

АННОТАЦИЯ ПО ПРОЕКТУ

Государственный контракт № 02.740.11.0822 от «24» апреля 2010 г.

Тема: «Управление структурой и свойствами трубных микролегированных сталей при прокатке толстого листа с использованием методов физического и математического моделирования»

Исполнитель: ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Ключевые слова: микролегированные трубные стали, горячая прокатка, распад аустенита, микроструктура, механические свойства, физическое и математическое моделирование

1. Цель проекта

1. Основной целью проекта является совершенствование и разработка новых технологий горячей прокатки трубных сталей с использованием методов физического и математического моделирования процессов формирования их структуры и механических свойств. Кроме этого целями проекта являются достижение научных результатов мирового уровня, подготовка научных и научно-педагогических кадров высокой квалификации и формирование эффективного научного коллектива.
2. Совершенствование и разработка новых режимов горячей прокатки трубных сталей может выполняться с помощью созданной в результате выполнения проекта базы данных «химический состав – параметры обработки – структура – механические свойства» и компьютерных программ, позволяющих количественно моделировать эволюцию микроструктуры стали и предсказывать ее конечные механические свойства.

2. Основные результаты проекта

- 1) В результате выполнения данного проекта созданы:
 - база данных «химический состав – параметры обработки – структура – свойства» для трубных сталей категорий прочности X80÷X100;
 - математические модели процессов структурообразования при горячей прокатке и фазовых превращениях, включая ферритные, перлитные и бейнитные, для трубных микролегированных сталей;
 - комплекс компьютерных программ, реализующих разработанные математические модели эволюции микроструктуры;
 - технологии прокатки листа из трубных сталей, оптимизированные по структуре и механическим свойствам проката;
 - программа внедрения результатов исследований в образовательный процесс.
- 2) Методика проведения экспериментальных исследований, выполненных в рамках проекта, и полученные результаты соответствуют требованиям мирового уровня. Высокий уровень этих исследований, их практическая ценность и достоверность определяются использованием самого современного экспериментального оборудования (комплекс Gleeble 3800) и квалифицированным подходом к их постановке и реализации. Ряд результатов теоретической части проекта характеризуется научной новизной и практической значимостью.
- 3) Многие результаты теоретической части выполненного проекта являются новыми. К числу таких результатов относятся:

- создание физически обоснованных моделей ферритного, перлитного и бейнитного превращений, в которых эффекты комплексного легирования стали учитываются при расчетах как термодинамических, так и кинетических параметров процессов;
- разработка математической модели бейнитного превращения, позволяющей рассчитывать средние размеры бейнитных пакетов и оценивать объемные доли бейнита разной морфологии;
- применение нового подхода к расчету энергии активации диффузионной перестройки решетки при зарождении зерен феррита и движении межфазной α/γ -границы с использованием ее связи с энергией активации самодиффузии в аустените, вычисляемой с учетом влияния содержания основных легирующих элементов (C; Mn; Si; Ni; Mo; Cr; Nb; Ti; V), находящихся в твердом растворе;
- использование нового подхода к количественному описанию ускоряющего эффекта предварительной деформации аустенита с учетом вклада возврата на скорости зарождения феррита и бейнита;
- разработка физически обоснованных математических моделей для предсказания механических свойств сталей со сложной микроструктурой, включающей в себя все практически важные компоненты: феррит, перлит, бейнит и мартенсит;
- и другие.

4) Результаты экспериментальных исследований проекта представляют научный интерес и находятся на уровне мировых требований. Разработанные математические модели эволюции микроструктуры аустенита при горячей прокатке и последующем ускоренном охлаждении находятся на уровне лучших мировых аналогов, превосходя их в адекватности количественного описания эффектов комплексного легирования современных сталей.

3. Назначение и область применения результатов проекта

1) Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы при разработке новых технологий горячей прокатки трубных сталей категории прочности X80÷X100. Разработанные компьютерные модели для предсказания структуры и механических свойств современных низко – и среднелегированных сталей могут эффективно применяться для оптимизации режимов их горячей контролируемой прокатки на ведущих металлургических комбинатах России. В настоящее время данные модели находятся в стадии практического опробывания на Череповецком комбинате ОАО «Северсталь».

