

рующей зондовой микроскопии // Кристаллография. 1997. Т. 42. № 4. С. 747–754. 2. Bhushan V., Fuchs H., Hosaka S. Applied Scanning Probe Methods. Springer. 2002. 475 p. 3. Арутюнов П.А., Толстихина А.Л., Демидов В.Н. Параметры шероховатости по данным измерений атомно-силового микроскопа // Микроэлектроника. 1998. Т. 27. № 6. С. 431–439. 4. Чижик С. А., Суслов А. А., Чикунов В. В., Шашолко Д. И. Атомно-силовой микроскоп НТ-206 с функцией нанотомографии. Базовая конструкция прибора // Каталог приборов, комплексов и установок, разработанных по Государственной научно-технической программе «Приборы для научных исследований», Мн. 2006. С. 35–40. 5. Чижик С. А., Шкадаревич А. П., Кузнецова Т. А., Курганович А. М. Оценка качества поверхностей лазерной оптики методом атомно-силового микроскопии // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии. Сб. докл. VII межд. семинара, ИТМО, Мн. 2006. С. 27–31. 6. SurfaceXplorer, <http://microtm.com/sx/sxr.htm>.

УДК 669.071

Мойсейчик Е.А.

МАКРОСТРУКТУРА АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В производстве стержневой арматуры для железобетонных конструкций прослеживается устойчивая тенденция к снижению расхода дорогостоящих легирующих элементов при одновременном повышении прочности проката. Основные поставщики арматуры на белорусский рынок (РУП «БМЗ», ОАО «ЗСМК», Челябинский МК и др.) высоких прочностных характеристик арматурного проката из углеродистых и низколегированных сталей достигают за счет его термообработки. В основе этого процесса лежит формирование требуемой структуры проката и свойств его составляющих, дислокационных субструктур в процессе температурно-временных воздействий в линии прокатных станов [1–3]. В отдельных исследованиях [4,5] установлено, что в результате термообработки арматуры по режиму прерывистой закалки в сечении стержней формируется градиентная структура в виде различных структурных слоев. Микроструктура слоев в направлении от поверхности к осевой зоне изменяется. Эти исследования [4], проведенные с использованием термически упрочненной на класс А500С арматуры из низкоуглеродистых сталей производства ОАО «ЗСМК», показали, что строение арматурных стержней зависит от диаметра стержня [4]. С увеличением диаметра от 12 до 22 мм растет и толщина упрочненных поверхностных слоев при сохранении структурных составов. Наличие в поперечном сечении арматурных стержней диаметром 16,20,22мм (материал арматуры- Ст3пс) и 40мм(сталь 18Г2С) структурной неоднородности подтверждают и исследования диаметрального распределения микротвердости. При этом максимальную твердость имеет приповерхностная часть арматурного стержня, а минимальную- центральный участок [4,5].

Поставляемая металлургами арматура в процессе изготовления железобетонных конструкций подвергается ряду технологических воздействий (резка, правка, пластическое деформирование, сварка и т.д.). При работе железобетонного элемента под нагрузкой происходит изменение первоначального структурно-фазового состояния арматуры. Длительные сроки эксплуатации железобетонных конструкций вследствие этого приводят к ухудшению механических характеристик арматуры [6].

Прочностные и деформационные характеристики отдельных слоев арматурных стержней определяют механические характеристики стержня в целом, существенно ска-

зываются на работе арматуры как в процессе изготовления железобетонных конструкций, так и при их нагружении [5-7].

Термическая обработка при прокатке приводит к формированию по сечению стержня участков с неодинаковыми механическими характеристиками. Так, при закалке образцов диаметром от 2 до 16мм существенно изменяется распределение микротвердости по сечению [7], что придает арматурным стержням новые свойства.

Из приведенных литературных данных неясно, как сказываются геометрические параметры арматурных стержней (наличие продольных ребер в арматуре или их отсутствие) на изменение микротвердости наружных и внутренних участков арматурных стержней различных диаметров, насколько коррелирует распределение микротвердости по поперечному и продольному сечениям арматуры, как изменяется распределение микротвердости в арматурных стержнях, прокатанных по различным технологиям. Для ответа на указанные вопросы в настоящей работе выполнено металлографическое исследование арматуры РУП БМЗ и Челябинского М.К.

