

к.т.н. Ухин В.Е.
(ГВУЗ «Донецкий национальный
технический университет»
г. Донецк, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКЕ

Представлені результати дослідження особливостей формування підповерхневих тріщин у ромбічній безперервнолитій сортовій заготовці. Встановлено, що поява підповерхневих тріщин у безперервнолитій сортовій заготовці обумовлена деформацією профілю зливка, викликаною поперемінним зменшенням і збільшенням величини ромбічності заготовки.

Ключові слова: безперервнолита сортова заготовка, ромбічність, підповерхневі тріщини, прориви металу.

Представлены результаты исследования особенностей формирования подповерхностных трещин в ромбичной непрерывнолитой сортовой заготовке. Установлено, что появление подповерхностных трещин в непрерывнолитой сортовой заготовке, обусловлено деформацией профиля слитка, вызванной попеременным уменьшением и увеличением величины ромбичности заготовки.

Ключевые слова: непрерывнолитая сортовая заготовка, ромбичность, подповерхностные трещины, прорыв металла.

Эволюция развития технологии непрерывного литья сортовой заготовки характеризуется стремлением производителей максимально увеличить производительность уже существующих МНЛЗ при одновременном обеспечении высоких кондиций твердой заготовки в части геометрической конфигурации и отсутствия поверхностных и подповерхностных трещин [1-4].

Производительность современного сталеплавильного цеха или металлургического завода в целом зачастую лимитируется возможностью оперативной разливки всего количества выплавляемого металла. Наиболее вредными факторами, влияющими на эффективность работы МНЛЗ, считаются аварийные ситуации, ведущие к закрытию одного или нескольких ручьев, одной из которых является прорыв металла под кристаллизатором.

Одна из причин появления прорывов металла заключается в формировании между заготовкой и поверхностью кристал-

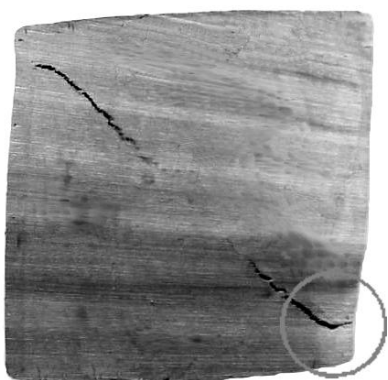
лизатора шлаковой пленки или зазора, препятствующих эффективному отводу тепла, что приводит к локальному утоньшению твердого каркаса и прорыву металла (рисунок 1) под действием ферростатического давления. Другим происхождением такого рода аварийной ситуации принято считать разупрочнение кочки из-за появления в ней внутренних трещин направленных от центра слитка к поверхности при образовании ромбичности профиля заготовки (рисунок 2 а, б и в).

Однако на практике наблюдаются случаи, когда в ромбичной заготовке прорыв металла под кристаллизатором вызывают трещины, идущие не от центра заготовки к поверхности, а, наоборот, от поверхности к центру (рисунок 2 г).

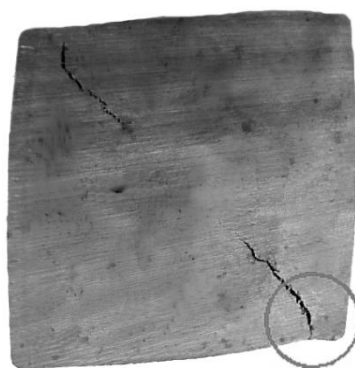
Целью настоящей работы является исследование и идентификация процессов и явлений сопровождающих формирование трещин, которые являются причиной прорыва металла и направлены от поверхности слитка к его центру в ромбичной непрерывнолитой сортовой заготовке.



