

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРЫ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ
ИННОВАЦИОННОГО СПОСОБА ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ
ОБРАБОТКИ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**MODERNIZATION TECHNOLOGY OF HIGH-TENSILE REINFORCEMENT PRODUCTION BY APPLI-
CATION OF INNOVATION METHOD OF THERMODEFORMATION TREATMENT OF ULTRAFINE
GRAINED STEELS**

А.Г. Корчунов, Д.К. Долгий
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. cold.Dima@inbox.ru

Abstract

The article investigates the influence of thermodeformation treatment on the properties of high-tensile reinforcement. In laboratory studies was determined the effect of heating temperature and the tensile force thermodeformation treatment on the formation of the mechanical properties of steel grade 80P. Use of X-ray diffraction and electron microscopic analysis revealed the regularities formation of structure and reduction of residual stress in the samples after processing. It is shown how these changes affect the relaxation resistance of the material.

Необходимость достижения высокого качества, эксплуатационной надежности и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности продукции метизной отрасли требует повышения ее механических свойств. Одним из важнейших видов метизной продукции на сегодняшний день является арматура. Арматура применяется для изготовления всех видов железобетонных конструкций, что необходимо для усиления прочностных характеристик бетона. Эффективность применения железобетона в значительной мере определяется физико-механическими характеристиками напрягаемой арматуры [1].

С учетом утверждения на правительственном уровне Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России» ОАО «Российские железные дороги» реализует программу модернизации заводов по производству железобетонных шпал [2]. В соответствии с этим повышаются требования к качеству их комплектующих, в том числе высокопрочной арматуры для армирования железобетонных шпал, что позволит снизить потребление металла при производстве железобетонных шпал в два раза и повысить их эксплуатационные характеристики. Ко всему прочему для понижения энергоемкости процесса и увеличения технологичности, позволяющие увеличить объем выпуска шпал в 2 раза по сравнению с традиционной технологией, необходим переход к производству шпал с использованием арматуры больших диаметров (9,6 мм).

В связи с чем было принято решение об освоении технологии производства высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Задача освоения данной технологии заключается в достижении повышенного комплекса механических характеристик высокопрочной арматуры (временное сопротивление разрыву - не менее 1600 МПа; условный предел текучести -

не менее 1450 МПа; относительное удлинение при разрыве - не менее 6 %) и, одновременно с этим, высоких значений релаксационной стойкости (релаксация напряжений не более 4 % за 1000 часов).

Одним из наиболее перспективных направлений достижения высоких показателей прочности при сохранении пластических характеристик материалов заключается в формировании в них ультрамелкозернистой (УМЗ). Однако достигаемый уровень механических свойств сталей при помощи формирования в них УМЗ структуры не всегда удовлетворяет постоянно растущим требованиям к готовой продукции. В связи с этим важной задачей является разработка новых способов обработки сталей с УМЗ структурой для достижения повышенного уровня механических свойств. Именно поэтому целью научной работы является разработка и исследование инновационного способа термомодеформационной обработки ультрамелкозернистых сталей для высокопрочной арматуры.

Разработанная технология производства высокопрочной арматуры для получения повышенного комплекса физико-механических свойств включает следующие основные технологические операции: патентирование исходной заготовки, волочение, нанесение трехстороннего профиля и специальный вид термомодеформационной обработки. Исследования показали, что специально спроектированные режимы патентирования позволяют формировать в сталях УМЗ структуру. УМЗ структура формируется в результате измельчения микроструктурных составляющих, таких как межпластинчатое расстояние.

На рис. 1 приведена микроструктура стали 80P после патентирования по специальным режимам. В центральных областях микроструктура этой заготовки состоит из ферритокарбидной смеси (ФКС) с межпластинчатым расстоянием 0,06 - 0,17 мкм.

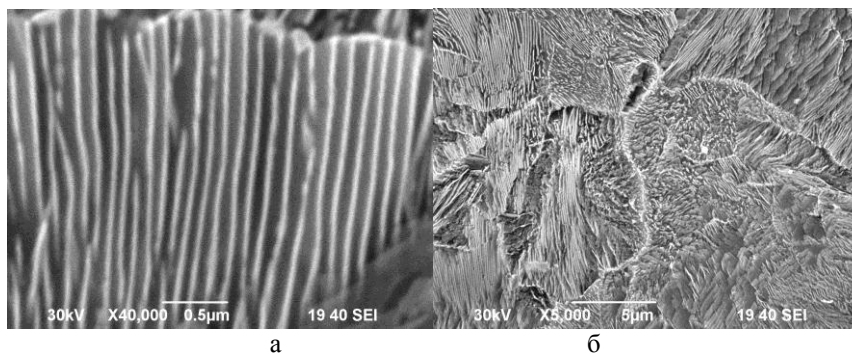


Рис.1 - Микроструктура в центральных слоях патентованной заготовки из стали марки 80P диаметром 15,0 мм

Применительно к производству высокопрочной арматуры с УМЗ структурой эффективным видом термомеханической обработкой является механотермическая обработка (МТО). МТО сводится к небольшому деформированию металла при температуре ниже температуры рекристаллизации с последующим охлаждением. В основе МТО лежат процессы, связанные с образованием заданной дислокационной структуры [3].

