

УДК 669.331

**А. Н. СМІРНОВ\*** (д-р техн. наук, проф.),

**О. В. АНТЫКУЗ\* Ю. Д. САВЕНКОВ\*\***

\* - ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»,

\*\* - ОАО «АЗОЦМ»

## **ОСОБЕННОСТИ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ МЕДНЫХ ЗАГОТОВОК И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ОСЦИЛЛЯЦИИ КРИСТАЛЛИЗАТОРА**

Актуальной является задача совершенствования технологии и оборудования для разливки меди на машинах полунепрерывной разливки в слитки круглого и плоского сечения. Однако разливка рафинированной меди имеет определенную специфику, обусловленную высокой теплопроводностью меди, высокими требованиями к качеству слитка, а также требованиями к повышению скорости разливки.

### **непрерывная разливка, кристаллизатор, медь, трещина, следы качания**

В настоящее время наблюдается тенденция к расширению традиционных областей применения меди и изделий из нее. В промышленно развитых странах особенно активно растет использование меди для целей водоснабжения, из меди делают трубопроводы для холодной и горячей воды. Обусловлено это уникальными физико–химическими свойствами, присущими только меди, которая имеет высокую коррозионную стойкость, практически не взаимодействует с питьевой водой, способна выдерживать резкие перепады давления и замораживание, легко сваривается. Расширяется применение медных трубопроводов и для транспортировки бытового газа.

В электротехнической промышленности кабели, электротехнические шины, трансформаторные обмотки и другие изделия изготавливают из разных сортов высококачественной меди. В тех случаях, когда требуется максимальная электропроводность, применяется «бескислородная медь с высокой электропроводностью», в других же случаях пригодна «технически чистая» медь, содержащая небольшое количество примесей. Такая медь заметно дешевле высококачественной меди с минимальным содержанием примесей и не уступает ей в уровне технологических и эксплуатационных свойств.

Годовое производство рафинированной меди в Украине составляет в среднем 25 тыс. т в год. В Украине более 70% всей потребляемой меди

идет на электротехнические изделия, 15% – на элементы строительных конструкций, 5% – на детали машин и механизмов, 4 % – на транспортные конструкции и 4% – на другие виды изделий. В тоже время для удовлетворения потребностей в металлопродукции из меди и ее сплавов растет импорт в Украину - до 30 тыс. т в год в основном из России [1].

В связи с этим актуальной является задача совершенствования технологии и оборудования для ее разлива на машинах полунепрерывной разлива в слитки круглого и плоского сечения. Однако разливка рафинированной меди имеет определенную специфику, обусловленную высокой теплопроводностью меди, высокими требованиями к качеству слитка, а также требованиями к повышению скорости разлива.

В настоящее время на ОАО «АЗОЦМ» получают медные слитки круглого сечения (максимальным диаметром 400 мм) и плоские слитки (максимальным размером 240x1300 мм) массой до 11 т и длиной до 5 м. Отливка медных слитков осуществляется полунепрерывным методом в медные водоохлаждаемые кристаллизаторы через разливочную коробку миксера и систему стопорно–разливочного дозирующего устройства. Охлаждение слитка под кристаллизатором осуществляется водой, подаваемой методом душирования.

Во время разлива слитков поддерживаются следующие технологические параметры:

- для круглых слитков температура разлива составляет 1165–1185°C, скорость отливки для заготовки Ø185 мм составляет 9-11 м/час, для Ø220 мм – 8-10,5 м/час, для Ø250 мм - 5,5-8,5 м/час, а для Ø300 мм – 4,5-7,0 м/час;

- для отливки плоских слитков температура разлива составляет 1145–1175°C, а скорость разлива - 7–8 м/час.

