

УДК 621.778

Создание непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки на основе совмещения операций

М.А. Полякова*, А.Е. Гулин

*Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова
Россия 455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38¹*

Received 09.11.2012, received in revised form 16.11.2012, accepted 23.11.2012

Низкая технологичность, ограниченность размеров обрабатываемой заготовки, необходимость создания специального оборудования и оснастки, сложность встраивания в действующие промышленные технологические процессы производства металлоизделий делают актуальной задачу по созданию непрерывного метода деформационного наноструктурирования, который по своим техническим и технологическим характеристикам был бы совместим с существующими процессами металлургического и метизного производств. В качестве объекта исследований была выбрана высокоуглеродистая проволока, поскольку она является востребованным видом метизной продукции, и формирование в ней ультрамелкозернистой структуры выступает одним из направлений повышения комплекса ее эксплуатационных свойств. Сущность разрабатываемого подхода состоит в одновременном наложении на непрерывно движущуюся проволоку деформации растяжения волочением, деформации изгиба при прохождении через систему роликов и деформации кручения. На разработанный метод подана заявка на изобретение, получена приоритетная справка. Результаты проведенных металлографических исследований показали, что совмещение деформационного воздействия на проволоку из высокоуглеродистой стали марки 75 приводит к измельчению отдельных структурных составляющих, размер которых становится меньше 1000 нм, что позволяет классифицировать полученную структуру как ультрамелкозернистую. В результате проведения механических испытаний установлено, что одновременное воздействие на высокоуглеродистую сталь деформаций растяжения и кручения влечет за собой повышение прочностных и пластических свойств проволоки. Равномерное распределение микротвердости по сечению проволоки позволяет судить об однородности получаемой структуры и свойств.

Ключевые слова: высокоуглеродистая проволока, непрерывный метод деформационного наноструктурирования, волочение, кручение, ультрамелкозернистая структура, механические свойства.

Введение

Преимущества сталей и сплавов с ультрамелкозернистой структурой по достигаемому уровню механических свойств по сравнению с их крупнозернистыми аналогами не вызывают

* Corresponding author E-mail address: m.polyakova-64@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

сомнений [1, 2]. В настоящее время разработаны различные методы формирования ультрамелкозернистой структуры в металлах и сплавах, однако большинство из них отличаются низкой технологичностью, ограниченностью размеров обрабатываемой заготовки, необходимостью создания специального оборудования и оснастки, сложностью встраивания в действующие промышленные технологические процессы производства металлоизделий. Многочисленными исследованиями, выполненными научными школами под руководством Р.А. Андриевского, Э.В. Козлова, Н.А. Коневой, А.М. Глезера, Р.З. Валиева и др., установлено, что для формирования ультрамелкозернистой структуры необходимо обеспечить наличие значительных сдвиговых деформаций, приводящих к измельчению структурных составляющих металлов и сплавов. С этой точки зрения актуальной задачей, стоящей перед исследователями, является создание такого метода, который, с одной стороны, обеспечивал бы формирование ультрамелкозернистой структуры, с другой – по своим техническим и технологическим характеристикам был бы совместим с существующими процессами металлургического и метизного производств.

Материалы и методы

Любой технологический процесс можно представить в виде набора определенных операций. В ходе их последовательного осуществления исходное сырье преобразуется в готовое изделие. Одним из путей повышения эффективности производства является совмещение отдельных операций [3-6]. В то же время для получения готового продукта с определенным комплексом свойств исходное сырье должно быть подвергнуто определенному числу преобразований. При совмещении операций их общее количество уменьшается, а число преобразований исходного сырья не изменяется.

В качестве объекта исследования была выбрана высокоуглеродистая проволока, которая считается одним из востребованных видов метизной продукции. Высокоуглеродистая проволока широко используется для производства различных видов металлоизделий, поэтому формирование в ней ультрамелкозернистой структуры признано одним из направлений повышения комплекса эксплуатационных свойств изделий.

Типовой технологический процесс обработки металлов многооперационный и многопередельный и состоит из набора простых операций. Традиционный процесс производства проволоки – это последовательно осуществляемые операции удаления окалины, нанесения подмазочного слоя, волочения и термической обработки. Как известно, для создания технологических процессов с совмещенными операциями необходимо выбрать базовую операцию. Поскольку основной формообразующей операцией при производстве проволоки является волочение, то в качестве базовой для разработки непрерывного метода деформационного наноструктурирования была выбрана операция волочения.

Схема главных деформаций при волочении характеризуется одной деформацией удлинения и двумя укорочения – радиальной и окружной. Максимальной главной является продольная деформация. Для получения ультрамелкозернистой структуры в обрабатываемом материале на существующие при волочении напряжения необходимо наложить такие напряжения, которые обеспечили бы напряжения сдвига.

