

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ



8

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ
МАТЕРИАЛОВ И НАНОМАТЕРИАЛОВ



imetran.ru

УДК 669.66-96

ББК 34.2.34.3.95

Д 39

Д 39 VIII Международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва. 19-22 ноября 2019 г./ Сборник материалов. – М: ИМЕТ РАН, 2019, 860с.

ISBN 978-5-4465-2550-8

Организаторы конференции:

- Министерство науки и высшего образования рф
- Российский фонд фундаментальных исследований
- Российская академия наук
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук
- ООО «Мелитэк»
- Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности
- Журнал «деформация и разрушение материалов»
- Journal of materials new horizons
- PiscoMed publishing pte ltd

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-08-20115*

Материалы публикуются в авторской редакции.

Сборник материалов доступен на сайте <http://dfmn.imetran.ru/>

© ИМЕТ РАН 2019

ISBN 978-5-4465-2550-8



короткого замыкания. Подвижные размыкаемые контакты не должны также разрушаться под действием высокой температуры электрической дуги, которая образуется при их размыкании, и надежно замыкаться без приваривания и оплавления при включении на короткое замыкание.

Дефектную субструктуру электровзрывного покрытия системы ZnO-Ag изучали путем анализа поперечных травленных шлифов. Установлено, что ЭВН меди сопровождается формированием многослойной структуры. Толщина поверхностного слоя, имеющего субмикроструктурную (150-230 нм) структуру, изменяется в широких пределах и варьируется от 30 мкм до 60 мкм. Поверхностный слой отделен от слоя термического влияния переходным слоем толщиной (1,0-1,3) мкм. Следует отметить, что переходный слой содержит большое количество микропор. Методами микрорентгеноспектрального анализа выполнены исследования элементного состава модифицированного слоя медного электрического контакта. Результаты исследований свидетельствуют о том, что серебро является основным элементом поверхностного слоя. В переходном слое концентрация атомов серебра быстро снижается и в основном объеме медного электрического контакта атомы серебра обнаружены в минимальном количестве. Фазовый и элементный состав, состояние дефектной субструктуры медного электрического контакта, подвергнутого ЭВН покрытия системы ZnO-Ag, анализировали методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг. Выполненные исследования показывают, что в поверхностном слое толщиной до 60 мкм формируется, независимо от расстояния до поверхности облучения, структура высокоскоростной ячеистой кристаллизации. Ячейки имеют округлую форму. Размер ячеек изменяется в пределах от 150 нм до 400 нм. Ячейки разделены прослойками, толщина которых изменяется в пределах от 15 нм до 50 нм. В объеме ячеек выявляется дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций. Скалярная плотность дислокаций $\approx 2,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Переходный слой имеет структуру дендритной кристаллизации со стороны слоя электровзрывного напыления и структуру пластинчатого типа со стороны слоя термического влияния. Слой термического влияния медного электрического контакта имеет зеренно-субзеренную структуру. В объеме зерен меди наблюдается дислокационная субструктура в виде хаотически распределенных дислокаций. Величина скалярной плотности дислокаций составляет $\approx 1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Следует отметить, что на электронно-микроскопическом изображении структуры слоя термического влияния присутствует большое количество изгибных экстинкционных контуров, что указывает на высокий уровень кривизны-кручения материала, обусловленный внутренними полями напряжений. Распределение атомов серебра, цинка и кислорода в электровзрывном покрытии изучали методами микрорентгеноспектрального анализа тонких фольг. В структуре высокоскоростной ячеистой кристаллизации, образующейся в поверхностном слое, объем ячеек сформирован преимущественно атомами серебра, атомы цинка и кислорода расположены преимущественно по границам ячеек, формируя протяженные прослойки. В структуре переходного слоя (слоя с дендритной кристаллизацией) атомы серебра и цинка располагаются преимущественно вдоль границ дендритов.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00013).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ БОРСОДЕРЖАЮЩЕЙ НАПЛАВКИ НА НИЗКОУГЛЕРОДИСТУЮ СТАЛЬ

Рубанникова Ю.А., Громов В.Е., Романов Д.А., Кондратова О.А.

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия
rubannikova96@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF BORCEDENING SURFACE ON LOW-CARBON STEEL

Analysis of structure phase states and properties of the layers formed on low alloy steel Hardox 450 by welded-on wires with boron content of 4,5 and 6,5 weight % was done by the methods of modern physical material science. The layer welded on Hardox 450 steel has the microhardness increasing that of the base by more than two-fold. The increase in boron concentration from 4,5 to 6,5 % is accompanied by the sufficient increase (by 1,2–1,5 times) in the hardness of the welded on layer, it is caused by the increase of dimensions and relative content of iron boride regions by 1,5–2 times.

Целью данной работы является сравнительный анализ механических и трибологических свойств слоя наплавленного электродуговым методом борсодержащей порошковой проволоки.