Пробы для изготовления заготовок отбирались из трех партий стержневой арматуры (табл.1) на ОАО «Завод сборного железобетона №1» (г.Минск), из которых затем вырезали заготовки, темплеты и готовили шлифы. Подготовка проб производилась фрезой при малых оборотах и интенсивной подаче охлаждающей жидкости в зону реза. Структурную неоднородность выявляли по измерениям микротвердости прибором «Micromet-II» (свидетельство о поверке от 01.03.2006г.) с нагрузкой на призму 100 г в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76. Полученные результаты представляли в табличной (табл.2) и графической форме (рис.1). Макроструктура в поперечном и продольном сечениях арматурных стержней показана на рис.2. Микроструктура слоев арматурных стержней приведена на рис.3-7.

Таблица 1. Характеристики арматурных стержней

№ п.п.	Класс арматуры, марка стали	Ø, мм	Химический состав, %										Механические свойства				
			C *)	Si *)	Mn *)	P **	S **)	Cr *)	Ni *)	Cu *)	As *)	N2 **)	σт, Н/мм ²	σв, Н/мм ²	A5, %	Угол изг.	σт, Н/мм ²
1	Ат500С,	12	19	18	60	23	16	8	9	20	1	8	585,0	675,0	25,5	90	585,0
2	Ат500С,	25	18	19	58	9	16	13	10	21	1	9	550,0	660,0	20,5	90	550,0
3	А-III, 35ГС	32	34	51	112	27	16	4	4	4	-	-	430,0	690,0	27,0	90	430,0

Таблица 2. Изменения микротвердости и временного сопротивления слоев арматурных стержней

Диаметр стержня, мм	Интервалы изменения микротвердости по Виккерсу и временного сопротивления слоев стержней (слои отсчитываются от поверхности к сердцевине)									
	1 слой		2 слой		3 слой		4 слой		5 слой	
	HV	σв, МПа	HV	σв, МПа	HV	σв, МПа	HV	σв, МПа	HV	σв, МПа
12	200-275	680-930	187-225	630-760	160-210	540-710	155-200	530-680	140-160	480-540
25	185-215	630-730	150-215	510-730	135-190	460-650	140-160	480-540	130-160	440-540
32	190-245	650-830	190-240	650-810	175-225	590-760	170-200	580-680	160-190	540-650

Исследования макроструктуры поперечных и продольных сечений арматурных стержней показали, что в сечениях в процессе металлургической обработки формируется слоистый структурный (градиентный) состав. Приповерхностный слой состоит из продуктов отпуска

мартенсита, промежуточные слои - из отпущенного бейнита и феррита; срединный слой содержит вырожденный перлит и феррит с вкраплениями видманштеттвого феррита при больших диаметрах стержней. Толщины приповерхностного и промежуточных слоев меньше изменяются с ростом диаметра стержня, чем осевого слоя. Измерения микротвердости в поперечных и продольных сечениях подтверждают наличие слоистого строения у исследованных арматурных стержней. Эта закономерность подтверждается и микроструктурой различных участков арматурных стержней. На шлифах из проката арматурного и термомеханически упрочненного по ТУ РБ 04778771.001-97 производства РУП БМЗ можно выделить до пяти различных по механическим свойствам соосно расположенных слоев. На шлифах из стали горячекатанной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82 производства ОАО Челябинский МК число соосно расположенных слоев такое же.

Разброс величин микротвердости (временного сопротивления) для различных слоев термомеханически упрочненного проката колеблется в пределах 130...275(440...930МПа), а

