

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК [621.771.25:669.14.018.29]:001.891.54

Долгий Д.К., Корчунов А.Г., Барышников М.П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ

Статья посвящена исследованию процесса стабилизации высокопрочной арматуры больших диаметров. В ходе работы, описанной в статье, было выполнено моделирование процесса стабилизации и проведены лабораторные испытания. В ходе исследований установлены условия возможности осуществления процесса стабилизации, а также зависимость механических свойств от усилия натяжения при стабилизации.

Ключевые слова: высокопрочная арматура, стабилизация, железобетонные шпалы, моделирование, механические свойства, технологические режимы, испытания на растяжение, усилие натяжения, температура нагрева.

This article focuses on the analysis of the stabilization of high-strength reinforcement of large diameter. In the work described in this paper were carried out laboratory tests and modeling of the stabilization process. The studies established the conditions for the possibility of the stabilization process, as well as the dependence of mechanical properties of the tension force stabilization.

Key words: high-strength fittings, stabilization, concrete sleepers, modeling, mechanical properties, technological modes, tensile test, tensile force, heating temperature.

В настоящее время высокопрочная арматура является одним из наиболее востребованных видов метизной продукции. Высокопрочная арматура применяется для изготовления ответственных видов предварительно напряженных железобетонных конструкций, применяемых для строительства зданий, мостов, железобетонных шпал и др. Однако на отечественном рынке метизов наблюдается дефицит высокопрочной арматуры с повышенным комплексом физико-механических свойств, что обусловлено, с одной стороны, отсутствием промышленных технологий ее производства, а с другой – модернизацией заводов по производству железобетонных конструкций. Эффективность применения предварительно напряженных железобетонных конструкций, например железобетонных шпал, в значительной мере определяется физико-механическими характеристиками напрягаемой арматуры. С этой точки зрения возникает необходимость в разработке новых режимов производства арматуры, позволяющих обеспечивать повышенный уровень ее механических свойств [1].

В технологическом процессе производства высокопрочной арматуры ответственного назначения ключевой операцией является операция стабилизации. Сущность данной операции заключается в одновременном механическом натяжении арматуры и ее термической обработке (отпуск). При этом по литературным данным напряжение натяжения арматуры варьируется в пределах от 20 до 80% от значения временного сопротивления разрыву металла в холодном состоянии. Температура отпуска находится в пределах от 250 до 420°C. При достижении определенных усилий натяжения начинает происходить пластическая деформация металла. Такое одновременное воздействие термической обработки и натяжения, приводящего к небольшой деформации металла (до 5%), принято называть стабилизацией. Стабилизация арматуры обеспечивает получение высокого комплекса механических свойств в сочетании с высокой ре-

лаксационной стойкостью.

Изменение свойств в результате стабилизации связывают с упрочнением дислокационной структуры холоднодеформированного металла – полигонизацией. Кроме того, следует учитывать, что при отпуске под натяжением, как и при обычном отпуске, происходят процессы деформационного старения и возврата. В результате старения дислокации блокируются образующимися облаками примесных атомов углерода и азота, и тем самым пределы упругости и текучести металла возрастают, а внутренние напряжения релаксируют замедленно. Однако значительно большую релаксационную стойкость, полученную в ходе стабилизации, следует объяснить совершенным выравниванием распределения напряжений по сечению и значительно большим снижением их абсолютной величины при одновременном воздействии температуры отпуска и нагрузки по сравнению с раздельным влиянием этих технологических факторов [2-4].

В настоящее время в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» ведется освоение технологии изготовления высокопрочной стабилизированной арматуры диаметром 10 мм [3]. Для производства данной продукции завод приобрел линию стабилизации ISF-5 фирмы Mario Frigerio (Италия), предназначенную для совмещения операций нанесения периодического профиля и отпуска под натяжением [5]. Натяжение высокопрочной арматуры осуществляется за счет согласования скоростей вращения двух пар тянущих кабестанов. Нагрев до заданной температуры осуществляется в индукционной печи. Процесс отпуска под натяжением регулируется тремя основными технологическими параметрами: температура нагрева, усилие натяжения и скорость обработки. Исходной заготовкой при стабилизации является проволока диаметром 10 мм из стали марки 80P после патентирования и волочения с суммарной степенью деформа-

ции 56%. В настоящее время в литературе отсутствуют теоретически обоснованные технологические режимы операций производства стабилизированной 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 стабилизации высокопрочной арматуры больших диаметров.

