



**ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ  
И ПЛАЗМЕННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ МИФИ**

**ИАТЭ НИЯУ МИФИ**



**ЛАБОРАТОРИЯ  
МАТЕРИАЛОВ ИАТЭ**

**XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР  
СТРУКТУРНЫЕ ОСНОВЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ  
МАТЕРИАЛОВ**

**МНТ-XIV**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**13 июня – 15 июня 2017 г.**

**ОБНИНСК**

## СОДЕРЖАНИЕ

- Балакирев Э.В., Базалева К.О.** **12**  
ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОЦЕСС  
ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИТА СИСТЕМЫ  
ИНКОНЕЛЬ 625/TiC МЕТОДОМ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ
- Комиссарова И.А., Коновалов С.В., Ю.Ф. Иванов** **14**  
УСТАЛОСТНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА,  
ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ  
ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ
- Иванов Ю.Ф., Кормышев В.Е., Громов В.Е.,  
Коновалов С.В., Мусорина Е.В., Гостевская А.Н.** **17**  
МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ  
НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ
- Громов В.Е., Морозов К.В., Юрьев А.А.,  
Перегудов О.А., Рубанникова Ю.А., Мусорина Е.В.** **20**  
ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ ФАЗОВОГО СОСТАВА  
РЕЛЬСОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
- Сарычев В.Д., Невский С.А., Громов В.Е.** **24**  
МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ  
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВЗРЫВЕ ПРОВОДНИКОВ
- Сидоров Н.В., Палатников М.Н., Теплякова Н.А., Сюй А.В.,  
Киле Е.О., Штарев Д.С.** **27**  
ОПТИЧЕСКАЯ И СТРУКТУРНАЯ ОДНОРОДНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ  
НИОБАТА ЛИТИЯ РАЗНОГО СОСТАВА
- Теплякова Н.А., Сидоров Н.В., Палатников М.Н.,  
Сюй А.В., Штарев Д.С.** **29**  
ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОМИНАЛЬНО ЧИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ  
НИОБАТА ЛИТИЯ, ВЫРАЩЕННЫХ ИЗ ШИХТЫ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА
- Сюй А.В., Максименко В.А., Сидоров Н.В.,  
Палатников М.Н., Габаин А.А., Теплякова Н.А.** **30**  
СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ФОТОПРОВОДИМОСТИ КРИСТАЛЛОВ  
НИОБАТА ЛИТИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ БОРОМ И ЖЕЛЕЗОМ

пучком (25 Дж/см<sup>2</sup>; 150 мкс; 3 имп.) приводит к измельчению зеренной структуры и формированию внутризеренной субструктуры, т.е. к формированию в поверхностном слое дополнительных структурных уровней субмикро- и наноразмерного диапазона. Выполнен анализ фрактограмм поверхности разрушения образцов титана, не обработанных и обработанных интенсивным импульсным электронным пучком. Показано, что облучение поверхности образцов технически чистого титана марки ВТ1-0 сопровождается формированием многослойной структуры, отчетливо выявляемой на фрактограммах материала, разрушенного в результате многоцикловых усталостных испытаний.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-32-60048-мол\_a\_дк.).*

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 13-08-00416).*

#### **Литература**

1. Коцаньда С. Усталостное разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1976. - 456 с.
2. Фрактография и атлас фрактограмм / Под ред. Дж. Феллоуза. - М.: Металлургия, 1982. - 489 с.
3. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием - М.: Металлургия, 1977. - 270 с.
4. Ласковнев А.П., Иванов Ю.Ф., Петрикова Е.А. и др. Модификация структуры и свойств эвтектического силумина электронно-ионно-плазменной обработкой - Минск: «Белорусская наука», 2013. - 287 с.

## **МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКОЙ**

<sup>1,2</sup>Иванов Ю.Ф., <sup>3</sup>Кормышев В.Е., <sup>3</sup>Громов В.Е.,

<sup>3</sup>Коновалов С.В., <sup>3</sup>Мусорина Е.В., <sup>3</sup>Гостевская А.Н.

