

СКОРОБАГАТЬКО Ю. П. Модифікування заевтектичних алюмінієвих сплавів із застосуванням активних добавок

*Виконано літературний аналіз стану наукових досліджень впливу різних хімічних елементів на структуру та властивості заевтектичних алюмінієвих сплавів, відзначено переваги та недоліки модифікаторів, які при цьому використовувались.*

SKOROBAGATKO YU. Modifying of hypereutectic aluminium alloys with the use of active additions

*There is conducted the literary analysis of the modern state of scientific researches concerning influence of different chemical elements on the structure and properties of hypereutectic aluminium alloys. The merits and demerits of the used modifiers are marked.*

УДК 62-412/669.14.018

**Т. В. Горяинова**

ОАО «Алчевский металлургический комбинат», Алчевск

## **ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА МАКРОСТРУКТУРУ В УГЛОВЫХ ЗОНАХ СЛЯБОВ ПЕРИТЕКТИЧЕСКИХ МАРОК СТАЛИ**

*Проведен сравнительный анализ влияния различных схем теплоотвода в кристаллизаторе на состояние поверхности и макроструктуры угловых зон непрерывнолитых слябов перитектических марок стали.*

**Ключевые слова:** сляб, теплоотвод, кристаллизация, макроструктура

Несмотря на значительные успехи, достигнутые в нашей стране и за рубежом в области использования непрерывного литья стали, перед металлургами стоят задачи в области совершенствования технологии, улучшения качества непрерывнолитого металла, расширения сортамента, освоения новых марок стали. Однозначного решения вопроса о причинах возникновения и степени влияния различных факторов на качество макроструктуры слябов по отдельным видам дефектов нет. Обусловлено это тем, что каждая МНЛЗ представляет собой сложный агрегат со своей спецификой как в технологии разлива металла, так и в конструкции кристаллизатора, зоны вторичного охлаждения [1]. Поэтому очень важно подобрать оптимально благоприятные условия для формирования и поддержания бездефектного состояния корочки и, впоследствии, сляба.

На формирующуюся корочку сляба на начальной стадии затвердевания действуют физико-химические, термодинамические нагрузки. Поэтому, снижение суммарной величины энергии разрушения, складывающейся из термоупругих напряжений и энергии разрушения на границе «металл-включение», крайне важно. На криволинейной МНЛЗ-машине (металлургическая длина

— 32 м, вертикальный кристаллизатор высотой 900 мм, радиус зоны изгиба — 10 м) Алчевского металлургического комбината при разливе перитектических низкокремнистых марок сталей было отмечено активное поведение металла в кристаллизаторе, выражающееся в значительных колебаниях уровня металла (при работающей системе автоматического контроля уровня металла LevCon) 50-70 мм.

Колебания уровня металла в кристаллизаторе выше допустимых крайне отрицательный фактор, приводящий к затягиванию шлакообразующей смеси в подкорковую и промежуточную зону, что приводит к ослаблению межкристаллитных связей. Толчки жидкой фазы объясняются большой скоростью перитектической реакции, которая заключается в переходе железа из одной аллотропической формы в другую, что приводит к неравномерному нарастанию корочки сляба. Началу разлива перитектических марок сталей соответствует температура 1541 °С в промковше и 1520 °С — в кристаллизаторе. В соответствии с диаграммой Fe-C в этом интервале температур начинаются аллотропические превращения  $\delta$ -железа, обладающего кристаллической решеткой объемно-центрированного куба со

стороной  $a = 2,93 \text{ \AA}$ . При дальнейшем охлаждении  $\delta$ -железо переходит в другую аллотропическую форму —  $\gamma$ -железо с ГЦК-решеткой и параметрами решетки  $a = 3,64 \text{ \AA}$ ,  $\gamma$ -железо переходит в  $\alpha$ -железо со стороной  $a = 2,90 \text{ \AA}$ .  $\alpha$ -железо соответствует зоне порезки слябов на мерные заготовки [1].

