

д.т.н. Смирнов А. Н.
(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина,
stalevoz@i.ua),
к.т.н. Куберский С. В.
к.т.н. Семирягин С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),
Ухин В. Е.
(ГВУЗ «ДонНТУ», г. Донецк, Украина)

ОСОБЕННОСТИ НЕПРЕРЫВНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЛИТЬЯ ПОЛОЙ КРУГЛОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Показана принципиальная возможность получения качественных непрерывнолитых полых труб из меди огневого рафинирования и ее сплавов. Установлено, что уровень механических свойств непрерывнолитого металла близок, а в некоторых случаях даже превышает характеристики свойственные прессованной трубе. Особенно это характерно участкам трубы с мелкокристаллической структурой. Установлено благоприятное влияние фосфора в меди на улучшение литейных свойств (качества поверхности).

Ключевые слова: медь, сплавы, непрерывная разливка, полая заготовка, параметры, свойства, качество.

Развитие производства цветных металлов и в частности меди, является важной народнохозяйственной задачей для любого индустриально развитого государства. Медь является одним из основных металлов, на которых во многом держится современная цивилизация. Она широко используется: в качестве кабельно-проводниковой продукции; из меди создают высокоэффективные теплообменные агрегаты; благодаря уникальному сочетанию физико-химических свойств медные изделия широко применяют в промышленном и гражданском строительстве.

Основными доминирующими тенденциями, сопровождающими развитие процессов получения медной продукции, является стремление производителей снизить материалоемкость и улучшить качество полупродукта уже на стадии получения слитков и заготовок. Эти проблемы получают наибольшую актуальность в условиях повышения удельной производительности агрегатов, что обеспечивает высокий энергосберегающий эффект [1-4].

Одним из наиболее развитых сегментов рынка изделий из цветных металлов являются медные трубы.

В настоящее время достаточно распространенной для производства труб различного назначения из меди, ее сплавов и других цветных металлов, является технология предусматривающая:

- отливку слитков полунепрерывного литья;
- нагрев и прессование мерной литой заготовки;
- холодную прокатку прессованной трубной заготовки;
- волочение катанной трубы до конечного размера.

Данная технологическая цепочка является весьма материалоемкой и энергозатратной, что в конечном счете приводит к высокой себестоимости готовой продукции. По этим причинам во многих странах мира производители переходят на новые, более перспективные, экономически привлекательные и экологически безопасные технологические процессы изготовления труб из цветных металлов общего и специального назначения.

В настоящее время в мире используются в производстве, находятся на стадии внедрения или разрабатываются следующие технологии изготовления медных тянутых труб, которые в качестве исходной заготовки применяют литую полую трубу:

- технология «Directube process» («Cast and Roll process») позволяет отливать трубную заготовку из меди под горячую прокатку на планетарном стане;

- инновационная технология «UPCAST® SG Tube» финской компании «UPCAST OY», позволяет получать литую полую заготовку из меди в бухтах большой массы под волочение на станах типа «Spinner block»;

- обычная технология «UPCAST» применяется в основном в КНР для производства непрерывнолитых труб под дальнейшую холодную прокатку (используется только для производства труб неотчетственного назначения, например, защитных оболочек коаксиальных кабелей);

- технология отливки полых заготовок на установке непрерывного горизонтального литья под холодную прокатку на пилгримовом стане (на сегодняшний день до конца не отработана, вследствие чего не получила распространения среди производителей трубного проката из меди).

Необходимо отметить, что из разнообразия инновационных технологических схем значительная часть новейших разработок в указанной области предусматривает применение полой литой заготовки, изготовленной на установках непрерывного литья.

Главной особенностью практически всех технологических схем получения полой литой заготовки из меди для дальнейшей прокатки и волочения, является необходимость использования катодной меди. Возможность использования меди огневого рафинирования для производства полой литой заготовки, в настоящее время, не подтверждена ни одним из вышеперечисленных разработчиков инновационных технологий. Механические свойства меди резко меняются в зависимости от наличия примесей. По сравнению с катодной медью медь огневого рафинирования содержит повышенное содержание кислорода и ряд неудаляемых примесей: серебро, никель и

др. Несмотря на присутствие перечисленных примесей отечественные предприятия, располагают технологиями позволяющими получать рафинированный металл, удовлетворяющий всем требованиям, предъявляемым к меди используемой в производстве изделий электротехнической промышленности [5]. Кроме того, механические свойства меди – упругость, пластичность, вязкость, твердость и т.д. можно существенно улучшить за счет предварительной механической обработки, например, прессования, прокатки, термической обработки и др.