В настоящее время в литературе отсутствуют теоретически обоснованные технологические режимы МТО высокопрочной арматуры больших диаметров из высокоуглеродистых марок стали. Имеющиеся сведения относятся к арматуре диаметром 3 – 5 мм. Поэтому требуется проведение обширных исследований для изучения и разработки режимов МТО высокопрочной арматуры больших диаметров [4].

Для определения влияния температуры нагрева и степени пластической деформации на динамику изменения механических свойств высокопрочной арматуры были проведены лабораторные испытания, имитирующие процесс МТО. Материалом для проведения испытаний служили образцы высокопрочной арматурной из стали марки 80P диаметром 9,6 мм, с предварительной степенью деформации волочением 58 %. Данные образцы нагревались в печи в специально спроектированной оснастке, которая служила теплоизолятором. Затем образцы в месте с оснасткой помещали в разрывную машины для проведения испытаний. Испытания проводились при различном усилии натяжения для того, чтобы придать образцам различную степень деформации. Результаты испытаний представлены на рис. 2.

С ростом температуры до 300 °С, 350 °С прочностные свойства повышаются относительно исходного состояния примерно на 9 %, дальнейший

рост температуры нагрева до 400 °С, ведет к резкому понижению данных характеристик (рис.2 а, б). Степень деформации практически не оказывает влияние на формирование прочностных свойств.

Пластические свойства изменяются в большей степени (рис. 2 в). С ростом пластической деформации в ходе механотермической обработки относительное удлинение после разрыва возрастает на 15 % при температуре 350 °С и на 18 % при температуре 400 °С в относительных величинах. С ростом температуры относительное удлинение после разрыва возрастает в 3 – 5 раза [5-6].

Наряду с высокими показателями механических характеристик, большое внимание уделяется релаксационной стойкости высокопрочной арматуры. Высокие значения релаксационной стойкости позволяют избежать трещинообразования в бетоне в условиях длительной работы под воздействием циклических нагрузок. Повышение релаксационной стойкости материала достигается за счет повышения стабильности структуры стали, а также за счет снятия остаточных напряжений, накопленных в ходе предварительной деформационной обработки (волочения и профилирования).

Для определения влияния режимов МТО на изменение структуры стали марки 80P и уровня остаточных напряжений были проведены рентгеноструктурное и электронномикроскопическое исследование. Материалом для исследований служили образцы опытно-промышленной партии высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм из стали марки 80P, произведенной на ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», с применением МТО по различным режимам (температура нагрева находилась в пределах 320 – 400 °С, усилие натяжение 19600 – 58800 Н).