Для исследований использованы образцы из стали Hardox-450 (табл. 1), широко применяемой в условиях повышенных требований к износостойкости и хорошей свариваемости.

Таблица 1-Химический состав стали Hardox 450 (химический состав металла в ковше, вес. %, остальное железо).

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	B	P	S
0,19-0,26	0,70	1,60	0,25	0,25	0,25	0,004	0,025	0,010

Формирование наплавленного слоя осуществляли проволокой, элементный состав которой приведен в табл. 2.

Таблица 2 -Химический состав порошковых проволок (масс. %, остальное Fe)

Обозначение проволоки	C	Mn	Si	Ni	B
Fe-C-Ni-B	0,7	2,0	1,0	2,0	4,5
Fe-C-Ni-B	0,7	2,0	1,0	2,0	6,5

Результаты исследования микротвердости (поперечный шлиф, профиль микротвердости) представлены на рис. 1. Отчетливо видно, что наплавленный слой характеризуется высоким уровнем микротвердости, превышающей микротвердость основы стали более чем в два раза. Повышение концентрации бора в наплавочной проволоке приводит к значимому (в 1,2-1,5 раз) увеличению твердости модифицированного слоя.

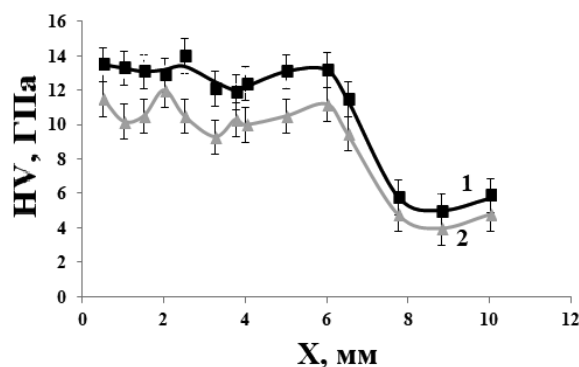


Рисунок 1 - Профиль микротвердости системы «наплавленный слой / сталь»; 1 –наплавленный слой (содержание В – 6,5 %); 2 – наплавленный слой (содержание В – 4,5 %)

Исходя из элементного состава наплавочной проволоки (табл. 2), можно предположить, что высокие прочностные свойства наплавленного слоя обусловлены упрочнением материала карбидами бора, боридами и карбоборидами железа.

Кристаллизация наплавленного слоя сопровождается, не зависимо от концентрации атомов бора формированием структуры преимущественно пластинчатого типа, характерное изображение которой представлено на рис. 2.

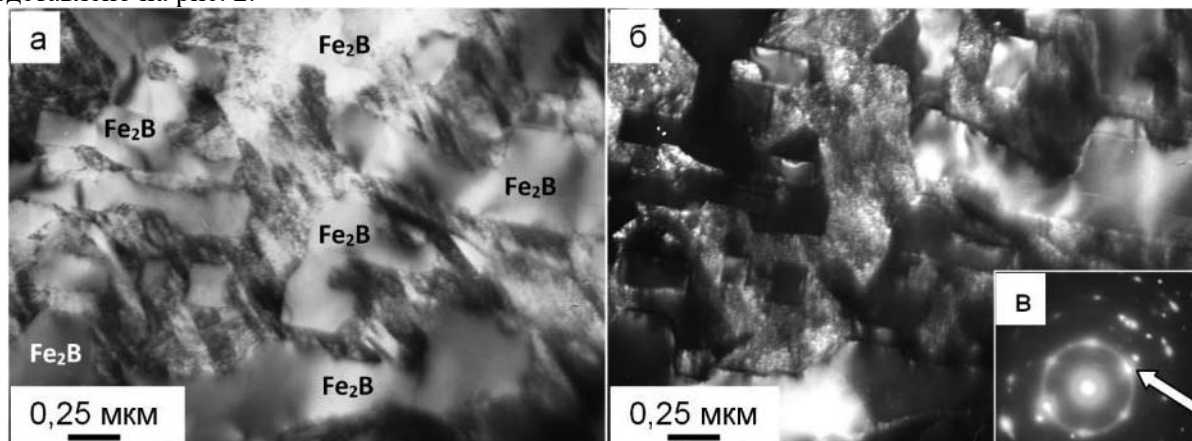


Рисунок 2 - Электронно-микроскопическое изображение структуры слоя, наплавленного на сталь проволокой с концентрацией бора 4,5 вес. %; а – светлое поле; б - темное поле, полученное в близко расположенных рефlekсах [130]Fe₂B и [110]α-Fe; в – микроэлектроннограмма, стрелкой указаны рефlekсы, в которых получено темное поле.

Повышение концентрации атомов бора в наплавленном слое от 4,5 вес. % до 6,5 вес. % сопровождается увеличением размеров областей боридов железа в 1,5-2 раза (рис. 5).

