



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Сборник материалов
XVII Российской научной
студенческой конференции**

Томск, 18 мая 2020 г.



ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2020

УДК 539.2; 539.9; 537
Ф503

Физика твердого тела: сборник материалов XVII Российской научной студенческой конференции (г. Томск, 18 мая 2020 г.) / под ред. В.А. Новикова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2020. – 184 с.

ISBN 978-5-89503-639-6

Сборник содержит материалы, представленные студентами, аспирантами и молодыми учеными на XVII Российской научной студенческой конференции по физике твердого тела (ФТТ-2020). Тематика конференции посвящена исследованию электронного строения, кристаллической структуры, фазовых переходов, электрофизических, поверхностных, оптических и механических свойств твердых тел.

Для широкого круга исследователей, занимающихся проблемами физики твердого тела.

УДК 539.2; 539.9; 537

Организаторы:

Национальный исследовательский Томский государственный университет;
Сибирский физико-технический институт им. В.Д. Кузнецова ТГУ;
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН;
Институт физики полупроводников СО РАН.

Редакционная коллегия:

канд. физ.-мат. наук В.А. Новиков; д-р физ.-мат. наук Ю.Ю. Эрвье;
д-р физ.-мат. наук, доцент И.А. Дитенберг; д-р физ.-мат. наук, доцент
И.Ю. Литовченко; д-р физ.-мат. наук, доцент А.И. Дмитриев; д-р физ.-мат.
наук Е.В. Шилько; канд. физ.-мат. наук Е.С. Марченко; канд. физ.-мат.
наук Е.Ю. Гудимова; канд. физ.-мат. наук А.А. Козулин; канд. физ.-мат.
наук И.А. Бобровникова; канд. физ.-мат. наук С.Н. Филимонов; д-р физ.-
мат. наук В.Н. Брудный; д-р физ.-мат. наук И.В. Ивонин.

Технический комитет:

Осипов Денис Андреевич, аспирант физического факультета ТГУ;
Терещенко Евгений Васильевич, аспирант физического факультета ТГУ.

ISBN 978-5-89503-639-6

© ООО «Издательство НТЛ», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ

Алмаева К.В. Особенности разрушения ферритно-мартенситной стали ЭП-823 после высокотемпературной термомеханической обработки	8
Вырдова А.В. Влияние частиц второй фазы на механические свойства $[\bar{1}11]$ -монокристаллов высокоэнтропийного сплава FeNiCoCrAl _{0,3} при растяжении.....	11
Вязовская А.Ю. Влияние спин-орбитального взаимодействия и магнетизма на электронную структуру GdIr ₂ Si ₂	14
Гарин А.С., Аникеев С.Г., Артюхова Н.В., Кафтаранова М.И. Биосовместимые пористые сплавы на основе никелида титана с добавками титана, полученные методом диффузионного спекания	16
Дубовиков К.М. Исследование структурно-фазового состава поверхности монокристаллических титановых сплавов при газовой коррозии.....	18
Дымнич Е.М., Емельянова Е.С. Модель деформационного поведения аддитивных алюминиевых сплавов в рамках микромеханического подхода.....	20
Дьяченко Ф.А., Атовуллаева А.А., Мейснер Л.Л. Влияние формы наконечника индентора на локальное деформационное поведение TiNi-сплава.....	22
Дьяченко Ф.А., Атовуллаева А.А., Мейснер Л.Л. Влияние плотности энергии электронного пучка на изменение механических свойств поверхностного слоя никелида титана	25
Емельянова Е.С. Численный анализ влияния размера зерна и текстуры на локализацию пластической деформации и деформационный рельеф в поверхностно-модифицированном титане	28
Жердева М.В., Тимофеева Е.Е., Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И. Сверхэластичность и эффект памяти формы в состаренных под и без нагрузки монокристаллах высоконикелевых сплавов Ti-Ni	30
Кахидзе Н.И., Ахмадиева А.А., Гизатулина Н.Р., Селиховкин М.А., Валихов В.Д. Исследование влияния диборида титана и эрбия на структуру и механические свойства алюминидового сплава AMg5	33
Козадаева М.П., Сурменова М.А., Сурменев Р.А., Леонова Л.А., Храпов Д.А., Панин А.В., Коптюг А.В. Исследование механического поведения при статическом сжатии и растяжении металлических конструкций с топологией трижды периодических по-	

Исследование влияния диборида титана и эрбия на структуру и механические свойства алюминиевого сплава АМг5*

Н.И. Кахидзе, А.А. Ахмадиева, Н.Р. Гизатулина,
М.А. Селиховкин, В.Д. Валихов

*Национальный исследовательский
Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Разработка и исследование новых высокопрочных алюминиевых сплавов по-прежнему является актуальной задачей современного машиностроения [1]. В связи с этим особый интерес представляет изучение закономерностей влияния различных добавок в структуру алюминиевых сплавов на их механические характеристики.

