



УДК 621.74.06

**И.Ю. Крюков, С.М. Горбатюк,
А.Г. Радюк, А.Ю. Зарапин**
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»
г. Москва, Россия
E-mail: ir.kryukov@gmail.com
Дата поступления 22.12.2016

ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ МАШИНЫ ПОЛУНЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАЗЛИВКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Аннотация

Разработаны компоновки узлов плавильной и охлаждающей частей горизонтальной машины полунепрерывного литья заготовок (далее ГМПЛЗ) для мелкосерийного производства. Для повышения стабильности работы машины был разработан соединительный узел тигля с кристаллизатором, позволяющий создать надежное соединение двух элементов в ходе подготовки машины к началу процесса литья и предотвратить вытекание расплавленного материала в камеру кристаллизатора, а также сконструировано вытяжное устройство, осуществляющее контролируруемую вытяжку всего разливаемого сортамента по заранее выбранной программе. На основе анализа компьютерного моделирования теплового состояния плавильной и охлаждающей частей ГМПЛЗ с целью повышения эффективности разливки был сконструирован кристаллизатор с внутренней рабочей полостью, обеспечивающей равномерный теплоотвод от всех граней отливаемой заготовки. Также представлена конструкция охлаждающего устройства, служащего для выравнивания температуры заготовки как по ее толщине, так и по ширине, что позволяет получить равномерную структуру изделий.

Годовой экономический эффект от использования ГМПЛЗ вместо широко применяемых в настоящее время вертикальных машин полунепрерывного литья заготовок (ВМПЛЗ) за счет снижения брака при разливке медной сутунки 200x20 мм составляет порядка 260 тыс. рублей.

Ключевые слова: горизонтальное полунепрерывное литье, графитовый кристаллизатор, ассиметрично охлаждающее устройство, вытяжное устройство, повышение качества отливаемых изделий, компьютерное моделирование.

Введение

Цветные металлы и изделия из них являются важным сегментом мировой торговли, и их потребление с развитием научно-технического прогресса постоянно растет. Область применения цветных металлов очень широка: приборостроение, электротехника, радиоэлектроника, сфера высоких технологий, а также ювелирная промышленность. Для улучшения качества литья производители литейного оборудования постоянно работают над тем, чтобы увеличить размерную точность и, соответственно, уменьшить массу отливаемых изделий, а также улучшить их товарный вид.

В данной работе представлены конструктивные решения основных элементов

и устройств ГМПЛЗ из цветных и драгоценных металлов и их сплавов для мелкосерийного производства.

Основная часть

Для изучения потребности рынка в литейных машинах для мелкосерийного производства и предъявляемым к ним требованиям был произведен анализ существующих машин. В большинстве случаев разливка происходит на машинах вертикального типа, обладающих рядом недостатков. В качестве основных из них можно выделить частое прерывание технологического цикла разливки в виду ограничения длины отливаемых изделий, обусловленного лимитированной высотой рабочего помещения, в котором установлена машина, а

также удобством обслуживания машины. Кроме того, вследствие недостаточного охлаждения центральной оси заготовки структура отливаемых изделий получается с крупными зернами, что ухудшает в последующих переделах качество конечного продукта.

С целью устранения вышеописанных недостатков было предложено спроектировать ГМПЛЗ с возможностью отливки заготовок с высокой размерной точностью и мелкозернистой структурой, достигаемой за счет правильного подбора рациональной длины и материала кристаллизатора, а также охлаждающего устройства, способного минимизировать разность температур верхней и нижней частей заготовки на выходе ее из кристаллизатора.

Кроме того, было необходимо сконструировать универсальное вытяжное устройство, позволяющее осуществлять контролируемую вытяжку всего сортамента, отливаемого на новой машине.

Анализ потребности рынка в машинах малой производительности определил основные технические характеристики, которые должны быть воплощены в разрабатываемой ГМПЛЗ. К ним относятся возможность разливки цветных и драгоценных металлов и их сплавов с максимальной температурой плавления до 1500°C в следующем сортamente: сутунка с максимальными размерами 200×20 мм, круг диаметром до 70 мм, а также одновременно до 9 прутков диаметром 10 мм [1, 2].