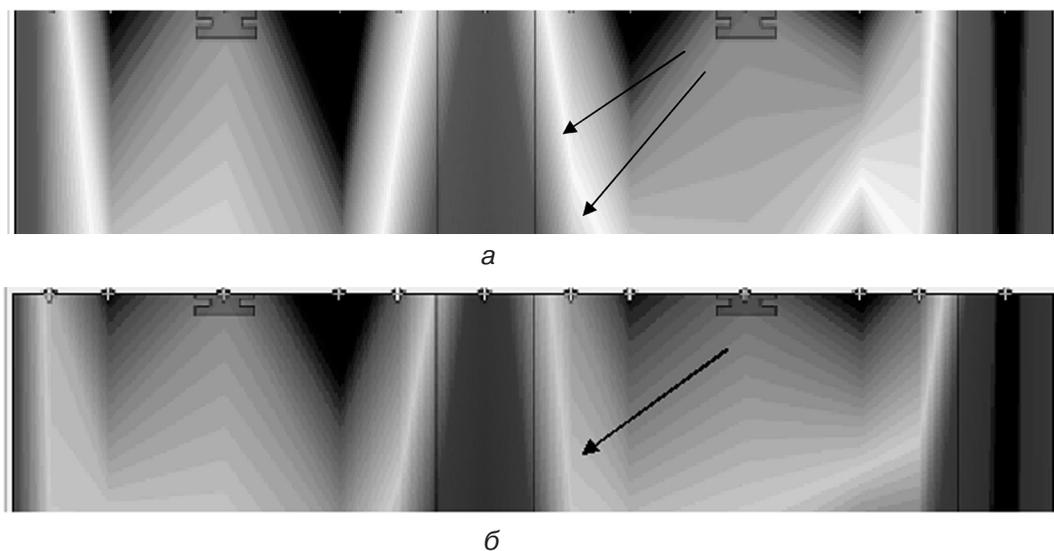
Для подавления толчков жидкой фазы во время разливки перитектических марок сталей на начальном этапе освоения было применено жесткое охлаждение в кристаллизаторе, которое заключалось в следующем: расход воды 650 л/мин на узкие стенки и 5000 л/мин — на широкие стенки. При этом работа трения по узким граням составила 168 Дж, сила трения — 17,2 кН/м<sup>2</sup>, величина теплового потока — 0,66 МВт/м<sup>2</sup>. Это значительно снижало колебания уровня, но приводило к переохлаждению узких стенок кристаллизатора и угловой поверхности сляба. На фотографиях, сделанных в «он-лайн» с «MOLD-expert» видно резкое увеличение толщины корочки сляба в угловых зонах на расстоянии 400 мм от верхней части кристаллизатора, прирост корочки составил 0,4 мм на 10 мм высоты кристаллизатора (рис. 1, а).

Толщину жидкой прослойки гарнисажа рассчитывают по уравнению (1) для силы вязкого трения:

$$F = \eta SV / \Delta, \quad (1)$$

где  $F$  — сила трения,  $\eta$  — вязкость смеси, кг/дм<sup>3</sup>;  $S$  — площадь, мм<sup>2</sup>;  $V$  — скорость вытягивания, м/мин;  $\Delta$  — толщина прослойки, мм [4].

Из расчета по анализу данных, полученных в процессе разливки в начальный момент времени следует, что переохлаждение боковой поверхности приводит к уменьшению прослойки гарнисажа меньше допустимого — 0,004 мм в сравнении с рекомендуемым 0,05-0,35 мм, возрастанию работы трения между оболочкой сляба и стенкой кристаллизатора. В результате усадки граней оболочки в районе углов местами образуется зазор. В месте его появления оболочка сляба деформируется под действием давления расплава, что сопровождается нарушением теплоотвода и скорости роста оболочки, а около угла наблюдаются значительные растягивающие напряжения.



