

Исследование влияния параметров нагрева на размер зерна конструкционной стали различной степени чистоты

Рудь Е.В. (ТО-09М)*

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время все большее развитие получают технологии производства металлопроката, в том числе и из непрерывнолитой заготовки, с применением различных вариантов внепечной обработки жидкого металла. При этом снижение загрязненности стали неметаллическими включениями и вредными примесями следует рассматривать как одно из направлений повышения надежности деталей машин и механизмов. Вместе с тем более чистый металл может иметь большую склонность к росту аустенитного зерна, поскольку в нем в меньшей мере проявляется сдерживающее влияние включений, в частности нерастворимых в аустените оксидов и сульфидов, выделяющейся в виде структурно-свободной составляющей меди, на миграцию зеренных границ. Известно, что в крупнозернистой стали порог хладноломкости находится выше, чем в мелкозернистой, что существенным образом сказывается на ударной вязкости и склонности к хрупкому разрушению. Все это вызывает необходимость уточнения параметров как предварительной, так и упрочняющей тепловой обработки готовых изделий.

В работе изучали влияние температуры нагрева при нормализации и закалке на размер зерна в сортовом прокате из среднеуглеродистой стали, выплавленной в мартеновской печи по традиционной технологии и с использованием установки "ковш-печь". Исследования проводили на образцах из углеродистой конструкционной улучшаемой стали, по химическому составу соответствующей стали 45 (сталь без дополнительной обработки содержала 0,48% С, 0,35% Si, 0,020% P, 0,035% S, 0,20% Cr, 0,17% Cu, а после установки "ковш-печь" - 0,46% С, 0,17% Si, 0,007% P, 0,011% S, 0,18% Cr, 0,11% Cu). Дилатометрическим методом на стандартных образцах были определены критические точки при нагреве (скорость нагрева не превышала 200 °С/час), значения которых для стали традиционной выплавки составили $A_{c1}=740$ °С, $A_{c3}=790$ °С, а для стали с обработкой в установке "ковш-печь" - $A_{c1}=710$ °С, $A_{c3}=760$ °С. Образцы нагревали до температур в интервале 730...1100 °С с шагом 20 °С ($\Delta T_n = 20...300$ °С) с последующим их охлаждением на воздухе и в воде. Зеренную структуру выявляли травлением металлографических шлифов подогретым пересыщенным водным раствором пикриновой кислоты или 4% спиртовым раствором азотной кислоты. Средний размер зерна оценивали по эталонным шкалам, а также определяли методом секущих. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы "Table Curve".

* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ФМ Конарев В.Г.

Установлено, что достаточно точно зависимость диаметра зерна (d_3) от температуры нагрева (T) и степени перегрева (ΔT) описывается уравнением экспоненциального типа $d_3 = a + b \cdot \exp(T/C)$, что согласуется с литературными данными.

Были получены следующие математические зависимости:

- для стали без обработки в установке "ковш-печь"

$$d_3 = -90,5 + 12,9 \cdot \exp(T/370,3) \pm 15;$$

- для стали с обработкой в установке "ковш-печь"

$$d_3 = -27,8 + 1,31 \cdot \exp(T/219,8) \pm 15.$$

Представленные зависимости характеризуются достаточно высокими коэффициентами детерминации, значения которых свидетельствуют о том, что практически 90% изменений диаметра зерна связаны с температурой.

В качестве сравнительной характеристики склонности к росту зерна сталей разного производства использовали показатель экспоненты (T/C), который имеет меньшие значения для стали мартеновской выплавки (или же большие значения коэффициента C). В то же время анализ непосредственно графических зависимостей позволяет сделать вывод о более сложном характере изменения размера зерна от температуры нагрева и уровня чистоты стали. При этом, если зерно 7-8 номера получено в стали после установки "ковш-печь" при нагреве до ~ 840 °С, то зерно такого же размера без применения такой обработки сохранилось до $860 \dots 880$ °С. Определенная тенденция к формированию более мелкого зерна в стали мартеновской плавки продолжает наблюдаться еще при нагреве до $900 \dots 920$ °С (зерно не менее 6-5 номера по сравнению с зерном 5-4 номера после "ковш-печь"). При последующем повышении температуры выше 940 °С размер зерна практически не зависит от степени чистоты стали и соответствует 4-3 номеру, хотя скорость роста в стали без внепечной обработки несколько ниже. Следует обратить внимание на более равномерное распределения зерен по размерам в стали повышенной чистоты во всем исследованном интервале температур нагрева.

Указанные особенности изменения размера зерна в соответствии с современными научными представлениями связывают с существованием двух типов механизмов их роста: один из которых, преимущественно характерный для высоких температур, предполагает диффузионное перемещение границ более крупных зерен в сторону мелких и второй, объясняющий укрупнение зерен как результат слияния нескольких мелких путем аннигиляции дислокаций, собранных на границах. Два механизма роста зерна в конструкционных сталях наблюдаются чаще всего при температурах образования гомогенного аустенита, поскольку наличие второй фазы, например, карбидных, нитридных и подобных им включений, являющихся своеобразными барьерами, замедляет рост в высокотемпературной области

Таким образом экспериментально подтверждено влияние степени чистоты стали на размер зерна и показан немонотонный характер изменения зеренной структуры в зависимости от температурного интервала нагрева.