Перед началом проектирования одного из основных элементов ГМПЛЗ кристаллизатора была изучена возможность применения принципа унификации, согласно которому, первоначальные размеры всех элементов и устройств плавильной и охлаждающей части машины определялись размерами камеры кристаллизатора 8 (рисунок 1), ранее сконструированной для вертикальной литейной машины.

Для обеспечения герметичности соединения тигля 1 с кристаллизатором 2 было предложено конусное соединение 3, где тигель – деталь с внешним конусом, кристаллизатор – деталь с внутренним конусом (рисунок 2). В результате практиче-

ских испытаний были установлены рациональные углы конического соединения $\alpha = 40\text{--}50^{\circ}$ и величина зазора $b \geq 5,0$ мм [3].

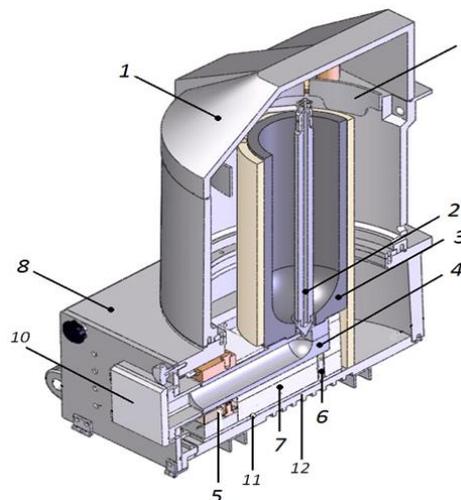


Рисунок 1. Плавильная и охлаждающая части новой машины в сборе:

- 1 – крышка корпуса индуктора; 2 – шток;
- 3 – графитовый тигель; 4 – графитовый кристаллизатор; 5 – охлаждающее устройство; 6 – керамические втулки;
- 7 – изоляционный материал; 8 – камера кристаллизатора; 9 – подъемное устройство; 10 – смотровая крышка;
- 11 – салазки; 12 – дно корпуса

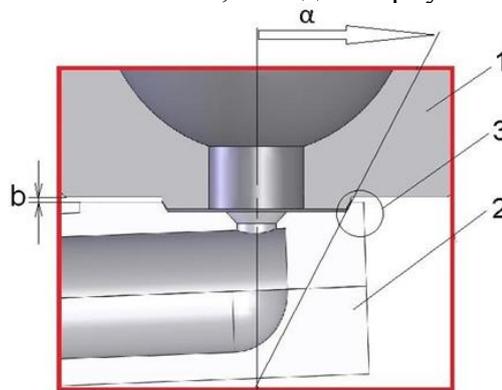


Рисунок 2. Коническое соединение между тиглем и кристаллизатором:

- 1 – плавильный тигель;
- 2 – кристаллизатор;
- 3 – усеченный круговой конус

На основании представленных выше требований к литейной машине была разработана методика проектирования основных элементов и узлов ГМПЛЗ (рисунок 3), основанная на результате анализа распределения температурных полей внутри кристаллизатора по истечению времени его прогрева [4, 5].

Для отливки различных материалов на ГМПЛЗ были введены критерии нагрева кристаллизатора перед началом литья на месте входа его в охлаждающее устройство: $t_{серебра} = 190-200^{\circ}C$, $t_{меди} = 240-250^{\circ}C$, $t_{бронзы} = 290-300^{\circ}C$.

С учетом выбора конического соединения тигля с кристаллизатором и зазора

между ними b и как следствие уменьшение площади контакта между ними, время прогрева кристаллизатора увеличилось с изначально выбранных 5 минут до 45. При этом стоит отметить, что за это время любой из отливаемых на данной машине металлов успевает полностью расплавиться в тигле.



Рисунок 3. Упрощенная схема алгоритма проектирования кристаллизатора ГМПЛЗ

По методике, представленной на рисунке 3, длина кристаллизатора была уменьшена с изначально выбранной 578 мм, что соответствовало максимальной возможной длине кристаллизатора для существующей камеры кристаллизатора, до 380 [6]. При такой длине кристаллизатор успевает прогреться до температур 820-960°C в месте под тиглем и порядка 220°C на входе его в охлаждающее устройство, что позволяет сделать вывод о том, что отливаемая заготовка не застынет преждевременно в кристаллизаторе, при этом выйдет из него с уже твердой коркой.

В качестве материала кристаллизатора был выбран мелкозернистый графит.