Сущность метода полунепрерывной разлива заключается в том, что расплавленный металл через зафутерованную в разливочной коробке миксера литниковую систему поступает с определенной скоростью сверху в медный кристаллизатор с подвижным дном. При этом огнеупорная проводка литниковой системы погружается в жидкую ванну на определенную глубину (ниже зеркала металла в кристаллизаторе), а зеркало расплава в кристаллизаторе покрывается слоем технического углерода, что исключает окисление расплава при литье.

При разливе медных сплавов процесс затвердевания заготовки практически полностью завершается в кристаллизаторе. По сути, кристаллизатор является единственной механической частью установки полунепрерывного литья, которая соприкасается с расплавленной медью. Он является наиболее важной функциональной частью МПНЛЗ, которая экс-

плуатируется в достаточно сложных условиях. По мере затвердевания слиток вместе с поддоном постепенно движется вниз.

Принимая во внимание тот факт, что чистая медь имеет более высокую теплопроводность, а также имеет достаточно низкие литейные свойства, процесс затвердевания в кристаллизаторе имеет некоторые отличия в сравнении с медными сплавами и сталью (Рисунок 1).

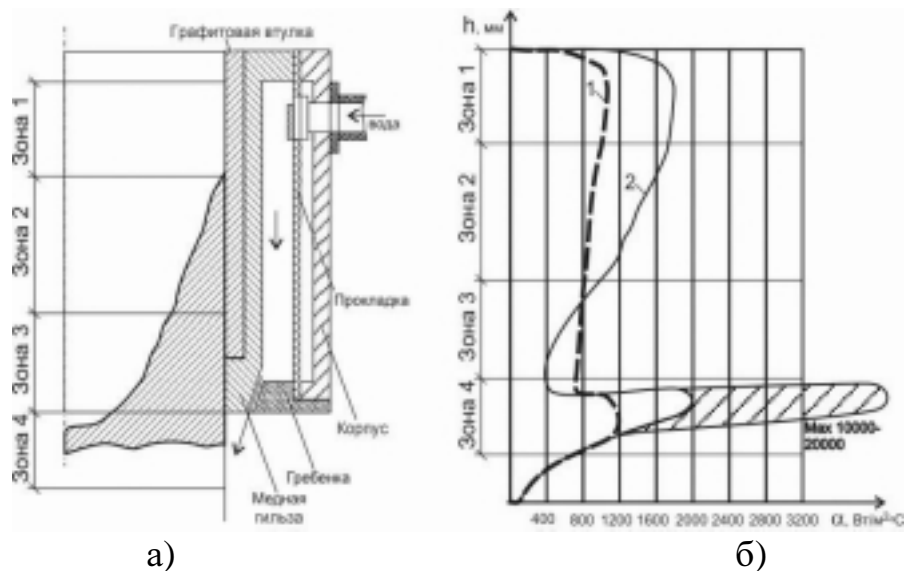


Рисунок 1 - Зоны кристаллизации медных заготовок: *а* – область кристаллизации, *б* – изменение удельного коэффициента теплопередачи  $\alpha$  по высоте стенки кристаллизатора  $h$  (1 - равномерное охлаждение; 2 - неравномерное охлаждение).

В процессе кристаллизации медной заготовки выделены 4 зоны кристаллизации слитка (рисунок 1):

- зона 1 – зона снятия теплоты перегрева. Локальный коэффициент теплоотдачи при «равномерном» охлаждении в этой зоне не превышает  $1000 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ , при «неравномерном»  $1800 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ . Протяженность зоны составляет от 80 до 100 мм от зеркала металла;
- зона 2 – зона непосредственного контакта затвердевшей корочки со стенкой кристаллизатора. Локальный коэффициент теплоотдачи при «равномерном» охлаждении здесь не превышает  $850 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ , при «неравномерном» – не более  $1400 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$ . Протяженность зоны напрямую зависит от геометрии стенки: если геометрия стенки повторяет профиль слитка с учетом его усадки, то можно увеличить высоту зоны; если нет, то она очень короткая. Увеличение протяженности данной зоны способствует повышению общего теплоотода, что подтверждается ростом температуры выходящей воды при прочих равных условиях;