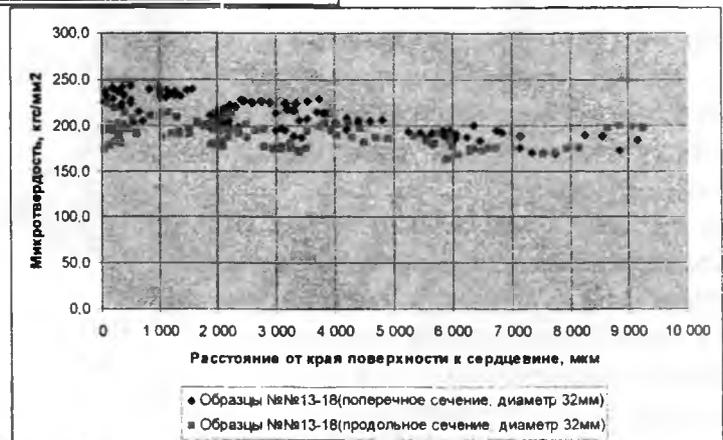
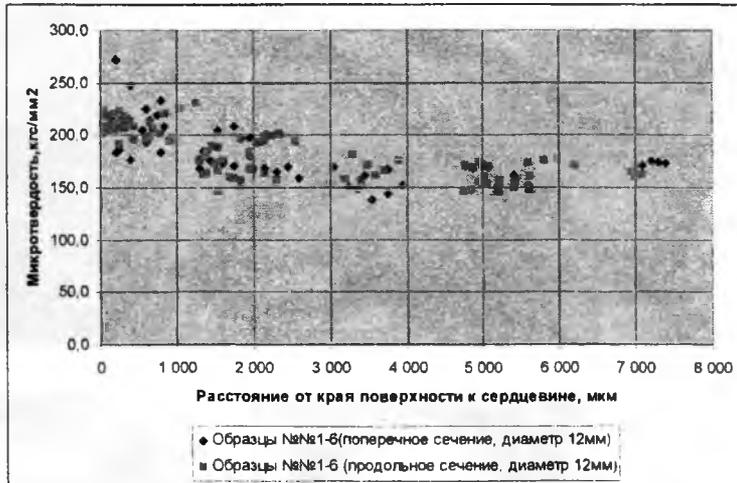
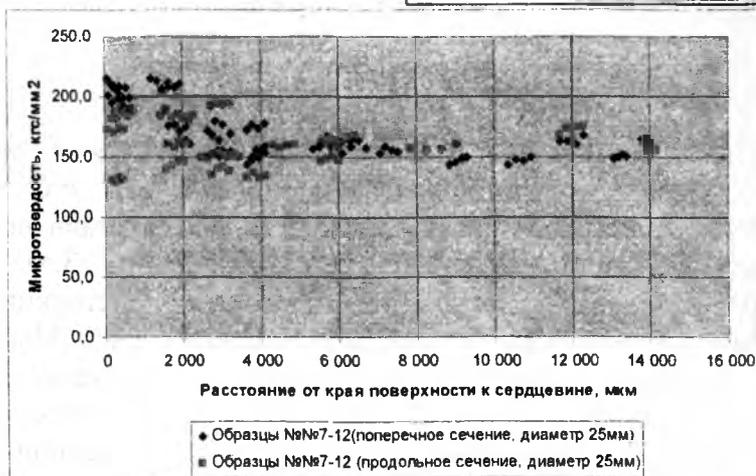


Рисунок 1 - Распределение микротвердости по поперечному сечению арматурных стержней



для горячекатаной арматуры 160...245(540...830МПа).

соответствующий интервал составляет

Выводы:

1. Прокат арматурный и термомеханически упрочненный по ТУ РБ 04778771.001-97 производства РУП БМЗ имеет слоистое строение с 5-ю соосно расположенными слоями, имеющими различные механические свойства, а арматурный стержень можно рассматривать как композитный стержень со слоистой структурой. Число соосно расположенных слоев в прокате из стали горячекатанной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82 производства ОАО Челябинский МК не превышает 5, но различия в значениях механических характеристик для этого проката существенно меньше, чем для проката термомеханически упрочненного производства РУП БМЗ. Величины микротвердости слоев, измеренные в поперечных и продольных сечениях одного и того же стержня, отличаются между собой.

2. Соотношения между временным сопротивлением слоев можно принимать в соответствии с таблицей 2.

3. При проектировании изделий из исследованных арматурных стержней, у которых более прочные слои располагаются в приповерхностной зоне, и расчетах элементов конструкций с их использованием следует учитывать повышенную чувствительность таких стержней к надрезам различной природы, изменения механических характеристик слоев при технологических и эксплуатационных температурных воздействиях, изменения прочности и деформативности в результате воздействия коррозионных сред.