Для предотвращения неравномерного теплоотвода внутри кристаллизатора, вызванного за счет усадки отливаемой заготовки в процессе литья, был предложен кристаллизатор (рисунок 4), в котором нижняя стенка 1 имеет постоянную конусность, а верхняя – состоит из двух участков, где Δ – величина сужения стенки. Участок 2 со стороны входа металла в кристаллизатор имеет конусность больше, чем нижняя стенка $\Delta 1/l_1 \cdot 100 > \Delta/l \cdot 100$, а сумма величин сужения участков 2 и 4 верхней стенки равна величине сужения нижней стенки $\Delta_1 + \Delta_2 = \Delta$. При этом место сопряжения 3 участков верхней стенки соответствует

началу образования зазора между заготовкой и боковыми стенками.

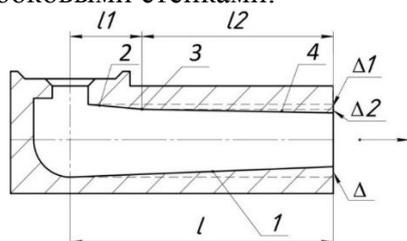


Рисунок 4. Схема продольного сечения кристаллизатора: 1 – нижняя стенка; 2 – участок со стороны входа металла в кристаллизатор; 3 – место сопряжения участков; 4 – верхняя стенка

Для уменьшения неравномерности распределения температуры по толщине заготовки конусность нижней стенки должна составлять 0,85–0,95 %, а участка верхней стенки со стороны входа металла в кристаллизатор, на котором заготовка прижимается к боковым стенкам, – 0,95–1,05 %, длина которого должна изменяться в интервале 0,2–0,5 всей ее длины [7].

Дополнительным способом выравнивания температуры заготовки по ее толщине и ширине является использование охлаждающего устройства (рисунок 5), обеспечивающего ассиметричный теплоотвод от поверхностей заготовки.

Выравнивание температуры по толщине заготовки достигается за счет того, что верхние и нижние части охлаждающего устройства питаются отдельно друг от друга. За счет увеличения давления подачи охлаждающей жидкости в каналах верхней части устройства теплоотвод от верхней поверхности заготовки происходит интенсивнее, чем от нижней.

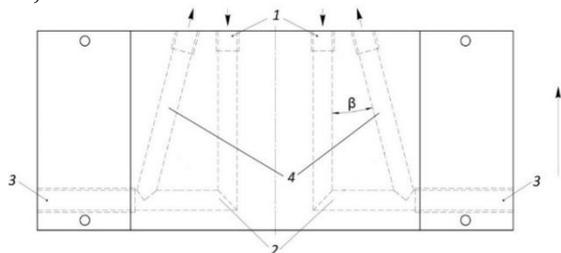


Рисунок 5. Схема охлаждающего устройства: 1 – входные отверстия для подвода воды; 2 – поперечный канал; 3 – заглушка; 4 – каналы для отвода охлаждающей жидкости

Для выравнивания температуры заготовки по ее ширине каналы течения охлаждающей жидкости были нарезаны на основании результата проведенного анализа распределения температурных полей внутри кристаллизатора в процессе его прогрева (рисунок 6).

Охлаждающий контур состоит из канала для подвода охлаждающей жидкости 1, выполненного в центральной части охлаждающего устройства, поперечного канала 2 относительно направления литья и канала для отвода охлаждающей жидкости 4, выполненного под углом β к направлению литья, образуя в этом направлении сужающийся контур. На рисунке 6 видно, что центральная часть кристаллизатора прогрета более интенсивно, чем края. Для выравнивания температуры по ширине кристаллизатора охлаждающую жидкость пускают по центральным каналам охлаждающего устройства против направления литья (в сторону тигля).

Жидкость, протекая к каналу 4, нагревается, охлаждая внешнюю область кристаллизующегося металла менее интенсивно, чем внутреннюю. При этом угол $\beta=10\text{--}15^\circ$ между каналами для отвода охлаждающей жидкости и направлением литья обеспечивает минимальную неравномерность распределения температуры по ширине заготовки [8].