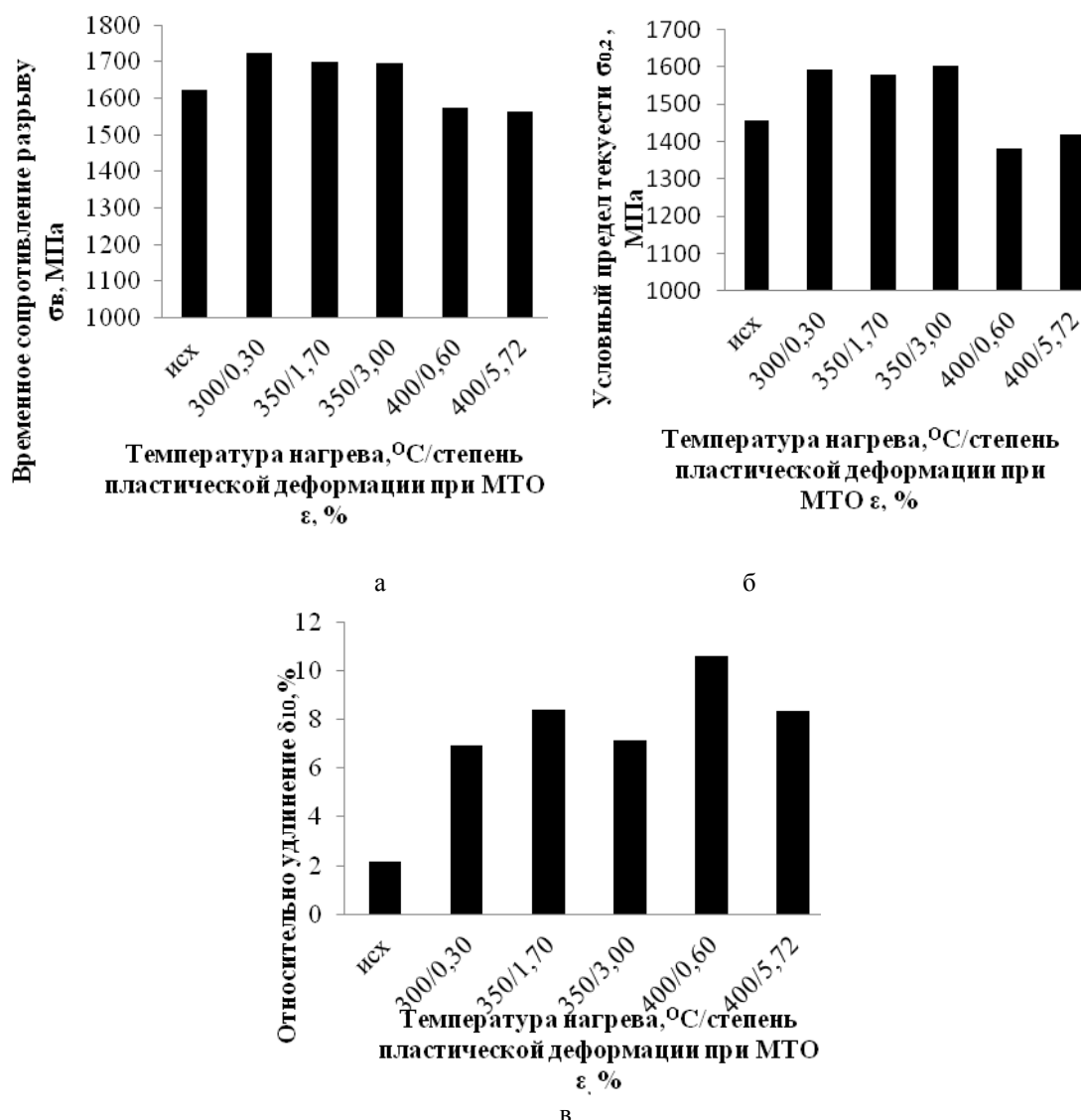


Рисунок 2 – График зависимости механических свойств образцов стали марки 80Р с УМЗ структурой от режимов механотермической обработки:

а – предела прочности, б – относительного удлинения, в – условного предела текучести

В ходе рентгеноструктурного анализа были установлены величины рентгеновских максимумов феррита исследуемых образцов и исходя из смещений центров тяжести линий (200) феррита рассчитывался уровень остаточных напряжений после различных режимов обработки. Уровень остаточных напряжений в образце после волочения составлял $\sigma_{\perp} = 1540$ МПа, в то время как после МТО величина остаточных напряжений находилась в диапазоне от + 760 МПа до - 250 МПа. Снижению уровня остаточных напряжений способствуют как повышение температуры, так и увеличение натяжения. В ходе исследования было установлено, что оптимальной температурой нагрева является температура не ниже 360 °С. Интервал оптимальных усилий находится в пределах от 34000 Н до 46500 Н. Усилие 19600 Н не достаточно для эффективно-го снятия напряжений, величина $\sigma_{\perp} = 760$ МПа, в то

время как усилие в 58800 Н чрезмерно и создает дополнительную упругую деформацию, $\sigma_{\perp} < 0$ [7].

В ходе электронномикроскопического исследования было выяснено, что только при нагреве до температур от 350 °С до 400 °С в большей части объема стали марки 80Р обеспечивается перераспределение дислокаций, снижение их плотности и выстраивание в стенки ячеек, такое формирование ячеистой дислокационной субструктуры приводит к появлению областей, свободных от дислокаций.

Влияние изменения релаксационной стойкости образцов высокопрочной арматуры в зависимости от структурных изменений после МТО было исследовано в результате проведения испытаний на релаксацию напряжений. Результаты испытаний на релаксацию напряжений стали марки 80Р после различных режимов МТО представлены на рис. 3.

