

*Максаев Е.Н., Мухин Е. В.  
(ОАО «Алчевский металлургический комбинат»,  
г. Алчевск, Украина),  
к.т.н. Куберский С.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ СЛЯБОВ АВТОЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ**

*Встановлено імовірні причини порушення геометрії вузьких граней безперервнолитих слябів автолистових сталей обумовленої нерівномірним охолодженням по периметру поперечного перерізу сляба, а саме – переохолодженням кутів відносно граней заготовки.*

***Ключові слова:** автолистовая сталь, безперервнолитий сляб, дефекти, випинання, коринка, нерівномірне охолодження.*

*Установлены вероятные причины нарушения геометрии узких граней непрерывнолитых слябов автолистовых сталей обусловленной неравномерным охлаждением по периметру поперечного сечения сляба, а именно – переохлаждением углов относительно граней заготовки.*

***Ключевые слова:** автолистовая сталь, непрерывнолитой сляб, дефекты, выпучивание, корочка, неравномерное охлаждение.*

Одним из наиболее актуальных вопросов процесса непрерывной разливки, в значительной степени определяющим конкурентоспособность металлопродукции, является качество заготовок отливаемых на МНЛЗ различного типа.

В настоящее время при разливке на двухручьевых слябовых МНЛЗ ОАО «Алчевский металлургический комбинат» (ОАО «АМК») низкокремнистых марок сталей ([Si] до 0,03%) с содержанием углерода 0,02 – 0,12 % на верхних пределах скоростей разливки ( $V=1,3 - 1,4$  м/мин) существует сложность получения качественной геометрии слябов, при выполнении технологических рекомендаций предоставленных компанией VAI, для толщины заготовки 250 мм. Основной вид дефекта – выпучивание узких граней (рис.1) и значительная разность в ширине сляба по длине технологической оси при изменении скорости разливки. Отмеченный дефект представлен на рисунке 1 для сляба из стали марки 1006, сечением 250×1250 мм, отлитого при скорости 1,4 м/мин и температуре металла в промковше 1562 °С. Настройка ширины низа кристал-

лизатора на данной плавке была 1240 мм, а ширина остывшего сляба составила 1270 мм.

Максимальная кривизна узкой грани достигает  $\varepsilon = 25$  мм.

