

УДК 621.111

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТА «РОМБИЧНОСТЬ» В  
НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКЕ

Е.Н. Смирнов, В.А. Складар

Донецкий национальный технический университет

*Наведена методика технологічного прогнозування виникнення дефекту «ромбічність» у безперервнолитої заготовки. За допомогою математичного моделювання отримані залежності впливу параметрів розливання на її фізико-геометричний і напружено-деформований стан.*

Одним из дефектов формы непрерывнолитой заготовки, который создает существенные проблемы при ее последующей прокатке, является «ромбичность» [1]. Данный дефект проявляется в виде искажения геометрической формы поперечного сечения непрерывнолитого слитка при котором появляется разность диагоналей. При прокатке непрерывной заготовки с вышеназванным дефектом формы наблюдается нестабильность геометрических размеров и искажение формы подката, что является причиной потери устойчивости последнего, большого износа валков и образования угловых трещин. В следствии этого, расходный коэффициент при производстве крупносортного проката из такой заготовки может повышаться с 1,08 до 1,140 – 1,160.

Как показывает практический опыт, чаще всего дефект «ромбичности» возникает в кристаллизаторе МНЛЗ в случае неравномерного охлаждения из-за нарушения технологического режима или износа гильзы. При последующем охлаждении слитка в зоне вторичного охлаждения и на воздухе возникшая изначально в кристаллизаторе «ромбичность» может увеличиваться.

Особенность формирования дефекта «ромбичность» приводит к необходимости подробного рассмотрения процесса формирования геометрии непрерывнолитого слитка на всех стадиях непрерывной разливки с целью последующей разработки мероприятий по их устранению средствами обработки металлов давлением.

Для выявления диапазона значений дефекта «ромбичность», который присутствует в непрерывнолитой заготовке украинских производителей, был выполнен анализ геометрических характеристик непрерывнолитой заготовки, которая поставляется на ОАО «Донецкий металлопрокатный завод». Объем партии заготовки на

котором выполнялась статистическая выборка и обработка составил более 4 тыс.т[2]. Выбор данного предприятия в качестве базы для исследования был обусловлен тем, что оно до 2008 года не имело своего сталеплавильного производства и вынуждено было использовать заготовку поступающую с других металлургических заводов. В ходе исследования анализировались геометрические параметры непрерывнолитых заготовок полученных с ОАО «Енакиевский металлургический завод», ОАО «ДМК им. Дзержинского» и ЗАО «ММЗ Истил(Украина), а также горячекатаных, производства ОАО «ДМЗ им. Петровского».

В качестве меры величины дефекта «ромбичность» был выбран коэффициент, который представляет собой следующее соотношение

$$K_p = \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – большая и меньшая диагональ заготовки

Полученные значения максимальной величины коэффициента « $K_p$ » приведены на рисунке 1.

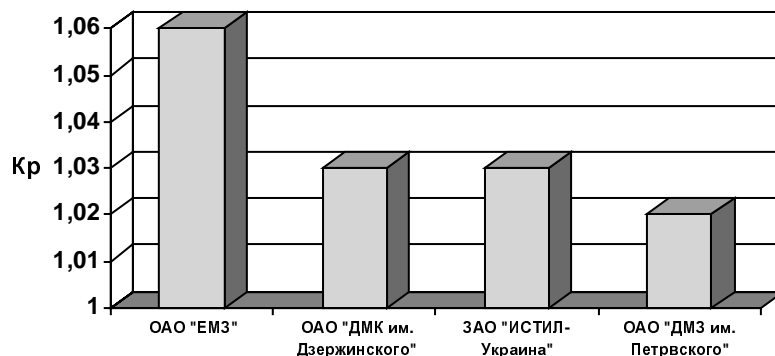


Рисунок 1 – Результаты статистической оценки качества непрерывнолитой заготовки по дефекту формы «ромбичность»

Из приведенных данных видно, что заготовка, полученная методом непрерывного литья, обладает несколько большей ромбичностью, чем горячекатаная. Наибольшая ромбичность ( $K_p=1,06$ ) наблюдалась у заготовок производства ОАО «Енакиевский металлургический завод».