- зона 3 – зона теплопередачи через образовавшийся воздушный зазор. Локальный коэффициент теплоотдачи при «равномерном» охлаждении зоны не превышает  $700 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ , при «неравномерном» –  $400 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ . Чем меньше зазор в этой зоне, тем больше коэффициент теплопередачи. В этой связи необходимо стремиться к созданию такого профиля кристаллизатора, который бы обеспечил наименьший зазор в этой зоне;
- зона 4 – зона вторичного охлаждения путем выхода воды из кристаллизатора на слиток. Локальный коэффициент теплоотдачи в этой зоне при «равномерном» охлаждении превышает  $1200 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$ , при «неравномерном» - до  $2000 \text{ Вт/м}^2\text{°С}$  и выше. В обеих схемах охлаждения он может достигать  $12\text{-}25 \text{ кВт/м}^2\text{°С}$ , что провоцирует образование трещин при высокой температуре слитка.

Из практики полу- и непрерывной разливки металлов хорошо известно, что сообщение кристаллизатору возвратно-поступательных движений с определенными частотой и амплитудой обеспечивает повышение качества поверхности заготовки за счет предотвращения «прилипания» твердой корочки к поверхности кристаллизатора. Следы качания представляют собой волнообразную поверхность непрерывнолитой заготовки (Рисунок 2).

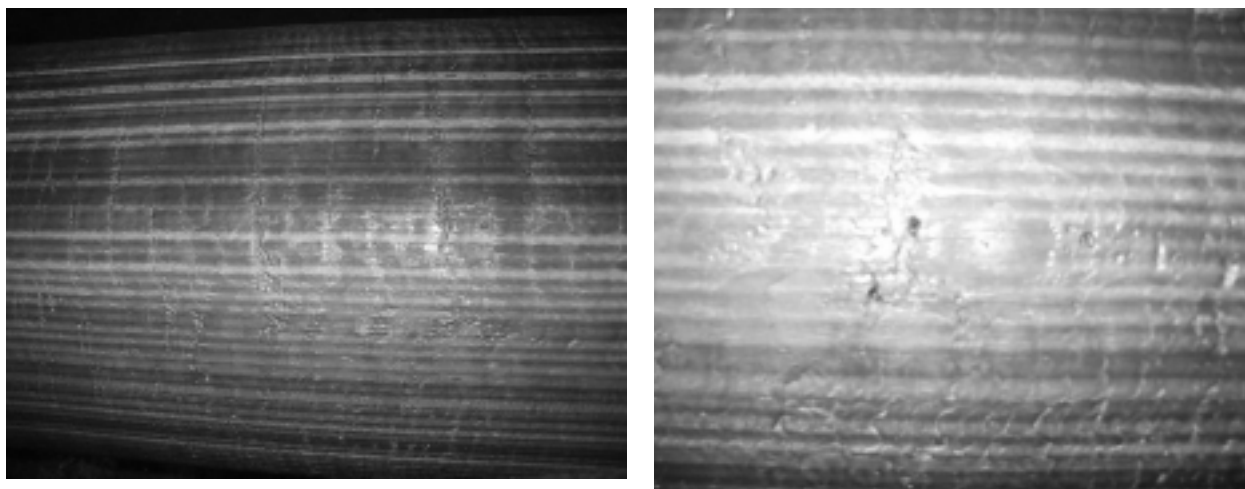


Рисунок 2 - Надрывы, складчатость и поперечные трещины на поверхности чернового слитка

Следы качания могут являться причинами образования трещин и снижать производительность процесса, поскольку для устранения трещин требуется шлифовка продукции. Заготовка, разлитая при оптимальной частоте качаний, будет отличаться более мелкими следами качания, редкими

трещинами и, что более важно, углубления будут характеризоваться одинаковыми свойствами и глубиной.

