

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА
НА ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННОГО
АРМАТУРНОГО ПРОКАТА**

В. И. Большаков, д. т. н., проф., А. О. Чайковская, соиск.

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Введение.

Термомеханической обработке с прокатного нагрева в потоке прокатного стана подвергается широкий сортамент углеродистых и низколегированных сталей. При этом по сечению проката формируется слоистая структура [1-3].

Соотношение толщин слоев по сечению термически упрочненных стержней определяет свойства проката, его эксплуатационную надежность. Образование структуры, переход от одного структурного слоя к другому, толщина слоев в конечном итоге определяется температурой охлаждения и устойчивостью аустенита.

Формирование по сечению арматурных стержней структуры при применении прерванной закалки происходит при сохранении определенного запаса тепла, зависящего от температуры конца охлаждения и массы изделия. Превращенные объемы аустенита подвергаются отпуску разной продолжительности, происходящему при различных температурах и скоростях нагрева.

Исследования влияния отпуска на структуру и свойства термоупрочненной арматуры позволят уточнить температурный интервал допустимого снижения прочностных характеристик при электронагреве для предварительно напряженного железобетона, сварки, определить термическую устойчивость при отпуске структурных составляющих.

Целью настоящей работы являлось изучение структурных зон, образующихся при термическом упрочнении арматуры класса А500С и после повторного нагрева.

Материал и методика исследования.

Материалом исследования служила стержневая арматура производства ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» изучение структуры проводили методами электронной микроскопии по методике описанной в [4].

Результаты исследований и их обсуждение.

В результате термического упрочнения арматуры в потоке прокатного стана с нагрева под прокатку по сечению стержней от поверхности к центру образуются структуры сформированные по сдвиговому механизму до диффузионного превращения. Ранее было показано [1], что независимо от диаметра стержневой арматуры на поверхности формируются структуры мартенситного типа, а далее при удалении от поверхности через ряд сложных структурных образований с различным фазовым составом дисперсностью, и морфологией карбидных частиц до феррито-перлитной смеси. Диаметр стержневого проката оказывает, в основном, влияние на толщину того или

иноного слоя проката с характерными признаками расстояния удаления его от поверхности.

В настоящем исследовании представляет определенный интерес влияние повторного нагрева на комплекс свойств в слое металла с бейнитно-ферритными структурами.

Структура расположенная вблизи оси стержня, состоит, из участков подобных эвтектоиду и зерен структурно свободного феррита, в которой располагаются цементитные частицы с изменяющейся морфологией от тонких прерывающихся пластинок до частиц размером 0,05-0,1 мкм (рис. 1).



Рис. 1. Микроструктура арматуры D22 мм срединные слои стержня. $\times 18000$

При этом расстояние между карбидными частицами изменяется в интервале значений 0,1 - 0,2 мкм. Сравнительный анализ плотности дефектов кристаллического строения показывает различное количество дислокаций в структурных составляющих. В участках бейнита плотность дислокаций выше по сравнению с объемами эвтектоида (перлита), хотя абсолютные значения все же остаются на высоком уровне.

Анализ внутреннего строения стали после отпуска до 350°C не выявил изменений при исследовании структуры как под световым, так и электронном микроскопами. Незначительное повышение прочностных свойств при отпуске в указанном интервале температур обусловлено развитием процессов старения в твердом растворе. Обусловлено указанное положение пересыщением атомами углерода ферритной фазы как входящей в состав эвтектоида, так и в виде структурно свободных зерен.

Отпуск при температурах 400 - 450°C сопровождается незначительным снижением плотности дислокаций, как в рейках бейнита, так и в феррите эвтектоида. В областях бейнита с повышенной концентрацией дислокаций обнаруживаются высокодисперсные выделения карбидных частиц (рис. 2).

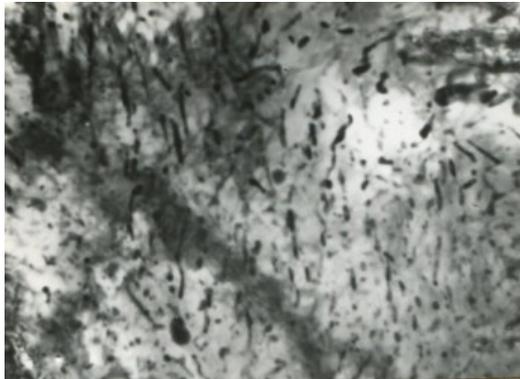


Рис. 2. Микроструктура арматуры D22 мм переходный слой, отпуск 450°C., $\times 18000$

Наблюдаемая начавшаяся перестройка дислокационной субструктуры объясняет развитие процессов разупрочнения по сравнению с более низкой температурой отпуска.