Рисунок 1 – Пример прорыва корочки заготовки под кристаллизатором



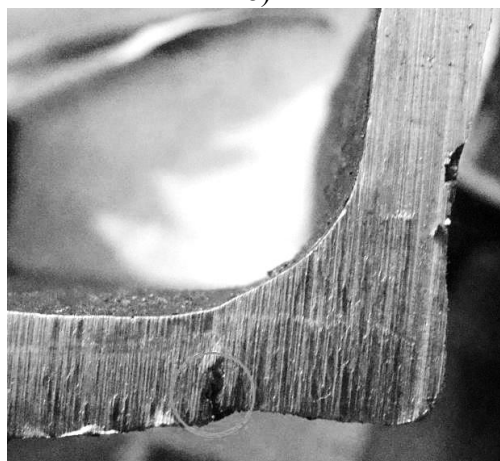
а)



б)



в)



г)

а, б, в – трещины направленные от центра слитка к поверхности;
г – трещина идущая от поверхности заготовки к центру

Рисунок 2 – Внешний вид трещин, сформировавшихся при образовании ромбичности заготовки и приведших к прорыву металла

Для изучения процессов предшествующих прорыву металла при образовании подобного рода трещин был отобран «чулок» непрерывнолитой сортовой заготовки произведенной в условиях мини-металлургического завода сечением 120×120 мм и длиной 1010 мм (рисунок 3).

При осмотре «чулка» заготовки (рисунок 3) было выявлено локальное утоньшение и выпучивание корочки на расстоянии 665 мм от верхней части и ярко выраженная ромбичность на расстоянии 747 мм (рисунок 4). Прорыв произошел на расстоянии 777 мм от начала чулка.

Для определения причин прорыва заготовки была исследована динамика затвердевания корочки и на основе этих данных рассчитан коэффициент затвердевания. Коэффициент затвердевания рассчитывался из закона квадратного корня.

Замеры толщины корочки проводились по схеме, показанной на рисунке 5, на котором буквы «а» и «д» обозначают большой и малый радиусы изгиба заготовки, а знак «*» – место прорыва. В соответствии с паспортом плавки в расчетах использовалась скорость разливки равная 3,4 м/мин.

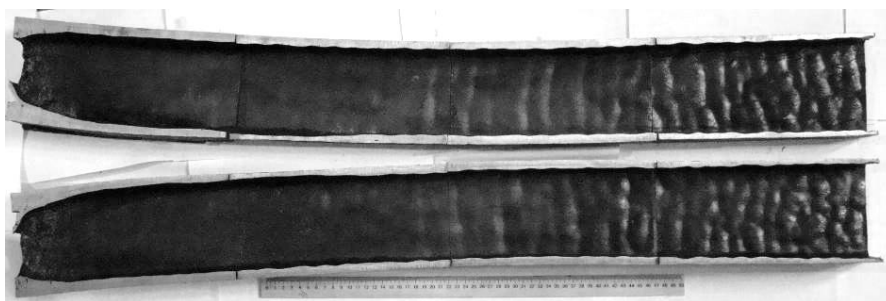


Рисунок 3 – Фотография внутренней поверхности чулка



Рисунок 4 – Ромбичность затвердевшей корочки заготовки

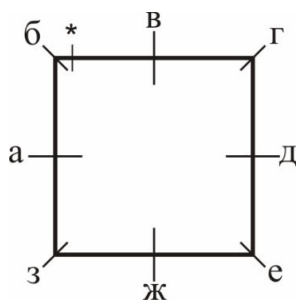


Рисунок 5 – Схема последовательности измерений толщины корочки заготовки

Результаты измерений толщины корочки заготовки и расчета коэффициента за-

твердевания представлены на рисунках 6 и 7.