На рисунке 3 представлен механизм формирования следов качания (зона 2) на поверхности непрерывнолитой заготовки [3, 4]. Рисунок 3 отображает пять продольных сечений области мениска во время одного цикла колебаний, сечения А – Е. Сечение А выполнено в самом начале цикла, предполагается, что затвердевший металл частично прилип к стенке кристаллизатора и, следовательно, движется вверх вместе с кристаллизатором. Данная часть твердого металла считается оболочкой мениска невыпуклой формы. Самый высокий край движущейся вниз корочки слитка не прилипает к стенке кристаллизатора. Наоборот, между ним и стенкой кристаллизатора скользящий контакт, и край корочки слитка движется вниз со скоростью разливки (на схеме изображен зазор, но подразумевается наличие трения скольжения). Таким образом, между корочкой слитка и стенкой кристаллизатора появляется более высокое контактное сопротивление (ухудшается теплопроводность), чем существующее между прилипшей оболочкой мениска и стенкой кристаллизатора.

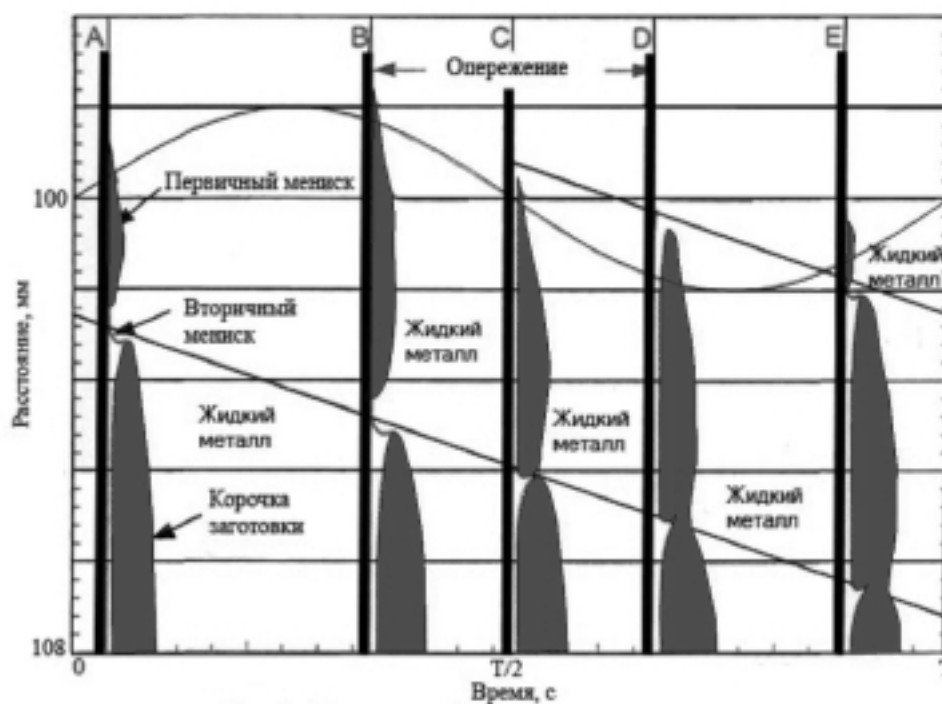


Рисунок 3 - Механизм формирования заворота и следа качания на поверхности заготовки в кристаллизаторе

Сечение В на рисунке 3 изображает начало фазы опережения. В это момент верхний край оболочки мениска проступает над первичным мени-

ском. Вторичный мениск застывает раньше, в начале опережения, между оболочкой мениска и корочкой слитка устанавливается твердый мост. С увеличением опережения оболочка мениска отрывается от стенки кристаллизатора. Сечение С рисунка 3 изображает состояние в точке максимальной относительной скорости, что может наступить несколько раньше или несколько позже. К окончанию фазы опережения слитка – сечение D – существовавшая ранее оболочка мениска становится новым окончанием движущейся вниз корочки слитка. Поскольку стенка кристаллизатора открыта для непосредственного контакта с жидкостью (представлено сечением E), на самом верхнем краю корочки слитка начинает формироваться новая оболочка мениска. Описанный процесс повторяется при следующем цикле.

