

## АННОТАЦИЯ

к научно-техническому отчету о выполнении 1 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 I этапа поисковых научно-исследовательских работ выполнены патентные исследования методов деформационного наноструктурирования объемных заготовок из металлов и сплавов согласно методики ГОСТ Р 15.011 – 96. Проведен отбор и анализ патентной документации ведущих технологических стран в области разработки наносистем и материалов, таких как Россия, США, Япония, Великобритания, Германия, Франция за период 1994 – 2009 гг. По результатам патентных исследований определены основные тенденции развития процессов обработки кристаллических материалов с использованием методов деформационного наноструктурирования объемных заготовок различной конфигурации и размеров.

На основе патентных исследований и аналитического обзора данных о существующих способах деформационного наноструктурирования, опубликованных в ведущих научных журналах и монографиях, разработана классификация современных способов пластического структурообразования материалов в зависимости от вида обрабатываемых промежуточных заготовок и готовых изделий. Выполнен комплексный анализ и сравнительная оценка наиболее эффективных способов деформационного наноструктурирования с точки зрения актуальности, эффективности и возможности их применения в условиях массового производства длинномерных изделий из ультрамелкозернистой низко- и среднеуглеродистой стали, обладающих повышенным для данного класса материалов уровнем механических свойств. Результаты комплексного анализа представлены с использованием таблиц, обобщающих схем, гистограмм и диаграмм, отражающих количественные и качественные характеристики существующих схем интенсивной пластической деформации, а также перспективы их использования в условиях предприятий метизной отрасли. Установлено, что, несмотря на высокую эффективность, широкомасштабное применение су-

существующих способов деформационного наноструктурирования в условиях массового производства в настоящее время ограничено, главным образом, дискретностью процессов и размерами получаемых изделий. Непрерывные способы, позволяющие получать ультрамелкозернистую структуру в длинномерных металлических изделиях, практически не разработаны, либо они низкотехнологичны.

Обоснована необходимость развития существующих и создания принципиально новых или модернизированных непрерывных схем интенсивной пластической деформации, обеспечивающих формирование ультрамелкозернистой структуры сталей и открывающих перспективу производства длинномерных изделий с повышенными эксплуатационными характеристиками. Основные перспективные направления развития способов деформационного наноструктурирования длинномерных изделий связаны с повышением технологичности и производительности процесса, однородности структуры и свойств объемных ультрамелкозернистых материалов, масштабированием заготовок, унификацией схем обработки и используемого оборудования, расширением номенклатуры обрабатываемых материалов и снижением себестоимости выпускаемой продукции.

На этой основе выбрано направление, сформулированы цель и задачи поисковых научно-исследовательских работ по созданию и исследованию непрерывного способа деформационного наноструктурирования проволоки, основанного на интегрировании инновационных схем обработки в сборных волокнах специального профиля в процессы традиционного волочения, обеспечивающего достижение уникального комплекса механических свойств низко- и среднеуглеродистых сталей.

Разработан детализированный план выполнения поисковых научно-исследовательских работ, обеспечивающий получение достаточного объема теоретических и достоверных экспериментальных данных с учетом возможных финансовых, сырьевых и временных затрат.

Предложена принципиальная схема инновационного способа непрерывной равноканальной угловой свободной протяжки стальной проволоки, обеспечивающего высокую интенсивность и немонотонность деформации сдвига и, как следствие, повышение уровня механических свойств стали при измельчении структурных составляющих до субмикрористаллического уровня. Способ заключается в многократно протягивании проволоки через сборную волоку специального профиля, устанавливаемой в технологическую линию волочильного стана. Существенным отличием предлагаемого способа от большинства существующих схем интенсивной пластической деформации является возможность непрерывной обработки длинномерных изделий круглого сечения в условиях массового производства на действующем оборудовании метизной отрасли. Непрерывность процесса

достигается путем последовательной установки на волочильном стане инструмента специальной конструкции и сочетанием процесса с традиционным способом волочения проволоки.

Выполнена математическая формализация геометрических параметров технологического инструмента, предназначенного для реализации деформационного наноструктурирования стальной проволоки непрерывным способом равноканальной угловой свободной протяжки. Предложены различные варианты конструкций инструмента деформационного наноструктурирования, отличающиеся геометрическими параметрами рабочего участка.

Разработана методика проектирования предлагаемого способа равноканальной угловой свободной протяжки в специализированной программе имитационного моделирования процессов деформации DEFORM 3D (лицензия: Machine 38808). С использованием методов математического планирования эксперимента смоделированы возможные варианты режимов обработки проволоки способом равноканальной угловой свободной протяжки и исследованы степень и однородность напряженно-деформированного состояния материала в зависимости от степени заполнения инструмента заготовкой, длины очага деформации, радиуса кромок и угла пересечения каналов инструмента.

Разработана методика и выполнена критериальная оценка эффективности обработки стальной проволоки разрабатываемым способом, в соответствии с которой учитываются следующие параметры процесса деформационного наноструктурирования:

- технологическая стабильность процесса равноканальной угловой свободной протяжки, обеспечиваемая выполнением условия безобрывности проволоки при обработке;
- достижение необходимой интенсивности и равномерности напряженно-деформированного состояния проволоки, обеспечиваемое одновременным выполнением следующих условий:
  - условие пластичности Губера-Мизеса и силовое условие фрагментации;
  - максимальная равномерность распределения интенсивности напряжений по сечению проволоки;
  - стремление уровня интенсивности деформаций сдвига по сечению проволоки в процессе обработки к максимальной величине.

На основе критериальной оценки эффективности разрабатываемого способа равноканальной угловой свободной протяжки определена рациональная конструкция технологического инструмента, обеспечивающая максимальную технологическую стабильность и достижение необходимой интенсивности и равномерности НДС обрабатываемых сталей,

что приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры и повышению уровня механических свойств проволоки. Рекомендован маршрут технологической обработки, предполагающий поворот заготовки вокруг своей продольной оси на угол  $90^\circ$  в одном направлении при каждом последующем цикле обработки.

В ходе математического моделирования установлено, что в процессе равноканальной угловой свободной протяжки наиболее интенсивно деформируется та часть проволоки, поверхность которой, изгибаясь, контактирует с технологическим инструментом в плоскости пересечения каналов. Установлено, что в плоскости выхода проволоки из технологического инструмента максимальное значение интенсивности деформаций сдвига достигает значения 2,0, что создает максимально благоприятные условия для фрагментации структуры стали.

В результате теоретико-экспериментальных исследований I этапа поисковых научно-исследовательских работ получен необходимый задел для выполнения физического моделирования разрабатываемой непрерывной схемы интенсивной пластической деформации и исследования особенностей структурообразования и формирования механических свойств стальной проволоки в процессе деформационного наноструктурирования.

Руководитель проекта:

Корчунов А.Г.