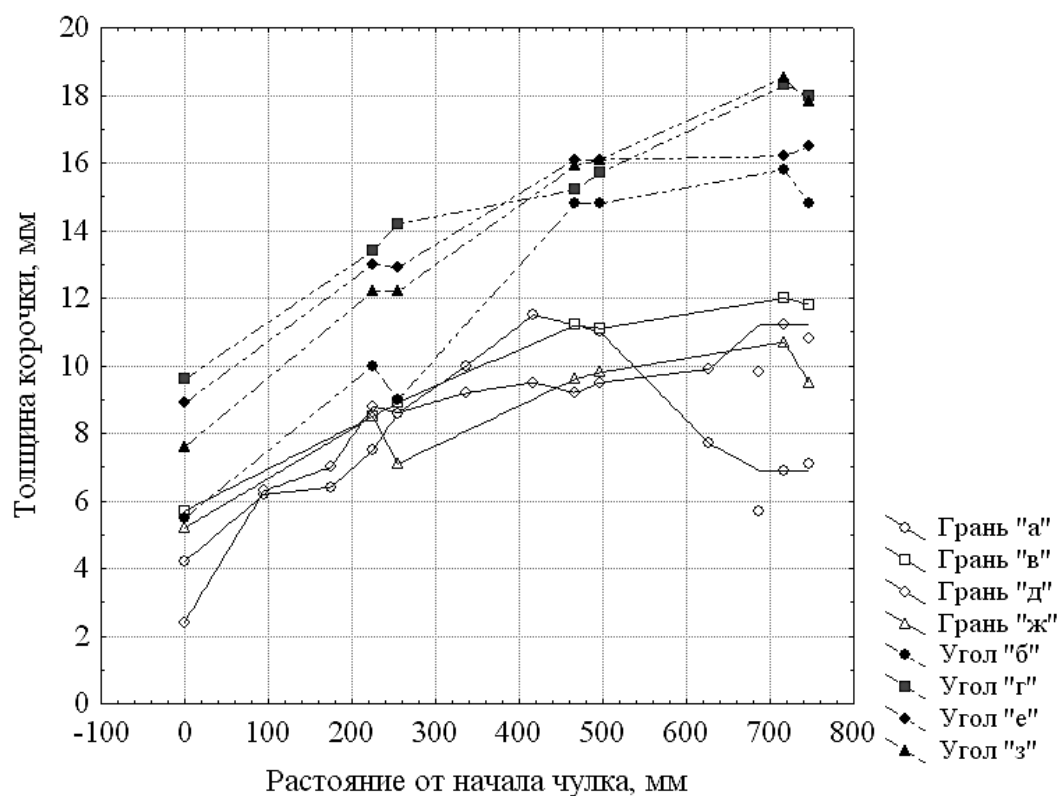


Рисунок 6 – Динамика затвердевания корочки заготовки

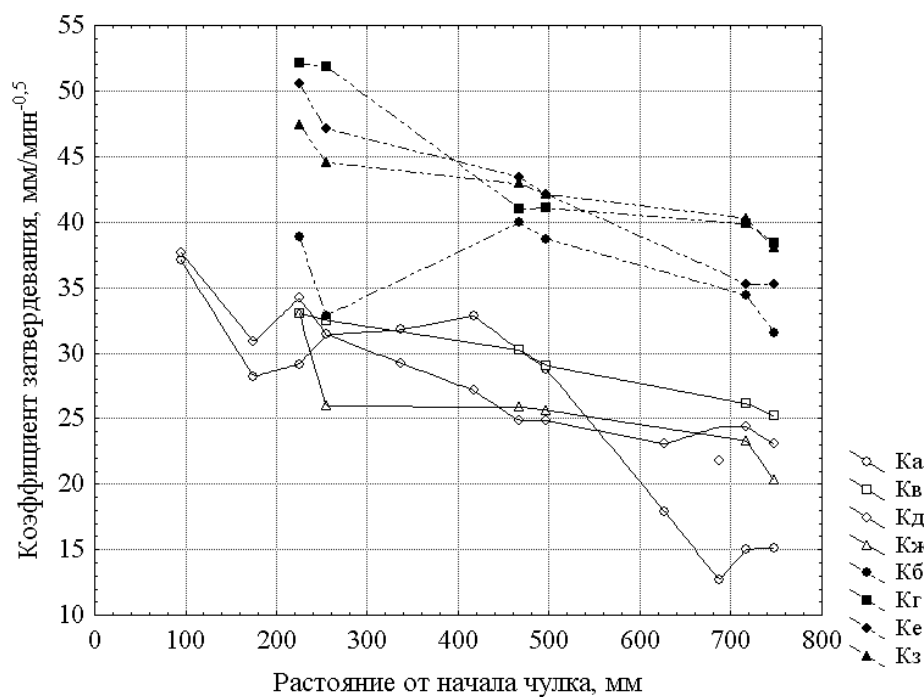


Рисунок 7 – Изменение коэффициента затвердевания стали в зависимости от положения относительно начала «чулка»