В связи с необходимостью стабилизации процессов литья на МПНЛЗ для условий ОАО «АЗОЦМ» и технической целесообразностью повышения скорости вытяжки заготовки при условии повышения ее качества представляется целесообразным проведение оптимизации параметров качания кристаллизатора применительно к конкретным условиям литья.

Для придания кристаллизатору возвратно-поступательного движения применяется механизм качания кристаллизатора. Они бывают с электро-механическим и гидравлическим приводом. В условиях ОАО «АЗОЦМ» используются механизмы качания с электро-механическим приводом. Схема механизма качания представлена на рисунке 4.

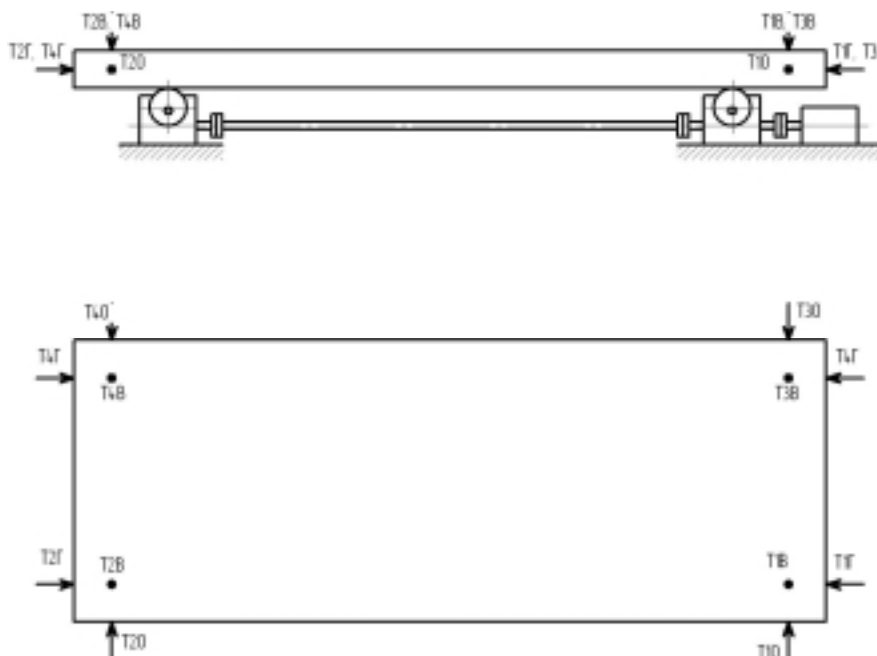
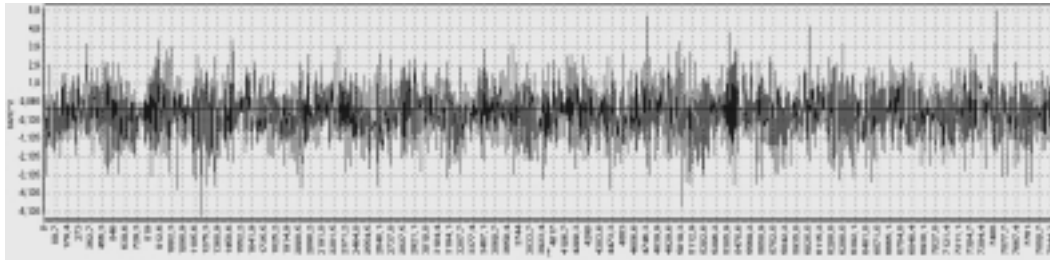
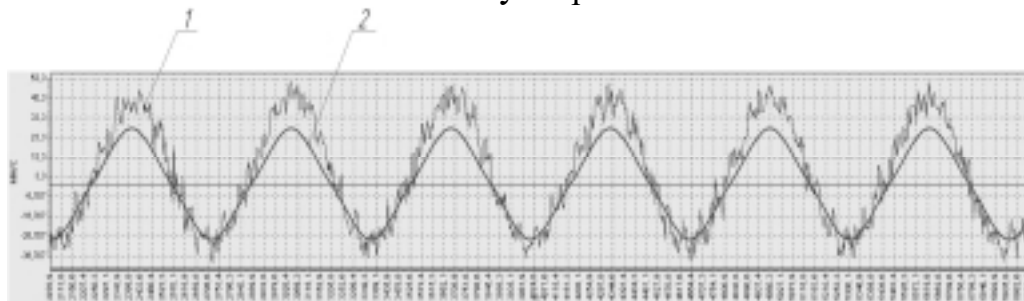


