УДК 623.418.4(075.8)

ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Кушнерова Е.Ю., Беленький А.В., Бредихин В.Н., Беленькая Т.В. *(ДонНИПИЦМ, ДонНТУ , г.Донецк, Украина)*

The macrostructure peculiarities of copper alloy billets produced by horizontal continuous casting unit are investigated. The structure analysis of continuous billets of different section has shown the temperature of liquid metal effects significantly the structure and skewness of macrostructure.

Введение. Анализ особенностей теплосъема, макро-, микроструктуры и механических свойств формирования заготовки на установках горизонтального непрерывного литья (УГНЛ) приводит к следующей физической модели данного процесса. В установившемся режиме вытягивания основное влияние на формирование заготовки оказывают термоконвективные потоки в жидком ядре, жидко-твердой и твердо-жидкой зоне. Наиболее интенсивные термоконвективные потоки существуют в зоне жидкого-твердого ядра. В последующих зонах, согласно работам Ю.А. Нехендзи и А.М. Самарина [1], когда от металла отведена ≈ 20 % теплоты кристаллизации, термоконвективный поток практически исчезает. Большинство работ посвящены однофакторным исследованиям влияния технологических факторов на качественные характеристики отливаемой заготовки [2,3].

Задачей исследования является исследование влияния технологических факторов УГНЛ на характер формирования структуры заготовок медных сплавов. Экспериментально-статистическими методами исследована природа ассиметрии процесса затвердевания заготовки в горизонтальном закрытом кристаллизаторе.

Основная часть исследований. Термоконвективные потоки в горизонтальном цилиндре рассматриваются в виде суперпозиции базисных движений [4], одним из которых является движение жидкости в вертикальной плоскости, проходящей через ось цилиндра. Эта составляющая и является определяющей в горизонтальном кристаллизаторе.

На рис. 1 представлен характер конвективных потоков при формировании заготовки в горизонтальном кристаллизаторе.

Горячий металл с температурой $\theta^{(1)}_{ж}$ входит в кристаллизатор, омывает лунку по границе жидко-твердой зоны и выходит из кристаллизатора с температурой $\theta^{(2)}_{ж}$. Значение $\theta^{(1)}_{ж}$ больше $\theta^{(2)}_{ж}$ на величину перегрева жидкого металла.

В начале формирования заготовки на стенках водоохлажаемой графитовой вставки кристаллизатора (формообразователя) формируется корочка с очень малым значением $\sigma_в$.

На образовавшуюся корочку в этот период действуют три силы: гравитационная, усадочная и металлостатического давления. Эффективный зазор между корочкой и графитовой вставкой кристаллизатора в этот период минимальный, но в нижней части несколько меньше, чем в верхней.

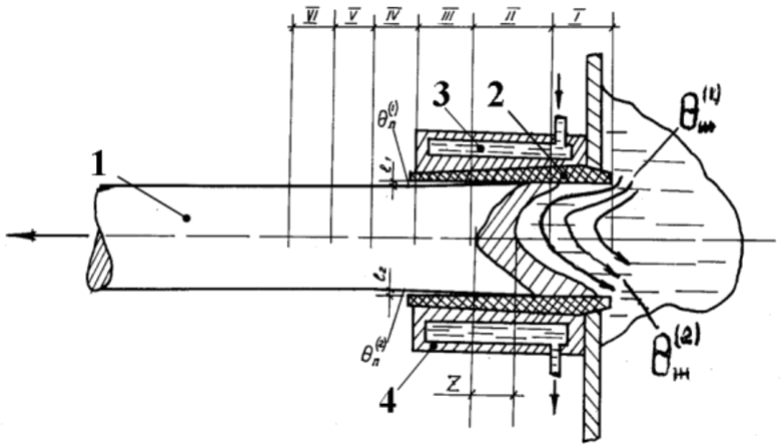


Рис. 1. Характер термоконвективных потоков в зоне формирования заготовки на УГНЛ

При экспериментальных разливках в качестве шихты использовалась сертифицированная чушковая бронза марки Бр ОЦС 5-5-5, химический состав которой представлен в табл. 1. Бронза данной марки относится к числу оловянистых (медноловянистых) бронзовых литейных сплавов.