Учеными кафедры машиностроительных и металлургических технологий Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова проводится комплекс

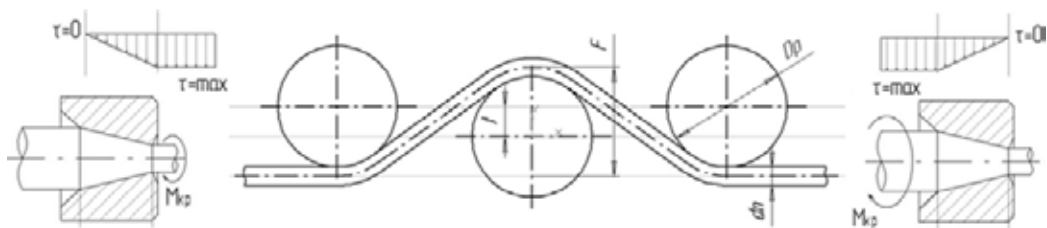


Рис. 1. Принципиальная схема непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки

теоретико-экспериментальных работ по разработке непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки из высокоуглеродистых сталей [7–9]. Сущность разрабатываемого подхода состоит в одновременном наложении на непрерывно движущуюся проволоку деформации растяжения волочением, деформации изгиба при прохождении через систему роликов и деформации кручения. При этом под действием внешнего скручивающего момента любое сечение изделия, оставаясь плоским, поворачивается на некоторый угол. Этот угол изменяется по длине изделия от нуля в закрепленном конце до максимального на свободном конце. При этом образующая внешней цилиндрической поверхности изделия поворачивается на определенный угол – угол сдвига, а диаметры сечений и расстояния между ними не изменяются. Прямоугольная сетка превращается в сетку, состоящую из параллелограммов, что свидетельствует о наличии касательных напряжений в поперечных сечениях изделия, а по закону парности касательных напряжений – и в продольных его сечениях, то есть напряженное состояние в точках скручиваемого стержня представляет собой чистый сдвиг.

Преимуществом такой схемы деформирования является возможность использования для ее реализации имеющиеся в метизном производстве технические устройства, а значит, стоит рассмотреть возможность реализации ее в действующих технологических линиях по производству проволоки. Создана опытная лабораторная установка (рис. 1), реализующая предлагаемый метод совмещения, подана заявка на изобретение, получена приоритетная справка.

Результаты

Основными технологическими параметрами разработанного процесса, влияющими на процесс формирования ультрамелкозернистой структуры проволоки, являются обжатие в проволоках и количество оборотов скручивания. В настоящее время проводятся лабораторные исследования по установлению влияния различных технологических факторов на формирование ультрамелкозернистой структуры в высокоуглеродистой проволоке различных диаметров, определяются аналитические зависимости, устанавливаются закономерности формирования ультрамелкозернистой структуры высокоуглеродистой стали в зависимости от степени различных видов деформационного воздействия (как единичного, так и суммарного) [10].

В исходном состоянии проволока имеет ферритоперлитную структуру, характерную для данного класса стали (рис. 2). При этом количество феррита не превышает 5 %, что свидетельствует о ее низких пластических свойствах.

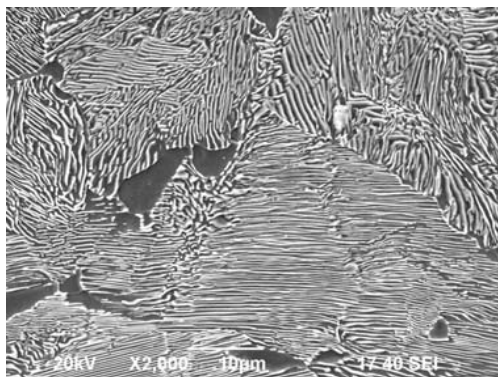


Рис. 2. Микроструктура высокоуглеродистой проволоки стали марки 75 диаметром 3,05 мм в исходном состоянии