Рисунок 4 – Схема электромеханического механизма качания с точками измерения параметров осцилляции

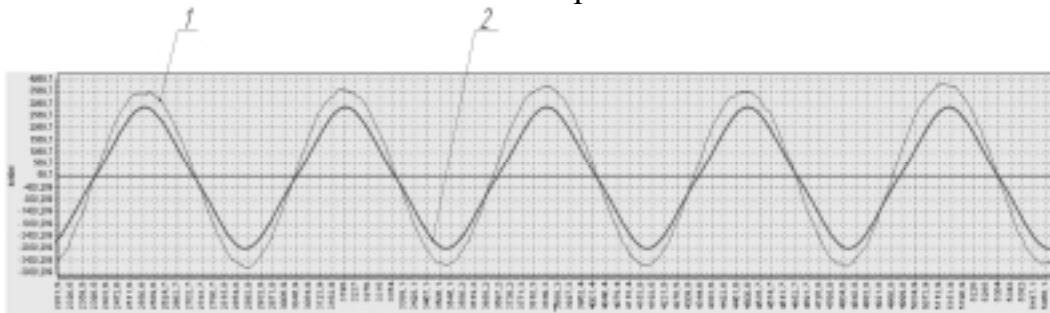
Для оптимізації параметрів качання кристаллизатора в умовах ОАО "АЗОЦМ" в першу чергу були произведені вимірювання параметрів осциляції кристаллизаторів (вказаних на рисунку 4 точках) з використанням віброаналізатора 795М. Це дозволило виявити деякі несправності механізму і усунювати їх. Приклад часових форм осциляції кристаллизатора представлений на рисунку 5.



Сигнал ускорения



Сигнал скорости



Сигнал перемещения

Рисунок 5 - Временная форма сигналов ускорения, скорости и перемещения кристаллизатора миксера №2: 1 – кривая, полученная в результате измерений; 2 – идеальная кривая, рассчитанная по заданным амплитуде и частоте качания

Последующим этапом был анализ реальных параметров осциляції кристаллизатора МПНЛЗ и дефектов, образующихся при разливке. В соответствии с этим анализом для миксеров №1 и №2 были рассчитаны рациональные режимы качания кристаллизаторов. В качестве основного критерия по выбору параметров качания кристаллизатора были приняты глубина и расстояние между следами качаний (шаг). Эти режимы осциляції

были рассчитаны для диапазона скоростей разливки 6-15 м/ч. Шаг между следами качания должен быть в диапазоне 10-15 мм с учетом возможной прочности корочки. Ход кристаллизатора составил 5,8 мм. Рассчитанные режимы качаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Режимы осцилляции кристаллизатора, обеспечивающие расстояние между следами качания 10 мм