Таблица 1. Состав и основное назначение бронзы марки Бр ОЦС 5-5-5 [1, 5]

Содержание элементов, %			Область применения
Sn	Zn	Pb	
4 ? 6	4 ? 6	4 ? 6	Водяная и паровая арматура, шестерни; антифрикционные детали и арматура

Изучаемая бронза относится к числу переходных сплавов – от однофазных α-бронз к двухфазным [6,7]. Данная бронза обладает высокими антифрикционными свойствами. Это объясняется тем, что при затвердевании в сплаве образуется резко выраженная дендритная структура, причем в осях дендритов содержание олова меньше, чем в межосных пространствах, являющихся вследствие появления участков эвтектоида более твердыми. При работе детали, изготовленной из бронзы, на трение твердые прослойки служат опорой, а мягкие участки, вырабатываясь, облегчают приработку и способствуют образованию на поверхности мельчайших каналов, по которым может циркулировать смазка. В связи с этим данная марка бронзы часто применяется для изготовления антифрикционных деталей [5].

Экпериментальные исследования проводились на установке горизонтального непрерывного литья при производстве бронзовых заготовок сплошного (круглого) сечения различного диаметра, рис. 2.

При использовании дорна отливались полые заготовки толщиной стенки не менее 0,1 наружного диаметра заготовки. Применялся медный водоохлаждаемый кристаллизатор с графитовой формообразующей вставкой.

При исследовании макроструктуры от непрерывнолитых заготовок отрезали образцы длиной около 150 мм. Затем из полученных образцов изготовлялись продольные и поперечные макрошлифы для изучения структуры заготовок.

Темплеты для исследования макроструктуры подвергались травлению 50% раствором HNO_3 с последующей нейтрализацией в 30% $NaOH$ и промывкой в проточной воде.

Следует отметить, что все исследованные темплеты не имели пористости, шаговых надрывов, неслитин, трещин или других видимых дефектов. Поверхность непрерывнолитых заготовок, полученных на установке горизонтального непрерывного литья, является чистой и гладкой. Инородных, шлаковых и неметаллических включений на поверхности заготовок обнаружено не было.

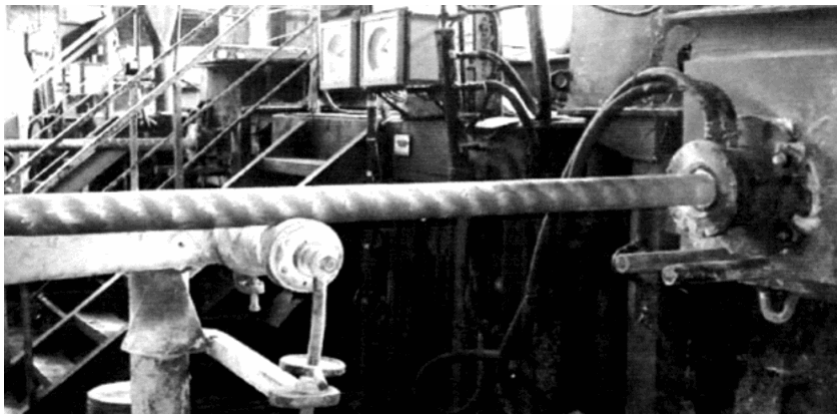


Рис.2. Установка горизонтального непрерывного литья -УГНЛ (не показаны узлы: вытягивания, порезки и складирования)

В результате исследований было отмечено, что характерной особенностью макроструктуры, которая наблюдалась в полученных образцах, являлось наличие трех основных зон кристаллизации:

- корковая зона заготовки, которая характеризуется мелкозернистой структурой (зона мелких равноосных кристаллов);
- промежуточная зона, характеризующаяся разноориентированной структурой (кристаллы разной ориентации, размеры которых в два раза превосходят кристаллы корковой зоны);
- зона крупных ориентированных по тепловому потоку кристаллов.

Было отмечено, что абсолютные размеры кристаллов во всех зонах с увеличением сечения заготовки возрастают. Кроме того, протяженность зон, за исключением корковой, зависит от технологического режима горизонтального непрерывного литья.

Другой особенностью полученных непрерывнолитых заготовок является наличие асимметрии макроструктуры. При исследовании структуры образцов было отмечено, что смыкание фронтов отдельных дендритов всех теплетов совпадает с тепловым центром затвердевания заготовки, расположение которого по сечению зависит от технологических параметров режима непрерывного литья.

