

# Министерство образования и науки Российской Федерации

УДК 621.771  
ГРНТИ 53.43.35  
Инв. № 2009-16К

<b>ПРИНЯТО:</b>	<b>УТВЕРЖДЕНО:</b>
<b>Исполнитель:</b> Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"	Государственный заказчик Министерство образования и науки Российской Федерации
От имени Руководителя организации  _____/ С.И. Платов / М.П.	От имени Государственного заказчика  _____/_____/_____ М.П.

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении 2 этапа Государственного контракта  
№ П650 от 10 августа 2009 г. и Дополнению от 15 марта 2010 г. № 1/П650

<b>Исполнитель:</b> Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"
<b>Программа (мероприятие):</b> Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.1 Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук.
<b>Проект:</b> Создание, развитие и применение новой системной методологии для разработки композиций химического состава низколегированных сталей новых марок и эффективных технологий их широкополосной и толстолистовой прокатки для получения высоколиквидной продукции с уникальным комплексом потребительских свойств
<b>Руководитель проекта:</b>  _____/Салганик Виктор Матвеевич (подпись)

Магнитогорск  
2010 г.

# **СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

**по Государственному контракту П650 от 10 августа 2009 на выполнение поисковых научно-исследовательских работ для государственных нужд**

Организация-Исполнитель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Руководитель темы:

доктор технических наук, профессор \_\_\_\_\_ Салганик В.М.  
подпись, дата

Исполнители темы:

доктор технических наук, профессор \_\_\_\_\_ Песин А.М.  
подпись, дата

доктор технических наук \_\_\_\_\_ Денисов С.В.  
подпись, дата

кандидат технических наук \_\_\_\_\_ Полецков П.П.  
подпись, дата

кандидат технических наук \_\_\_\_\_ Чикишев Д.Н.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Пустовойтов Д.О.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Шмаков А.В.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Калугин Д.А.  
подпись, дата

кандидат технических  
наук

\_\_\_\_\_ Перехожих А.А.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Бережная Г.А.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Блинов С.В.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Янович С.В.  
подпись, дата

\_\_\_\_\_ Шитов М.В.  
подпись, дата

## Реферат

Отчет 111 с., 3 ч., 44 рис., 22 табл., 23 источн., 1 прил.

Системная методология, композиция химического состава, низколегированная сталь, широкополосная прокатка, толстолистовая прокатка, высоколиквидная продукция, уникальный комплекс потребительских свойств, нейросетевое моделирование, конечно-элементное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

В отчете представлены результаты исследований, выполненных по 2 этапу Государственного контракта № П650 "Создание, развитие и применение новой системной методологии для разработки композиций химического состава низколегированных сталей новых марок и эффективных технологий их широкополосной и толстолистовой прокатки для получения высоколиквидной продукции с уникальным комплексом потребительских свойств" (шифр "НК-91П") от 10 августа 2009 по направлению "Создание и обработка кристаллических материалов" в рамках мероприятия 1.2.1 "Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук", мероприятия 1.2 "Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук и кандидатов наук", направления 1 "Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий" федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.

Цель работы – получение проката повышенной прочности высокого качества из низколегированных сталей на основе моделирования и разработки эффективных технологических режимов горячей прокатки и охлаждения полос, листов в условиях широкополосных и толстолистовых станов.

Методы, использованные при выполнении отдельных видов работ (этапов) по Государственному контракту – конечно-элементное моделирование; нейросетевое моделирование; пластометрические исследования; дилатометрические исследования.

Инструментарий, использованный при выполнении отдельных видов работ (этапов) по Государственному контракту – серверные расчетные станции; программные комплексы DEFORM 3D и DEFORM 2D; блоки статистической обработки данных ST Neural Networks; деформирующий кулачковый пластометр; дилатометр DIL402C.