Учитывая вышеизложенное, в качестве объекта моделирования был выбран непрерывнолитой слиток, который отливается в условиях высокоскоростной сортовой МНЛЗ ОАО „ЕМЗ”. Соответственно начальные и граничные условия при расчетах по численной модели,

реализованной с помощью МКЭ в программном комплексе ANSYS, соответствовали параметрам литья на данной машине.

Геометрическая модель слитка с кристаллизатором представляла собой поперечное сечение, которое поэтапно проходит вдоль всей технологической линии МНЛЗ. В качестве управляющих технологических факторов использовались: температура перегрева, скорость разливки и содержание углерода в стали.

Расчет выполняли в две стадии. На первой стадии определялось физико-геометрическое состояние непрерывнолитого слитка, а на второй – формируемое в процессе литья напряженно-деформированное состояние.

По результатам расчетов физико-геометрического состояния было получено распределение температур по сечению непрерывнолитого слитка, а также толщина закристаллизовавшейся составляющей заготовки, по которым в дальнейшем производилась калибровка модели. В свою очередь, расчетные данные о напряженно-деформированном состоянии позволяли прогнозировать конечную форму поперечного сечения непрерывнолитого слитка и уровень возникающих в нем напряжений.

Результаты расчета результирующего распределения термических напряжений в закристаллизовавшейся составляющей слитка на выходе из кристаллизатора представлены на рисунке 2. Как видно из графика, на поверхности возникают сжимающие напряжения, в то время как на фронте кристаллизации напряжения отсутствуют. Это соответствует результатам, полученным теоретическим путем[3].



Рисунок 2 – Распределение термических напряжений по сечению закристаллизовавшейся составляющей непрерывнолитого слитка на выходе из кристаллизатора

Возникновения искажения формы непрерывнолитого слитка (ромбичность) вызовет появление дополнительных напряжений деформационного характера, в том числе и на фронте кристаллизации. Полученная в результате расчетов максимальная величина интенсивности напряжений на фронте кристаллизации (в среднем 5,0-5,5 МПа) является граничным значением для выбранной температуры. В случае наличия положительной динамики увеличения величины ромбичности под действием различных факторов возрастает вероятность возникновения внутренних трещин.

Форма поперечного сечения непрерывнолитой заготовки в случае образования дефекта «ромбичность» и интенсивность напряжений в ее закристаллизовавшейся составляющей на выходе из кристаллизатора приведены на рисунке 3.

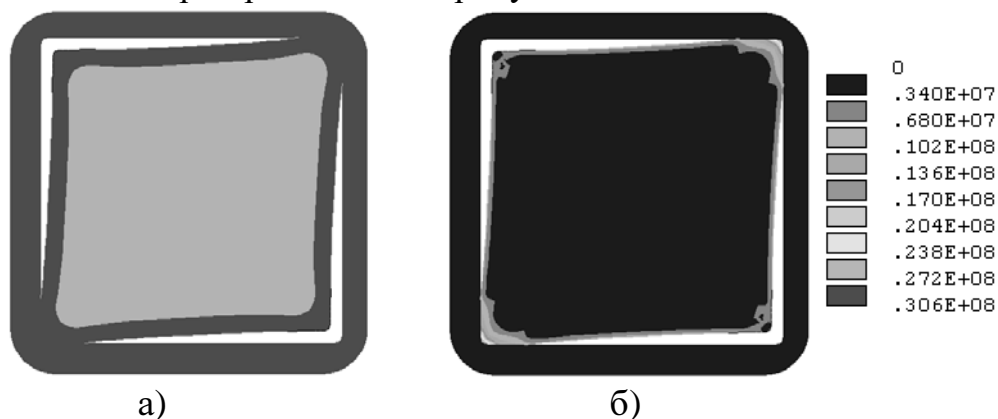


Рисунок 3 – Форма поперечного сечения (а) и интенсивность напряжений (б) в закристаллизовавшейся составляющей заготовки на выходе из кристаллизатора

Расчеты показали, что величина интенсивности напряжений в острых углах ромбовидной заготовки лежит в пределах допустимой (с точки зрения нарушений сплошности) и составляет 29-32 МПа. В тупых углах, интенсивность напряжений меньше, и составляет 20-21 МПа, в то же время, эти углы имеют сложное напряженное состояние, которое характеризуется наличием напряжений обоих знаков.