При использовании катодной меди применение технологии изготовления медной тянутой трубы за счет холодной прокатки полой литой заготовки, позволяет уменьшить прямые производственные затраты на 2-5% по сравнению с наиболее распространенным процессом получения труб из прессованных слитков. Дополнительная эффективность, в пределах 20-30 %, может быть достигнута за счет замены дорогостоящих катодов на рафинированную медь, что значительно повысит конкурентоспособность медной продукции.

В технологической системе производства продукции из меди значительную роль играет этап разлива и затвердевания металла, на котором формируется ряд ее потребительских свойств и основные технологические свойства, влияющие на дальнейшие процессы обработки давлением – плотность, макроструктура, пластичность, прочность и т.п.

Одним из наиболее эффективных способов разлива цветных металлов, является непрерывное литье в горизонтальный закрытый кристаллизатор имеющее ряд существенных преимуществ по сравнению с непрерывным литьем вниз или вверх:

- отсутствие деформации слитка позволяет разливать хрупкие и трещиноватые металлы и сплавы, которые не выдерживают разгиба, характерного, например, для радиальных машин [6];

- горизонтальное расположение оборудования даёт возможность при незначительных затратах менять технологическую длину машины, количество и расположение устройств вторичного охлаждения,

электромагнитного перемешивания, переходить на литье другого сечения и т.д.;

- отсутствует вторичное окисление при переливе металла из металлоприёмника в кристаллизатор;

- возможность разливать заготовки малых сечений, благодаря прямой связи металлоприёмника с кристаллизатором, а также более стабильно получать заготовки круглого сечения. Ввиду высокого ферростатического давления в зоне начального формирования слитка (ЗНФС), процесс затвердевания протекает равномерно, что облегчает отливку круга, склонного к образованию овальности [7]. Причём овальность формируется, как правило, именно в ЗНФС и далее её исправить практически невозможно;

- установки горизонтального непрерывного литья (УГНЛ) при равенстве литейных параметров (производительность, диаметр отливаемых заготовок) менее металлоемкие, компактные, не требуют сложных строительных решений, просты в эксплуатации;

- УГНЛ целесообразно экономически и технически использовать при мелкосерийных производствах с большой гаммой номенклатуры, т.е. там, где предусмотрены частые переходы (технологические останки).

Кроме того, применение в составе технологической линии УГНЛ, отличающейся главным образом малыми габаритами и, соответственно меньшими капиталовложениями при сооружении, позволяет снизить нижнюю границу производительности завода до 10-50 тыс. т и успешно использовать их в составе металлургических микрозаводов.

Металлургические микро-заводы с годовым выходом менее 100 тыс. т имеющие в своем составе УГНЛ можно рекомендовать к применению:

- на машиностроительных предприятиях, имеющих металлургическое производство, для выпуска продукции небольших профилированных размеров;

- на небольших металлургических предприятиях при необходимости организации производства небольших партий мелкосортного проката в короткие сроки;

- при перепрофилировании или реконструкции машиностроительных предприятий;

- при ликвидации или реконструкции крупных металлоёмких сооружений, для переработки металлолома непосредственно на месте производства работ.

Как было отмечено выше в настоящее время определенный сектор рынка медной металлопродукции занимают трубы, заготовки, для которых могут производиться с использованием УГНЛ (рисунок 1). При этом имеется возможность сочетать невысокую стоимость и производительность установки с более высоким качеством получаемых заготовок по неметаллическим включениям и газовой пористости. Кроме того, легче решается вопрос организации непрерывной порезки металла и обслуживания технологического оборудования.



Рисунок 1 – Отливка круглых заготовок на установке горизонтального непрерывного литья

Особенно привлекательны УГНЛ для производства полых трубных заготовок, что позволяет значительно упростить технологическую схему получения готовой металлопродукции.

Одним из недостатков традиционной технологии получения труб являются ограничения размеров и особенно длины используемых заготовок получаемых разливкой в изложницы или полунепрерывным способом. Эти ограничения обусловлены в основном мощностью и габаритами рабочего пространства прессового оборудова-

ния. Получение полых непрерывнолитых заготовок практически полностью решает данную проблему и позволяет использовать в технологической схеме заготовки имеющие значительно большую длину.