При температурах отпуска 500 – 550°C значительного ускорения получают процессы полигонизации и в первую очередь в бейнитных участках (рис. 3) начинается формирование ячеек полигональной формы, которые разделяются границами различной степени совершенства. Внутренние объемы указанных образований обладают достаточно низкой плотностью дислокаций.



Рис. 3. Микроструктура арматуры D22 мм переходный слой, отпуск 550°C., $\times 18000$

В участках эвтектоида, получают достаточное развитие процессы сфероидизации и коалесценции карбидной фазы (рис. 4).



Рис. 4. Микроструктура арматуры D22 мм переходный слой, отпуск 550°С., ×18000

Освободившиеся при этом дислокации за счет перехода от распавшихся границ в матрицу, начинают перераспределяться приводя к формированию полигональных дислокационных сеток и новых субграниц. На фоне наблюдаемых процессов структурных изменений снижения общей плотности дислокаций, сфероидизация и коалесценция оказывают подавляющее влияние на изменение прочностных и пластических свойств металла.



Рис. 5. Микроструктура арматуры D22 мм переходный слой, отпуск 650°С., ×18000

Проведенные микроструктурные исследования позволили выявить признаки ускорения развития процессов полигонизации, которые способствуют снижению скорости аннигиляции дислокаций в процессе нагрева стали, подавляя разупрочнение, что является основной причиной задержки уменьшения прочности.

Рост температуры отпуска до 600 - 650°C приводит к развитию процессов полигонизации и началу формирования рекристаллизованных структур в бейнитных участках. Продолжение коалесценции карбидных частиц как в бейните, так и в феррите эвтектоида приводит к существенному их округлению (рис. 5).

Располагающиеся глобулы по границам зерен феррита образуют цепочки, которые способствуют дополнительному торможению процесса перемещения границ при рекристаллизации. Наблюдаемые структурные изменения вполне соответствуют характеру изменения свойств проката.

Выводы.

Совместный анализ полученных результатов указывает, что исходное структурное состояние оказывает существенное влияние на изменение свойств низкоуглеродистого термически упрочненного стержневого проката. Особенности структурных изменений при отпуске металла объясняют характер снижения прочностных свойств в зависимости от температуры отпуска. Так, при одинаковых условиях нагрева наибольшие изменения свойств при отпуске наблюдаются в поверхностных слоях стержней с мартенсистой структурой. Различия в термической стабильности мартенсистой, бейнитной или перлитной (эвтектоид с различной морфологией карбидной фазы) обусловлены особенностями механизмов их формирования. Это приводит к различиям по фазовому составу, морфологии, дисперсности карбидной составляющей, степени пересыщения атомами углерода твердого раствора, формируемой плотности дефектов кристаллического строения.

Использованная литература

1. Большаков В.И. Исследование структурных зон образующихся при термическом упрочнении стержневой арматуры / Большаков В.И., Шермет В.А., Чайковская А.О., Гунькин И.А., Грачева В.М. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов / ПГАСА, - Днепропетровск, 2005. - Вып. 32, ч.1, С. 81-85.
2. Одесский П.Д. О теоретических основах повышения прочности арматурной стали нового поколения / Одесский П.Д., Зборовский П.А., Абашева Л.П. // Бетон и железобетон. – 1997. - №1. – С. 5-8.
3. Кугушин А.А. Высокопрочная арматурная сталь / Кугушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В. и др. авторы – М.: Металлургия, 1986. – 272 с.
4. Большаков В.И. Электронномикроскопическое исследование структуры и свойств термически упрочненной арматуры после повторного нагрева / Большаков В.И., Сухомлин Г.Д., Чайковская А.О. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов / ПГАСА, - Днепропетровск, 2009. - Вып. 48, ч.3, С. 66-71.
5. Большаков В.И. Взаимосвязь структурной неоднородности термически упрочненной арматуры с изменением твердости по сечению стержней / Большаков В.И., Шермет В.А., Чайковский А.О., Гунькин И.А., Чайковская А.О. // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. трудов / ПГАСА, - Днепропетровск, 2006. - Вып. 36, ч.1, С. 159-167.