Анализ макроструктуры непрерывнолитых бронзовых заготовок диаметром 40 мм показывает, что снижение температуры жидкого металла способствует изменению протяженности структурных зон. При низкой температуре заливаемого металла ($T_{ж.м.}$ = 1000 °С) макроструктура по всему сечению исследуемого образца представлена довольно крупными кристаллитами, ориентированными по тепловому потоку. По мере увеличения температуры жидкого металла ($T_{ж.м.}$ = 1100 °С и $T_{ж.м.}$ = 1150 °С) кристаллиты в верхней части нерпрерывнолитой заготовки имеют

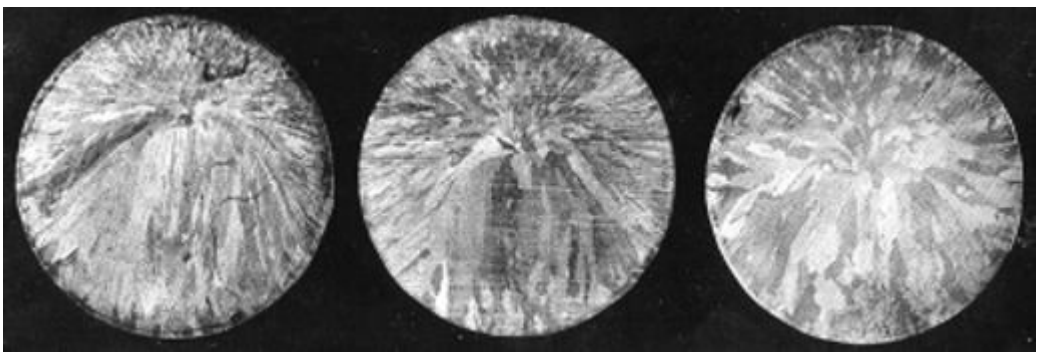
мелкокристаллическую равноосную структуру, аналогичную структуре корковой зоны, при этом около 50% всей площади темплета занято мелкими кристаллами.

На рис. 3 представлена макроструктура непрерывнолитых медных заготовок. Таким образом, снижение температуры жидкого металла ($T_{ж.м.}$) при литье бронзовых заготовок малых сечений способствует выравниванию асимметрии и структуры по сечению непрерывнолитого образца.

Аналогичное влияние данного технологического параметра непрерывного литья на характер изменения макроструктуры наблюдается также и на других диаметрах полученных бронзовых заготовок, в т.ч. и на полых заготовках.

Рис. 3. Влияние температуры жидкого металла на макроструктуру заготовок (d = 40 мм), поперечные темплеты, ?1: а – $T_{ж.м.}$ = 1000 °С, б - $T_{ж.м.}$ = 1100 °С, в - $T_{ж.м.}$ = 1150 °С

Анализ макроструктур литых заготовок диаметром 70 мм, представленных на рис. 4, показал, что температура жидкого металла (при изменении от 1000 до 1100°С) оказывает существенное влияние на измельчение и асимметрию структуры.



а) **б)** **в)**

Рис. 4. Влияние температуры жидкого металла на структурную асимметрию непрерывнолитых заготовок (d = 70 мм), поперечные темплеты, ?1: а) – $T_{ж.м.}$ = 1100 °С; б) - $T_{ж.м.}$ = 1050 °С; в) - $T_{ж.м.}$ = 1000 °С

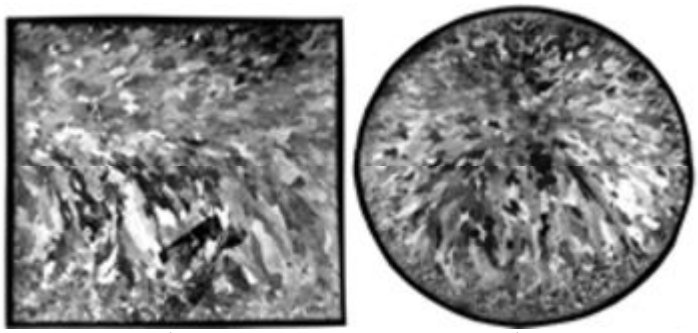
Как видно из представленных макроструктур, при увеличении температуры жидкого металла наблюдается измельчение структуры по всему сечению заготовок.

Температура жидкого металла также оказывает значительное влияние на макростроение и особенно асимметрию получаемой структуры при литье заготовок больших сечений (d = 100 мм).

Как и в случае непрерывного литья заготовок малых сечений, температуру жидкого металла при отливке заготовок больших сечений с экономической и технологической точки зрения наиболее целесообразно поддерживать в диапазоне от 1000 до 1050 °С.

Повышение температуры выше 1050 °С кроме усиленной эрозии огнеупоров и графита (кристаллизатора), перерасхода электроэнергии и частичного снижения производительности процесса литья также способствует увеличению асимметрии заготовки и укрупнению макроструктуры.