<sup>1</sup> Россия, г. Томск, институт сильноточной электроники СО  
РАН, [yufi55@mail.ru](mailto:yufi55@mail.ru)

<sup>2</sup> Россия, г. Томск, Национальный исследовательский Томский  
государственный университет, [yufi55@mail.ru](mailto:yufi55@mail.ru)

<sup>3</sup> Россия, г. Новокузнецк, Сибирский государственный  
индустриальный университет, [gromov@physics.sibsibiu.ru](mailto:gromov@physics.sibsibiu.ru)

В большинстве случаев детали машин и механизмов работают в условиях изнашивания, циклических нагрузок, коррозии при криогенных или высоких температурах, при которых максимальные напряжения возникают в поверхностных слоях металла, где сосредоточены основные концентраторы напряжения. Одной из перспективных технологий, направленных на решение проблемы продление срока службы конструкций путем восстановления изношенных деталей, является электродуговая наплавка порошковой проволокой.

Целью данной работы является анализ фазового состава, дефектной субструктуры, механических свойств наплавленного слоя на сталь Hardox 450 боросодержащей порошковой проволокой.

Используемая в качестве материала основы сталь марки Hardox 450 характеризуется низким содержанием легирующих элементов, вследствие чего она хорошо сваривается и обрабатывается. Благодаря специальной системе закалки листов, суть которой заключается в быстром охлаждении прокатанного листа без последующего отпуска, достигается мелкозернистая структура стали и ее высокая твердость. Благодаря этому сталь эффективно противостоит большинству видов износа. Наплавку осуществляли порошковой проволокой ПП-1 состава 0,7% С, 2,0% Mn, 1,0% Si, 2,0% Ni, 4,5% В и остальное Fe.

Формирование наплавленного электродуговым методом слоя на поверхности стали сопровождается слабо контролируемым нагревом материала. Это приводит к протеканию процесса отпуска закаленного состояния. В процессе формирования наплавленного слоя объем прилегающего слоя стали легируется элементами порошковой проволоки. Диффузия легирующих элементов (а именно, бора) протекает преимущественно по границам зерен, что и приводит к формированию частиц боридов железа.

Особенностью фазового состава наплавленного за один проход слоя является формирование в эвтектике пластин боридов железа преимущественно состава  $Fe_2B$ ; в двойном наплавленном слое в эвтектике формируется преимущественно борид железа состава FeB.

Наличие изгибных экстинкционных контуров указывает на формирование в материале внутренних полей напряжений, приводящих к изгибу-кручению кристаллической решетки. Источниками полей напряжений (концентраторами напряжений) являются межфазные границы (границы раздела включений боридов и  $\alpha$ -фазы) и внутрифазные границы (границы раздела боридов железа).

Разделяющая пластины боридов железа  $\alpha$ -фаза, при однократном формировании наплавленного слоя представлена преимущественно мартенситом пакетной морфологии. Поперечные размеры пластин изменяются в пределах от 30 до 70 нм. В объеме пластин наблюдается дислокационная субструктура сетчатого типа. Высокая плотность дислокаций, пластинчатая морфология структуры прослоек указывают на мартенситный механизм формирования  $\alpha$ -фазы с образованием ультрамелкой мартенситной структуры [1].

Таким образом, выполненные исследования структуры и фазового состава наплавленного слоя выявили формирование многофазного состояния, характеризующегося присутствием большого количества включений боридов железа, твердость которых существенно превышает твердость стали Хардокс-450. Твердость эвтектики будет отличаться от твердости боридов железа. Действительно, выполненные механические испытания материала подтвердили это предположение.

Анализируя результаты исследования микротвердости материала при одинарном и двойном способе формирования наплавленного слоя, можно отметить, что формирование высокопрочного поверхностного слоя, микротвердость которого изменяется в пределах (10,5 – 12,5) ГПа при одном проходе и  $\approx$ 15 ГПа при двойном проходе [2].

Следовательно, различие в твердости наплавленных слоев обусловлено различием фазового состава одинарного и двойного слоев.

*Исследование выполнено за счет средств Гранта Российского научного фонда (проект №15-19-00065).*