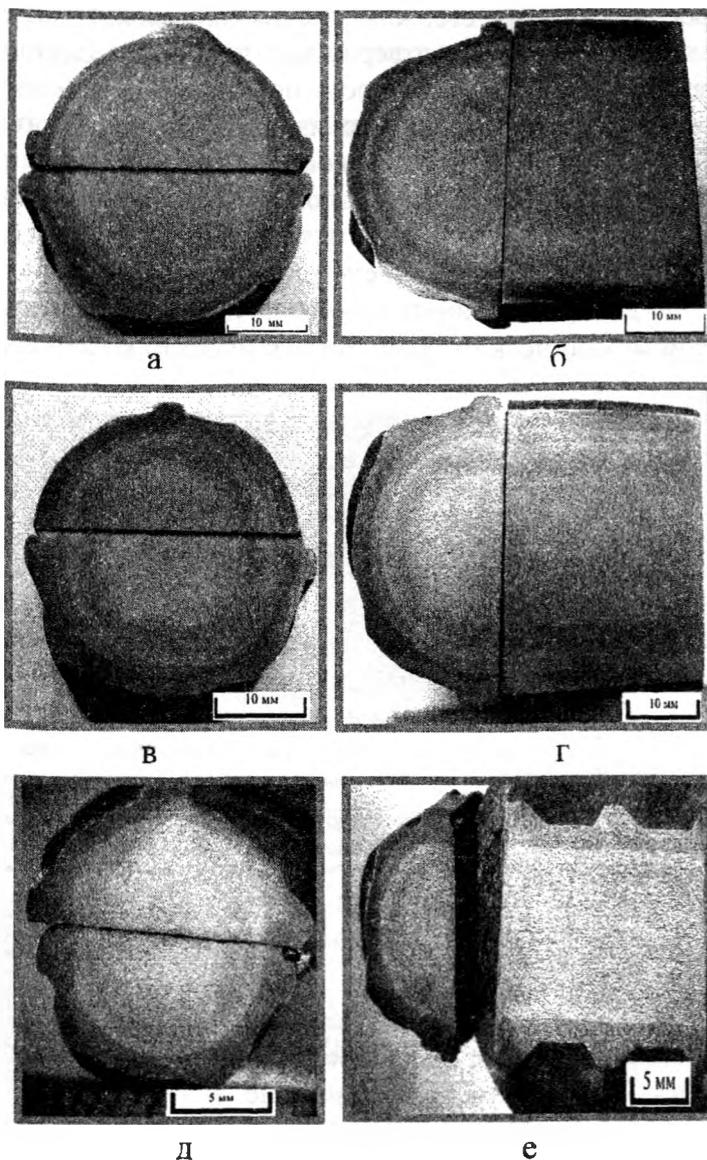
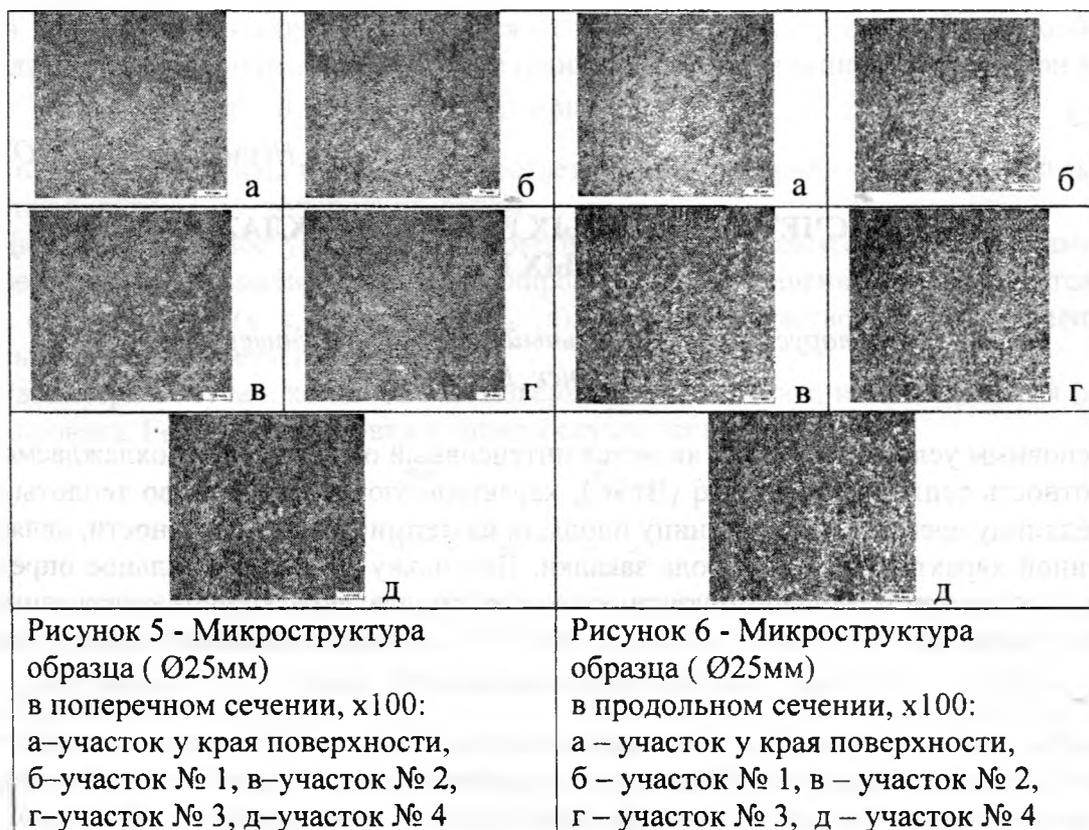
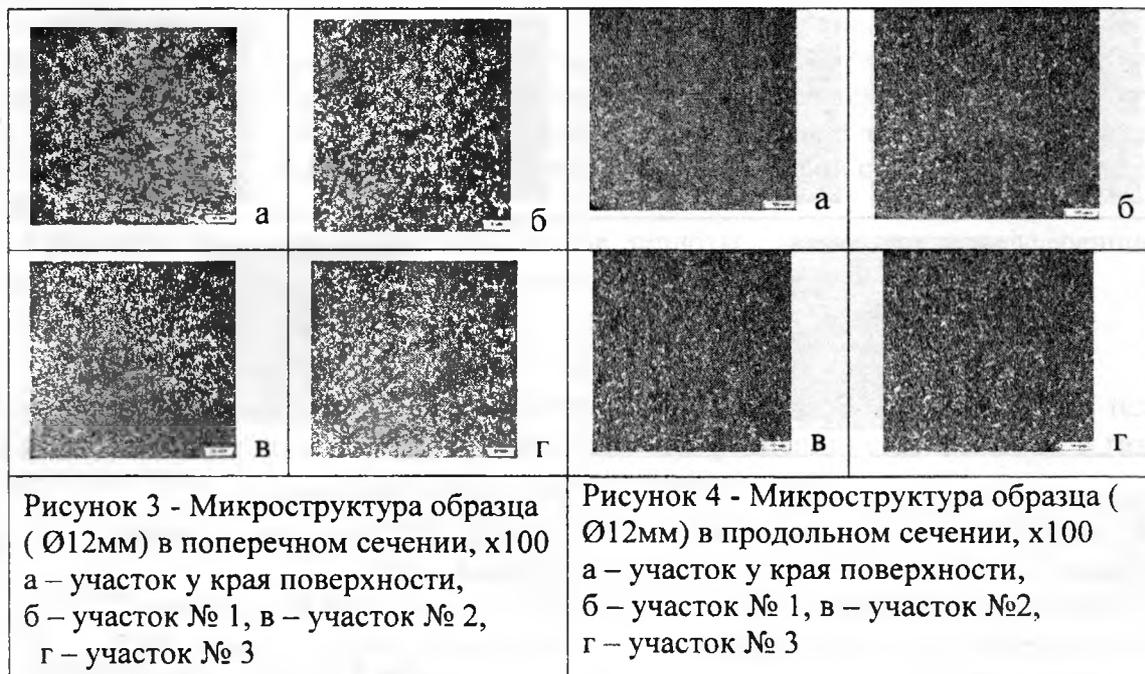


