

## АННОТАЦИЯ

к научно-техническому отчету о выполнении II этапа Государственного контракта № П983 от 20 августа 2009 г. по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., в рамках реализации мероприятия № 1.2.2 Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук.

по проекту **«Развитие методов деформационного наноструктурирования для получения конструкционной стальной проволоки с уникальным комплексом механических свойств»**

ГОУ ВПО "Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова"

В соответствии с установленными требованиями Государственного контракта на выполнение II этапа поисковых научно-исследовательских работ на основе анализа технологических особенностей существующих способов пластического структурообразования, а также с учетом перспективных направлений их развития разработана принципиальная схема деформационного наноструктурирования стальной углеродистой проволоки способом равноканальной угловой свободной протяжки (РКУ протяжка).

Создана лабораторная установка, предназначенная для реализации разрабатываемого способа деформационного наноструктурирования стальной углеродистой проволоки.

Спроектирована и изготовлена сборная волока специального профиля, включающая два пересекающихся под углом канала деформационной зоны. Даны рекомендации по выбору материала рабочих вкладышей деформационного наноструктурирования проволоки.

В лабораторных условиях ГОУ ВПО «МГТУ» выполнено физическое моделирование процесса РКУ протяжки образцов отожженной проволоки из стали марок 20 и 45.

Посредством световой микроскопии и растрового электронно-микроскопического анализа выполнены металлографические исследования особенностей структуры низко- и среднеуглеродистой ультрамелкозернистой стали, полученной разрабатываемым способом деформационной обработки проволоки. Эксперименты показали, что отличительной особенностью структуры обрабатываемых сталей, сформированной в процессе РКУ протяжки, является ее анизотропия. На поверхности наблюдается сильно деформированный слой, имеющий волокнистое строение и состоящий из

деформационных полос, внутри которых наблюдаются фрагменты практически равноосной правильной формы, которые могут достигать размеров до 400 нм. В центральных участках образцов формируется преимущественно субзеренная структура, но наблюдается также образование фрагментов с большеугловыми границами.

С целью исследования влияния разрабатываемого процесса деформационного наноструктурирования на механические свойства образцов низко- и среднеуглеродистой ультрамелкозернистой стали выполнены дюрOMETрические исследования, а также испытания образцов на одноосное растяжение, сжатие, перегиб и скручивание. Анализ результатов исследований показал, что благодаря интенсивному диспергированию структуры, наблюдается двукратное увеличение значений микротвердости стали. Вследствие значительно менее интенсивного диспергирования в центральных областях степень упрочнения оказалась меньше, чем для поверхностных слоев. Обработка РКУ протяжкой сопровождается снижением показателей пластичности стали. При этом их количественные значения по показателям относительного удлинения и сужения являются достаточными для совмещения с дальнейшей обработкой заготовок волочением.

Выполнен сравнительный анализ эволюции структуры и свойств, а также термостабильности ультрамелкозернистой стали марки 20 и 45, полученной разрабатываемым и наиболее эффективным из существующих способов деформационного наноструктурирования (способом равноканального углового прессования). Установлено, что нагрев стали после РКУ протяжки приводит к образованию и росту зародышей рекристаллизации, а также последующему росту рекристаллизованных зерен в поверхностных слоях, что сопровождается соответствующим снижением твердости. При этом нагрев до 200 °С приводит к некоторому увеличению твердости, что объясняется выделением углерода, растворенного в процессе РКУ протяжки. В центральных слоях микроструктура и твердость практически не меняются.

Выполнен количественный и качественный анализ накопленной информации на основе построения обобщающих схем, сводных графиков, гистограмм и диаграмм. Выявлены особенности эволюции структуры и свойств стальной углеродистой проволоки в процессе многоциклового обработки разрабатываемым способом деформационного наноструктурирования. Посредством аппроксимации экспериментальных данных полиномами третьего порядка получены феноменологические уравнения состояния, отражающие зависимость значений сопротивления деформации от степени деформации традиционной и ультрамелкозернистой стали марок 20 и 45. Полученные результаты сопоставлены с данными, опубликованными в научно-информационных источниках.

Разработаны единые принципы проектирования непрерывных технологий производства, основанных на интеграции инновационного способа РКУ протяжки в сборных волокнах специального профиля в процессы традиционного волочения для получения стальной углеродистой проволоки с уникальным комплексом высоких механических свойств, включающие:

- принцип учета химического состава, структуры, свойств и геометрических размеров исходной заготовки;
- принцип учета конструктивных особенностей инструмента деформационного наноструктурирования, обеспечивающих технологическую стабильность и высокую эффективность процесса обработки заготовки заданного диаметра;
- принцип определения количества циклов деформационной обработки, обеспечивающих достижение требуемого уровня прочностных и пластических свойств проволоки;
- принцип критериальной оценки результативности назначаемых режимов деформационного наноструктурирования стальной углеродистой проволоки.

Выполнена оценка эффективности полученных результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем. Показано, что разрабатываемый процесс является перспективным и высокотехнологичным способом деформационного наноструктурирования длинномерных проволочных изделий и имеет возможность адаптации к условиям действующего оборудования метизных предприятий.

На основе анализа данных теоретико-экспериментальных исследований разработаны рекомендации по вариантам интеграции РКУ протяжки в технологии производства стальной проволоки с уникальным комплексом высоких механических свойств.

Результаты исследований рекомендованы к использованию при создании нового научно-образовательного курса «Современные способы деформационного наноструктурирования объемных материалов», а также к внедрению в образовательный процесс ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при подготовке инженеров по специальностям: 210602 «Наноматериалы», 150105 «Металловедение и термическая обработка металлов», 150108 «Порошковые и композиционные материалы, покрытия» (специализация «Наноструктурные материалы и покрытия»), 150106 «Обработка металлов давлением» (специализации «Глубокая переработка материалов и «Метизное производство»), а также студентов, обучающихся по направлениям 150100 «Металлургия» (бакалавриат и магистратура) и 150600 «Материаловедение и технология новых материалов» (бакалавриат).

На основе оценки полноты решения задач показано, что задачи II этапа поисковых научно-исследовательских работ выполнены в полном объеме. Дальнейшее развитие способа РКУ протяжки требует проведения комплекса теоретико-экспериментальных исследований, направленных на повышение однородности структуры и свойств обрабатываемой проволоки на основе сформулированных принципов проектирования непрерывных технологий производства углеродистой стальной проволоки.

На основе анализа и систематизации результатов теоретических и экспериментальных исследований опубликованы статьи в высокорейтинговых научных изданиях «Сталь» и «Черные металлы», включенных в международные базы цитирования.

Руководитель проекта:

Корчунов А.Г.