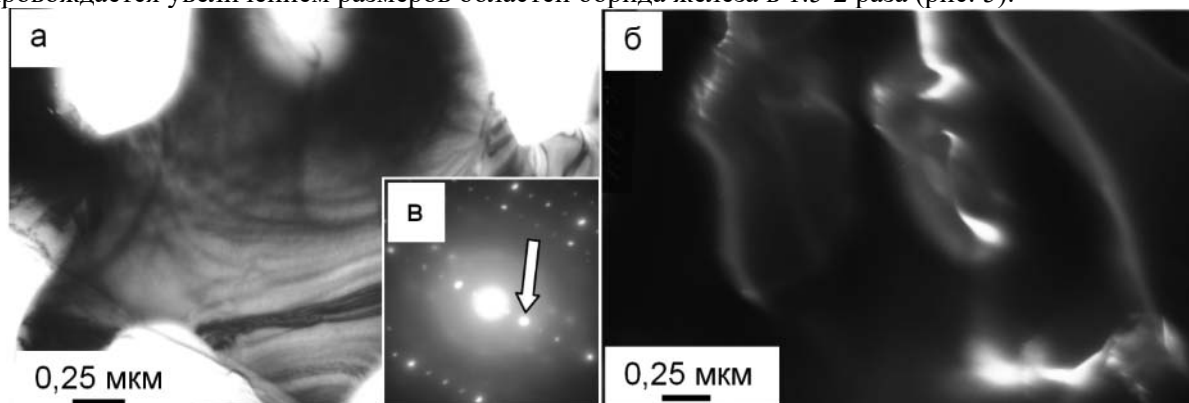


Рисунок 3 - Электронно-микроскопическое изображение структуры слоя, наплавленного на сталь проволокой с концентрацией бора 6,5 вес. %; а – светлое поле; б - темное поле, полученное в рефлексе [004]Fe₂B; в – микроэлектронограмма, стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле.

Таким образом, наплавленный на сталь Hardox 450 слой характеризуется высоким уровнем микротвердости, превышающей микротвердость основы более чем в два раза. Причиной этому, как показали исследования, выполненные методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии, является, формирование структуры эвтектического типа, образованной кристаллитами боридов железа и зернами α -фазы (твердый раствор на основе ОЦК кристаллической решетки железа). Установлено, что увеличение концентрации бора в наплавочной проволоке (в пределах от 4,5 вес. % до 6,5 вес. %) сопровождается значимым (в 1,2-1,5 раз) повышением твердости наплавленного слоя. Одной из причин этому является увеличение размеров (и, соответственно, относительного содержания) областей боридов железа в 1,5-2 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ Кемеровской области в рамках научного проекта № 18-48-420001 p_a.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК НИОБАТА ЛИТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ NiSi₂/Si И SiO₂/Si

Сериков Д.В., Дыбов В.А., Костюченко А.В.

*Россия, Воронежский государственный технический университет,
dmitriy.tut@mail.ru*

INFLUENCE OF THERMAL ANNEALING ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF THIN LITHIUM NIOBATE FILMS ON THE SURFACE OF NiSi₂ / Si AND SiO₂ / Si

Гетероструктуры LiNbO₃/SiO₂/Si, LiNbO₃/Si находят широкое применение в современном электронном приборостроении благодаря оптимальному сочетанию сегнетоэлектрических, электрооптических, акустооптических свойств. Однако, несоответствие симметрии кристаллических решеток, а также существенное различие ТКЛР кремния и ниобата лития препятствуют созданию гетероструктур с высоко значимыми механическими и трибологическими свойствами. Перспективное направление решения этой проблемы - применение переходного слоя, который позволит уменьшить термические напряжения в гетероструктуре и повысит адгезию. В качестве переходного слоя м.б. эпитаксиальный подслоя силицида никеля NiSi₂ на поверхности кремния.

В данной работе проведено сравнение механических свойств пленок ниобата лития в гетероструктурах LiNbO₃/SiO₂/Si и LiNbO₃/NiSi₂/Si и показана принципиальная возможность эффективного использования подслоя NiSi₂ для улучшения адгезии и механических свойств тонких пленок ниобата лития.

Исходные тонкие пленки системы LiNbO₃ толщиной 300 нм получали на подогреваемых до 550°C подложках SiO₂/Si, NiSi₂/Si высокочастотным магнетронным распылением монокристаллической мишени LiNbO₃. Термический отжиг, полученных гетероструктур, проводили на воздухе в течении одного часа при 600 °C с последующим охлаждением с печью (скорость охлаждения 6-7 °C·мин⁻¹).

Структуру и фазовый состав пленок изучали методом рентгеновской дифрактометрии, механические свойства изучали методом наноиндентирования алмазным индентором Берковича.