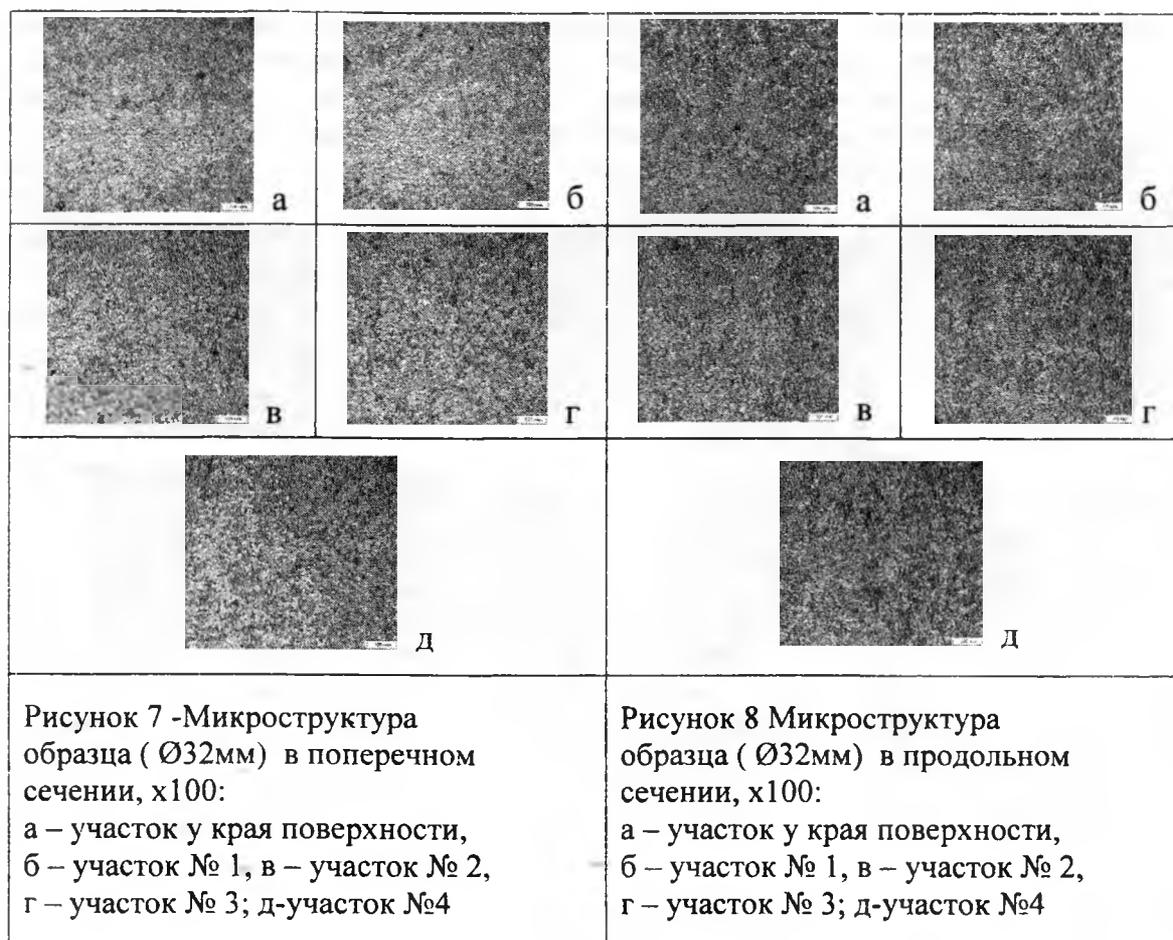
Рисунок 2 - Макроструктура арматуры: а,б - Ø32мм; в,г - Ø25мм; д,е - Ø12мм