Для определения усилия натяжения, необходимого для пластической деформации высокопрочной арматуры при стабилизации, проводили моделирование процесса в среде DEFROM – 2D. Для исследования изменения механических свойств получаемой продукции при различной степени деформации в ходе стабилизации был проведен комплекс лабораторных исследований процесса. Для получения адекватных результатов моделирования процесса стабилизации высокопрочной арматуры в среде DEFROM – 2D необходимо знать значения механических свойств материала при температуре обработки. В связи с этим были проведены испытания на разрыв образцов высокопрочной арматуры из стали марки 80P диаметром 10 мм при температуре 400°C по ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение». Образцы высокопрочной арматуры нагрели в специально спроектированной оснастке до 400°C, выдерживали при данной температуре, затем вместе с оснасткой помещали в разрывную машину для проведения испытаний. Диаграмма растяжения представлена на рис. 1.

В результате проведенного эксперимента было установлено, что пластическая деформация материала начинается при достижении напряжения около 710 Н/мм². Это значение соответствует пределу текучести стали марки 80P при температуре 400°C. Поскольку для осуществления процесса стабилизации усилие натяжения должно превышать значение предела текучести материала при заданной температуре, то для стали марки 80P оно должно быть более 710 Н/мм².



Рис. 1. Диаграмма растяжения стали марки 80P при температуре 400°C

Для моделирования процесса стабилизации механические свойства стали марки 80P, полученные в

ходе испытаний на растяжении при температуре 400°C, задавались табличным способом в виде кривой упрочнения. Натяжение кабестана моделировали с использованием табличных значений в виде функции усилия натяжения от времени. Моделирование проводили для различных значений усилия натяжения, Н: 19600, 39200, 58800, 63700, 68600. Результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3.

Из рис. 2 видно, что только при достижении усилия натяжения 58800 Н наблюдается небольшая пластическая деформация арматуры (0,8%). Это свидетельствует о том, что для рассматриваемых условий только при достижении указанного значения натяжения процесс можно считать действительно стабилизацией.

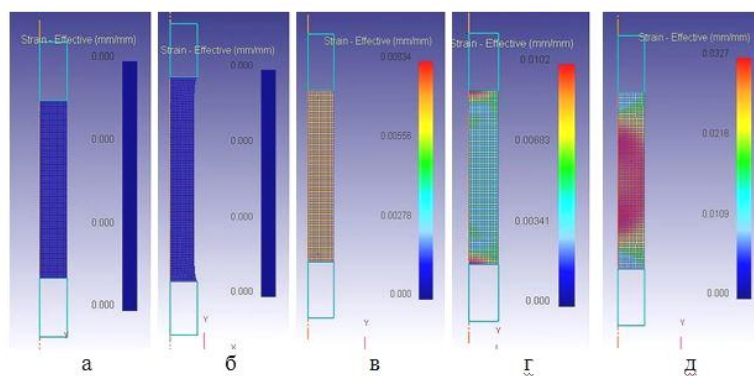


Рис. 2. Степень деформации металла при стабилизации высокопрочной арматуры для различных значений усилия натяжения, Н: а – 19600; б – 39200; в – 58800; г – 63700; д – 68600

Для определения возможности обрыва высокопрочной арматуры в ходе проведения стабилизации была проанализирована степень поврежденности металла при различных значениях усилия натяжения (см. рис. 3). Из рис. 3 видно, что степень поврежденности стали марки 80P возрастает с увеличением усилия натяжения при переходе в область пластической деформации материала. При этом максимальная степень поврежденности накапливается в центральной части образца и снижается ближе к периферийным областям образца.

Также было проанализировано распределение деформаций и максимальных действующих напряжений в поперечном сечении высокопрочной арматуры (от центральной оси образца к периферийным участкам). Анализ показал, что во всех случаях наблюдается практически равномерное распределение деформаций и максимальных действующих напряжений. В результате моделирования было определено усилие натяжения, необходимое для проведения стабилизации высокопрочной арматуры диаметром 10 мм при температуре 400°C. Было установлено, что с увеличением усилия натяжения возрастает вероятность обрыва арматуры (возрастает степень поврежденности металла).

На основании результатов моделирования были проведены испытания на растяжение образцов высокопрочной арматуры из стали марки 80P диаметром 10 мм при температуре 400°C в условиях, имитирующих процесс стабилизации. Испы-

тания проводились при различном усилии натяжения для того, чтобы придать образцам различную степень деформации (0,60 и 5,72%). После этого были проведены испытания на разрыв в холодном состоянии данных образцов для определения механических свойств. Результаты испытаний представлены в таблице.