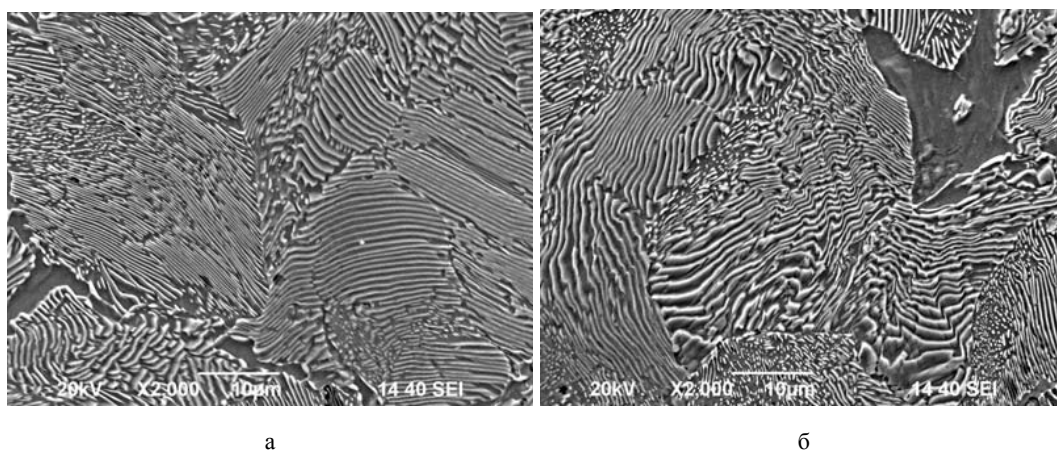


Рис. 3. Микроструктура проволоки из высокоуглеродистой стали марки 75: *а* – после волочения и изгиба; *б* – после волочения, изгиба и кручения

При наложении на проволоку деформации растяжения и изгиба проволоки после ее прохождения первой волоки и изгибающего устройства происходит сначала изгиб отдельных цементитных пластин, начинается процесс дробления перлитных колоний (рис. 3 *а*). Наложение деформации кручения приводит к полному разрушению цементитных пластин, в структуре наблюдаются полосы сброса (рис. 3 *б*).

Получаемая микроструктура однородна по всему объему изделия, без внутренних несплошностей. При большом увеличении видна фрагментация ферритных зерен (рис. 4).

На рис. 5 представлены результаты проведения механических испытаний проволоки из высокоуглеродистой марки стали после разработанного метода деформационного наноструктурирования.

Результаты измерения микротвердости по сечению получаемой проволоки показывают равномерное увеличение микротвердости по сравнению с исходным состоянием (рис. 6).

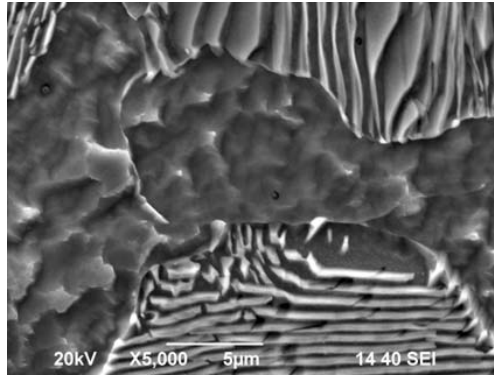


Рис. 4. Фрагментация феррита в высокоуглеродистой проволоке после растяжения, изгиба и кручения

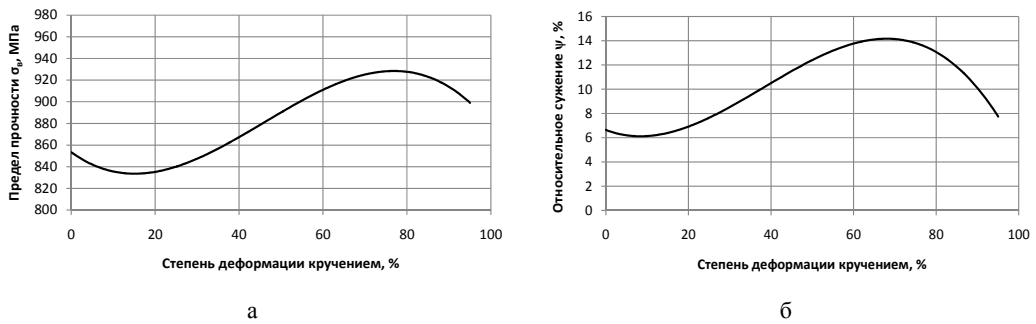


Рис. 5. Механические свойства проволоки из высокоуглеродистой стали марки 75 при суммарной степени деформации растяжением 19,9 % (исходный диаметр 3,05 мм): а – предел прочности при растяжении, МПа; б – относительное сужение

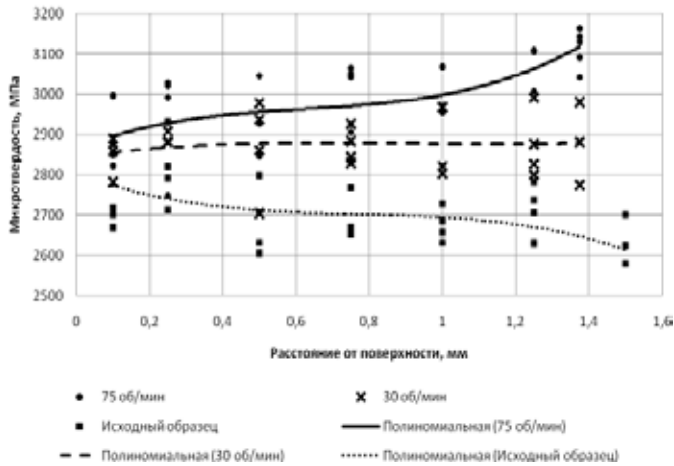


Рис. 6. Распределение микротвердости по сечению высокоуглеродистой проволоки после разработанного процесса деформационного наноструктурирования

Обсуждение результатов

Результаты проведенных металлографических исследований показали, что совмещение деформационного воздействия на проволоку из высокоуглеродистой стали марки 75 ведет к измельчению отдельных структурных составляющих, размер которых становится меньше 1000 нм, что позволяет классифицировать полученную структуру как ультрамелкозернистую.