В таблице 1 представлены данные о ромбичности корочки заготовки.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о сложном напряженно-деформированном состоянии заготовки в кристаллизаторе в процессе разливки. Как показали измерения профиля корочки заготовки, явление ромбичности начало развиваться уже на ранней стадии затвердевания, что подтверждают данные измерения динамики затвердевания корочки и изменения коэффициента затвердевания в диапазоне от 0 до 255 мм относительно начала измерений. Так, в указанном интервале, толщины граней «а», «д», «ж» и угла «б» увеличиваются медленнее (рисунок 6 и 7), чем остальные грани и углы, что свидетельствует о плохом контакте заготовки со стенкой гильзы кристаллизатора. Появление ромбичности может быть связано с несоответствием параметров разливки стали форме внутренней поверхности гильзы, когда величина усадки заготовки превышает величину конусности кристаллизатора. Далее, на расстоянии 255 мм от начала измерений ромбичность заготовки становится равной нулю, а контакт «проблемных» граней и углов возобновляется, о чем свидетельствует рост значений коэффициента затвердевания (рисунок 6 и 7). Положительная динамика затвердевания наблюдается до отметки 497 мм от начала «чулка», после которой снова возникает ромбичность заготовки, достигающая максимального значения на отметке 717 мм (таблица 1). При развитии ромбичности в этой области корочка заготовки теряет контакт со стенкой кристаллизатора и условия отвода тепла ухудшаются, особенно грани «а» и угла «б» (ри-

сунок 6 и 7). Интересным представляется тот факт, что на расстоянии 687 мм от начала «чулка» толщина корочки грани «а» (рисунок 6 и 7) начинает увеличиваться, что объясняется улучшением ее контакта с кристаллизатором вследствие выпучивания под действием ферростатического давления. Из-за многократной потери и восстановления контакта грани «а» и угла «б» с гильзой кристаллизатора, корочка заготовки испытывала механических напряжения переменного типа, что возможно послужило причиной разупрочнения корочки в районе угла «б» и образования трещины (рисунок 8), идущей от поверхности.

После выхода из кристаллизатора, ромбичность заготовки увеличилась (таблица 1) из-за отсутствия поддержки заготовки гильзой и скопления механических напряжений в корочке, что в совокупности с образованием трещины и недостаточной толщины твердой фазы заготовки привело к разрушению твердой оболочки и прорыву металла.

С целью подтверждения предположения о том, что причиной образования трещин в сортовых заготовках, направленных от поверхности к центру, является попеременная деформация профиля слитка в кристаллизаторе, был исследован прорыв заготовки сечением 100×100 мм отлитой в условиях кислородно-конвертерного цеха.

Для этого из части заготовки длиной 1000 мм, на которой произошло вытекание металла из трещины, были отобраны темплеты по схеме указанной на рисунке 9, которые в дальнейшем протравили, чтобы проследить продвижение фронта кристаллизации.

Таблица 1 – Величина ромбичности корочки заготовки в зависимости от положения относительно начала «чулка»