Большинство результатов проекта активно используется в образовательном процессе. Так, например, физические подходы к построению математических моделей структурообразования аустенита, а также описание самих моделей включены в специальные курсы магистерской подготовки по программе «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» (направление 223200.68 – ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА), разработанной на кафедре «Физика прочности и пластичности материалов» СПбГПУ.

2) Результаты проекта находятся в стадии их практического внедрения в промышленное производство. На основании разработанных математических моделей и компьютерных программ в настоящее время по заказу ОАО «Северсталь» проводится НИР: «РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ ПО ЗАДАНЫМ РЕЖИМАМ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ». Результаты данной НИР послужат основой для усовершенствования технологий производства стального проката различного назначения на стане 2000 ОАО «Северсталь».

3) Разработка набора математических моделей эволюции микроструктуры и прогнозирования конечных механических свойств является важным шагом к созданию современной «сквозной» модели производства горячекатаных сталей, которая может служить основой компьютеризированных систем предсказания свойств и контроля качества на отечественных металлургических предприятиях.

4) Внедрение в практику промышленного производства горячекатаных сталей систем предсказания свойств и контроля качества продукции будет способствовать снижению материалоемкости и энергоёмкости на предприятиях соответствующего профиля.

5) Перспективы коммерциализации полученных результатов представляются благоприятными, поскольку руководство сталепрокатных предприятий подошло к пониманию необходимости использования научно обоснованных подходов к разработке новых марок сталей и внедрения компьютерных технологий управления качеством продукции, основанных на использовании математических моделей современного уровня.

6) С использованием результатов настоящего проекта разрабатывается компьютерная программа для расчета параметров микроструктуры, механических свойств и энергосиловых параметров прокатки конструкционных и трубных марок сталей по заданным режимам деформации и изменения температуры, которая будет использована на стане 2000 ОАО «Северсталь».

4. Достижения молодых исследователей – участников Проекта

В проекте принимал участие молодой исследователь **Наумов Антон Алексеевич**, к.т.н., доцент кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ (во время выполнения проекта был аспирантом этой кафедры). При его участии был проведен ряд экспериментальных исследований и выполнены моделирующие расчеты термодеформационных режимов прокатки с помощью программы HSM. В течение срока выполнения проекта им была защищена кандидатская диссертация: «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТА ИЗ ТРУБНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ» по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

В проекте принимал участие молодой исследователь **Мишин Василий Викторович**, к.т.н., ассистент кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ (во время выполнения проекта был аспирантом этой кафедры). Участвовал в проведении экспериментов и обработке полученных результатов. В течение срока выполнения проекта им была защищена кандидатская диссертация: «РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГОРЯЧЕЙ И ТЕПЛОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО БЕРИЛЛИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ГИДРИДНЫМ МЕТОДОМ» по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

В проекте принимал участие молодой исследователь **Лукьянов Алексей Александрович**, ассистент кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ (во время выполнения проекта был аспирантом этой кафедры). Участвовал в проведении экспериментов и обработке полученных результатов. В течение срока выполнения проекта им была подготовлена и подана в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатская диссертация: «ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ПАДАЮЩИМ ГРУЗОМ» по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

В проекте принимал участие молодой исследователь **Голиков Павел Андреевич**, инженер-материаловед ФМСи Евразия (во время выполнения проекта был аспирантом кафедры «Физика прочности и пластичности материалов» СПбГПУ). При его участии разработана модель для расчета коэффициента диффузии углерода в сложнолегированном аустените, которая эффективно используется в созданной физически обоснованной

модели распада аустенита. Результаты, полученные Голиковым П.А., отличаются научной новизной и находятся на уровне мировых достижений. В течение срока выполнения проекта им была подготовлена и защищена кандидатская диссертация: «РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ УГЛЕРОДА В СТАЛЯХ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ В МОДЕЛИРОВАНИИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ» по специальностям 01.04.07 – Физика конденсированного состояния и 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В проекте принимал участие молодой исследователь **Соколов Дмитрий Федорович**, инженер НИО ФТИМ СПбГПУ (во время выполнения проекта был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ). При его участии проведены все экспериментальные исследования распада аустенита, разработана физически обоснованная модель для описания этого распада с образованием совокупности практически важных продуктов и создана компьютерная программа, реализующая данную модель. Результаты, полученные Соколовым Д.Ф., вносят существенный вклад в общий объем работ проекта, характеризуются научной новизной и находятся на уровне мировых достижений. В течение срока выполнения проекта им была подготовлена и подана в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатская диссертация: «РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ РАСПАДА АУСТЕНИТА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ ПРОКАТКЕ СТАЛЕЙ» по специальностям 05.16.05 – Обработка металлов давлением и 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В проекте принимал участие молодой исследователь **Соколов Семен Федорович**, инженер НИО ФТИМ СПбГПУ (во время выполнения проекта был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ). При его участии были проведены все экспериментальные исследования процессов структурообразования аустенита при горячей прокатке, разработана физически обоснованные математические модели этих процессов и создана компьютерная программа, реализующая указанные модели. Результаты, полученные Соколовым С.Ф., вносят существенный вклад в общий объем работ проекта, характеризуются научной новизной и находятся на уровне мировых достижений. В течение срока работы над проектом им была подготовлена и подана в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатская диссертация: «ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛЕЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБРАБОТКЕ ДАВЛЕНИЕМ» по специальностям 05.16.05 – Обработка металлов давлением и 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