В настоящей работе проведены исследования сплавов алюминия на основе АМг5, полученных литьем в кокиль. В качестве модификаторов и упрочняющих частиц структуры алюминия выступали частицы TiB_2 и лигатуры системы Al-Er. Было получено 8 партий отливок: исходные с ультразвуковой обработкой и без; с лигатурами, содержащими Er, полученными методом гидрирования редкоземельных металлов (РЗМ) [2]; с лигатурами, содержащими TiB_2 , полученными методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [3]. Лигатур с TiB_2 было синтезировано 5 видов, отличных друг от друга в соотношении используемых порошков и соответственно в протекании экзотермической реакции: у трёх видов лигатур продуктами для СВС были порошки алюминия, титана и бора, в результате образуется диборид титана и интерметаллидная матрица фаз Ti-Al, а исходными продуктами СВС-реакции для двух других типов лигатур были порошки титана и бора, в результате был получен диборид титана, который в последствии смешивался с порошком алюминия. Для увеличения смачиваемости частиц TiB_2 применялась ультразвуковая обработка расплава (УЗО) [4].

Плотность полученных отливок определялась методом гидростатического взвешивания. Средний размер зерна определяли методом случайных секущих по изображениям микроструктуры, полученным на оптическом микроскопе. Металлографические шлифы для исследования микроструктуры были подготовлены с применением электролитического травления в растворе тетрафтороборной кислоты. Твёрдость исследуемых сплавов определялась на твердомере Duramin-500 A75 по методу Бринелля с нагрузкой 250 кг на стальной сферический индентор диаметром 5 мм. Экспери-

* Исследование сплавов Al-Mg выполнено за счет Гранта Президента Российской Федерации (МК-506.2019.8).

менты на растяжение плоских образцов проводились на испытательной машине Instron 3369 при скорости траверсы 0.2 мм/мин.

Плотность сплавов, полученных без обработки расплава ультразвуковым полем, составила 2.58 г/см³, а полученных отливок с УЗО расплава – 2.65 г/см³. Средний размер зерна у исходного (без введения модификаторов) сплава АМг5 составил 372 мкм и уменьшился до 250 мкм после применения УЗО расплава (табл. 1). При введении лигатур с TiB₂ № 1, № 2, № 3 средний размер зерна получаемых сплавов уменьшился с 250 до 164, 163 и 158 мкм соответственно. При введении лигатур с TiB₂ № 4, № 5 средний размер зерна уменьшился с 250 до 152 и 182 мкм соответственно. У сплавов, содержащих Er, средний размер зерна составил 507 мкм. Твёрдость исходного сплава составила 65 НВ и уменьшилась до 58 НВ после применения УЗО расплава. Твёрдость модифицированных сплавов практически не изменилась в сравнении с исходным сплавом и составила от 59 до 65 НВ.

Таблица 1

Сводные данные исследуемых сплавов

Номенклатура	Метод получения лигатуры	УЗО	Ср. р-р зерна, мкм	Твёрдость, НВ
АМг5	-	-	372	65
АМг5	-	+	250	58
АМг5+ Er	Гидрирование РЗМ	-	507	64
АМг5+ TiB ₂ (1)	СВС из Al, Ti, В	+	164	64
АМг5+ TiB ₂ (2)	СВС из Al, Ti, В	+	163	59
АМг5+ TiB ₂ (3)	СВС из Al, Ti, В	+	158	64
АМг5+ TiB ₂ (4)	СВС из Ti, В + порошок Al	+	152	60
АМг5+ TiB ₂ (5)	СВС из Ti, В + порошок Al	+	182	62