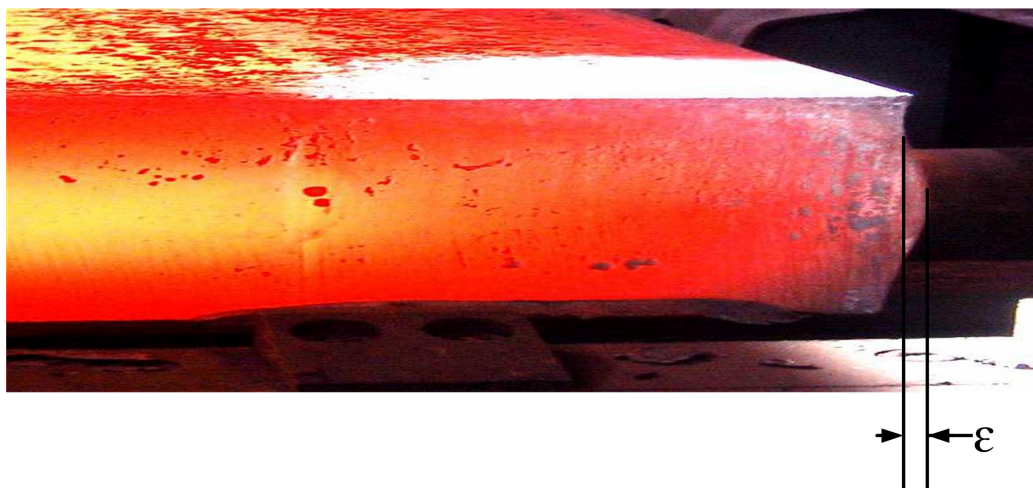


Рисунок 1 – Выпучивание узких граней непрерывнолитого сляба

В работе [1] описано представление о деформациях корки кристаллизующегося слитка как упруго-вязко-пластической среды, учитывая значения температур и уровень нагрузок от ферростатического давления. Непосредственное влияние физических свойств сталей, в данном случае предела текучести при определённых температурах, на степень деформации очевидна. Из сортамента разливаемых сталей на МНЛЗ ОАО «АМК» сталь 1006 обладает наибольшими пластическими свойствами. При настройке кристаллизатора для получения определенной ширины слябов из стали 1006 значение низа кристаллизатора устанавливается на 10 – 15 мм меньше заданного для компенсации величины раздутия заготовки под кристаллизатором в свободные стороны, не имеющие опоры – узкие грани. Раздутие заготовки тем больше, чем выше скорость разливки, выше температура ручья и, соответственно тоньше корочка сляба.

Представленная в работе [2] схема термонапряженного состояния корочки затвердевающей заготовки определяется следующими основными факторами:

- прочностными и пластическими свойствами стали при высоких температурах;
- линейной и объемной усадкой стали, а также скоростью образования зазора между оболочкой заготовки и стенкой кристаллизатора;
- интенсивностью теплового потока и внутренними напряжениями в твердой оболочке формирующейся заготовки после образования зазора.

При этом основными видами дефектов, которые обусловлены вышеперечисленным факторам, являются:

- выпуклость заготовки по узким граням;
- продольные поверхностные ужимины (по более широким граням);
- ромбичность для заготовки квадратного сечения;
- подповерхностные (в местах нахождения ужимин) диагональные и перпендикулярные поверхности трещины.

Все перечисленные факторы, влияющие на величину пластической деформации граней сляба, создают предпосылки зарождения данного вида дефекта в кристаллизаторе и развития его вдоль ручья в опорной части МНЛЗ до полной кристаллизации жидкой фазы.

Можно выделить целый ряд причин, сопутствующих образованию данного вида дефекта – так называемого накопления выпучивания боковой грани сляба [1,2]:

- недостаточно толстая и прочная корочка слитка, сформированная в кристаллизаторе из-за высокой скорости разливки, повышенной температуры разливаемой стали или недостаточного отвода тепла медными плитами;
- так называемая пассивная деформация, вызванная ферростатическим давлением на пластичную корку сляба;
- неправильно организованное вторичное охлаждение заготовки, не обеспечивающее постепенного равномерного утолщения корки;
- погрешности настройки роликов в сегментах;
- нарушение оси ручья, неправильная настройка конуса ручья;
- некорректное или раннее динамическое обжатие заготовки;
- деформации при вытягивании слитка приводами, загиба и выравнивания горячего ручья.

В условиях ККЦ ОАО «АМК» были проведены исследования с целью выявления факторов, влияющих на величину пластической деформации непрерывнолитого сляба и разработки рекомендаций по снижению степени выпучивания их узких граней.

После тщательной настройки роликов ручья и калибровки положения цилиндров сегментов машины производилась разливка стали 1006 по двум ручьям сечением 250×1250мм с одинаковыми параметрами первичного и вторичного охлаждения. На первом ручье была выбрана практика управления зазорами между роликами сегментов с работой динамического обжатия «DYN LOW C 250» (для низкоуглеродистых марок стали), а на втором ручье – «STATIC 250» (статический клиновидный зазор между роликами сегментов без работы мягкого обжатия). Выбранные практики обжатия и зазора между роликами управляются программой второго уровня АСУТП, рассчитывая глубину жидкой фазы, толщину и температуру ручья. После разливки серии из восьми плавов при одинаковой скорости вытягивания слябов были произведены замеры их ширины и значения выпучивания узких граней. Средние значения полученных резуль-

татов двух ручьёв не отличались, что свидетельствовало о малом влиянии динамического обжатия на деформацию граней заготовки. Подобные опыты разливки с разными по ручьям практиками зазоров между роликами также подтвердили выводы о незначительном влиянии возможной деформации на данном участке ручья.