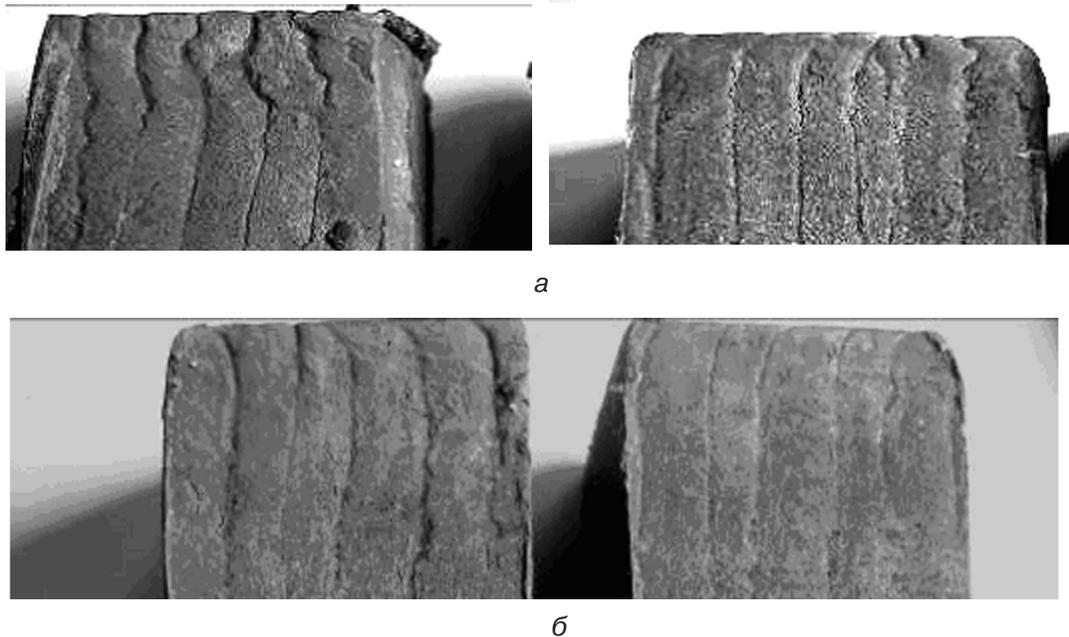
**Рис. 1.** Фотографии с MOLD-expert в режиме «on-line»: а — с рекомендуемым теплоотводом (резкое увеличение корочки в угловых зонах сляба); б — с применением опытного теплоотвода (равномерное нарастание корочки в угловых зонах сляба)

Интенсивный теплообмен существенно влияет на прочностные и пластические характеристики формирующейся корочки сляба, величину силы и работы трения между корочкой сляба и стенкой кристаллизатора, адекватную работу шлакообразующей смеси.

В условиях пониженных температур физико-технологические характеристики и свойства гарнисажа изменяются. Рекомендуемый диапазон температур плавления смеси составляет 1100-1200 °С, это условие выполняется на мениске металла, но при контакте со стенками кристаллизатора с вышеуказанными расходами воды уменьшается жидкотекучесть смеси, нарушается равномерность ее распределения по поверхности сляба непосредственно в угловых

зонах. Это приводит к повышению трения в углах кристаллизатора и смещению поверхностных слоев металла.

На фотографиях образцов поверхности отобранных угловых зон сляба после глубокого травления четко видны смещение металла по направлению вытягивания, «затянутые» следы качания, трещины по следам качания (рис. 2, а). Повышенное трение в углах заготовки при вытягивании слитка способствует неоднородному распределению микродеформации. В большинстве случаев разрушение начинается в участках, показавших наибольшую пластичность, а увеличение степени деформации в зоне разрушения идет за счет развития трещины. Условия разрушения металла сляба вследствие накопления повреждений в ходе



**Рис. 2.** Смещение металла в углах сляба (а); незначительное смещение металла в углах сляба (б)

ползучести можно выразить через критическую (для образования трещин) скорость изменения температуры в слябе  $(T_i)^*$ , которая определяется из условий действия термоупругих напряжений критического уровня разрушения  $\sigma_i^*$  ( $i = 1, 2$ ) (или деформации  $\varepsilon_i^*$ ) в течение времени длительной прочности  $t_c$  [5].

$$(T_i)^* = (\sigma_i^* / E\alpha\tau) [1 - \exp(-t_c / \tau)]^{-1}, \quad (2)$$

где,  $t_c(\sigma_i^*)$  — характерное время разрушения в ходе высокотемпературной деформации при заданной скорости в данном температурном интервале (время длительной прочности при напряжении  $\sigma_i^*$ ),  $\sigma^*$  определяется типом и характером структуры.

К моменту разрушения сталь не исчерпывает запаса пластичности, так как разрушение происходит в местах, где присутствуют включения. Участки микроструктуры, дополнительно ослабленные неметаллическими включениями, при приложении растягивающих напряжений увеличивают риск образования поверхностных трещин в районах углов, грубых складок по следам качания, особенно при неравномерном теплоотводе по периметру кристаллизатора. Экзогенные включения, локализованные по следам качания и в углах сляба представляют собой преимущественно сложные оксиды и являются концентраторами напряжений. Такое влияние включений связывают с уровнем напряжений на границе «металл-включение», так как пластичность стали зависит от поведения их при деформации в зависимости от индекса деформируемости включения [6]. Индекс деформируемости включений рассчитывается по формуле

$$\nu = \varepsilon_i / \varepsilon_s, \quad (3)$$

где  $\varepsilon_i$  — степень деформации включения,  $\varepsilon_s$  — степень деформации матрицы.

