

---

УДК: 693.554:681.12.08:620.172

**О ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОЙ АРМАТУРЫ  
НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ**

**д.т.н., проф. В.И. Большаков, д.ф.м.н, проф. Г.М. Воробьев,  
соиск. А.О. Чайковская.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры»*

**ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с требованиями нормативной документации контроль механических свойств термически упрочненной арматуры производится методом испытания натуральных образцов на растяжение согласно ДСТУ 3760:2006, ГОСТ 12004. При этом расходуется от 1,33(диаметр 12 мм) до 5,77 (диаметр 25 мм) кг. арматуры от каждой контролируемой партии. Кроме расхода металла следует учитывать затраты по отбору проб, изготовлению и подготовке образцов, непосредственно на проведение испытаний. В [1] предложен способ определения механических свойств металла путем идентификации изображения его структуры с дальнейшей оценкой структурных составляющих путем расчета фрактальной размерности, недостатком является сложность получения качественных изображений микроструктуры для получения оценки структурных составляющих.

Определение механических свойств термически упрочненной арматуры неразрушающим методом является актуальным поскольку позволяет экономить металл и уменьшить затраты на проведение испытаний.

Целью работы являлась разработка экономичного и простого способа определения механических характеристик термически упрочненной арматуры.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Материалом для исследования служили арматурные стержни диаметром 12, 14, 16, 18, 20, 22 и 25мм, производства Арселор Миттал Кривой Рог упрочненные на различные уровни прочности.

Обычно для определения механических свойств термически упрочненной арматуры проводят испытание на растяжение натуральных образцов длиной 380-420 мм, таким образом, после проведения испытаний определенное количество готового проката идет в металлолом. На основании проведенных исследований предлагается определение прочности проводить измерением ширины наружного кольца термически упрочненной арматуры образующегося в результате различной травимости структурных составляющих наружной и внутренней зон. Для этого используются натурные образцы длиной 15-20 мм из которых изготавливают шлифы, что значительно меньше по сравнению с количеством металла расходуемого на проведение

статических испытаний на растяжение при определении механических свойств термически упрочненных арматурных стержней. Данная методика определения прочностных свойств позволит уменьшить расход металла и затраты на непосредственное проведение испытаний по существующей методике в соответствии с ГОСТ 12004-81. Измерение ширины наружного кольца можно проводить с помощью металлографических микроскопов или оптических приборов, на которых имеются микрометрические винты для перемещения столика для объектов (например – микротвердомер ПМТ - 3). Возможно применение эталонов на которых обозначена ширина наружного кольца для данного класса, соответствующая определенным значениям прочности для каждого диаметра термоупрочненной арматуры. В данном случае при определении предела прочности термоупрочненной арматуры на макрошлиф накладывается прозрачный эталон, изготавливаемый для данной марки стали и диаметра стержня, и сопоставляется ширина наружной зоны данного образца с размерами эталона далее определяется соответствие данному классу прочности.

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Проведенное исследование макро и микроструктуры на поперечных макро и микрошлифах выявило структурную неоднородность, сохраняющуюся даже после нагрева до температуры 650°C в течение 1 часа. Выявленная после глубокого травления макроструктура термоупрочненной арматуры исследуемых диаметров включает темный наружный ободок и более светлую внутреннюю кольцевую зону середины. Наружное кольцо образуется в результате закалки на мартенсит в охлаждающих устройствах стана и последующего его самоотпуска за счет тепла сердцевины после интенсивного охлаждения металла водой [2-3].

Наружный кольцевой слой в свою очередь может иметь одну или две зоны состоящие из основного и переходного слоев, обладающих различной твердостью (табл. 1). В зависимости от исследуемого диаметра термически упрочнённых арматурных стержней изменяются размеры (ширина) наружных колец и внутренней зоны.

В поверхностном слое стержней в результате ускоренного охлаждения, аустенит превращается в мартенсит, т.е. происходит закалка. После выхода стержней из устройства поверхностные слои претерпевают самоотпуск за счет тепла внутренней зоны. Продукты распада мартенсита сохраняют мартенситную морфологию. Характер микроструктуры металла поверхностного слоя одинаков для арматурных стержней исследуемых диаметров. В последующих слоях, располагающихся ближе к центральной части стержня, распад аустенита происходит во время выравнивания температуры по сечению стержня и приближенно носит изотермический

характер. В зависимости от продолжительности охлаждения и сечения стержней, структуры продуктов распада аустенита различаются.

Повышение интенсивности процесса упрочнения и снижения температуры конца ускоренного охлаждения сопровождается подавлением превращения аустенита по диффузионному механизму. При этом значительно возрастает доля формирующегося мартенсита и уменьшается степень его самоотпуска.

