

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Алиева Руслана Теймуровича «Структура и свойства композиционных Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников и совершенствование технологии их изготовления»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Алиева Р.Т. посвящена исследованию структура и электрофизических свойств композиционных Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников. Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводники являются одними из наиболее применяемых низкотемпературных сверхпроводников для изготовления магнитных систем современной ядерной физики. Из них в частности изготавливаются тороидальная катушка и центральный соленоид магнитной системы Международного термоядерного реактора ИТЭР.

Обладая высоким комплексом сверхпроводящих характеристик, Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводящие провода представляют из себя очень сложные многосоставные композиционные материалы, а технология их изготовления отличается длительностью и применением большого объема высокотехнологических операций. Поэтому работа Алиева Р.Т. направленная на повышение сверхпроводящих свойств и совершенствование технологии изготовления Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников безусловно является актуальной задачей.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 76 наименований. Материал работы изложен на 170 страницах печатного текста, включает 118 рисунков и 19 таблиц.

**ВО ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы диссертации, показана новизна полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту.

**В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ** представлен обзор литературы и сформулирована постановка задачи.

**ВТОРАЯ ГЛАВА** включает описание образцов экспериментальных партий и методов проведения исследований их структуры и механических свойств.

**ТРЕТЬЯ ГЛАВА** посвящена изучению влияния деформации волочением, режимов термообработок, скорости и температуры нагружения на механические свойства высокооловянной бронзы (с содержанием олова до 14,5 % мас.) и высокочистого ниобия, применяемых при изготовлении Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников.

**ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА** посвящена разработке оптимизированного маршрута волочения композиционного провода опытных партий Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников с различным типом легирования малого диаметра и изучению его влияния на механические и сверхпроводящие свойства, а также структуру сверхпроводящего слоя.

**В ПЯТОЙ** главе описана оптимизация технологических процессов промышленного выпуска Nb<sub>3</sub>Sn сверхпроводников на АО ЧМЗ для снижения брака, увеличения выхода в годное, уменьшения длительности изготовления готового провода.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная значимость работы обусловлена получением ряда оригинальных результатов. Автор установил оптимальный режим разупрочняющей термообработки бронзы с содержанием олова 14,5% мас. и легированной титаном до 0,25 % мас. Получил новые данные по изменению механических свойств высокооловянной бронзы и высокочистого ниобия при различных скоростях и температурах деформации, позволяющие оценить изменения свойств этих материалов при их совместном деформировании внутри композита в процессе обработки давлением (выдавливание, волочение и др.)



Автору удалось успешно изготовить экспериментальный  $Nb_3Sn$  сверхпроводящий провод с предельным (до 15,5 % мас.) содержанием олова в бронзовой матрице. Данный образец показал рекордную для отечественных сверхпроводников, изготовленных по бронзовой технологии плотность критического тока 978 А/мм<sup>2</sup> (на сечение без меди при 12 Тл и 4,2 К).

Большой интерес вызывают исследования зонной структуры сверхпроводящего слоя волокон композиционных проводов. Автор наглядно показал разделение  $Nb_3Sn$  слоя на внешний слой состоящий из округлых равноосных зерен с диаметром 70-80 нм и центральным слоем, состоящий из сильно вытянутых (столбчатых) зерен длиной 200-300 нм. Также было установлено, что повышение содержания олова в бронзовой матрице приводит к увеличению толщины слоя равноосных зерен (с 250 нм до 365 нм) и соответственно к увеличению плотности межзеренных границ.

Практическая значимость работы обусловлена разработкой оптимизированного маршрута волочения композиционного провода, его успешной апробацией и внедрением в промышленное производство на Чепецкий механический завод (АО ЧМЗ). Оптимизированная технология позволила сократить общее время изготовления композиционного сверхпроводящего провода (на 29,5 %) и получать сверхпроводники с высокой токонесущей способностью.

По содержанию автореферата замечаний нет

Автореферат написан грамотным, техническим языком. Результаты доложены на конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах.

Считаю, что представленная работа соответствует требованиям ВАК предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук согласно п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. №842, а ее автор Алиев Р.Т. заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата

технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

к.ф.-м.н., доцент, 01.04.07 – физика  
конденсированного состояния,  
зав. лаб. Электронной микроскопии  
КК НБИКС природоподобных технологий

Васильев Александр Леонидович.

«6 июня» 2018 г.

e-mail: a.vasiliev56@gmail.com

Тел: +7-499-1969269

Адрес:, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

НИЦ «Курчатовский институт»

Россия 123182 Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Подпись (Васильева А.Л.) заверяю:

Главный учёный секретарь  
НИЦ «Курчатовский институт»

С.Ю. Стремоухов

«6» июня 2018