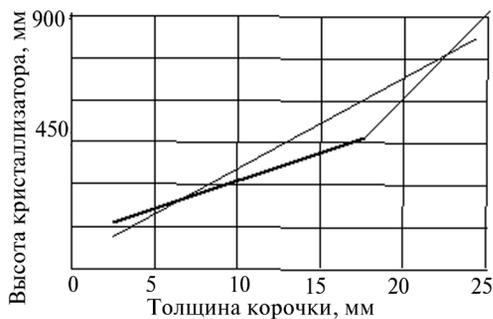
Энергия разрушения твердой составляющей стали в зависимости от количества и размеров включений выражается формулой

$$\gamma_{ТВ} = (1 - f_{вк} - f_{дч}) \gamma_m + f_{вк} \gamma_{вк} + f_{дч} \gamma_{дч}, \quad (4)$$

где  $\gamma_m$ ,  $\gamma_{вк}$ ,  $\gamma_{дч}$  — удельные поверхностные энергии разрушения неметаллических включений, дисперсных частиц, находящихся в плоскости развития трещин на междендритных и межзеренных границах и матричного металла соответственно;  $f_{вк}$ ,  $f_{дч}$  — относительные доли площадей, занимаемых включениями и частицами в плоскости развития трещин.

Анализ результатов эксперимента показывает, что при разливке металла оптимальными будут режимы с меньшими потоками тепла из слитка и, следовательно, меньшими перепадами температур в корочке слитка. Под оптимальным режимом подразумевается режим с расходом воды на узкие грани 520 л/мин, при этом работа трения по узким граням составила 145 Дж, сила трения — 14,2 кН/м<sup>2</sup>. После уменьшения расходом воды на узкие стенки по данным, полученным в «он-лайне» с «MoLd-expert» видно, что нарастание корочки в угловых зонах узких граней происходит равномерно по всей высоте кристаллизатора, прирост корочки составляет 0,1 мм на 10 мм высоты кристаллизатора (рис. 3). Для сравнения на рис. 3 представлен график, отражающий скорость и характер нарастания корочки в условиях жесткого охлаждения и характер, а также скорость нарастания корочки с новым режимом охлаждения.

Результаты исследования поверхности образцов, отобранных узких стенок в районе углов после глубокого травления в 50 % HNO<sub>3</sub> по методике ЦНИИЧМ, показали незначительное смещение металла в углах сляба (рис. 2, б).



**Рис. 3.** Характер нарастания корочки при старом и новом теплоотводах

При исследовании микроструктуры поверхностной и подповерхностной зон в местах смещенного и «затянутого» металла угловых зон, нарушения сплошности, микротрещин повышения интенсивности неметаллических включений не обнаружено. Таким образом, уменьшение расхода воды по узким граням кристаллизатора привело к более равномерному формированию корочки по всему периметру сляба, что комплексно повлияло на работу многих взаимосвязанных технологических характеристик при формировании непрерывнолитого сляба в начальный период затвердевания.



## Литература

1. Куклев А. В., Соснин В. В., Виноградов В. В., Поздняков В. А. Физическая модель образования поверхностных трещин в слябах // *Сталь*. — 2004. — № 11. — С. 95-100.
2. Куклев А. В., Соснин В. В., Виноградов В. В., Поздняков В. А. Механизм образования внутренних трещин в слябах // *Сталь*. — 2005. — № 8. — С. 83-87.

**ГОРЯЙНОВА Т. В.** Вплив початкових умов кристалізації на стан макроструктури в кутових зонах слябів перитектичних марок сталі

*Проведений зрівняльний аналіз впливу різних схем тепловідбору на стан поверхні кутових зон слябів із перитектичних марок сталі.*

**GORYAYINOVA T.** Influence of crystallization initial conditions on macrostructure state at slabs angles of peritectic steel grades

*The comparative analysis of heat sink different schemes influence on surface and microstructure of peritectic steel continuous casting slabs angle zones were performed.*

### **Продолжается подписка на журнал**

*Для того, чтобы подписаться на журнал через редакцию, необходимо направить письмо-запрос или факс в адрес редакции. Счет-фактура согласно запросу высылается письмом или по факсу. Редакция готова предоставить электронную версию журнала на компакт-диске.*

*Стоимость одного журнала – 28 грн.  
Годовая подписка – 336 грн. (для Украины).  
Годовая подписка для зарубежных стран – 90 \$.*