

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Еремина Геннадия Николаевича по теме: «Разработка способов производства электротехнической анизотропной стали с высокой магнитной индукцией при использовании различных методов образования нитрида алюминия в качестве ингибиторной фазы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Диссертационная работа Еремина Г.Н. состоит из введения, семи глав, общих выводов по основным результатам работы, библиографического списка, включающего 87 наименований отечественных и зарубежных патентов, статей и монографий. Общий объем работы составляет 181 страницу, в том числе 163 страницы текста, 93 рисунка, 25 таблиц.

**Актуальность темы.** Производство наиболее наукоемкой техники, работающей в сложных и экстремальных условиях эксплуатации, является базовой составляющей развития отечественной промышленности. Разработка и создание конкурентоспособных видов изделий в электротехнике, электронике, приборостроении, энерго- и электромашиностроении, существенно влияющих на повышение энергетической эффективности экономики страны, во многом определяется созданием высокоэффективных функциональных материалов, к которым относится и электротехническая анизотропная сталь (ЭАС) с высокой магнитной индукцией (класс Ni-B), производство которой до настоящего времени оставалось монополией отдельных зарубежных компаний.

В связи с этим, тема диссертационной работы Еремина Г.Н., направленная на разработку технологических способов производства ЭАС класса Ni-B с высокой магнитной индукцией при использовании различных методов образования нитрида алюминия в качестве ингибиторной фазы **является особо актуальной.**

**Общая методология и методика исследований.** Работа выполнена на основе анализа и обобщения результатов теоретических, лабораторных и

промышленных исследований промышленных партий ЭАС, полученных в условиях ПАО «НЛМК» по технологической схеме с образованием в процессе выплавки и горячей прокатки «врожденного ингибитора» роста зерна на основе нитрида алюминия и опытных партий ЭАС, изготовленных по новым технологическим режимам с образованием дополнительного «приобретенного ингибитора» роста зерна на основе нитрида алюминия после ХТО с азотированием холоднокатаного проката.

При проведении исследований в работе использовались передовые методы исследований и современное исследовательское оборудование: электронная микроскопия (просвечивающий электронный микроскоп с функцией энергодисперсионного анализа JEM-2100 фирмы «JEOL», сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss ULTRA Plus с приставкой элементного рентгеновского микроанализа INCA 350 Oxford Instruments), металлографический оптический и рентгеновский анализы (универсальный металлографический микроскопе Axiovert 200 MAT/M, дифрактометр ДРОН-3М, спектрометр тлеющего разряда GDA), неразрушающий магнитный контроль структурного состояния полупродукта (установка ИМПОК) и готового проката (магнитоизмерительный комплекс EVA), стандартные методы магнитных и механических испытаний (ГОСТ 12119.4, ГОСТ 12119.5), специальное программное обеспечение «STATGRAPHICS Plus 5.0» при обработке результатов экспериментов.

**Научная новизна результатов работы.** В диссертационной работе впервые установлены закономерности формирования структурных характеристик и магнитной индукции ЭАС при использовании нового технологического процесса:

- в горячекатаном прокате с достаточным образованием высокодисперсных частиц «врожденного ингибитора» при низкотемпературном нагреве слэбов перед горячей прокаткой,

- в холоднокатаном прокате после интенсивной однократной контролируемой прокатки, ХТО в контролируемой газовой атмосфере (обезуглероживание + азотирование) и ВТО с образованием высокодисперсных частиц «приобретенного ингибитора».

При разработке оптимальных технологических режимов производства ЭАС класса Ni-B применен низкотемпературный нагрев слябов ЭАС перед горячей прокаткой без использования фазового  $\alpha$ - $\gamma$ - $\alpha$  переходов при формировании «врожденного ингибитора» в горячекатаной полосе (в отличие от традиционного способа «врожденного ингибитора»), а также установлены условия формирования твердого раствора алюминия и азота при низкотемпературном нагреве литых слябов и последующего азотирования холоднокатаного проката с получением высокодисперсных частиц «приобретенного ингибитора».

Выявлены технологические причины нестабильности магнитных свойств и структурных характеристик по длине готовой полосы ЭАС в рулоне, связанные с неоднородностью прогрева слябов перед горячей прокаткой, и условия устранения неоднородности при низкотемпературном нагреве слябов.

В результате проведенных исследований предложен рациональный способ оптимизации и технологического прогнозирования структурных и магнитных характеристик ЭАС с высокой магнитной индукцией с использованием графических поверхностей отклика на основе факторных моделей основных технологических процессов.

**Практическая значимость результатов работы.** Впервые в опытно-промышленных условиях специализированного производства ПАО «НЛМК» выполнены комплексные исследования при осуществлении нового технологического способа производства ЭАС с применением метода образования «приобретенного ингибитора». Исследована роль и характер влияния технологических факторов при различных методах образования ингибиторной фазы на основе нитрида алюминия – «врожденного ингибитора» и «приобретенного ингибитора» в процессе формирования структуры и магнитных свойств готового проката.

Исследованы и сформулированы основные принципы ХТО холоднокатаного проката (непрерывный цикл обезуглероживание - азотирование) при производстве электротехнической анизотропной стали с высокой магнитной индукцией.

Предложены структурные схемы управления ингибированием и факторами