ЛИТЕРАТУРА

1. Натапов А.С., Левченко Л.Н., Баскин С.Л. Производство эффективных арматурных профилей для железобетона.-М.:Металлургия,1992.-208с.
2. Айзатулов Р.С., Черненко В.Т.,Мадатян С.А. и др. Освоение массового производства арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона// Сталь. 1998. №6. С.53-58.
- 3.Мадатян С.А. Сталь класса А500С для нового поколения арматуры железобетонных конструкций// Национальная металлургия.-2002, №4.
- 4.Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я.,Ефимов О.Ю.,Мыскова Н.В., Прокофьева О.С. Структура термически упрочненной стержневой арматуры// Технология металлов.-2005,№9.-с.5-7.
5. Чинокалов В.Я., Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю.,Михаленко И.А., Мыскова Н.В. Прочность структурных слоев в сечении термически упрочненной арматуры// Технология металлов.-2005,№10.-с.15-18.
6. Микрюков В.П.,Юрьев А.Б.,Иванов Ю.Ф. Эво-

люция структурно-фазовых состояний арматуры в процессе эксплуатации//Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2006.№12.С.22-23. 7.Термическое упрочнение проката/ Стародубов К.Ф.,Узлов И.Г., Савенков В.Я.и др..-М.: Металлургия, 1970.-368с. 8. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Ч.2. Механические испытания. Конструкционная прочность.-М.:Машиностроение,1974.-368с





УДК 539.3

Неумержицкая Е.Ю.

МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ПЛАСТИН

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Основным условием закалки является интенсивный отвод тепла от охлаждаемого объекта. Плотность теплового потока q ($\text{Вт}/\text{м}^2$), характеризующая количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности, является количественной характеристикой метода закалки. Поскольку экспериментальное определение величины q сопряжено с большими трудностями, то определяют скорость охлаждения, которая пропорциональна плотности теплового потока. Согласно основному закону теплопроводности плотность теплового потока пропорциональна градиенту температуры $q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}$, где λ ($\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$) – коэффициент теплопроводности; $\partial t / \partial n$ – производная температуры по нормали n к изотермической поверхности (или температурный градиент); знак «минус» указывает, что векторы \vec{q} и $\text{grad } t$ лежат на одной прямой и направлены в противоположные стороны. Самой большей плотностью теплового потока будет та, которая рассчитана вдоль нормали к изотермическим поверхностям.