Основная цель данной работы заключалась в исследовании параметров процесса получения непрерывнолитой полый трубной заготовки из меди и ее сплавов для последующей холодной прокатки и волочения, а также анализе свойств металла в зависимости от изменяющихся параметров процесса разливки.

Для оценки влияния параметров непрерывного горизонтального литья на качество полый трубной заготовки размером 76×56 мм из меди (МЗ) предназначенной для дальнейшей холодной прокатки на стане ХПТ были опробованы различные режимы процесса, значения которых представлены в таблице 1.

Важными параметрами непрерывного горизонтального литья полый заготовки является скорость и шаг разливки, оптимальные значения которых обеспечивают попадание дорна в жидкую фазу и предотвращают полное затвердевание на нем заготовки. Кроме того, оптимальный профиль (конусность) поверхности дорна, а также организация вторичного охлаждения внутренней поверхности полых слитков, позволяют избежать проплавления формирующейся оболочки ниже уровня дорна.

Характер нарастания наружной и внутренней оболочек слитка по его длине, по крайней мере, в пределах кристаллизатора, дорна и верхней части зоны вторичного охлаждения, подчиняется закону квадратного корня. В зоне регулируемого теплоотвода, наблюдается некоторое увеличение скорости нарастания оболочки. Оболочка, формирующаяся на дорне, в начальный период затвердевания растет быстрее, чем у стенок кристаллизатора, по мере удаления от мени-

ска скорость кристаллизации уменьшается и лишь в зоне водяного охлаждения темп нарастания оболочки вновь увеличивается [8].

В ходе исследований было установлено, что при увеличении шага вытягивания более 10 мм на поверхности заготовки образуются поперечные трещины. Попытка устранения трещин снижением скорости вытягивания заготовки за счет уменьшения частоты тока преобразователя до 8,59 Гц не способствовала устранению поверхностных дефектов, а привела к затруднениям вытягивания трубы и рывкам, что свидетельствовало о смещении области кристаллизации отливки ближе к литниковым отверстиям графитовой сборки, в результате чего мог произойти обрыв заготовки.

Положительная динамика в снижении трещинообразования была отмечена при нагреве расплава в печи до 1170 °С.

Наилучшее качество поверхности непрерывнолитых заготовок удалось достичь при температуре расплава в печи 1140-1150 °С, частоте тока преобразователя (скорости литья) 11,0-11,1 Гц и давлении воды в системе охлаждения кристаллизатора 1,9 атм. При этом стоит отметить, что число трещин было незначительным, расстояние между ними составляло 0,3-0,4 мм, а размер не превышал 5-8 мм. При повышении температуры разливаемого расплава до 1170-1180 °С, трещины (видимые невооруженным глазом) исчезли.

Для исследования структуры полых непрерывнолитых заготовок и определения их механических свойств от 7 труб были отобраны экспериментальные образцы. Химический анализ отобранных образцов показал, что образцы 1-4 соответствуют меди марки МЗр, а образцы 5-7 не попадают даже в марку МЗ из-за высокого содержания свинца – 0,047-0,053%.

Таблица 1 – Технологические параметры непрерывного литья полый трубной заготовки

Технологические параметры	Единицы измерения	Значения
Температура расплава	°С	1150-1240
Давление воды в системе охлаждения кристаллизатора	атм.	1,5-3
Частота тока преобразователя	Гц	10,98-14,28
Шаг вытягивания	мм	7-12

Исследование поперечных макрошлифов показало, что все образцы, отобранные в процессе эксперимента, не смотря на различия в химическом составе и технологических режимах разливки, характеризуются идентичной структурой (рисунок 2). Сектор трубы с углом примерно 60 градусов, примыкающий к нижней части графитовой втулки кристаллизатора (рисунок 2, участок 1) имеет мелкозернистую структуру с размером отдельных зерен 0,5-1,5 мм, остальной сектор литой трубы отличается крупнозернистой структурой с размером отдельных зерен 1,5-5,0 мм.



