



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ**

46 ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ

г. Москва, 129327, Чукотский пр-д, д. 10

«10» 11 2016 г. № 3/251  
На № \_\_\_\_\_

Ученому секретарю диссертационного  
Совета при НИТУ «МИСИС»  
ДС 212.132.08  
доктору физико-математических наук  
С.И.МУХИНУ

119049, г. Москва, Ленинский проспект,  
д. 4

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник института  
доктор экономических наук

С.И.Боков

«10» ноября 2016 г.

**О Т З Ы В**

на автореферат диссертации АЛЕКСЕЕВА Максима Викторовича на тему «Структура и технологичность ниобиевых составляющих  $Nb_3Sn$  сверхпроводников», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Представленная работа посвящена материаловедческим аспектам развития технологии изготовления длинномерных композиционных сверхпроводников на основе интерметаллического соединения  $Nb_3Sn$ . Эти проводники в настоящее время применяются при создании различных высокополевых (более 7 Тл) магнитных систем, начиная от соленоидов для исследовательской аппаратуры и заканчивая гигантскими магнитными системами для установок управляемого термоядерного синтеза. Наряду с серьезными успехами, достигнутыми российскими разработчиками технологии изготовления этих сверхпроводников, имеются и определенные пробелы в научных знаниях, создающих необходимые предпосылки для разработки новых сверхпроводников с еще более высокими характеристиками. В частности, на сегодняшний день отсутствует

достаточный научный и технологический задел по характеристикам и методам обработки исходного ниобия, используемого в сверхпроводниках в качестве материала волокон и диффузионного барьера, а также по влиянию характеристик исходного ниобия на электрофизические характеристики реальных проводников в условиях промышленного производства. Потому задача создания и обобщения такого свода сведений представляется весьма актуальной.

В связи с этим диссертационная работа Алексеева Максима Викторовича, направленная на изучение влияния структурных факторов на характеристики и технологичность ниобиевых полуфабрикатов для  $Nb_3Sn$  сверхпроводников, является актуальной.

Судя по автореферату, автором получены новые научные результаты, к основным из которых можно отнести следующие.

1. Изучен высокочистый ниобий с ранее неисследованным, низким уровнем исходной твердости по Бринеллю НВ 45 – 60. Имеющаяся в открытых источниках информация содержит данные только о ниобии более высокой твердости – НВ > 60. Автор провел исследования, расширяющие базу научных знаний о структуре и технологических свойствах высокочистого ниобия. Впервые для такого ниобия построена диаграмма рекристаллизации, определены зависимости размера зерна, твердости и механических свойств ниобия от степени предварительной деформации и режимов отжига.

На основе полученных экспериментальных данных автор провел металловедческие исследования с целью разработки технологических режимов изготовления ниобиевых полуфабрикатов с требуемыми характеристиками для  $Nb_3Sn$  сверхпроводников в условиях реального промышленного производства в АО «ЧМЗ» и изучил их влияние на электрофизические свойства получаемых сверхпроводников.

Автору удалось органично провести весь цикл научных исследований, а именно, отталкиваясь от результатов фундаментальных исследований свойств ниобия, разработать технологические режимы его термомеханической обработки и внедрить эти режимы в условиях действующего промышленного производства. В результате проведения этих мероприятий были изготовлены промышленные партии сверхпроводников для проекта Интернационального Термоядерного Экспериментального Реактора (ИТЭР), имеющие характеристики заметно более высокие, чем требования ИТЭР: значения критического тока составляли 216 – 232 А, а параметра нарастания  $n$  - 36 – 38 (при требованиях ИТЭР  $I_k > 190$  А и  $n > 20$ ).

2. Впервые исследованы закономерности совместной деформации конструктивных элементов из сплава Ti-Sn в составе композита Cu/Nb/ Ti-Sn

в зависимости от исходной структуры, температуры отжига и степени деформации.

Обосновано, что актуальной проблемой в технологии проводников на основе  $Nb_3Sn$  является повышение их токонесущих характеристик в высоких магнитных полях. Для решения этой проблемы автор провел исследования по разработке конструкции композиционных полуфабрикатов – ниобиевых стержней, содержащих вставку из сплава Ti-Sn (композиты Cu/Nb/Ti-Sn).

