

шивание осуществляют непосредственно перед подачей в горелочные устройства.

Для каждой отапливаемой  $i$ -ой зоны печи уравнения теплового баланса представляют в виде системы уравнений

$$\alpha_{1,i} Q_{n,пг}^p B_{пг,i} + \alpha_{1,i} Q_{n,дг}^p B_{дг,i} = Q_i(t_{зад,i}); \quad (5)$$

$$\alpha_{1,i} V_{пг,i} B_{пг,i} + \alpha_{1,i} V_{дг,i} B_{дг,i} = V_i(P_{зад,i}), \quad (6)$$

где  $B_{пг,i}$  и  $B_{дг,i}$  – расход природного и доменного газов в  $i$ -ой зоне соответственно;  $Q_{n,пг}^p$ ,  $Q_{n,дг}^p$  – теплота сгорания вышеуказанных компонентов топлива;  $Q_i(t_{зад,i})$  и  $V_i(P_{зад,i})$  – количество теплоты и объемный расход продуктов сгорания для заданных значений температуры и давления в  $i$ -ой зоне печи соответственно.

Регуляторы температуры и давления в зависимости от величины отклонения регулируемых параметров от заданного значения формируют управляющие воздействия  $Q(t_i)$  и  $V(P_i)$  для каждой зоны. Вычислительное устройство на основании уравнений (5) и (6) осуществляет корректировку задания регуляторам расхода природного и доменного газов.

Реализацию работы указанной системы автоматического управления осуществляют с использованием типовых микропроцессорных средств управления и возможности ее включения в АСУ ТП нагрева металла. Задание зонным регуляторам температуры и давления для каждого режима работы печи устанавливают в зависимости от информации о течении процесса и тепловом состоянии металла.

© 2012 г. М.П. Ревун, В.Ю. Зинченко, В.И. Иванов  
Поступила 2 ноября 2011 г.

УДК 669.15:539.12:621.771

**К.В. Волков<sup>1</sup>, В.Я. Чинокалов<sup>1</sup>, С.В. Коновалов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ АРМАТУРЫ ПРИ СЛИТТИНГ-ПРОЦЕССЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ТЕРМИЧЕСКОМ УПРОЧНЕНИИ

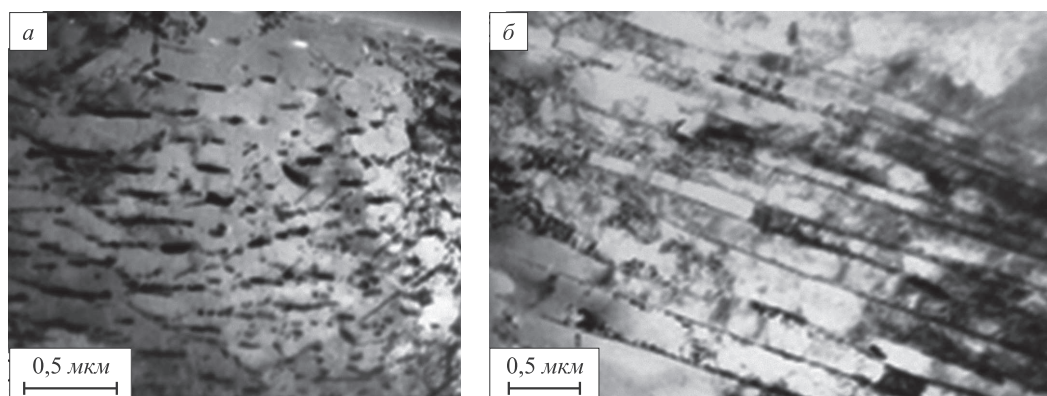
Одним из перспективных энергосберегающих методов прокатки арматурного профиля является слиттинг-процесс, обеспечивающий продольное разделение заготовки в процессе прокатки [1]. Знание закономерностей формирования структуры и фазового состава при прокатке-разделении и последующем упрочнении позволяет целенаправленно устанавливать оптимальные режимы обработок и формировать комплекс требуемых механических свойств [2, 3].

