

Сверхвысокие скорости охлаждения сказываются на размерных характеристиках формирующейся структуры. Наряду со структурой ячеистой кристаллизации, содержащей наноразмерные кристаллы мартенсита, в поверхностном слое выявляются зерна со структурой пакетного мартенсита, поперечные размеры кристаллитов которых изменяются в пределах от 85 нм до 220 нм, что близко к поперечным размерам кристаллов мартенсита стали, закаленной с печного нагрева.

Увеличение плотности энергии пучка электронов до 20 Дж/см² (и до 30 Дж/см²) приводит к формированию в поверхностном слое морфологически и размерно однородной мартенситной структуры, а именно, пакетного мартенсита. Размеры пакетов (ячеек кристаллизации) изменяются в пределах (0,8...1,0) мкм; поперечные размеры кристаллов мартенсита (80...200) нм. В небольшом количестве выявляется пластинчатый мартенсит. Следует отметить, что при закалке с печного нагрева в воде или масле в стали с содержанием углерода более 0,6 вес. % формируется преимущественно пластинчатый двойникованный мартенсит. Формирование преимущественно пакетного мартенсита в поверхностном слое стали может быть связано как с высокой скоростью закалки, реализующейся при электронно-пучковой обработке стали, так и с обезуглероживанием расплава поверхностного слоя в результате формирования частиц графита. Частицы графита (участки, обогащенные углеродом) были выявлены методами сканирующей электронной микроскопии. При электронно-микроскопическом микродифракционном анализе структуры стали методом тонких фольг частицы графита также обнаруживаются по границам и в стыках границ ячеек кристаллизации (размеры частиц изменяются в пределах 70...145 нм).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт №02.740.11.0538 и заявка 2012-1.1-12-000-2003-6211).

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ АРМАТУРЫ ПРИ СЛИТТИНГ-ПРОЦЕССЕ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ ТЕРМОУПРОЧНЕНИИ

**Волков К.В., Чинокалов В.Я., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф.,
Мясникова В.И., Громов В.Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия,
gromov@physics.sibsiu.ru*

**Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия,
yufi@mail2000.ru*

Перспективным энергосберегающим методом прокатки арматурного профиля является слиттинг-процесс, обеспечивающий продольное разделение заготовки в процессе прокатки. Знания закономерностей формирования структуры и фазового состава при прокатке – разделении и последующем упрочнении позволяют целенаправленно устанавливать оптимальные режимы обработок и формировать комплекс требуемых механических свойств [1].

Для этих целей методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии был проведен послойный анализ структуры, фазового состава и дефектной субструктуры стержневой арматуры диаметром 12 мм из стали СтЗпс, полученной прокаткой на мелкосортном стане 250-1 по технологии продольного разделения раската и последующего термического упрочнения [2]. Технология прерванной закалки включала два последовательных цикла принудительного охлаждения (0,37 и 0,25 с в 1 и 3 секциях установки термоупрочнения под давлением воды 20 и 15 атм. соответственно) с промежуточным отогревом (0,37 с после 1 секции). Обработка сформировала в сечении стержня структур-

ную неоднородность в виде ярко выраженного поверхностного слоя, переходных слоев и осевой зоны и проявляющуюся в изменении микротвердости от 2900 МПа на поверхности до 2000 МПа в сердцевине.

В осевой зоне формируется структура феррита с сетчатой и фрагментированной дислокационной субструктурой, перлита и квазиперлита. Феррит содержит наноразмерные частицы цементита (20-30 нм) округлой формы. Структура слоя на глубине ~3 мм от поверхности термообработки состоит из феррита пластинчатой (объемная доля ~65%) и зеренной морфологии (~20%) и пластинчатого псевдоперлита (~15%). Частицы карбидной фазы имеют глобулярную и игольчатую морфологию.

Слой на глубине ~2 мм от поверхности представлен тем же набором структур, который дополняют области пакетного мартенсита с объемной долей ~7%. С приближением к поверхности содержание псевдоперлита уменьшается до 6% в слое на расстоянии ~1 мм, а пакетного мартенсита увеличивается до 17%. Отличительной особенностью 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 скалярная плотность дислокаций $\sim 5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, в 2 раза меньшая, чем у закаленного мартенсита [2]. Механические свойства арматуры, полученные при прокатке-разделении и последующем термоупрочнении, соответствуют ТУ 14-1-5254-94 для класса прочности А500С.

1. Фастыковский А.Р., Волков К.В., Перетяtko В.Н. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2011. №10. – С. 18-21.
2. Ефимов О.Ю. Структурно-фазовые состояния и технология производства упрочненной стальной арматуры и чугунных валков. – Новокузнецк: Изд-во НПК, 2008. – 300 с.

ИСТОЧНИКИ ДАЛЬНОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ДЕФОРМАЦИИ

Коваленко В. В., Громов В. Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия
viktor.kovalenko_76@mail.ru.*

Условия эксплуатации валка привели к созданию значительных внутренних напряжений. Их действие проявляется в появлении изгиба-кручения кристаллической решетки α -фазы. При электронно-микроскопическом исследовании он проявляется в виде экстинкционных контуров, толщина которых обратно пропорциональна изгибу-кручению кристаллической решетки.

Известно, что изгиб-кручение решетки может быть пластическим и упругим. В первом случае он обусловлен дислокационными зарядами, т.е. избыточной плотностью дислокаций, локализованной в некотором объеме материала. Во втором - нерелаксированными упругими напряжениями, накопленными из-за несовместности деформации, например, зерен, матрицы металла и недеформируемых частицами. Возможен и упруго-пластический изгиб, когда в материале присутствуют оба источника полей.

В исследуемом материале изгиб-кручение кристаллической решетки в основном упругого происхождения. Он обусловлен несовместностью деформации карбидной фазы и α -матрицы.

Методом электронной дифракционной микроскопии выявлены высокие значения величин $\langle \chi \rangle$ и $\chi_{\text{упр}}$. Они выше, чем во многих случаях пластически деформируемой стали.