По результатам выполненного расчетного исследования на математической модели были получены зависимости величины коэффициента  $K_p$ , характеризующего ромбичность, от управляющих технологических факторов.

Величина ромбичности  $K_p$  в зависимости от температуры перегрева  $T_n$  и содержания углерода приведена на рисунке 4. Как видно из полученной графической зависимости с увеличением температуры разливки ромбичность растет. Это хорошо

коррелируется с промышленными данными[4]. В то же время, с повышением содержания углерода величина ромбичности снижается, что в первую очередь, связано с увеличением величины сопротивления деформации  $\sigma_{т.и}$  металла закристаллизовавшейся составляющей.

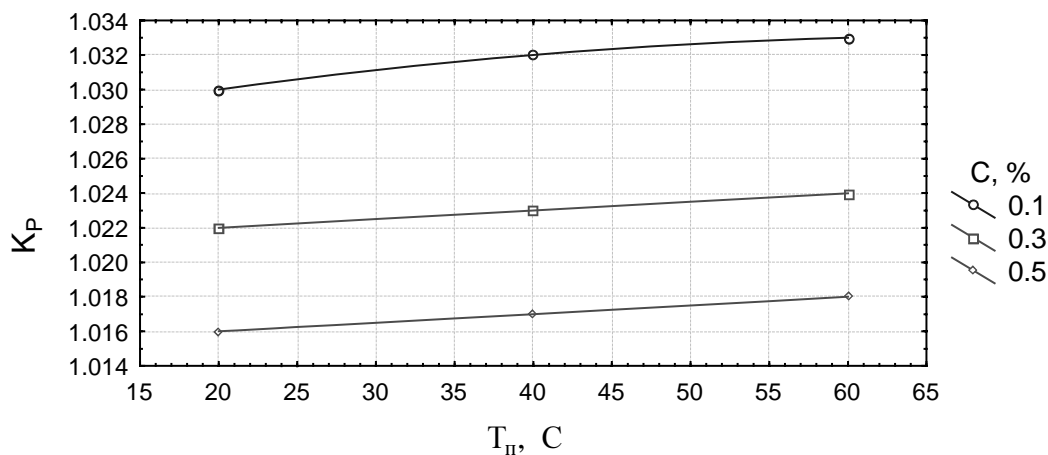


Рисунок 4 - Величина ромбичности  $K_p$  в зависимости от температуры перегрева  $T_p$  и содержания углерода  $C$ .

Таким образом, результаты выполненных исследований позволили выявить механизм влияния параметров разлива как на физико-геометрическое состояние непрерывнолитой заготовки, та и на ее напряженно-деформированное состояние. Адекватность результатов расчетных данных результатам промышленных измерений, позволяет говорить о применимости предложенной методики технологического прогнозирования к определению физико-геометрического состояния непрерывнолитой заготовки на выходе из кристаллизатора.

#### Литература

1. Разумов С.Д., Родионов В.Е., Завирюха А.А. Систематизация дефектов структуры непрерывнолитой стали и пути их устранения// Сталь. - 2002. -№11.- С. 26-29.
2. К вопросу прокатки непрерывнолитых заготовок в обжимных клетях сортовых станов. Минаев А.А., Григорьев М.В., Зуб В.В. и др. / Машиностроение и техносфера XXI века Сб. тр. междуна. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 8-14 сентября 2003 г. В 4-х томах. – Донецк: ДонНТУ, 2003. Т. 2 – 327 с. С. 257-262.
3. М. Я. Бровман., Е.В. Сурин. Расчет термических напряжений в слитке при кристаллизации// Инженерно-физический журнал.-1963.-№5.- с.106-113.
4. С.М. Жучков, А.Б. Стеблов. Применение косвенных методов контроля качества непрерывнолитых заготовок // Сталь.-2002.-№10.-С.61-63.

30.04.08