Макроструктура бронзовой заготовки большого сечения, полученной при оптимальном технологическом режиме горизонтального непрерывного литья, представлена на рис. 5. . Готовая продукция отлитая при оптимальном режиме показана на рис.6.



а) б)

Рис. 5. Макроструктура бронзовой заготовки при оптимальном режиме непрерывного литья заготовки (d = 100 мм, шаг вытягивания 30 мм, $T_{ж.м.}$ = 1050°С), ? 1: а) – продольный образец, б) – поперечный образец

Кроме того, на макроструктуре продольных образцов бронзовых заготовок большого сечения (d = 100 мм) было отмечено, что при увеличении температуры жидкого металла кристаллиты в нижней части удлиняются, становятся более тонкими, тем самым увеличивается асимметрия структуры непрерывнолитой заготовки.

Как показали исследования, при увеличении температуры заливаемого металла увеличиваются конвективные потоки в зоне формирования заготовки. Увеличение термоконвективного потока металла в верхней части заготовки при этом способствует измельчению макроструктуры и ее разориентированию

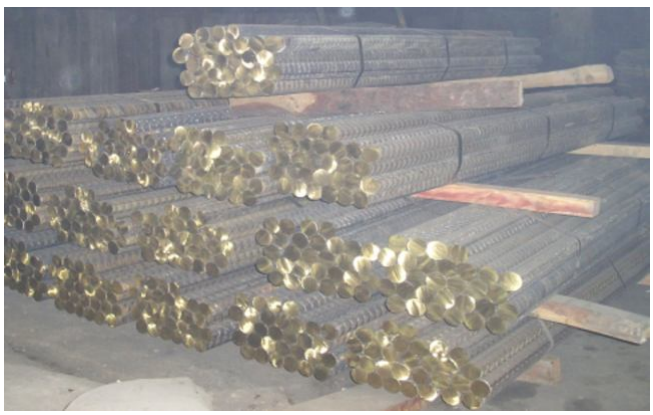


Рис.6. Готовая продукция О 100мм и длиной 6000мм отлитая в оптимальном режиме

В зоне теплового центра заготовки наблюдается турбулизация максимального значения, поэтому в этой области наблюдается зона резкого измельчения отдельных кристаллитов, которые по своей величине и форме напоминают кристаллы корковой зоны.

Выводы. Характер затвердевания заготовки в горизонтальном закрытом кристаллизаторе определяются в основном термоконвективными потоками, которые являются функцией температуры расплава на входе в кристаллизатор и параметров вытягивания.

Ассиметрия аккумулированного тепла в заготовке, при повышении температуры заливаемого металла приводит к увеличению усадки в нижней части кристаллизатора. При повышении температуры выше 1100°С увеличиваетсч структурная ассиметрия.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что температура жидкого металла оказывает значительное влияние на строение и особенно асимметрию получаемых макроструктур непрерывнолитых бронзовых заготовок различных сечений. Увеличение температуры жидкого металла способствует измельчению структуры по сечению бронзовых заготовок, полученных способом горизонтального непрерывного литья.

Список литературы: 1. Гуляев А.П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1978. – 646с. **2.** Бахтиаров Р.А., Воробьев Л.А. Производство слитков тяжелых цветных металлов методами полунепрерывного и непрерывного литья. – М.: Цветметинформация, 1974. – 97 с. **3.** Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. – М.: Мир, 1977. – 551 с. **4.** Кожанов В.А., Кушнеров В.Ю., Бредихин В.Н., Кушнерова Е.Ю. Влияние технологических параметров УГНЛ на качество заготовки. // Міжнар. збірник наукових праць «Прогресивні технології и системи машинобудування», Вип. 33. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – С. 361-367. **5.** Лахтин Ю.М., Леонтьев В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 493с. **6.** Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. - М.: Металлургия, 1975. – 448 с. **7.** Мальцев М.В. Металлография цветных металлов и сплавов. – М.: Металлургиздат, 1960. – 345 с.

Надійшла до редколегії 22.04.2009 р.

ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Кушнерова Е.Ю., Беленький А.В., Бредихин В.Н., Беленькая Т.В.

У статті досліджений вплив технологічних чинників УГНЛ на характер формування структури заготовок мідних сплавів. Експеріментально-статістічеськимі методами досліджена природа ассиметрії процесу твердіння заготівки в горизонтальному закритому кристалізаторі.

УГНЛ, структура заготовок медных сплавов, ассиметрия процесса затвердевания заготовки, закрытый кристаллизатор