1 – мелкозернистая структура;
2, 3 – крупнозернистая структура

Рисунок 2 – Макроструктура поперечного сечения опытной медной трубы, отлитой на установке непрерывного горизонтального литья

Одной из основных причин наличия крупнокристаллической структуры в верхней части заготовки является образование воздушного зазора между верхней частью отливки и графитовой втулкой кристаллизатора вследствие усадки кристаллизующейся заготовки и воздействия силы тяжести, под действием которой отливка стремится занять крайнее нижнее положение в полости графитовой втулки. Данный недостаток является характерной особенностью непрерывного горизонтального литья. Образование воздушного зазора между отлив-

кой и графитовой втулкой в верхней части кристаллизатора приводит к тому, что резко снижается величина теплового потока от кристаллизующегося металла к воде, циркулирующей в системе охлаждения. Это приводит к значительному снижению скорости кристаллизации, и как следствие, к увеличению размеров формирующегося зерна в верхней части отливки.

В результате визуального осмотра образцов на части из них обнаружены продольные поверхностные межкристаллитные трещины (рисунок 3). Наличие дефектов на поверхности литой заготовки свидетельствует о том, что в процессе кристаллизации и последующего охлаждения отливки в ней образовывались значительные термические напряжения, превышающие прочность металла при высоких температурах (близких к температуре начала кристаллизации расплава).



Рисунок 3 – Продольные межкристаллитные трещины на поверхности экспериментальной трубной заготовки

Учитывая различия в макроструктуре нижней и верхней частей литой заготовки, проведены замеры твердости (НВ), пределов прочности (σ_B), текучести (σ_T) и относительного удлинения участков с мелкокристаллической и крупнокристаллической структурой, результаты которых иллюстрируются рисунками 4 и 5.

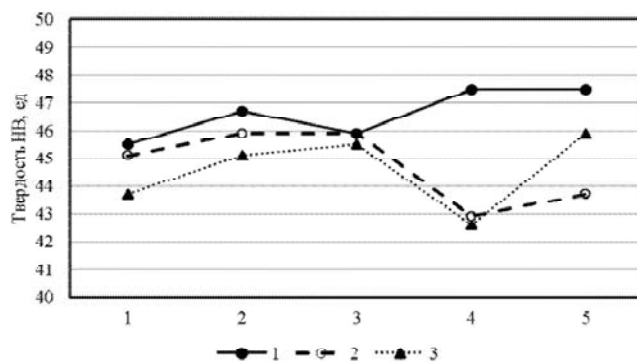
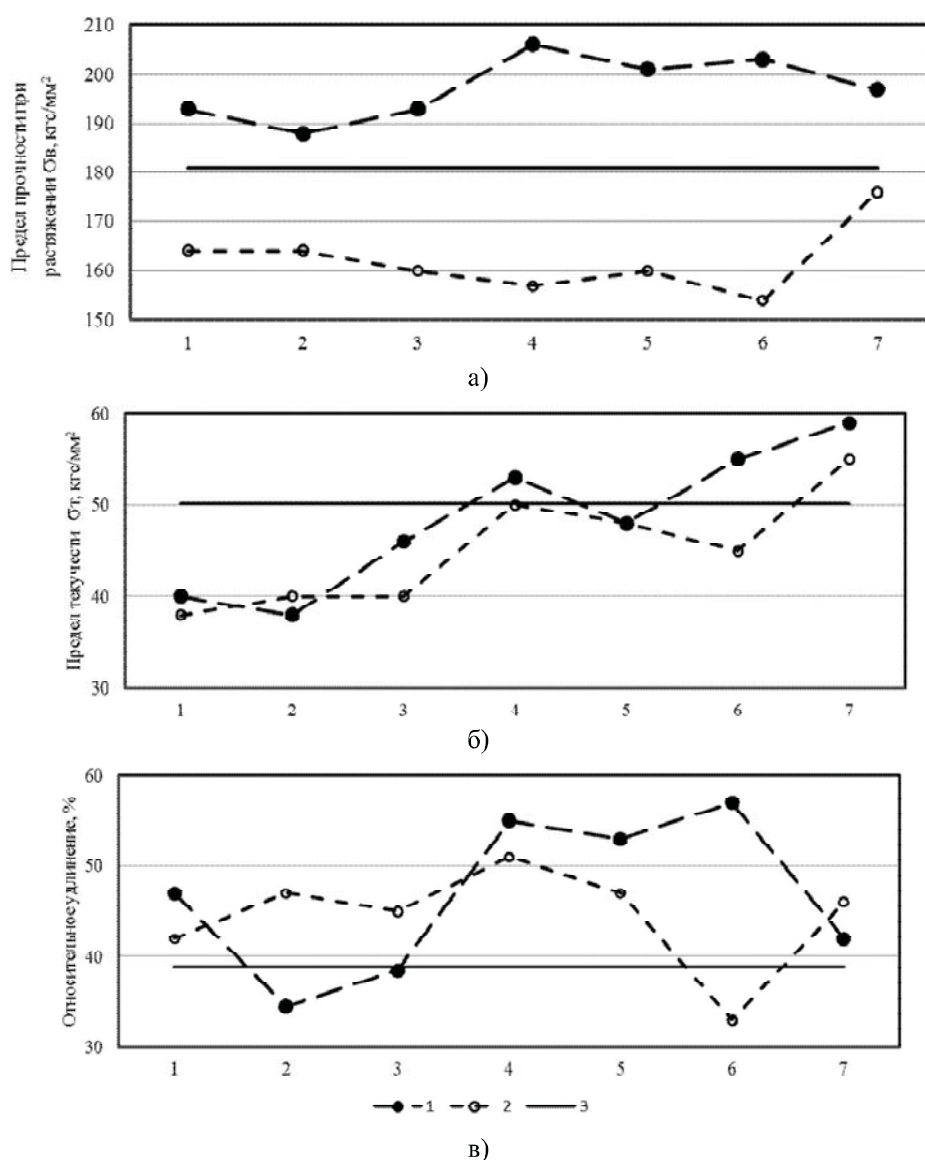


