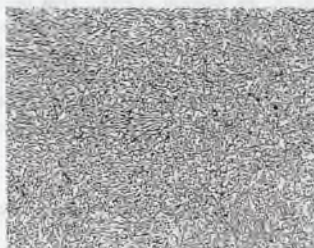


Рис. 2. Макроструктура арматуры №40

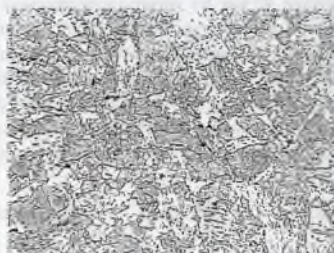
Таблица 1. Механические свойства и микроструктура арматуры №40

Микроструктура			Глубина слоев, мм			Механические свойства		
пов-ть	переходный*	осевая зона	пов-ть	переходный	сумма	$\sigma_{0.2}$ Н/мм ²	σ_t Н/мм ²	$\delta_5, \%$
$M_{отп}$	ФКС + $P_{пт}$	$P_c + \Phi$ $d_\Phi = 0,011$ мм	3,025	2,875	5,900	640	520	23

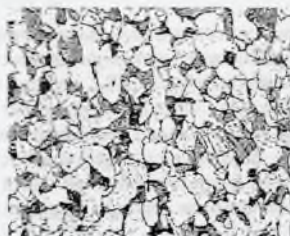
Примечания: 1) $M_{отп}$ – продукты отпуска мартенсита; ФКС – феррито-карбидная смесь; $P_{пт}$ – псевдоперлит; P_c – сорбитообразный перлит; Φ – феррит; 2) d_Φ – средний диаметр зерна феррита; 3) * – в переходном слое ближе к осевой зоне появляется перлит сорбитообразный



а) поверхностный слой



б) переходный слой



в) осевая зона

Рис. 3. Состав структурных слоев арматуры $\times 400$

Микротвердость арматурного стержня

Исследовали связь между структурой и твердостью в сечении арматурных стержней. Испытания на микротвердость проводили на приборе ПМТ-3 методом восстановленного отпечатка. Измерялась микротвердость вдоль радиуса торцевого сечения от поверхности к центру стержня. Длину диагонали отпечатка и число микротвердости определяли на системе анализа изображения SIAMS-700, определяя среднее из трех измерений одного отпечатка. Вычисления микротвердости по формуле:

$$H_{\mu} = 1854F/d^2,$$

где F — нормальная нагрузка, приложенная к алмазному наконечнику; d — среднее арифметическое длин обеих диагоналей квадратного отпечатка, мм.

Структурная неоднородность арматурного стержня подтверждается и неоднородностью распределения микротвердости (H_{μ}) по сечению. На рис. 4 приведено распределение величины микротвердости по сечению стержня (нагрузка на индентор составляла ~1 Н). Видно, что кривые условно можно разбить на три участка, длины которых приблизительно соответствуют толщинам структурных слоев.

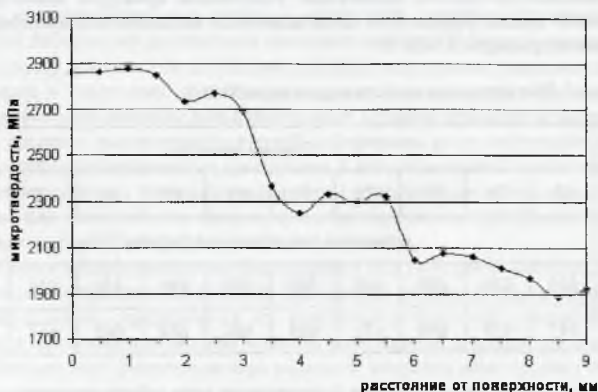


Рис. 4. Изменение микротвердости по сечению арматуры

По мере изменения структурного состава микротвердость снижается от максимальной на поверхности стержня (2900–2700 МПа) к переходному слою (2300–2250 МПа) и до минимальной (2000–1900 МПа) в осевой зоне. Это связано с появлением продуктов диффузионного превращения и увеличением их дисперсности на расстоянии ~2,8–6,0 мм от поверхности.

Расчет прочности стержня

Высокие значения (до 170 тс) усилий разрыва образцов арматуры крупного сорта при проведении аттестационных испытаний на растяжение вызывают преждевременный износ и выход из строя испытательного оборудования отечественного производства. Испытательные машины большой мощности импортного производства имеют чрезвычайно высокую стоимость (порядка 500–800 тыс. евро за единицу). В связи с этим, бы-

ла предпринята попытка оценки возможности проведения аттестационной оценки качества арматуры без испытаний на растяжение.

Как было показано в [2], прочностные характеристики слоев можно определить, исходя из условия, что усилие разрыва целого стержня равно сумме усилий, необходимых для разрыва каждого отдельного слоя.

Теоретическое значение временного сопротивления разрыву арматурного стержня рассчитывали по формуле:

$$\sigma_{\text{теор}} = \sum P_{\text{сл}}^i / F,$$

где $\sum P_{\text{сл}}^i$ – суммарное усилие разрыва структурных слоев; F – общая площадь поперечного сечения арматуры.

Усилие разрыва для каждого отдельного слоя определяли как:

$$P_{\text{сл}} = \sigma_{\text{сл}} \times F_{\text{сл}},$$

где $\sigma_{\text{сл}} = 0,37 \times HV_{\text{сл}} \times (1 - 1000 \times HV_{\text{сл}})$ – эмпирическое соотношение [3] между пределом прочности и твердостью структурного слоя ($HV_{\text{сл}}$); $F_{\text{сл}}$ – площадь структурного слоя в сечении стержня.

По данной методике были рассчитаны значения временного сопротивления разрыву промышленных партий термически упроченной арматуры диаметром 40 мм. Сравнительный анализ результатов аттестационных механических испытаний и полученных данных приведен в табл. 2.

Таблица 2. Механические свойства арматуры №40

Значения	Партии арматуры										
	63	70	56	79	73	81	57	61	68	83	66
	временное сопротивление разрыву, Н/мм ²										
факт	640	650	660	640	640	650	640	650	650	640	660
теор.	641	679	690	641	664	641	658	668	657	648	651

Таким образом, вклад каждого структурного слоя, сформировавшегося при термическом упрочнении, может быть количественно оценен и использован при расчетах прочности арматурных стержней.

Список литературы

1. Пат. 53192 Российская Федерация, МПК⁷ B21D 45/02. Устройство для термического упрочнения и гидротранспортирования прокатных изделий / А.Б. Юрьев [и др.]. – №2005139065/22; заявлено 14.12.05 ; опубл. 10.05.06, Бюл. 13. – С. 923.
2. Формирование и эволюция структурно-фазовых состояний и свойств сталей в современных технологиях обработки металлов давлением / А.Б. Юрьев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2003. – 347 с.
3. Дрозд, М.С. Определение механических свойств металла без разрушения / М.С. Дрозд. – М.: Металлургия, 1965. – 171 с.