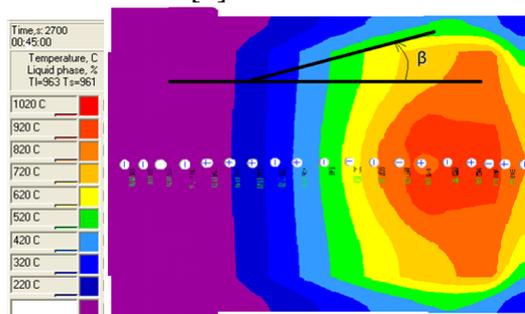


Рисунок 6. Температурные поля внутри кристаллизатора длиной 380 мм

Для новой ГМПЛЗ было разработана конструкция вытяжного устройства, позволяющего вытягивать отливки различного размера и сортамента [9]. Для этого были сконструированы универсальные вытяжные ролики (рисунок 7), которые при помощи специальной компоновки пневмоцилиндров могут в том числе вытягивать до 9 прутков одновременно (рисунок 8).

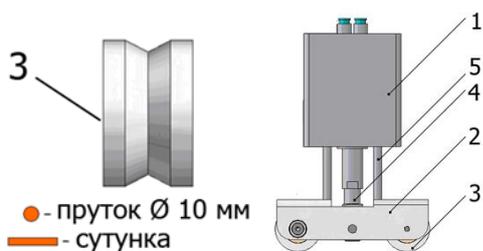


Рисунок 7. Узел прижимных роликов:

- 1 – пневмоцилиндр; 2 – коромысло,
3 – прижимной ролик; 4 – вилкообразная
головка; 5 – стопорный штифт

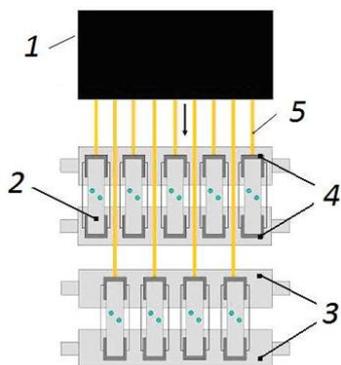


Рисунок 8. Расположение пневмоцилиндров в конструкции вытяжного устройства при вытягивании прутков малого диаметра (вид сверху):

- 1 – кристаллизатор;
2 – пневмоцилиндр; 3 – вытяжные ролики;
4 – прижимные ролики;
5 – пруток малого диаметра

За счет использования в качестве привода вытяжного устройства с мотор-редуктором с асинхронным двигателем и преобразователем частоты, имеется возможность использования различных режимов вытяжки: непрерывная вытяжка с постоянной скоростью, вытяжка с паузой, вытяжка с одним или двумя реверсивными ходами, зависящими от теплофизических и механических свойств расплава.

Заключение

В результате выполненных исследований влияния конструкций элементов ГМПЛЗ на качество отливаемых заготовок найдено решение комплекса научно-практических задач, которое позволило повысить эффективность и стабильность процесса разлива заготовок из цветных и драгоценных металлов:

1. Разработаны компоновки узлов плавильной и охлаждающей частей ГМПЛЗ для мелкосерийного производства.

2. На основании предложенных методов расчета и конструирования, а также анализа характера температурных полей внутри кристаллизатора во время его прогрева перед началом разлива созданы новые конструкции элементов ГМПЛЗ, обеспечивающие повышение стабильности и эффективности работы машины:

– Кристаллизатор прямоугольного сечения с ассиметричной рабочей полостью, сужающейся в направлении литья и позволяющей уменьшить неравномерность температуры по толщине заготовки.

– Охлаждающее устройство, на нижней и верхней частях которого выполнены по два сужающихся в направлении литья контура циркуляции воды, обеспечивающие решение проблемы охлаждения заготовки по ширине. Проблема охлаждения заготовки по толщине решается путем раздельного подвода воды в каждую часть охлаждающего устройства.

– Соединительный узел тигля с кристаллизатором, обеспечивающий повышение надежности их соединения в процессе непрерывного литья и сокращения трудозатрат при обслуживании машины, связанной с заменой кристаллизатора.

– Универсальное вытяжное устройство, обеспечивающее контролируемый процесс вытяжки заготовок различного сечения с учетом скорости литья. Разработан узел прижимных роликов и предложена схема их расположения в конструкции вытяжного устройства.