Исследования выработки поверхности роликов нулевого сегмента МНЛЗ углами горячего ручья (рис. 2) (после разливки порядка 150 плавок на слябы сечением  $250 \times 1250$  мм из стали марки 1006), косвенно подтвердили, что композиция интенсивного расширения широких граней сляба под действием растягивающих напряжений в стороны, неограниченные опорными роликами (узкие грани), формируется под боковыми подвесками кристаллизатора на расстоянии от 1 до 4 м (по данным [1] от 2 до 6 м) от мениска стали в кристаллизаторе (таблица 1).



Рисунок 2 – Состояние роликов нулевой секции после длительной разливки стали 1006 на слябы сечением  $250 \times 1250$  мм

Следует отметить, что растяжение или пластическое течение корочки широких граней наблюдается также при разливке средне- и высокоуглеродистых марок сталей, но в меньшей степени. В зависимости от сечения сляба, марки стали, скорости и температуры разливки участок с наибольшей деформацией растяжения может быть разной длины. Но практически во всех случаях настройка нижней ширины кристаллизатора на данных МНЛЗ устанавливается меньше ширины готового сляба на основании опытных данных предыдущих серий плавок.

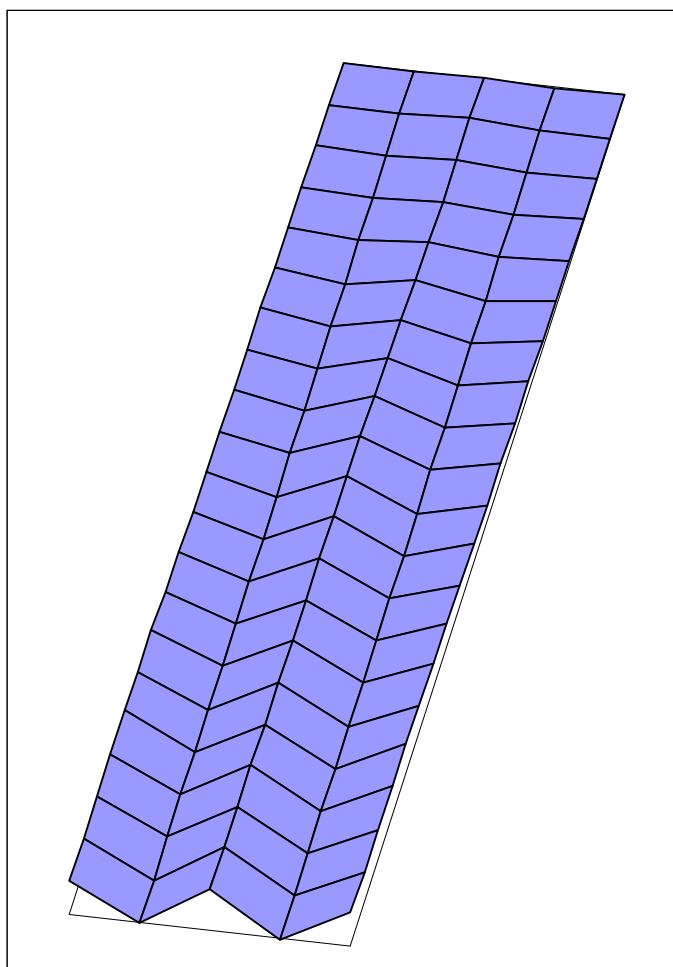
Таблица 1 – Расстояние между следами выработки поверхности роликов большого радиуса нулевой секции углами сляба

Диаграмма расширения горячего ручья под кристаллизатором		№ ролика	Глубина от мениска до ролика, м.		Расстояние между следами выработки на роликах, мм
	1,1	1	1,10	боковая подвеска кристаллизатора	1242
	1,29	2	1,29		1243
	1,47	3	1,47		1242
	1,65	4	1,65		1247
	1,84	5	1,84		1255
	2,3	6	2,30		1263
	2,21	7	2,21		1268
	2,4	8	2,40		1271
	2,58	9	2,58		1273
	2,77	10	2,77		1275
	2,95	11	2,95		1277
	3,14	12	3,14		1277
	4,23	13	4,23		1278
	3,51	14	3,51		1278
	3,7	15	3,70		1279
	3,88	16	3,88		1279
	4,06	17	4,06		1280

Замеры захоложденных в ручье слябов в результате аварийных ситуаций позволили более детально представить процесс деформации узкой грани. Графическое изображение поверхности узкой грани и значения амплитуды выпучивания участка ручья от верхнего ролика нулевой секции до первого сегмента радиальной зоны представлено на рисунке 3.