Расстояние от начала «чулка», мм	Ромбичность профиля, мм
0	5
255	0
497	2
717	11

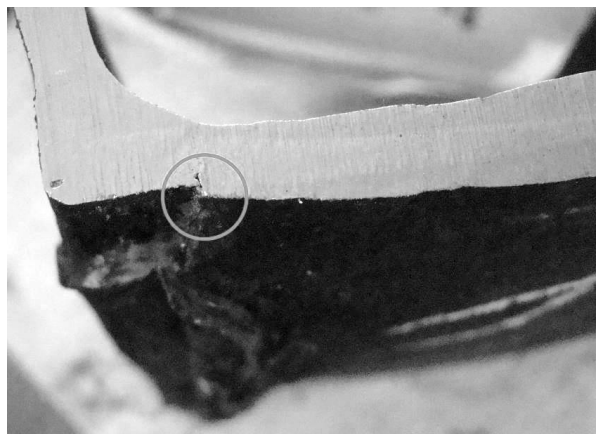


Рисунок 8 – Фотография поверхностной трещины

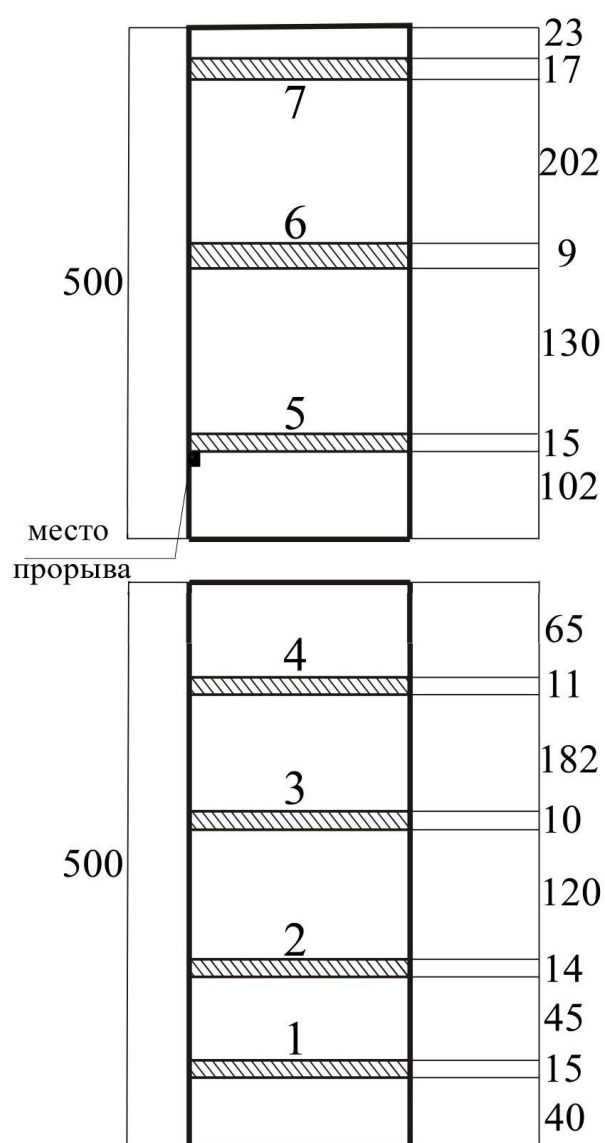


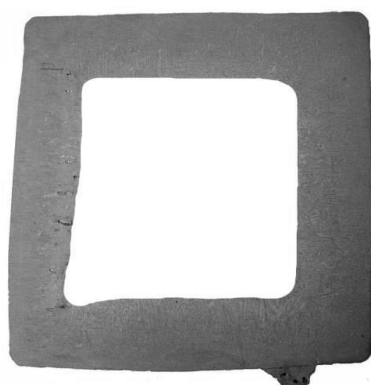
Рисунок 9 – Схема отбора темплетов из сортовой заготовки сечением 100×100 мм (цифрами на схеме указаны порядковые номера темплетов и места их отбора)

Все отобранные и изученные образцы металла имели форму поперечного сечения в виде ромба, что свидетельствует об отклонении параметров формирования заготовки от номинальных. Значения величин ромбичности темплетов приведены в таблице 2.

Для того чтобы понять причины появления рассматриваемой аварийной ситуации был проанализирован характер продвижения фронтов кристаллизации металла в темплетах, отобранных до места прорыва металла. К сожалению, травление образца №2 не дало требуемых результатов, поэтому на рисунке 10 он отсутствует.

