

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Карасёва Юрия Владимировича на тему «Разработка конструкции и технологии изготовления NbTi сверхпроводников с низкими потерями для быстроциклирующих сверхпроводящих магнитов ускорительной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») 23.06.2021 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 12.04.2021, протокол № 27, с изменениями от 24.05.2021 (протокол №28).

Диссертация выполнена в отделении технологии и материаловедения сверхпроводящих и функциональных материалов акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ»).

Научный руководитель – Губкин Игорь Николаевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отделения технологии и материаловедения сверхпроводящих и функциональных материалов АО «ВНИИНМ».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 27 от 12.04.2021, с изменениями от 24.05.2021 (протокол №28) в составе:

1. Мухин Сергей Иванович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС», профессор - председатель комиссии;
2. Штремель Мстислав Андреевич, д.ф.-м.н., профессор, ведущий эксперт НИЛ «Гибридные наноструктурные материалы» НИТУ «МИСиС»;
3. Капуткина Людмила Михайловна, д.ф.-м.н., профессор, ведущий эксперт кафедры обработки металлов давлением НИТУ «МИСиС»;
4. Беломытцев Михаил Юрьевич, д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСиС;
5. Высоцкий Виталий Сергеевич, д.т.н., ОАО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»), директор научного направления – заведующий отделением Сверхпроводящих проводов и кабелей;

6. Исаенкова Маргарита Геннадьевна, д.ф.-м.н., профессор отделения ядерной физики и технологий офиса образовательных программ Института ядерной физики и технологий НИЯУ МИФИ.

В качестве ведущей организации утвержден Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- получена однородная мелкозеренная структура в прутках сплава НТ-47 диаметром 89 мм и 109 мм, выпускаемых в промышленных условиях;

- предложен и разработан многослойный диффузионный барьер из ниобия для изготовления NbTi сверхпроводников;

- показано, что в NbTi проводах с диаметром волокна менее 6 мкм и, в частности, с диаметром волокна менее 3,5 мкм для ускорителя ФАИР в целях обеспечения качественного композита и предотвращения электромагнитного взаимодействия в волоконной зоне вместо медной матрицы следует использовать резистивные сплавы меди с никелем или марганцем;

- разработан и изготовлен по методу однократной сборки модельный NbTi провод в комбинированной Cu/Cu-Ni матрице диаметром 0,65 мм для работы в условиях изменяющегося магнитного поля со скоростью до 4 Тл/с;

- разработаны и в опытно-промышленных и промышленных условиях изготовлены партии NbTi проводов диаметром 0,8 мм и 0,825 мм в комбинированной Cu/Cu-Mn матрице, отвечающие требованиям, предъявляемым к проводам для быстроциклирующих магнитов синхротронов SIS 100 и SIS 300 ускорительного комплекса ФАИР.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изучено деформационное упрочнение и эволюция структуры в деформированном и отожженном состояниях сверхпроводящего сплава НТ-47, обработанного методом равноканального углового прессования (РКУП);

- исследованы свойства многослойного диффузионного барьера из тонколистового ниобия и изучено его поведение в процессе деформационного передела в триметаллическом прутке Cu-0,5Mn/Nb/NbTi и многоволоконном проводе;

- исследованы свойства резистивного медно-марганцевого сплава Cu-0,5 Mn;

- получены данные по критической плотности тока, механическим характеристикам, энергетическим потерям и технологичности NbTi проводов в

комбинированной медно/резистивной матрице для быстроизменяющихся магнитных полей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- скорректированы требования к NbTi проводам нового класса для быстроциклирующих магнитов ускорительного комплекса ФАИР;
- разработана и внедрена технология получения прутков сплава НТ-47 из цилиндрических слитков диаметром 320 мм для производства NbTi сверхпроводников;
- разработана и применена технология получения многослойного диффузионного барьера из ниобия при изготовлении NbTi провода для быстроциклирующего магнита синхротрона SIS 100 ускорительного комплекса ФАИР;
- разработана и применена технология изготовления NbTi проводов нового класса с высокой токнесущей способностью и низким уровнем энергетических потерь для быстроциклирующих магнитов ускорительного комплекса ФАИР.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

основные результаты работы были представлены на большом количестве конференций различного уровня и описаны в статьях, опубликованных в журналах, рецензируемых ВАК и Scopus. Соответствие выпущенных по разработанной автором технологии NbTi проводов нового класса требованиям магнитных систем ускорительного комплекса ФАИР подтверждается успешными испытаниями изготовленных из них быстроциклирующих магнитов для синхротронов SIS 300 в ИФВЭ (Протвино, Россия) и SIS 100 в GSI (Дармштадт, Германия). По результатам работы оформлен патент РФ на полезную модель № 149395 «Сверхпроводящий провод с низкими энергетическими потерями».

Личный вклад соискателя состоит в постановке задачи и выборе методов исследования, разработке конструкций и технологий изготовления NbTi проводов и полуфабрикатов, используемых при их производстве, разработке инструмента для исследования сплава НТ-47 методом РКУП и технологии изготовления многослойного барьера из ниобия, проведении структурных исследований, обработке экспериментальных данных, анализе результатов рабочих характеристик и технологических особенностей получения NbTi проводов, а также участии в внедрении технологии получения прутков сплава НТ-47 из слитков увеличенного размера – диаметром 320 мм и технологии

изготовления NbTi проводов нового класса в комбинированной Cu/Cu-0,5 Mn матрице на производстве АО ЧМЗ.

Соискатель представил 7 опубликованных работ в рецензируемых изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России ( 6 статей и 1 патент), из них 1 - в изданиях, входящих в базы Web of Science, Scopus.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения степени кандидата наук в НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Карасёва Юрия Владимировича соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основе выполненных автором исследований сформулированы требования к NbTi проводам для ускорительного комплекса ФАИР, осуществлена разработка многослойного диффузионного барьера из ниобия, промышленной технологии получения прутков сплава НТ-47 из слитков диаметром 320 мм, конструкций и промышленной технологии изготовления NbTi сверхпроводников нового класса в комбинированной медно/резистивной матрице с высокой токонесущей способностью и низкими энергетическими потерями для быстроциклирующих магнитов ускорительной техники.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Ю.В. Карасёву ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 6 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель Экспертной комиссии



С.И. Мухин

23.06.2021