Результаты, полученные при выполнении отдельных видов работ (этапов) по Государственному контракту:

1. Материалы теоретических и экспериментальных исследований:

- новая системная методология: позволяет обоснованно разрабатывать композиции химического состава сталей новых марок и технологию их контролируемой прокатки и охлаждения для достижения уникального сочетания потребительских свойств;

- нейросетевые модели прямой и обратной задач: дают необходимую информацию о требуемых технологических параметрах процесса и реализуемых механических свойствах продукции;

- математические модели напряженно-деформированного состояния металла в очагах деформации: характеризуют условия образования и развития поверхностных трещин при контролируемой горячей прокатке;

- новые зависимости сопротивления деформации низколегированных сталей: учитывают фактические термомеханические условия контролируемой прокатки;

- закономерности формирования в прокатанном металле при его охлаждении после контролируемой прокатки структур хладостойких и высокопрочных сталей.

2. Заключение экспертной комиссии по открытому опубликованию.

3. Копия статьи в журнале ВАК "Известия вузов. Черная металлургия" с обязательной ссылкой на проведение НИР в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Принятая в работе последовательность действий отвечает фактической последовательности процесса и выполняемых операций. Такая последовательность является естественной и удобной. Ее соблюдение позволяет разрабатывать композиции химического состава низколегированных сталей новых марок и эффективные технологии их широкополосной и толстолистовой прокатки для получения высоколиквидной продукции с уникальным комплексом потребительских свойств.

## Содержание

Введение	9
1 Аналитический отчет о проведении теоретических и экспериментальных исследований	11
1.1 Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния металла при горячей деформации	11
1.2 Конечно-элементное моделирование образования и развития поверхностных дефектов при горячей прокатке	15
1.2.1 Моделирование поведения поверхностных трещин при формоизменении полос	15
1.2.2 Исследование эффективности применения калиброванных валков чернового окатиноломателя с целью снижения перетекания дефектов с боковых граней сляба на основные поверхности раската	19
1.2.3 Влияние неравномерности нагрева слябов по толщине на перемещение дефектов НЛС от кромки проката	24
1.2.4 Влияние профиля калибра вертикальных валков на смещение дефектов НЛС от кромки проката	26
1.2.5 Влияние геометрии очага деформации на движение дефектов НЛС от кромки проката	27
1.3 Нейросетевое моделирование прямой задачи по определению достигаемых механических свойств проката в зависимости от реализуемой технологии в виде комплекса параметров	29
1.3.1 Исследование влияния химического состава на механические свойства трубных сталей	29
1.3.2 Исследование влияния технологических параметров на механические свойства трубных сталей в условиях широкополосного стана горячей прокатки	35
1.4 Нейросетевое моделирование обратной задачи по определению	

необходимых технологических параметров для достижения заданных свойств получаемой продукции	40
1.4.1 Получение заданных показателей механических свойств трубных сталей на основе решения обратной задачи	40
1.4.2 Выбор нейросетевой модели, ее обучение и тестирование	41
1.4.3 Предварительное определение этапов контролируемой прокатки и охлаждения выбранной композиции химического состава стали	43
1.4.4 Разработка технологических параметров производства проката из новой композиции химического состава стали	45
1.5 Пластометрические исследования для определения функций, описывающих сопротивление деформации новых марок стали с учетом термомеханических условий процесса	47
1.5.1 Методика проведения экспериментов	48
1.5.2 Экспериментальное изучение сопротивления деформации	49
1.5.3 Формирование базы данных по фактическим значениям сопротивления деформации	51
1.5.4 Обработка полученных экспериментальных данных	57
1.5.5 Анализ регрессионных уравнений	58
1.5.6 Исследование процесса разупрочнения низколегированных марок стали	61
1.5.7 Промышленные исследования влияния технологических параметров прокатки в непрерывной черновой подгруппе на конечные механические свойства	68
1.6 Дилатометрические исследования с построением термокинетических диаграмм для анализа и описания фазовых превращений в сталях новых марок	70
2 Результаты теоретических и экспериментальных исследований	77
2.1 Систематизация и предварительная оценка полученных результатов	77
2.2 Оценка полноты решения задач и достижения поставленных це-	

лей	82
2.3 Сопоставление и обобщение результатов анализа научно-информационных источников и теоретических (экспериментальных) исследований	87
2.4 Оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем	90
2.5 Разработка рекомендаций по возможности использования результатов проводимой НИР в реальном секторе экономики	91
2.6 Разработка рекомендаций по использованию результатов НИР при создании научно-образовательных курсов	94
3 Публикация результатов НИР	98
Заключение	99
Список используемых источников	104
Приложение	107