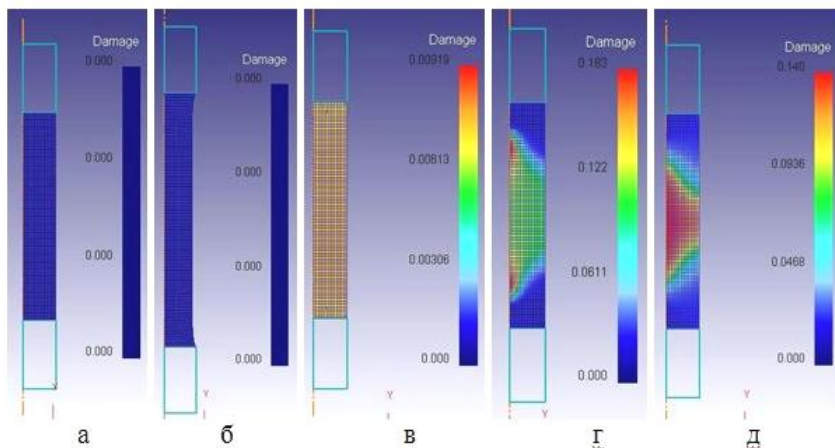


Рис. 3. Степень поврежденности металла при стабилизации высокопрочной арматуры при различном усилии натяжения, Н: а – 19600; б – 39200; в – 58800; г – 63700; д – 68600

Из приведенных в таблице данных следует, что при проведении стабилизации прочностные свойства стали марки 80P несколько понижаются по сравнению с исходным состоянием, при этом различная степень деформации практически не оказывает влияния на их изменение. Пластические свойства изменяются в большей степени. Относительное удлинение стали марки 80P в процессе стабилизации увеличивается в 4-5 раз по сравнению с исходным состоянием. При этом относительное удлинение уменьшается на 22% (относительная величина) при увеличении степени деформации с 0,60 до 5,72%.

Механические свойства образцов высокопрочной арматуры из стали марки 80P

Степень деформирования образца, %	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_{10} , %
Исходное состояние	1456,37	1620,89	2,16
0,60	1380,98	1572,18	10,61
5,72	1417,41	1563,15	8,32

Результаты проведенных испытаний позволяют сделать предположение о том, что при стабилизации высокопрочной арматуры целесообразным является использование такого усилия натяжения, при котором будет обеспечиваться минимальная степень деформации.

Однако для определения рациональной степени деформации при проектировании режимов стабилизации необходимо знать ее влияние на изменение релаксационной стойкости готовой арматуры. Поэтому для назначения технологических режимов операции стабилизации высокопрочной арматуры необходимо проведение испытаний на релаксационную стойкость образцов высокопрочной арматуры после различных режимов стабилизации. Кроме того, остается открытым вопрос о рациональном сочетании технологических факторов операции стабилизации: усилия натяжения и температуры отпуска.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13.G25.31.0061).

Список литературы

1. Лебедев В.Н. Опыт освоения производства высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 74–77.
2. Юхвец И.А. Производство высокопрочной проволочной арматуры. М.: Металлургия, 1973. 264 с.
3. Никифоров Б.А., Харитонов В.А., Киреев Е.Н. Производство высокопрочной арматурной проволоки: учеб. пособие. Свердловск: УПИ им. С.М. Кирова, 1982. 96 с.
4. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М.: Металлургия, 1972. 320 с.
5. Лебедев В.Н., Корчунов А.Г., Чукин М.В. Производство высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Металлургия. 2011. №1. С. 75–79.

Bibliography

1. Lebedev V.N. Experience in the development of production of high-strengthrein stabilized reinforcing for concrete sleepers a new generation // Vestnik MSTU of G.I. Nosova. 2010. Number 2. P. 74-77.
2. Yuhvets I.A. Production of high-strength wire reinforcement. M: Metallurgiya, 1973. 264 p.
3. Nikiforov B.A., Kharitonov V.A., Kireev E.N. Production of high-strength reinforcing wire: studies allowance. Sverdlovsk, UPI named S.M. Kirova, 1982, 96 p.
4. Babich V.K., Gyl Yu.P., Dolzenkov I.E. Deformation aging of steel. Moscow: Metallurgiya, 1972. 320 p.
5. Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. Production of high-strength stabilized reinforcing steel for concrete sleepers of new generation // Metallurg. 2011. Number 1. P. 75-79.