В результате проведения механических испытаний установлено, что одновременное воздействие на высокоуглеродистую сталь деформаций растяжения и кручения приводит к повышению прочностных и пластических свойств проволоки. При этом наблюдается периодическое изменение как прочности, так и пластичности в зависимости от степени деформации кручением. Равномерное распределение микротвердости по сечению проволоки позволяет судить об однородности получаемой структуры и свойств по сечению. Предварительные результаты дают возможность определить такие режимы деформации, которые позволяют получить наибольший прирост прочности и пластичности материала.

Заключение

По результатам металлографических исследований и механических испытаний проволоки после комбинированного деформационного воздействия можно судить о перспективности выбранного направления по совмещению различных методов деформирования для формирования ультрамелкозернистой структуры в высокоуглеродистой проволоке. В качестве базовой операции метода деформационного наноструктурирования выбрана операция волочения, используются устройства, применяемые на различных операциях метизного производства. Это позволяет реализовать непрерывность процесса деформационного воздействия для формирования ультрамелкозернистой структуры в проволоке без создания специального инструмента и оборудования. Направлением дальнейших исследований является разработка технологического процесса производства высокоуглеродистой проволоки с ультрамелкозернистой структурой, формируемой разработанным методом деформационного наноструктурирования.

Список литературы

- [1] Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2005. 186 с.
- [2] Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
- [3] Половинкин А.И. Законы строения и развития техники. Волгоград, 1985. 104 с.
- [4] Недовизий И.Н., Петрухин С.И., Колмогоров А.Г. Совмещение процессов производства проволоки. М.: Металлургия, 1979. 224 с.
- [5] Бахматов Ю.Ф., Носков Е.П., Голубчик Э.М., Хайкин С.Н., Полякова М.А. Конструирование совмещенных процессов в метизном производстве. Магнитогорск, 1994. 92 с.
- [6] Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. М.: МАКС Пресс, 2005. 344 с.
- [7] Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Влияние схемы деформирования на формирование ультрамелкозернистой структуры углеродистых сталей // Деформация и разрушение

материалов и наноматериалов: сборник материалов IV Междунар. конф. М.: ИМЕТ РАН, 2011. С. 201–203.

[8] Гулин А.Е. Проектирование метода деформационного наноструктурирования проволоки // Физико-химия и технология неорганических материалов: сборник материалов VIII Российской ежегодной конф. молодых научных сотрудников и аспирантов. М.: ИМЕТ РАН, 2011. С. 651–653.

[9] Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Разработка непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки // Обработка сплошных и слоистых материалов: сб. науч. тр. под ред. М. В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 37. С 39–45.

[10] Гулин А.Е., Полякова М.А. Анализ эффективности метода деформационного наноструктурирования с использованием математического планирования эксперимента // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. С. 99–105.

Creation the Continious Method of wire Deformation Nano-Structuring on the Basis of Combination Operations

Marina A. Polyakova and Alexandr E. Gulin

*Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov
38 Lenin prosp., Magnitogorsk, 455000 Russia*

Low technological effectiveness, limitedness of work blank dimensions, need of creating of special equipment and rigging, complexity of incorporation in existing industrial technological processes of hardware production pose to urgent problem in creation of deformation nanostructuring continuous method which according to its technical and technological characteristics would be compatible with the existing processes of metallurgical and metal wire productions. Highly carbonaceous wire was selected as the subject of studies, since it is the claimed form of metal wire production and the formation of ultrafinegrain structure in it is one of the directions of improving its performance properties. The essence of developed approach concludes the simultaneous imposition on continuously moving wire the dilational strain wire drawing, the bending strain in transit through system of rollers and twisting strain. The claim for invention is given to the developed method, priority information is obtained. The results of conducted metallographic investigations showed that such deformation action combination on wire made of high-carbon steel 75 leads to crushing of its separate structural components, which size becomes less than 1000 nm, so it makes possible to classify the obtained structure as ultrafine-grain. As a result conducting mechanical tests it is established that the simultaneous action on high-carbon steel of dilational strains and twisting leads to an increase of wire strength and plastic properties. The uniform microhardness distribution by wire section makes it possible to judge the uniformity of obtained structure and properties.

Keywords: highly carbonaceous wire, continuous method of deformation nanostructuring, wire drawing, twisting, ultrafinegrain structure, mechanical properties.