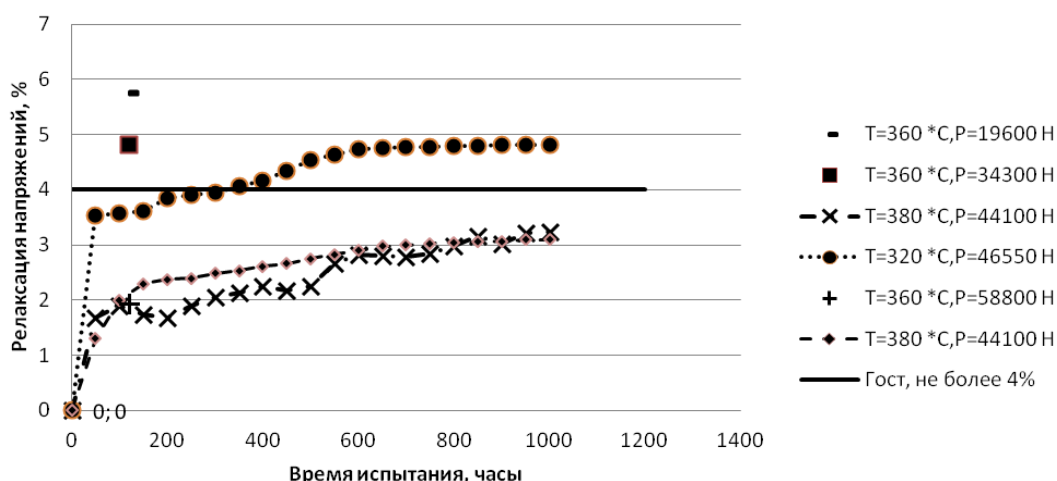


Рис.3 – Релаксация напряжений высокопрочной арматуры из стали марки 80P после МТО с различными режимами.

Результаты испытаний хорошо коррелируются с результатами электронномикроскопического и рентгеноструктурного исследований. Образцы высокопрочной арматуры после МТО с применением температуры нагрева (320°C) и усилием натяжения (19600 Н, 34300 Н) из диапазона, расположенного ниже рекомендуемого по результатам электронномикроскопического и рентгеноструктурного исследований, имеют неудовлетворительные показатели релаксационной стойкости (релаксация напряжений превышает 4 %). Образцы высокопрочной арматуры после режимов МТО с температурой нагрева 360°C и 380°C и усилием натяжения в диапазоне от 44100 Н до 58800 Н полностью удовлетворяют предъявляемым требованиям по релаксационной стойкости. Данные режимы в наибольшей степени способствуют снижению уровня остаточных напряжений и повышению стабильности структуры.

Таким образом, в ходе научной работы, были проведены обширные исследования процесса МТО, изучено влияние параметров процесса (температуры нагрева и усилия натяжения) на динамику изменения механических свойств и релаксационной стойкости. Исследовано влияние МТО на изменение структуры стали марки 80P и уровень остаточных напряжений. В ходе исследований установлено, что оптимальные параметры процесса, позволяющие достигать сочетания высоких значений механических свойств и релаксационной стойкости, лежат в пределах: температура нагрева не ниже 350°C и не выше 400°C , усилие натяжения в пределах от 34000 Н до 46500 Н.

Однако остается еще целый ряд важнейших нерешенных задач. Необходимо провести исследование процесса МТО путем моделирования в среде DEFROM-3D, что будет способствовать более глубокому пониманию данного процесса. Важнейшей задачей является создание математической модели прогноза релаксационной стойкости. Требуется дальнейшее проведение испытаний на релаксацию

напряжений на образцах, полученных с более широким диапазоном режимов МТО.

Список литературы

1. Б.А. Никифоров, В.А. Харитонов, Е.Н. Киреев. Производство высокопрочной арматурной проволоки. Учебное пособие. Свердловск, УПИ им. С.М. Кирова, 1982, 96 с.
2. <http://doc.rzd.ru/isvp/public> (дата обращения 13.12.2010).
3. Юхвец И.А. Производство высокопрочной проволочной арматуры. «Металлургия», 1973. 264 с.
4. Долгий Д.К., Корчунов А.Г., Барышников М.П. Моделирование процесса стабилизации высокопрочной холоднодеформированной арматуры. Вестник МГТУ им Г.И. Носова. 2012. № 2. С. 43-45.
5. Барышников М. П., Долгий Д.К., Куранов К.Ю., Зайцева М.В. Исследование процесса механотермической обработки арматуры из высокоуглеродистых сталей // Сталь. 2012. № 2. С. 89-92.
6. Корчунов А.Г., Долгий Д.К., Гулин А.Е. Повышение эффективности производства высокопрочной арматуры на основе совершенствования режимов стабилизации. Инновационная деятельность предприятий по исследованию, обработке и получению современных материалов и сплавов: сборник докладов Международной научной конференции. Орск, Орский гуманитарно-технологический институт Т.1. М.: Машиностроение, 2012. С. 513-521.
7. Корчунов А.Г., Долгий Д.К., Яковлева И.Л. Исследование влияния механотермической обработки холоднодеформированной арматурной стали ответственного назначения на уровень остаточных напряжений. Новые материалы и технологии – НМТ-2012. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. М.: МАТИ, 2012. С. 11-12.