Рисунок 4 – Твердость образцов отобранных от участков заготовки с мелкокристаллической (1) и крупнокристаллической структурой (2,3)



1 – мелкокристаллическая структура; 2 – крупнокристаллическая структура; 3 – среднее значение для прессованного металла

Рисунок 5 – Пределы прочности (а), текучести (б) и относительное удлинение (в) исследованных образцов заготовки

Для исследования твердости и механических свойств литой трубной заготовки из каждого отобранного образца трубы были вырезаны по два плоских фрагмента стандартных размеров (две полоски), предназначенных для проведения испытания на разрыв. Один из этих образцов вырезался из зоны, характеризующейся крупнокристаллической структурой, второй – из зоны с мелкокристаллической структурой.

Представленные данные свидетельствуют о том, что твердость мелкозернистой структуры незначительно превышает твердость крупнозернистой (разность средних показателей составляет 2,06 единицы или 4,4 %).

Предел прочности металла по сечению медной литой заготовки изменяет свои значения в зависимости от размера макроструктуры. Так, нижняя часть отливки, характеризующаяся мелкозернистой структурой, имеет более высокий показатель σ_b , чем верхняя часть, отличающаяся крупнозернистой структурой. Разница в показателях составляет в среднем 35 кгс/мм² (или 17,7 %). Значения предела прочности при растяжении образцов, вырезанных из нижней части литой трубы, превосходят аналогичный показатель прессованной трубы (197,3 и 181,1 (среднее по 6 образцам) кгс/мм², соответственно). Значения предела прочности при растяжении образцов, вырезанных из верхней части трубы (с крупнозернистой структурой), меньше предела прочности прессованной трубы.

Результаты замеров относительного удлинения участков литой трубы, отличающихся размерами структурных составляющих, не выявили четко выраженной закономерности: относительное удлинение одного и того же образца, исследованное на участке с крупнозернистой структурой, может быть как больше, так и меньше аналогичного показателя, определенного на участке с мелкокристаллической структурой. Литая заготовка вне зависимости от величины зерна имеет большие значения

относительного удлинения, чем прессованная заготовка, для которой среднее значение по 6 образцам составило 38,9 %.

Участки трубной заготовки с мелкозернистой структурой имеют более высокие значения условного предела текучести σ_T , чем участки того же образца, но имеющие крупнозернистую структуру. Трубная заготовка, отлитая с более мелким шагом вытягивания (образцы 4-7) имеет большие значения предела текучести металла, чем образцы, полученные с более крупным шагом вытягивания (образцы 1-3). Литая заготовка, полученная с шагом вытягивания 10 мм, имеет меньшие значения предела текучести, чем прессованная заготовка. Предел текучести заготовки отлитой с шагом вытягивания 7 мм имеет значения, сопоставимые со значениями предела текучести медной прессованной трубы (среднее значение по 6 образцам (62,5; 50,5; 45,0; 46,5; 48,5; 48,0) – 50,1 кгс/мм²).