Для этих целей методами просвечивающей электронной микроскопии [4, 5] был проведен послойный анализ структуры, фазового состава и дефектной субструктуры стержневой арматуры из стали СтЗпс diam. 12 мм, полученной прокаткой на мелкосортном стане 250-1 по технологии продольного разделения раската и последующего термического упрочнения [6]. Технология прерванной закалки включала два последовательных цикла принудительного охлаждения (0,37 и 0,25 с в секциях 1 и 3 установки термического упрочнения под давлением воды 20 и 15 атм. соответственно) с промежуточным отогревом (0,37 с после секции 1). При такой обработке в сечении стержня формируется структурная неоднородность в виде ярко выраженного поверхностного слоя, переходных слоев

и осевой зоны, проявляющаяся в немономонном изменении микротвердости от 2900 МПа на поверхности до 2000 МПа в сердцевине.

Количественные результаты электронно-микроскопического анализа приведены в таблице. В осевой зоне формируются структуры феррита с сетчатой и фрагментированной дислокационной субструктурой, перлита и квазиперлита. Феррит содержит наноразмерные частицы цементита (20 – 30 нм) округлой формы. Структура слоя на глубине приблизительно 3 мм от поверхности термической обработки состоит из феррита пластинчатой (объемная доля примерно 65 %) и зеренной (объемная доля примерно 20 %) морфологии, а также пластинчатого псевдоперлита (объемная доля примерно 15 %) (см. рисунок, поз. а). Частицы карбидной фазы имеют глобулярную и игольчатую морфологию.

Слой на глубине приблизительно 2 мм от поверхности представлен тем же набором структур (см. таблицу), который дополняют области пакетного мартенсита с объемной долей примерно 7 %. С приближением к поверхности (в слое на расстоянии приблизительно 1 мм) содержание псевдоперлита уменьшается до 6 %, а пакетного мартенсита увеличивается до 17 % (см. рисунок, поз. б). Отличительной особенностью



Электронно-микроскопические изображения псевдо-перлита (а) и пакетного мартенсита (б)

## Изменение объемных долей структур по сечению арматуры

Расстояние от поверхности обработки, мм	Объемная доля, %, структуры				
	перлита пластинчатого	феррита пластинчатой морфологии	феррита зеренной морфологии	псевдо-перлита	мартенсита пакетного
Центр	18	52		30	–
3	–	65	20	15	–
2	–	61	20	12	7
1	–	46	31	6	17
Поверхность	–	–	–	–	100

пластинчатого феррита этого объема материала является образование зерен рекристаллизации. Структура поверхности представлена пакетным мартенситом, находящимся в отпущенном состоянии (мартенсит «самоотпуска») за счет аккумулированного объемом арматуры тепла, о чем свидетельствует пониженная (приблизительно  $5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ) скалярная плотность дислокаций (в два раза меньшая, чем у закаленного мартенсита [6]).

Механические свойства арматуры, полученные при прокатке-разделении и последующем термическом упрочнении, соответствуют ТУ 14-1-5254–94 для класса прочности А500С.

Выражаем благодарность Ю.Ф. Иванову за проведение электронно-микроскопического анализа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фастыковский А.Р., Волков К.В., Перетятыко В.Н. и др. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 10. С. 18 – 21.
2. Волков К.В., Марьин Б.Н., Ким В.А. и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 9. С. 36 – 39.
3. Волков К.В., Марьин Б.Н., Ким В.А. и др. // Заготовительные производства в машиностроении. 2010. № 12. С. 45 – 48.
4. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.
5. Эндрюс К., Дайсон Д., Киоун С. Электронограммы и их интерпретация. – М.: Мир, 1971. – 256 с.
6. Ефимов О.Ю. Структурно-фазовые состояния и технология производства упрочненной стальной арматуры и чугунных валков. – Новокузнецк: Изд-во НПК, 2008. – 300 с.

© 2012 г. К.В. Волков, В.Я. Чинокалов,  
С.В. Коновалов  
Поступила 5 мая 2012 г.