Библиографический список

1. Баст Ю., Горбатюк С.М., Крюков И.Ю. Горизонтальная установка непрерывного литья заготовок НСС-12000 // *Металлург*. 2011. №2. С. 56–57.
2. Bast J., Gorbatyuk S.M., Kryukov I.Yu. Horizontal HCC-12000 unit for the continuous casting of semi finished products. *Metallurgist*, 2011, Vol.55, № 1–2, pp. 116–118.
3. П.м. 123702 Российская Федерация, МПК В 22 D 11/00. Соединительный узел тигля с кристаллизатором горизонтальной машины непрерывного литья заготовок из цветных металлов и

- сплавов / С.М. Горбатюк, И.Ю. Крюков, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Национальный технологический университет «МИСиС». № 2012118970/02; заяв. 10.05.12; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.
4. Баст Ю., Горбатюк С.М., Крюков И.Ю. Исследование температурных полей кристаллизатора горизонтальной установки непрерывного литья заготовок // *Металлург.* 2011. №3. С. 37–39.
 5. Bast J., Gorbatyuk S.M., Kryukov I.Yu. Study of the temperature fields in the mold of a horizontal continuous caster. *Metalurgist*, 2011, Vol.55, № 3–4, pp. 163–166.
 6. Исследование температурных полей в кристаллизаторе для выбора его геометрических параметров / Крюков И.Ю., Баст Ю., Горбатюк С.М. // *Металлургические машины и оборудование: сб. науч. трудов студентов и аспирантов МИСиС / под ред. Горбатюка С.М.* М.: Издательский дом МИСиС, 2011. С. 37–42.
 7. П.м. 122052 Российская Федерация, МПК В 22 D 11/00. Кристаллизатор горизонтальной машины непрерывного литья заготовок из цветных металлов и сплавов / С.М. Горбатюк, И.Ю. Крюков, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Национальный технологический университет «МИСиС». № 2012122677/02; заяв. 04.06.12; опубл. 20.11.12, Бюл. № 32.
 8. П.м. 120901 Российская Федерация, МПК В 22 D 11/055. Охлаждающее устройство кристаллизатора горизонтальной машины непрерывного литья заготовок из цветных металлов и сплавов / С.М. Горбатюк, И.Ю. Крюков, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Национальный технологический университет «МИСиС». № 2012118969/02; заяв. 10.05.12; опубл. 10.10.12, Бюл. № 28.
 9. П.м. 124201 Российская Федерация, МПК В 22 D 11/00. Вытяжное устройство горизонтальной машины непрерывного литья заготовок из цветных металлов и сплавов / С.М. Горбатюк, И.Ю. Крюков, А.Г. Радюк, А.Е. Титлянов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Национальный технологический университет «МИСиС». – № 2012123458/02; заяв. 07.06.12; опубл. 20.01.13, Бюл. № 2.

Information about the paper in English

I.Yu. Kryukov, S.M. Gorbatyuk, A.G. Radyuk, A.Yu. Zarapin
 National University of Science and Technology «MISIS» (MISIS)
 Moscow, Russian Federation
 E-mail: ir.kryukov@gmail.com
 Received 22.12.2016

THE COMPONENTS AND THE DEVICES OF A HORIZONTAL SEMI-CONTINUOUS CASTING MACHINE FOR ENSURING AN EFFICIENT CASTING PROCESS FOR NON-FERROUS METALS AND ALLOYS

Abstract

Configuration of melting and cooling parts of the horizontal semi-continuous casting machine for small-scale production was submitted. To improve the stability of the machine a joint place of the crucible with the mold was designed allowing to create a secure connection between two machine units before starting the casting process and to prevent an outflow of the molded material into the mold chamber. Also a drawing system was designed, which allows a controlled withdrawal of the whole product range on the new casting machine. In order to improve the casting efficiency and based on analysis of computer simulation of the melting and cooling parts thermal state a casting mold with a special design of internal working space was developed. The new casting mold provides a uniform heat removing from all facets of a cast billet. Also a new design of a cooling device was worked out, which served to align a billet temperature both in its thickness and in width and to provide a uniform product structure.

The annual economic effect from the use of the new designed horizontal casting machine instead of widely used at present time vertical casting machine by reducing of scrap by casting of copper billets in 200x20 mm is about 260 thousand rubles.

Keywords: horizontal semi-continuous casting, graphite mold, asymmetrically crystallizer, drawing system, quality improvement of mold products, computer simulation.