия) образцов при оптимальной температуре (900 градусов) в зависимости от времени термической обработки.

Вторая партия образцов обладает следующими свойствами:

- для образцов подвергнутых термообработке в течение 6 часов наблюдалось увеличение толщины алитированного слоя в 3 раза по отношению к образцам, которые находились в муфельной печи 2 и 4 часа при температуре 900°C;
- наблюдается рост зерен в зависимости от времени термической обработки;
- лазерная обработка поверхности приводит к увеличению объемной твердости образцов на 25%;
- наибольшая объемная твердость, равная 66 по шкале HRA наблюдается у образцов подвергнутых лазерной термической обработке при 2 часах;
- для исходных образцов лазерная обработка поверхности приводит к увеличению поверхностной твердости образцов на 38%;
- в образцах предварительно обработанных лазером с увеличением времени алитирования шероховатость уменьшается, а в образцах без предварительной обработки лазером значительно увеличивается.

Обнаружено, что предварительная лазерная обработка поверхности образцов позволяет снижать время термической обработки и достигать оптимальных значений микротвердости. Если лазерная обработка экономически и технико-технологически недоступна, то достичь тех значений микротвердости можно увеличив время термической обработки.

Замечена интересная особенность влияния предварительной лазерной обработки – лазерная обработка приводит к уменьшению шероховатости поверхности алитированных образцов при увеличении времени термообработки, также, стоит отметить, что шероховатость образцов при 6 часовой термической обработки ниже, чем у образцов без лазерной обработки.

По окончании выполнения выпускной квалификационной работы была достигнута главная цель – исследовано влияние алитирования на структуру и свойства низколегированной стали 65Г.

Список использованных источников

1 Wang, Y. Super strength of 65Mn spring steel obtained by appropriate quenching and tempering in an ultrafine grain condition / Y. Wang [et al.] // Materials Science & Engineering A. – 2019. – V. 754. – P. 1-8.

2 Каблов, Е. Н. Новые высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие стали для аэрокосмической техники разработки ФГУП «ВИАМ» (обзор) / Е. Н. Каблов [и др.] // Авиационные материалы и технологии. – 2020. – № 1 (58). – С. 3-11.

3 Гуляшинов, П. Влияние борирования и алитирования на структуру и микротвердость низкоуглеродистых сталей / П. Гуляшинов, У. Мишигдоржийн, Н. Улаханов // Обработка металлов (технологии, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24, № 2. – С. 91-101.

4 ГОСТ 14959-2016.Metalлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали Технические условия. – М. : Стандартиформ, 2017. – 32 с.