Таким образом, проведенные исследования показали принципиальную возможность получения качественных непрерывнолитых полых труб из меди огневого рафинирования и ее сплавов длиной 8 м и более. Уровень механических свойств непрерывнолитого металла близок, а в некоторых случаях даже превышает характеристики свойственные прессованной трубе. Особенно это характерно участкам трубы с мелкокристаллической структурой. Установлено благоприятное влияние фосфора в меди (на верхнем пределе) на улучшение литейных свойств (качества поверхности). Кроме того, определена оптимальная конструкция дорна — конус 1,25°, окна для затекания расплава — длинна 25 мм, ширина — 12-13 мм.

В ходе дальнейших исследований по совершенствованию технологии непрерывной разливки медной трубной заготовки под дальнейшую холодную прокатку необходимо исследовать условия теплоотвода в различных зонах кристаллизатора и его влияние на размеры зерна непрерывнолитой заготовки.

Библиографический список

1. Кац А.М. Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов / А.М. Кац, А.Г. Шадек // – М.: – Металлургия, – 1983. – 208 с.
2. Кац А.М. Совершенствование конструкции плоского кристаллизатора для литья меди и медных сплавов / А.М. Кац, В.В. Седов, В.Ф. Запорожец и др. // Цветные металлы. – 1987. – №4. – С.77-80.
3. Буров А.В. Литье слитков медных сплавов / А.В. Буров // – М.: – Металлургия. – 1972. – 184 с.
4. Уткин Н.И. Производство цветных металлов / Н.И. Уткин // – М.: – Интермет Инжиниринг. – 2004. – 442 с.
5. Рафинированная медь Украины: / Ю.Д. Савенков, В.И. Дубоделов, В.А. Шпаковский, В.А. Кожанов, Е.В. Штепан // – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2008. – 176 с.
6. Швердтфегер К. Непрерывная разливка стали на горизонтальной МНЛЗ / К. Швердтфегер // – Чёрные металлы. – 1986. – №1. – С. 3-11.
7. Койано Т. Разработка и промышленное применение процесса горизонтальной непрерывной разливки на МНЛЗ компанией "Ниппон Кокан" / Т. Койано, М. Ито // Достижения в области непрерывной разливки стали. – М.: Металлургия, 1987. – С. 210-220.
8. Генкин В.Я. Непрерывнолитые круглые заготовки / В.Я. Генкин, А.Т. Есаулов, М.И. Староселецкий, М.И. Пикус, В.А. Журавлев // – М.: Металлургия, 1984. – 143 с.

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

Статья поступила в редакцию 01.10.13.

д.т.н. Смірнов О. М. (ДВНЗ «ДонНТУ», м. Донецьк, Україна, stalevoz@i.ua),
к.т.н. Куберський С. В., к.т.н. Семірягін С. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна,
Skuberskiy@yandex.ru), к.т.н. Ухін В. Є. (ДВНЗ «ДонНТУ», м. Донецьк, Україна,)

**ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПЕРЕРВНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЛИТТЯ
ПОРОЖНИСТОЇ КРУГЛОЇ ЗАГОТОВКИ З МІДІ ТА МІДНИХ СПЛАВІВ**

Показано принципову можливість отримання якісних безперервнолитих порожнистих труб з міді догневого рафінування та її сплавів. Встановлено, що рівень механічних властивостей безперервнолитого металу близький, а в деяких випадках навіть перевищує характеристики властиві пресованій трубі. Особливо це характерно ділянкам труби з мілкокристалічною структурою. Встановлено сприятливий вплив фосфору в міді на поліпшення ливарних властивостей (якості поверхні).

Ключові слова: мідь, сплави, безперервне розливання, порожниста заготівка, параметри, властивості, якість.

Smirnov A. N. (DonNTU, Donetsk, Ukraine, stalevoz@i.ua), Kuberskiy S. V., Semirygin S. V. (DonSTU, Alchevsk, Ukraine, Skuberskiy@yandex.ru), Ukhin V. E. (DonNTU, Donetsk, Ukraine)

**FEATURES CONTINUOUS HORIZONTAL CASTING ROUND BILLET HOLLOW OF
COPPER AND COPPER ALLOYS**

The possibility of obtaining high-quality continuous-hollow tubes made of copper fire refining and its alloys. Found that the mechanical properties of continuously close to the properties of a metal pipe molded. The positive influence of phosphorus on the surface quality of the copper billets.

Key words: copper, alloys, continuous casting, hollow billet, parameters, properties, quality.