Условный предел текучести ($\sigma_{0.2}$), временное сопротивление разрушению (σ_b) и максимальные деформации (ϵ_{max}) сплава АМг5, полученного без УЗО расплава, составили 52, 152 МПа и 12 % соответственно (табл. 2). Ультразвуковая обработка расплава не оказала заметного влияния на механические характеристики получаемых сплавов: условный предел текучести составил 57 МПа, временное сопротивление 155 МПа, максимальные деформации 11.5 %. При введении в расплав частиц TiB₂ наблюдается заметное увеличение механических свойств получаемых отливок. У сплава, модифицированного лигатурой № 1, увеличиваются условный предел текучести с 57 до 74 МПа, временное сопротивление со 155 до 192 МПа и максимальные деформации с 11.5 до 14.5 %. У сплавов, содержащих лигатуры № 2 и 3, условный предел текучести составил 71 и 69 МПа, временное сопротивление 192 и 201 МПа, максимальные деформации 14.5 и 18.8 % соответственно. При модификации сплава АМг5 лигатурой № 4 наблюдается увеличение условного

предела текучести и временного сопротивления до 75 и 191 МПа соответственно при максимальных деформациях 12 %. У сплава с лигатурой № 5 условный предел текучести и временное сопротивление составили 66 и 194 МПа соответственно, максимальные деформации 18 %.

Т а б л и ц а 2

Результаты квазистатического растяжения исследуемых сплавов

Номенклатура	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	ϵ_{max} , %
AMr5 без УЗО	52	152	12
AMr5	57	155	11.5
AMr5+ TiB ₂ (1)	74	192	14.5
AMr5+ TiB ₂ (2)	71	201	18.8
AMr5+ TiB ₂ (3)	69	200	17.8
AMr5+ TiB ₂ (4)	75	191	12
AMr5+ TiB ₂ (5)	66	194	18

Таким образом, ультразвуковая обработка расплава способствует корректному введению диборида титана в матричный расплав, что обеспечивает измельчение зеренной структуры литого алюминиевого сплава и, как следствие, увеличение механических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Greer A.L., Cooper P.S., Meredith M.W., Schneider W., Schumacher P., Spittle J.A., Tronche A. Grain refinement of aluminum alloys inoculation // *Advanced Engineering Materials*. – Wiley Interscience, 2003. – V. 5(1–2). – P. 81–91.
2. Казанцева Л.А., Косова Н.И., Пичугина А.А., Владимиров А.А., Сачков В.И., Сачкова А.С., Курзина И.А. Получение высокопрочных сплавов методом компактирования с последующим дегидрированием // Сб. тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. 16–20 мая 2016 г. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2016. – С. 229–230.
3. Жуков И.А., Зиатдинов М.Х., Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Ворожцов С.А., Промахов В.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез боридов Al и Ti // *Изв. вузов. Физика*. – 2016. – № 8. – С. 177–178.
4. Данилов П.А., Хрусталеv А.П., Ворожцов А.Б., Жуков И.А., Промахов В.В., Хмелева М.Г., Пикуцак Е.В., Кветинская А.В. Анализ влияния внешних физических воздействий на процессы литья легких сплавов // *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*. – 2018. – № 55 – С. 84–98.

Кахидзе Николай Иверьевич, магистрант ФТФ ТГУ, инженер-исследователь лаборатории нанотехнологий металлургии ТГУ; nick200069@yandex.ru

Ахмадиева Анастасия Алексеевна, студентка ФТФ ТГУ; nas99.9@yandex.ru

Гизатулина Наиля Рашидовна, студентка ФТФ ТГУ; nailya_99ggg@mail.ru

Селиховкин Михаил Александрович, студент ФТФ ТГУ, лаборант НИЛ высокоэнергетических и специальных материалов ФТФ ТГУ; Mishselikh@gmail.com

Валихов Владимир Данилович, магистрант ФТФ ТГУ, лаборант НИЛ высокоэнергетических и специальных материалов ФТФ ТГУ; valihov.snobls@gmail.com

Научное издание

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Сборник материалов
XVII Российской научной
студенческой конференции**

Томск, 18 мая 2018 г.

Редактор *Т.С. Портнова*
Дизайн, верстка *Д.В. Фортеса*

ООО «Издательство научно-технической литературы»
634050, Томск, ул. Студенческая, 4, тел. (3822) 53-10-35

Изд. лиц. ИД № 04000 от 12.02.2001. Подписано к печати 12.05.2020.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. п. л. 10.67. Уч.-изд. л. 11.98. Тираж 100 экз. Заказ № 10
