

УТВЕРЖДАЮ

Директор Центра

Ю.А. ДЬЯКОВА



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Коноваловой Надежды Викторовны на тему **«Структура и свойства Nb_3Sn сверхпроводников для работы в сильных магнитных полях»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы исследований

Диссертационная работа Коноваловой Н.В. посвящена актуальной научно-технической задаче повышения токонесущей способности низкотемпературных сверхпроводников Nb_3Sn , получаемых бронзовым методом, для магнитных систем термоядерных реакторов нового поколения и ускорительных комплексов. Работа выполнена в АО «ВНИИНМ» при поддержке ГК «Росатом» и соответствует стратегическим направлениям развития отечественного материаловедения и сверхпроводящих технологий.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертация включает 5 глав. В главе 1 выполнен анализ современных методов получения Nb_3Sn проводников, систематизированы данные о структурных особенностях оловянных бронз, механизмах легирования Ti/Ta/Zr и влиянии параметров термообработки на морфологию сверхпроводящего слоя. В главе 2 описаны методики получения и исследования образцов, приведены схемы деформирования, режимы промежуточных отжигов и результаты электрофизических, механических и металлографических испытаний. В главе 3 проведено сравнительное исследование структуры и механических свойств бронзы, полученной дуплекс-процессом, Osprey-технологией и полунепрерывным литьем. Выявлено влияние Ti и Zr на размер эвтектоидных включений, установлена взаимосвязь режимов деформации и отжига с восстановлением пластичности, проанализирован «провал пластичности» в интервале 300–350 °С. Глава 4 посвящена разработке конструкции и технологических маршрутов изготовления стрендов с бронзовой матрицей, содержащей 16 мас.% Sn.

Продemonстрировано достижение плотности критического тока $J_c = 885 \text{ А/мм}^2$ (12 Тл, 4,2 К). В главе 5 исследовано влияние совместного легирования Ti и Ta на микроструктуру и свойства стрендов. Оптимизированы двухступенчатые режимы термообработки, показано повышение верхнего критического поля до 24,5–24,6 Тл и рост J_c в полях >16 Тл.

Важнейшим результатом работы является разработка и промышленное освоение технологии производства Nb_3Sn сверхпроводников с бронзовой матрицей, содержащей рекордно высокое количество олова, что позволило существенно повысить плотность критического тока.

Значимость для науки и производства

Для науки: Работа разрешает фундаментальное противоречие между необходимостью повышения содержания олова в матрице (для роста J_c) и резким падением пластичности такого сплава. Полученные данные о кинетике фазовых превращений и механизмах деформации метастабильных высокооловянных бронз создают научную базу для материаловедения сверхпроводящих композитов.

Для производства: Впервые в промышленных условиях изготовлены длинномерные (более 1 км) Nb_3Sn стренды с повышенным до 16 мас.% содержанием олова без обрывов и потери геометрии волокон, что снимает ключевое технологическое ограничение бронзового метода.

Рекомендации по использованию результатов и выводов работы

Результаты диссертационного исследования имеют высокий потенциал для практического внедрения. Целесообразно рекомендовать их использование следующим организациям:

АО «Чепецкий механический завод» (АО «ЧМЗ») – для расширения номенклатуры выпускаемой сверхпроводящей продукции на основе разработанных автором технологических маршрутов волочения и промежуточных отжигов.

Организациям, участвующим в создании ускорительных комплексов (ОИЯИ, г. Дубна; ИЯФ им. Будкера, г. Новосибирск и др.) – в качестве материала для разработки квадрупольных и дипольных магнитов высокой однородности.

Организациям, участвующим в создании установок термоядерного синтеза (ИЯФ им. Будкера, г. Новосибирск; АО «НИИЭФА» г. С.-Петербург и др.) – в качестве материала для разработки сверхпроводящих магнитных систем.

Замечания по диссертационной работе

1) В работе проведено сравнение трёх методов получения бронзы (дуплекс-процесс, Osprey-технология, полунепрерывное литьё), но отсутствует экономическая оценка

каждого метода. Недостаточно освещено, какой из методов наиболее предпочтителен с точки зрения себестоимости и выхода годного при промышленном масштабировании.

2) Режим промежуточной термообработки (500 °С, 15–50 мин) выбран на основании восстановления пластичности до 27–28 %. Однако не исследованы более короткие выдержки (5 и 10 мин). Представляется целесообразным в дальнейших работах оценить возможность сокращения времени термообработки для снижения общего времени изготовления стрендов без потери технологичности.

3) Отмечается, что совместное легирование Ti и Ta повышает плотность критического тока в полях выше 16 Тл на 15 % по сравнению со стрендами ИТЭР. При этом количественное разделение вклада каждого легирующего элемента в данный прирост не представлено. Подобное уточнение могло бы дополнить картину оптимизации состава для конкретных рабочих полей.

Представленные замечания не ставят под сомнение научную новизну, достоверность результатов и высокую практическую значимость диссертационной работы, а скорее указывают на дальнейшее возможное развитие работы.

Заключение

Диссертационная работа Коноваловой Н.В. представляет собой завершенное научно-квалификационное исследование, выполненное на современном научно-техническом уровне. Работа содержит новые научно-технические решения, имеющие важное значение для развития отечественной сверхпроводниковой индустрии.

Диссертационная работа Коноваловой Надежды Викторовны на тему «Структура и свойства Nb₃Sn сверхпроводников для работы в сильных магнитных полях» отвечает требованиям п.9-п.14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 16.10.2024 г.) «О порядке присуждения ученых степеней» (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв составлен доктором технических наук, ведущим научным сотрудником отдела сверхпроводниковых, криогенных и магнитных технологий Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ Курчатовский институт») Кривых Анатолием Владимировичем.