Наиболее интенсивное выпучивание наблюдалось под боковыми подвесками кристаллизатора. Дальнейшему накоплению деформации узких граней, но в меньшей степени способствовала зона загиба.

Криволинейная конфигурация выпуклости боковой грани вызвана неравномерным отводом тепла от затвердевающей заготовки, что, как известно [2], влечёт за собой неодинаковое распределение температур в твёрдой корочке, формируя в ней внутренние напряжения, которые способствуют деформации заготовки в поперечном и продольном сечении, а ниже боковой подвески кристаллизатора – различную скорость пластической деформации участков грани с различной температурой.



Глубина от мениска, м	$\varepsilon$ , мм
1,0	0
1,2	2
1,4	2
1,6	3
1,8	5
2,0	7
2,2	9
2,4	11
2,6	14
2,8	16
3,0	17
3,2	19
3,4	19
3,6	20
3,8	21
4,0	21
4,2	22
4,4	23
4,6	24
4,8	25

Рисунок 3 – Графическое изображение поверхности узкой грани и значения ее кривизны  $\varepsilon$  для различных участков ручья

При исследовании серных отпечатков темплетов с выпуклыми узкими гранями слябов марки стали 1006 сечением 250×1250 мм, разлитых при скорости 1,3 – 1,4 м/мин были выявлены угловые трещины на расстоянии 25 – 30 мм от поверхности грани. Значения толщины формирующейся корочки заготовки 25 – 30 мм приходится на участок под кристаллизатором в зоне наибольшей пластической деформации граней сляба в нулевой секции, как было отмечено предыдущими исследованиями.

В результате проведенных исследований установлено, что основным фактором, влияющим на величину растяжения широких граней и выпуклость узких в рассмотренном случае, является недостаточная способность сопротивляемости корочки пластической деформации под действием ферростатического давления жидкой фазы на участке нулевой секции под кристаллизатором. Величина пластической деформации корочки при постоянном значении ферростатического давления зависит от её толщины и физических свойств разливаемой стали. Участок наи-

более интенсивной пластической деформации граней сляба определён в нулевом сегменте ручья под кристаллизатором, включая зону загиба. Данный вид выпучивания узкой грани может быть получен по причине различий температуры кристаллизуемой корочки по периметру поперечного сечения сляба вследствие неравномерного охлаждения, а именно – переохлаждения углов относительно граней заготовки.

Одним из факторов, препятствующих процессу выпучивания граней заготовки, является обеспечение формирования более толстой, а также однородной по температуре и толщине корочки заготовки на участке ручья под кристаллизатором. Поэтому при дальнейших исследованиях предполагается внесение конструктивных изменений в боковую подвеску путём добавления дополнительного пятого ролика для продления опорной части узкой грани заготовки; изменение карты верхних зон водовоздушного охлаждения для усреднения температуры поверхности заготовки на основе опыта работы аналогичных МНЛЗ; проточка поверхности роликов боковой подвески с целью снижения количества воды, которая может накапливаться между роликами и поверхностью слитка, что будет способствовать сокращению участка паровой рубашки и улучшению теплоотвода от поверхности сляба.

#### **Библиографический список**

1. Буланов Л.В. *Машины непрерывного литья заготовок. Теория и расчёт* / Л.В. Буланов, Л.Г. Корзунин, Е.П. Парфёнов и др. – Казань: Идеал-Пресс. - 2003. – 319 с.

2. Смирнов А.Н. *Процессы непрерывной разливки* / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, А.А. Минаев и др. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – 536 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.*