Таблица 2 – Величина ромбичности темплетов в зависимости от их положения относительно нижней части заготовки

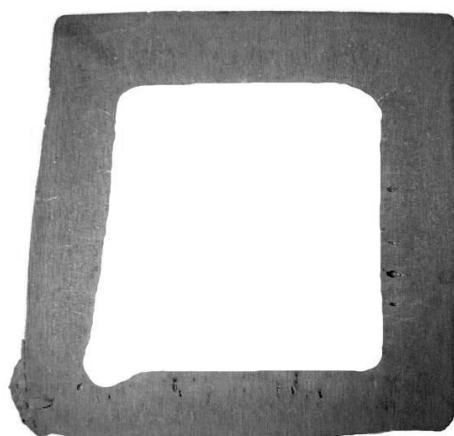
Порядковый номер темплета	Величина ромбичности, мм	Расстояние от нижней части заготовки, мм
1	2	55
2	3	114
3	2	244
4	6	437
5	3	619
6	3	758
7	4	977



Темплет №1



Темплет №3



Темплет №4

Рисунок 10 – Темплеты заготовки, отобранные до места прорыва металла

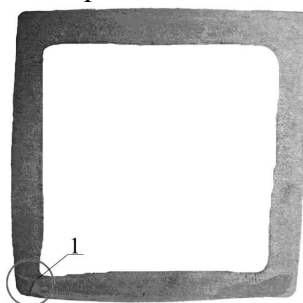
Анализируя характер продвижения фронта кристаллизации металла до прорыва можно сделать вывод о том, что в процессе непрерывной разливки стали интенсивность охлаждения левого нижнего угла и левой грани заготовки уменьшилась, вследствие ухудшения их контакта с поверхностью гильзы из-за деформации ее геометрического профиля (ромбичности), чему свидетельствует уменьшение их толщины. Как видно из таблицы 2 величина изменения ромбичности темплетов № 1 и №3 носила переменный характер, а на расстоянии 473 мм от нижней части заготовки достигла максимального значения.

Причиной трещинообразования в затвердевающей корочке стала деформация профиля заготовки, вследствие попеременно изменяющейся величины отхода левого угла слитка (таблица 2) в процессе непрерывной разливки, что подтверждает предположение о механизме формирования трещин направленных от поверхности заготовки к ее центру.

Наибольший интерес при определении причины появления аварийной ситуации представляет темплет заготовки № 5 отобранный на расстоянии 2-х мм после прорыва (рисунок 11). Как видно из рисунка, источником образования прорыва металла стало формирование трещины в затвердевшей корочке, направленной от поверхности заготовки к центру, в совокупности с уменьшением толщины прилегающего к ней угла вследствие нарушений условий теплоотвода.

При разливке стали с высокими скоростями время пребывания металла в кристаллизаторе, а соответственно толщина и прочность корочки уменьшается. В связи с этим возрастает вероятность переменной дефор-

мации профиля заготовки в гильзе вследствие износа или не соответствия ее внутреннего профиля величине усадки закристаллизовавшейся оболочки, что может стать причиной образования трещин и привести к прорыву металла. Учитывая вышесказанное при выполнении мероприятий по изменению скорости разливки стали необходимо определить и проверить диапазон оптимальной работы кристаллизатора в котором деформация профиля заготовки, а, следовательно, и образование трещин в твердом каркасе, наименее вероятна, что и является дальнейшим направлением исследований.



1 – место образования трещины и прорыва металла

Рисунок 11 – Внешний вид темплета, отобранного на расстоянии 2 мм после прорыва металла

ВЫВОДЫ

Установлено, что появление поверхностных трещин в непрерывнолитой сортовой заготовке, являющихся причиной прорыва металла, обусловлено деформацией профиля слитка, вызванной попеременным уменьшением и увеличением величины ромбичности заготовки, имеющей величину от 1-2 мм, вследствие несоответствия профиля гильзы по высоте кристаллизатора параметрам усадки корочки.

Библиографический список

1. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка сортовой заготовки: монография / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, А.Л. Подкорытов, В.Е. Ухин, А.В. Кравченко, А.Ю. Оробцев. – Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 449 с.
3. Шалимов А.Г. Высокоскоростная непрерывная отливка стальных заготовок / А.Г. Шалимов // *Новости черной металлургии за рубежом*. – М.: ОАО «Черметинформация». – 2003. – 28 с.
4. Wolf M. Can mini mills cope with high speed casting? / M. Wolf // *Steel Times International*. – 1989. – №3. – Р. 16-19.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.