

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Направление подготовки/ профиль: Технологии материалов/ Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Школа неразрушающего контроля и безопасности, отделение электронной инженерии

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научно-квалификационной работы

**СОЗДАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ЗА СЧЁТ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ В  
КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ И ОПЛАВЛЕНИЯ**

УДК 621.793.164:621.791.92.

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-47	Исакин Илья Александрович		04.06.18

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Овечкин Б.Б.	К.Т.Н.		05.06.18

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Баранов П.Ф.	К.Т.Н.		05.06.18

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	Д.Т.Н.		04.06.18

Томск – 2018 г.

### **Аннотация.**

В научно-квалификационной работе представлены литературный обзор и основные результаты исследований влияния лазерного и электронно-лучевого оплавления поверхности покрытия на основе стали 10P6M5 на структуру и микротвёрдость оплавленной зоны (ОЗ) и зоны термического влияния (ЗТВ). В работе представлены результаты экспериментов на изнашивание данного покрытия после дискретного лазерного оплавления в паре трения со сталью ШХ15.

В литературном обзоре описаны известные виды поверхностного упрочнения быстрорежущих сталей концентрированными потоками энергии (КПЭ). Описана формирующаяся структура поверхности стали типа P6M5 после облучения лазерными лучами разной интенсивности и ее влияние на эксплуатационные свойства. Проведен детальный анализ влияния различных способов комбинированной обработки КПЭ включающих в себя закалку, оплавление, легирование с последующей термической обработкой быстрорежущих сталей. Оценена роль остаточного аустенита на изменение износа образцов из стали P6M5.

В работе показано, что область электронно-лучевого воздействия (ОЭЛВ) или лазерного оплавления (ЛО) состоит из ОЗ и ЗТВ. Высокие скорости охлаждения (до  $1.2 \times 10^8$  К/с) приводят к неравновесной кристаллизации ОЗ, состоящей из двух структурных составляющих А и Б. Структуры А и Б имеют дисперсное дендритно-ячеистое строение матрицы с эвтектическими карбидами по границ зёрен. Внутри структуры А в результате незавершённости перитектической реакции обнаружены кристаллы  $\delta$ -фазы. Структура Б в результате завершённости притектической реакции состоит только из  $\gamma$ - и  $\alpha$ - твёрдых растворов. Часть аустенитной фазы в обеих структурных составляющих при быстром охлаждении трансформируется в мартенсит. Образование феррита ( $\delta$ -фазы) приводит к значительному понижению твёрдости объёма ОЗ (до 4.5 ГПа) по сравнению с твёрдостью основного покрытия

(7.5 ГПа). Феррит располагается преимущественно в верхней и средней части ОЗ, в то время, как остаточный аустенит и мартенсит находятся во всём объёме оплавленной зоны.

Диаметр области лазерного воздействия увеличивается с 0.9 до 1.2 мм при увеличении длительности импульса до 10 мс, а далее практически не меняется с увеличением  $\tau$ . Размер литого ядра растёт от 0.68 до 0.92 мм при увеличении импульса от 2 до 6 мс. С ростом длительности импульса ширина ЗТВ увеличивается с 0.09 до 0.15 мм. При развертке луча в точку диаметр оплавленной зоны (ОЗ) с ростом длительности импульса увеличивается с 1.35 до 2.2 мм, а при развертке луча в линию с увеличением силы тока ширина ОЗ изменяется с 0.9 до 2 мм.

Интенсивность изнашивания покрытия после точечной лазерной обработки ниже на 40 – 60 %, чем у исходного покрытия.

#### ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Исакин И.А. Методы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов // Научно-практический журнал Аспирант. — 2016. — № 2. — С. 49.

2. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф. Влияние параметров лазерной обработки на величину литого ядра и размер ЗТВ покрытий на основе быстрорежущей стали // Научно-практический журнал Аспирант. — 2016. — № 6. — С. 51.

3. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф. Модификация быстрорежущих сталей концентрированными потоками энергии: обзор // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2018. — № 5.

4. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г. Особенности формирования структуры покрытий на основе стали 10P6M5 после

импульсной электронно-лучевой обработки // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2018. — Принята к печати в № 6-7.

5. Гнюсов С.Ф., Дураков В.Г., Зыков И.Ю., Исакин И.А., Хайдарова А.А. «Способ формирования волокнистого композиционного покрытия». Патент № 2637437. дек. 04.2017.

6. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф. Международная конференция «Наука. Технологии. Инновации» // Влияние параметров режимов импульсной электронно-лучевой обработки на геометрию и твёрдость оплавленных участков покрытия на основе стали 10P6M5. — Новосибирск: Изд-во НГТУ. — 2016. — Часть 3. — С. 128.

7. Курышин К.А., Исакин И.А., Дураков В.Г., Гнюсов С.Ф. Международная конференция «Наука. Технологии. Инновации» // Микроструктура и микротвёрдость покрытия на основе стали 10P6M5 после импульсной электронно-лучевой обработки. — Новосибирск: Изд-во НГТУ. — 2016. — Часть 3. — С. 145.

8. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф., Зыков И.Ю. Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность» // Поверхностная лазерная обработка покрытий на основе стали 10P6M5. — Томск — 2015. — С. 114.

9. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф., Зыков И.Ю. XXI Международная научная конференция «Современные техника и технология» // Структура и свойства покрытий на основе стали 10P6M5 после поверхностной лазерной обработки. — Томск. — С. 356.

10. Исакин И.А., Гнюсов С.Ф. Международная научно-практическая конференция «Технические науки: от вопросов к решениям» // Микроструктура и микротвёрдость композиционного покрытия на основе стали 10P6M5 после импульсного лазерного оплавления. — Томск. —2016. — С. 41.

11. Курьшин К.А., Исакин И.А., Дураков В.Г., V Международная научно-техническая конференция «Высокие технологии в современной науке и технике» // Изучение микротвёрдости покрытия на основе стали 10P6M5 после импульсной электронно-лучевой обработки. — Томск. — 2016. — С. 426.

12. Исакин И.А., Гньюсов С.Ф., Зыков И.Ю. Всероссийская научно-практическая конференция «Обработка материалов: современные проблемы и пути решения» // Структура и свойства покрытий на основе стали 10P6M5 после поверхностного лазерного оплавления. — Юрга. — 2015. — С. 123.