Исходные данные				Параметры осцилляции		
Скорость разливки	Скорость разливки	Шаг следов качания	Ход	Частота качания кристаллизатора	NST	NSP
м/час	м/мин	м	мм	1/мин	с	%
1	1	3	4	5	6	7
6	0,100	0,010	5,800	10,00	1,890	31,51
6,6	0,110	0,010	5,800	11,00	1,719	31,51
7,2	0,120	0,010	5,800	12,00	1,575	31,51
7,8	0,130	0,010	5,800	13,00	1,454	31,51
8,4	0,140	0,010	5,800	14,00	1,350	31,51
9	0,150	0,010	5,800	15,00	1,260	31,51
9,6	0,160	0,010	5,800	16,00	1,182	31,51
10,2	0,170	0,010	5,800	17,00	1,112	31,51
10,8	0,180	0,010	5,800	18,00	1,050	31,51
11,4	0,190	0,010	5,800	19,00	0,995	31,51
12	0,200	0,010	5,800	20,00	0,945	31,51
12,6	0,210	0,010	5,800	21,00	0,900	31,51
13,2	0,220	0,010	5,800	22,00	0,859	31,51
13,8	0,230	0,010	5,800	23,00	0,822	31,51
14,4	0,240	0,010	5,800	24,00	0,788	31,51
15	0,250	0,010	5,800	25,00	0,756	31,51

В результате расчетов было принято решение о модернизации механизма качания кристаллизатора с целью обеспечения возможности регулировки частоты качания кристаллизатора. Рекомендуемый диапазон частоты качания - 7-25 кач/мин (текущий диапазон 80-100 кач/мин), что позволит применить рассчитанные режимы осцилляции, и добиться максимально возможных результатов для этого типа привода.

Таким образом, в данной работе были освещены особенности полунеперывной разливки медных слитков и их сплавов. Были определены особенности затвердевания меди в кристаллизаторе и механизм формирования следов качания при разливке меди. Для условий конкретного предприятия были выданы рекомендации по устранению некоторых неисправностей механизма качания кристаллизатора, рассчитаны оптимальные ре-



жимы осцилляции кристаллизатора и выданы рекомендации на модернизацию привода механизма качания кристаллизатора.

### Список литературы

1. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. - М.: Интермет Инжиниринг, 2004. – 442 с.
2. Wolf M. Mold Oscillation Guidelines // Steelmaking Conference Proceedings. 1991. – P.51-71.
3. Влияние качания кристаллизатора на качество поверхности непрерывнолитых слэбов / Э.Шюрман, Л.Фиге, Х.-П.Кайзер, Т.Клагес // Черные металлы. 1986. №22. – С.27-33.

Надійшла до редколегії 04.09.2009.

**О. М. СМІРНОВ\*, О. В. АНТИКУЗ\*,  
Ю. Д. САВЕНКОВ\*\***

\* - ДВНЗ «Донецький національний технічний університет,

\*\* - ВАТ «АЗОЦМ».

**A. N. SMIRNOV\*, O. V. ANTYKUZ\*,  
YU. D. SAVENKOV\*\***

\* - SHSI «Donetsk National Technical University»,

\*\* - AZOZM.

**Особливості напівбезперервного розливання мідних заготовок та оптимізація режимів гойдання кристалізатора.** Актуальним є завдання вдосконалення технології й устаткування для розливання міді на машинах напівбезперервного розливання в зливки круглого й плоского перетину. Алерозливання рафінованої міді має певну специфіку, обумовлену високою теплопровідністю міді, високими вимогами до якості зливка, а також вимогами до підвищення швидкості розливання.

*безперервне розливання, кристалізатор, мідь, тріщина, сліди гойдання*

**Semicontinuous Casting of Copper Bars and Optimization of Mould Oscillation Modes.**

The problem of improving the technology and equipment for copper semicontinuous casting into round and plane section billets is important today. However, refined copper-casting is a specific process which is conditioned by high heat conductivity of copper, high requirements to the quality of billets, and requirements to the increase of casting speed

*continuous casting, mold, copper, oscillation, crack, oscillation mark*

© А. Н. Смирнов, О. В. Антыкуз, Ю. Д. Савенков, 2009