5. Опыт закрепления молодых исследователей – участников Проекта в области науки, образования и высоких технологий

Молодой исследователь участник проекта **Наумов Антон Алексеевич** (был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и защитил кандидатскую диссертацию. В настоящее время является доцентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Мишин Василий Викторович** (был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и защитил кандидатскую диссертацию. В настоящее время является ассистентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Лукьянов Алексей Александрович** (был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и подал в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатскую диссертацию. В настоящее время является ассистентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Голиков Павел Андреевич** (был аспирантом кафедры «Физика прочности и пластичности материалов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и защитил кандидатскую диссертацию. В настоящее время работает в должности «инженер-материаловед» ФМСи Евразия.

Молодой исследователь участник проекта **Соколов Дмитрий Федорович** (был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и подал в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатскую диссертацию. По завершении срока обучения в аспирантуре (октябрь 2012 г.) зачислен на должность инженера научно-исследовательской лаборатории пластической обработки металлов ФТИМ СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Соколов Семен Федорович** (был аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) за время его выполнения подготовил и подал в Совет по месту защиты (СПбГПУ) кандидатскую диссертацию. По завершении срока обучения в аспирантуре (октябрь 2012 г.) зачислен на должность инженера научно-исследовательской лаборатории пластической обработки металлов ФТИМ СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Шишов Иван Александрович** (был студентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) в настоящее время является аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Безобразов Юрий Алексеевич** (был студентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) в настоящее время является аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

Молодой исследователь участник проекта **Кононов Александр Александрович** (был студентом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ) в настоящее время является аспирантом кафедры «Пластическая обработка металлов» СПбГПУ.

6. Перспективы развития исследований

1) Участие в ФЦП способствовало развитию исследовательских партнерств с ОАО «Северсталь» и лабораторией имитации металлургических процессов ИТЦ ОАО «ВМЗ». В настоящее время в проектах по 7-й рамочной Программе Евросоюза НОЦ не участвует.

2) В настоящее время по заказу ОАО «Северсталь» проводится НИР: «РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ТРУБНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ ПО ЗАДАНЫМ РЕЖИМАМ ДЕФОРМАЦИИ И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ». Результаты данной НИР послужат основой для усовершенствования технологий производства стального проката различного назначения на стане 2000 ОАО «Северсталь».

3) Развитию в России современных технологий горячей прокатки, а также выходу российской продукции на региональные и глобальные рынки, может способствовать сотрудничество с исследовательскими центрами Австрии (компания VOEST-ALPINE STANL LINZ), Канады (университет Британской Колумбии, Ванкувер), Кореи (компания POSCO и университет POSTECH, Поханг) и Китая.

7. Сведения в табличном формате:

Сведения о результатах интеллектуальной деятельности, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 1 к аннотации
Сведения о публикациях, выпущенных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 2 к аннотации
Сведения о диссертациях, подготовленных в ходе	Приложение 3 к аннотации

исполнения Государственного контракта	
Сведения о выступлениях на конференциях, проведенных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 4 к аннотации
Сведения о внедрении результатов проекта в образовательный процесс, полученных в ходе исполнения Государственного контракта	Приложение 5 к аннотации
Сведения об исполнителях Государственного контракта	Приложения 6 и 7 к аннотации

Профессор, д.т.н

_____ Н. Г. Колбасников

Ректор СПбГПУ
Член корр. РАН,
профессор

_____ А. И. Рудской

_____ 2012 г.

М.П.