

## Отзыв

на автореферат диссертации Карасёва Юрия Владимировича «Разработка конструкции и технологии изготовления NbTi сверхпроводников с низкими потерями для быстроциклирующих сверхпроводящих магнитов ускорительной техники», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Развитие ускорительной техники ставит задачу создания быстроциклирующих магнитов на основе NbTi сверхпроводников. В частности, магниты типа Нуклотрон и типа «cos  $\theta$ » для синхротронов SIS 100 и SIS 300 Европейского ускорительного комплекса тяжелых ионов и антипротонов (FAIR), создающегося с участием России, должны обеспечивать поле до 2 Тл и 6 Тл со скоростью его изменения до 4 Тл/с и 1 Тл/с, соответственно.

Изначально прототипы таких магнитов пытались создать на основе освоенных промышленностью NbTi проводов в медной матрице с диаметром волокна  $\sim 6$  мкм. Изменение магнитного поля в обмотке магнитов, особенно магнитов типа «cos  $\theta$ », приводит к генерации больших потерь в обмотке, вызванных перемагничиванием сверхпроводящих проводов. В связи с этим потребовалась разработка NbTi провода нового класса, не имеющего аналога по комплексу свойств, чему и посвящена диссертационная работа Карасёва Ю.В.

Применительно к условиям работы быстроциклирующих магнитов FAIR в автореферате представлены этапы и результаты разработки NbTi проводов с диаметром волокна 2,5 - 3,5 мкм, сочетающих высокую токнесущую способность и низкие потери, при сохранении приемлемого значения относительного электросопротивления матрицы.

Показано, что для изготовления такого проводника необходимо использование межволоконной матрицы из слабо резистивного сплава на основе меди, поскольку чистая медь не предотвращает электромагнитного взаимодействия волокон, которое приводит к увеличению гистерезисных потерь.

Разработаны два варианта конструкций и технология изготовления NbTi проводов в комбинированной Cu/CuMn матрице с диаметром волокна менее 3,5 мкм, отвечающих требованиям FAIR, в которых межволоконная матрица из сплава Cu-0,5 Mn предотвращает электромагнитное взаимодействие



волокон, а оболочка и меж-кластерные прослойки из чистой меди обеспечивают необходимую стабильность.

Обеспечение в проводах диаметра волокон на уровне 2,5-3,5 мкм с высокой геометрической однородностью помимо применения резистивного сплава между волокнами потребовало повышение качества прутков сплава НТ-47 и диффузионного барьера из ниобия, являющихся основными исходными полуфабрикатами. Для совершенствования их структурного состояния автором разработаны и внедрены технологические схемы получения прутков сплава НТ-47 с однородной структурой из слитков диаметром 320 мм и многослойный диффузионный барьер из ниобия.

В качестве замечания считаю нужным отметить отсутствие в автореферате данных по механическим характеристикам разработанных композиционных проводов, представляющих большой интерес для изготовителей кабелей и магнитов. Однако данное замечание носит рекомендательный характер и не снижает общего положительного мнения от диссертационной работы.

Диссертационная работа Карасёва Ю.В. представляет собой законченное исследование актуальной и важной научно-технической и технологической проблемы, выполненное на высоком научном уровне, соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 –металловедение и термическая обработка металлов.

Ходжибагиян Гамлет Георгиевич, к.т.н.,  
заместитель директора ЛФВЭ ОИЯИ по  
научной работе, лауреат премии Правительства  
РФ в области науки и техники за 2010 г.



Подпись Ходжибагияна Г.Г. заверяю:  
Ученый секретарь ЛФВЭ ОИЯИ  
к.ф.-м.н. Чеплаков А.П.