Размеры зон в наружном кольцевом слое

Таблица 1

D стержня, мм	Твердость HRB (HB)				
	Первая зона		Вторая зона		Центр (1/2 радиуса)
	основной слой	1-й переходны й слой	основной слой	2-й переходн ый слой	
12	98 (217)	90 (179)	-	-	85 (159)
14	99,5 (226)	98,5 (220)	98 (217)	86,5 (165)	81,5(147)
16	102 (241)	94 (201)	98 (217)	96 (209)	91 (183)
18	99 (223)	96,5 (210)	97 (212)	95 (207)	84 (156)
20	102 (241)	97 (212)	98 (217)	95,5 (208)	87 (167)
22	101,5 (237)	99 (223)	97,5 (215)	95 (208)	86 (163)
25	28HRC*( 277)	26,5HRC*( 265)	102 (241)	97 (212)	95 (208)

Примечание: \* - шкала С.

Комплекс свойств термомеханически упрочненного проката определяется процессами структурообразования в пластически деформированном аустените, которые, в свою очередь, оказывают влияние на протекание мартенситного превращения. Как показано в [4-6], пластическая деформация изменяет температуру начала мартенситного превращения. Увеличение степени деформации сдвигает точку мартенситного превращения в сторону более низких температур, способствуя формированию структурной неоднородности в термоупрочненном металле.

Исследованиями внутреннего строения термически упрочненной арматурной стали класса А500С показано, что по сечению формируется значительная структурная неоднородность [7].

Поверхностные слои металла представляют собой отпущенный реечный (пакетный) мартенсит. По границам сформированных реек мартенсита наблюдаются выделения высокодисперсных частиц цементита, вместе с

обнаруженными структурными образованиями, по внешним признакам подобными дислокационным ячейкам – указывают на развитие полигонизационных процессов, что свидетельствует о развитии процессов самоотпуска в результате нагрева металла от внутренних зон.

Внутренние зоны после упрочнения имеют феррито-перлитную структуру. Перлитные участки соседствуют с зернами феррита с развитой дислокационной субструктурой [8].

Глубина поверхностного слоя наружного темнотравящегося кольца зависит от интенсивности и времени охлаждения в охлаждающих устройствах (рис. 1, табл.2)



Рис. 1. Макроструктура арматуры стали 25Г2С, упрочненной на уровне прочности а)  $\sigma_B = 920$  Н/мм<sup>2</sup>; б)  $\sigma_B = 1070$  Н/мм<sup>2</sup>, в)  $\sigma_B = 1060$  Н/мм<sup>2</sup>

Связь размеров наружных зон с прочностью термически упрочненной арматуры

Таблица 2

D, мм	толщина кольца, мм	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	Марка стали
20	3,0	580	Ст3
	3,33	630	Ст3
	3,70	690	Ст3
	4,80	790	Ст3
25	2,57	920	25Г2С
	3,71	1070	25Г2С
	5,36	1260	25Г2С

Примечание: относительная ошибка определения  $\sigma_B$  –  $\pm 2\%$ .

### ВЫВОДЫ

Предлагаемая методика определения прочностных свойств позволит значительно уменьшить расход металла и затраты на непосредственное проведение испытаний по существующей методике в соответствии с ГОСТ 12004-81.

---

Предложенный способ позволяет оценивать механические свойства с высокой степенью оперативности и точности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Деклараційний патент на корисну модель 14183 України, G06K 9/00. Спосіб визначення якісних характеристик матеріалу/В.І. Большаков, Ю.І. Дубров, Т.С. Василенко, В.М. Волчук. – зареєстр. 12.09.2005; Опубл. 15.05.2006, Бюл.5.
2. Большаков В.И. О повторном нагреве термически упрочненной арматурной стали / В.И. Большаков, А.О. Чайковская // Металознавство та термічна обробка металів. – 2003. – №1-2 (20-21). – С. 62-70.
3. Большаков В.И. Исследование структурных зон, образующихся при термическом упрочнении стержневой арматуры / В.И. Большаков, В.А. Шеремет, А.О. Чайковская, И.А. Гунькин, В.М. Грачева // Сборник научных трудов: Строительство, материаловедение машиностроение. - Вып.32, часть 1. – Днепропетровск: ПДАБА, 2005 – С.81-84.
4. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов / М.Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1968. – 1171с.
5. Большаков В.И. Термическое упрочнение и контролируемая прокатка строительных сталей / В.И. Большаков. – Киев: УМКВО, 1991, - 434с.
6. Большаков В.И. Упрочнение строительных сталей / В.И. Большаков. – Днепропетровск: Січ, 1993. – 332с.
7. Вакуленко И.А. Структурообразование при термическом упрочнении низколегированной стержневой арматуры / Вакуленко И.А., Раздобреев В.Г., Чайковская А.О. – Сборник докладов 5-й Международной конференции «Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов». Под общей редакцией И.М. Неклюдова, В.М. Шулаева. – Харьков, 2004. – С.119-121.
8. Большаков В.И. Взаимосвязь структурной неоднородности термически упрочненной арматуры с изменением твердости по сечению стержней / В.И. Большаков, В.А. Шеремет, А.О. Чайковская, И.А. Гунькин, О.А. Чайковский / Сборник научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение - Вып. 36, ч.1. – Днепропетровск, ПГАСА, 2008. – С.159-167.