

С.В. Райков, Е.А. Будовских, В.Е. Громов,  
Ю.Ф. Иванов, Е.С. Вашук

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА  
И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ  
ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОМ ЛЕГИРОВАНИИ  
И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

Новокузнецк – 2015

Министерство образования и науки РФ  
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»  
ФГБОУ ВПО НИ «Томский политехнический университет»  
ФГБУН «Институт сильноточной электроники СО РАН»  
Межгосударственный координационный совет по физике прочности  
и пластичности материалов

**Серия «Фундаментальные проблемы  
современного материаловедения»**

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ, ФАЗОВОГО СОСТАВА  
И СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ  
ПРИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОМ ЛЕГИРОВАНИИ  
И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

С.В. Райков, Е.А. Будовских, В.Е. Громов,  
Ю.Ф. Иванов, Е.С. Ващук

Новокузнецк – 2015

УДК 669.15:620.186:539.12  
ББК 34.2  
Ф 505  
ISBN 978-5-91797-192-6

Серия «Фундаментальные проблемы  
современного материаловедения»

Формирование структуры, фазового состава и свойств поверхности титановых сплавов при электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке / С.В. Райков, Е.А. Будовских, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов, Е.С. Ващук. – Новокузнецк: Изд-во «Полиграфист», 2015. – 290 с.



*Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований по  
проекту № 15-02-07000, не подлежит продаже.*

В монографии представлены результаты экспериментальных исследований методами современного физического материаловедения закономерностей формирования структуры, фазового состава и физико-механических свойств поверхности титановых сплавов, подвергнутой различным видам одно- и двухкомпонентного электровзрывного легирования и последующей обработке низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками. Книга предназначена для специалистов в области физики конденсированного состояния, металловедения и термической обработки, и может быть полезна аспирантам и студентам старших курсов соответствующих специальностей.

Табл. 15. Ил. 220. Библиогр. 117 назв.

Рецензенты: доктор физико-математических наук, профессор В.И. Данилов,  
доктор технических наук, профессор В.В. Муравьев

Утверждено к печати Научно-техническими советами ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», ФГБОУ ВПО НИ «Томский политехнический университет», ФГБУН «Институт сильноточной электроники СО РАН», Межгосударственным координационным советом по физике прочности и пластичности материалов

Без объявления

© Авторы, текст 2015

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2015

© Томский политехнический университет, 2015

© Институт сильноточной электроники СО РАН, 2015

© Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности материалов

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	6
<b>Глава 1. Оборудование для осуществления комбинированной обработки</b> .....	13
1.1. Лабораторная электровзрывная установка ЭВУ 60/10 для получения импульсных многофазных плазменных струй и особенности методики проведения электровзрывного легирования.....	13
1.2. Оборудование для обработки поверхности материалов низкоэнергетическими сильноточными электронными пучками и особенности методики ее проведения .....	18
<b>Глава 2. Электронно-пучковая обработка технически чистого титана ВТ1-0 после электровзрывного алитирования</b>	21
2.1. Градиент микротвердости.....	21
2.2. Анализ поверхности обработки технически чистого титана	23
2.3. Структурный градиент, формирующийся в технически чистом титане при электронно-пучковой обработке образца, алитированного электровзрывным методом.....	30
2.4. Анализ градиента фазового состава и дефектной субструктуры, формирующейся в технически чистом титане при электронно-пучковой обработке образца, алитированного электровзрывным методом.....	33
2.5. Выводы.....	38
<b>Глава 3. Электровзрывное бороалитирование и последующая электронно-пучковая обработка технически чистого титана ВТ1-0</b> .....	42
3.1. Градиент микротвердости.....	42
3.2 Анализ поверхности обработки титана ВТ1-0 .....	44
3.3. Структурный градиент, формирующийся в технически чистом титане при электронно-пучковой обработке образца, бороалитированного электровзрывным методом .....	49
3.4. Анализ градиента фазового состава и дефектной субструктуры, формирующейся в технически чистом титане при электронно-пучковой обработке образца, бороалитированного электровзрывным методом.....	51
3.5. Выводы.....	58

<b>Глава 4. Электровзрывное науглероживание поверхности технически чистого титана VT1-0 и последующая электронно-пучковая обработка .....</b>	<b>60</b>
4.1. Способ науглероживания поверхности титана с использованием электрического взрыва углеродных волокон и последующей электронно-пучковой обработки.....	60
4.2. Рельеф поверхности электровзрывного науглероживания ..	63
4.3. Градиентное строение зоны электровзрывного науглероживания титана, сформированной в различных режимах после электронно-пучковой обработки.....	67
4.4. Распределение микротвердости по глубине науглерожженных слоев после электронно-пучковой обработки в различных режимах .....	70
4.5. Особенности микроструктуры и фазового состава науглерожженных слоев	72
4.6. Особенности микроструктуры и фазового состава науглерожженных слоев после электронно-пучковой обработки .....	78
4.7. Выводы.....	82
<b>Глава 5. Электровзрывное науглероживание с навеской порошка диборида титана поверхности титановых сплавов и последующая электронно-пучковая обработка.....</b>	<b>87</b>
5.1. Модификация поверхностных слоев сплава VT1-0 с использованием порошковых частиц диборида титана.....	87
5.2. Модификация поверхностного слоя титанового сплава VT6.....	114
5.3. Выводы.....	139
<b>Глава 6. Электровзрывное науглероживание с навеской порошка карбида кремния поверхности титановых сплавов и последующая электронно-пучковая обработка.....</b>	<b>144</b>
6.1. Модификация поверхностных слоев технически чистого титана VT1-0 с использованием порошковых частиц карбида кремния.....	144
6.2. Модификация поверхностного слоя титанового сплава VT6.....	174
6.3. Выводы.....	196

<b>Глава 7. Электровзрывное легирование поверхности Тi иттрием с последующей электронно-пучковой обработкой.....</b>	<b>204</b>
7.1. Износостойкость модифицированных слоев титана после электровзрывного легирования иттрием и последующей электронно-пучковой обработки.....	204
7.2. Твердость модифицированного слоя системы Ti-Y .....	211
7.3. Анализ фазового состава поверхностного слоя системы титан-иттрий.....	224
7.4. Структура и элементный состав поверхностного слоя титана, легированного иттрием электровзрывным методом.....	239
7.5. Анализ структурно-фазового состояния слоя титана, легированного иттрием, методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии.....	263
<b>Заключение.....</b>	<b>275</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>279</b>