Представлены результаты исследований влияния предварительной деформации и режимов отжига на прочностные характеристики и структуру трех сплавов Ti-Sn с содержанием олова от 1,8 до 8,2 масс. %. Эти сплавы в соответствии с полученным на это патентом предполагается использовать для искусственного легирования  $Nb_3Sn$  сверхпроводников с целью повышения их характеристик в высоких магнитных полях. Было показано, что композиты Cu/Nb/Ti-Sn обладают хорошей способностью к деформации с величинами, близкими к тем, которые применяются при изготовлении  $Nb_3Sn$  сверхпроводников.

Практическая значимость проведенных автором исследований состоит в следующем:

- с использованием оптимизированных технологических режимов получения ниобиевых прутков в производственных условиях на АО «ЧМЗ» выпущены 500 промышленных партий  $Nb_3Sn$  сверхпроводящих стрендов диаметром 0,82 мм и общей массой порядка 66 тонн проекта ИТЭР с требуемыми электрофизическими характеристиками.

- разработаны и опробованы в промышленных условиях схемы получения ниобиевых прутков с уменьшенной по сравнению со штатной схемой себестоимостью, и на их основе изготовлены две промышленные партии  $Nb_3Sn$  стрендов для проекта ИТЭР с требуемыми электрофизическими характеристиками.

Достоверность научных результатов и выводов диссертационной работы, судя по автореферату, подтверждается использованием различных стандартизированных и применяемых при промышленном производстве методов исследований твердости и механических свойств ниобия, его химического состава, микроструктуры, остаточного электросопротивления и т.д.

Вместе с тем, в качестве недостатка диссертационной работы можно отметить, что из автореферата не ясно, почему для изготовления  $Nb_3Sn$  сверхпроводников необходимо использовать ниобий высокой химической чистоты с низкой твердостью.

Отмеченный недостаток не влияет на общий научный уровень диссертационной работы.

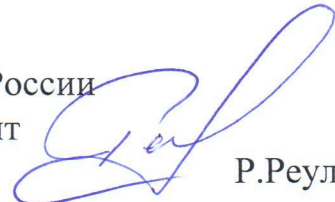
Представленная диссертация является завершенным научным исследованием. Работа выполнена на высоком научном и техническом

уровне. Ее результаты доложены на шести научно-технических конференциях, три из которых - международные, опубликованы в восьми печатных работах, две из которых – в рецензируемых научных журналах ВАК. При выполнении работы автором получены два патента РФ. Автореферат диссертации дает достаточно полное представление о работе.

Таким образом, судя по автореферату, в диссертационной работе Алексеева М.В. решена актуальная научная задача по изучению влияния структурных факторов на характеристики и технологичность ниобиевых полуфабрикатов для  $Nb_3Sn$  сверхпроводников, получаемых из крупных составных заготовок.

**Вывод.** Диссертационная работа АЛЕКСЕЕВА Максима Викторовича, выполненная на тему «Структура и технологичность ниобиевых составляющих  $Nb_3Sn$  сверхпроводников», соответствует требованиям п.п. 9 – 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заместитель начальника отдела  
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России  
кандидат технических наук, доцент



Р.Реулов

« 10 » 11 2016 г.

Почтовый адрес: 129327, г. Москва, Чукотский проезд, д/вл. 10  
Телефон: 8(495)471-30-11  
Факс: 8(495)471-29-87  
e-mail: [rreulov@yandex.ru](mailto:rreulov@yandex.ru)

Подпись Реулова Р.В. заверяю

Секретарь секции № 3 ученого совета  
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России



Молоканова Людмила Анатольевна

Реулов Р.В.  
8(495)471-30-11  
10.11.2016 г.  
2 экз. – в адрес  
1 экз. – в дело

Реулов Роман Владимирович  
129327, г. Москва, Чукотский проезд, д/вл. 10  
Тел.: 8 (495) 471 30 11  
e-mail: [rreulov@yandex.ru](mailto:rreulov@yandex.ru)