

ПРИРОДА ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЗОНЕ СЛЯБА

Одной из главных причин возникновения внутренних кристаллизационных трещин является неправильное охлаждение сляба, вызывающее термические напряжения. Именно из-за некорректного охлаждения происходит формирование разнотолщинной корочки, изменение требуемого температурного градиента и другие факторы, которые ведут к возникновению многочисленных внутренних трещин.

Если рассматривать поперечное сечение сляба, то можно отметить, что внутренние кристаллизационные трещины могут образовываться в различных структурных областях промежуточной зоны. Наиболее схожими дефектами из них являются «трещины, перпендикулярные широким или узким граням» и «гнездообразные трещины». Свои названия эти два дефекта получили из-за внешнего вида: на поперечном темплете они выглядят как трещины, ориентированные перпендикулярно одной из граней сляба или как пересекающиеся между собой лентообразные трещины соответственно.

Трещины, перпендикулярные граням, встречаются в области столбчатых кристаллов. В длину они могут достигать 50 мм и образовываться в несколько рядов по толщине слитка. В литературе отмечается, что наиболее сильно выражены трещины перпендикулярные граням в слитках с искаженным профилем, например, в слитке с дефектом «ромбичность».

Гнездообразные трещины располагаются около средней зоны сляба, то есть в области разориентированных кристаллов. Гнездообразные трещины не имеют определенных закономерностей в развитии и растут таким образом, что их можно увидеть одновременно на трех взаимно перпендикулярных сечениях, но наибольшую протяженность этот дефект имеет вдоль узкой грани.

Как и в случае осевых трещин, окрестный металл у «трещин перпендикулярных граням» и «гнездообразных трещин» загрязнен включениями ликвационной природы – сульфидами железа и марганца, что и было впоследствии подтверждено результатами микрорентгеноспектрального анализа (МРСА). Эти включения выделяются как в виде эвтектики, так и в виде цепочек по границам первичных зерен. Появление сульфидов объясняется тем, что в процессе затвердевания стали жидкие сульфиды под действием капиллярных сил и ферростатического давления перемещаются либо в зону не полностью затвердевшего металла, либо в область присутствия усадочных пор или микротрещин. Такие микротрещины часто образуются в процессе изгиба заготовки на криволинейной машине и, впоследствии, практически все заживают. Присутствие сульфидов на границах зерен весьма сильно снижает прочность металла, особенно при высоких температурах, являясь при этом концентратором напряжений.

Помимо этого, наряду с сульфидами в зоне дефекта наблюдается структура видманштеттова феррита, свидетельствующего о наличии растягивающих напряжений. Как правило, рассматриваемые трещины распространяются по границам крупного аустенитного зерна, однако в ряде случаев трещина проходит по границе раздела равноосных и видманштеттовых ферритных зерен.

В образовании трещины ведущую роль играли растягивающие напряжения, которые на определенной стадии затвердевания слитка стали настолько велики, что превысили прочность металла при данной температуре. Причин появления таких напряжений может быть несколько:

1) Изгиб, выпрямление или воздействие тянущими валками на слиток с жидкой сердцевиной может стать причиной образования внутренних трещин. Образование трещин, в таком случае будет происходить в тех местах, где присутствуют растягивающие напряжения, то есть преимущественно на стороне сляба, близкой к узкой грани.

Поскольку рассматриваемые участки будут иметь чрезвычайно низкую прочность, то трещина будет развиваться до тех пор, пока не достигнет слоев металла с прочностью превышающей напряжения на вершине трещины. Таким образом, этот механизм схож с механизмом появления микротрещин образующихся при разгибании слитка. Отличия заключаются только в том, что в таком случае образующаяся трещина залечивается жидким металлом не полностью и сохраняется в виде несплошности. Если при последующем охлаждении в этом районе будут действовать сильные растягивающие напряжения, то сохранившаяся трещина будет раскрываться и расти по наиболее благоприятным направлениям.

2) При большой интенсивности вторичного охлаждения происходит быстрое понижение температуры наружных слоев корочки слитка, приводящее к их ускоренной усадке. При этом внутренние слои металла будут охлаждаться с заметно более низкой скоростью и подобный действующий температурный градиент приведет к неблагоприятному характеру поля напряжений, действующих при усадке. То есть охлажденные и быстро затвердевшие, а потому и прочные слои будут препятствовать нормальной усадке нижних, горячих слоев вызывая в них значительные растягивающие напряжения. Поскольку в рассматриваемом интервале температур прочность стали невелика, то из-за растягивающих напряжений могут появляться трещины, которые, в зависимости от глубины залегания будут развиваться в различных структурных зонах сляба.

3) При интенсивном вторичном охлаждении, когда поверхностные слои сильно переохлаждаются и прекращают свою усадку, может произойти выпучивание переохлажденной грани слитка за счет внутренних слоев, в которых продолжает происходить усадка. Если длина зоны вторичного охлаждения недостаточна и слитки выходят из нее не полностью затвердевшими, то за счет теплоты кристаллизации может произойти разогрев наружных слоев и их расширение. Расширяющиеся наружные слои будут увлекать за собой внутренние, в результате чего, в последних появятся растягивающие напряжения и, как следствие этого, внутренние трещины в промежуточной зоне.

Предотвратить появление «гнездообразных трещин» и «трещин, перпендикулярных граням» можно лишь путем жесткого контроля следующих технологических параметров непрерывной разливки:

1) Расход воды в зоне вторичного охлаждения. Для создания бездефектных заготовок необходимо поддерживать такой температурный градиент, который позволил бы избежать разогрева и сильных деформаций внутренних слоев металла.

2) Температура металла в промежуточном ковше. Слишком высокая температура металла на разливке будет приводить как к повышенной длине жидкой фазы, так и к сильному перепаду температур по сечению слитка.

3) Отношение Mn/S. Как можно более полное предотвращение образования легкоплавких эвтектических сульфидов заметно повышает стойкость металла к внутренним трещинам.

4) Стабильность разливки. Частые остановки машины или понижения скорости вытягивания слитка вызывают появление неравномерностей на фронте кристаллизации, что ведет за собой появление излишних внутренних напряжений.

5) Настройка технологической оси. Для предотвращения появления внутренних трещин из-за неправильного обжатия роликами требуется тщательный подбор параметров усилия роликов на затвердевающую заготовку, зазора между ними и их своевременная замена.