

4. Mann, N. R. Tolerance Bounds a New Goodness – of – Fit Test for Two-Parameter Weibull or Extreme – Value Distribution [Text] / N. R. Mann, K. W. Fertig, E. M. Scheuer // Aerospace Research Laboratories, Wright Patterson Air Force Base, Ohio, ARL 71 – 0077, Contact No, AF 33 (615). – May 1971. –70. – 1216 p.
5. Wei-Chang, Y. A new algorithm for generating minimal cut sets in k-out-of-n networks [Text] / Y. Wei-Chang // Reliability Engineering & System Safety. – 2006. – Vol. 91, № 1. – P. 36-43.
6. Vega, M. Algorithm to evaluate substation reliability with cut and path sets [Text] / M. Vega, H. G. Sarmiento // IEEE Trans. on Industry Applications. – 2008. – Vol. 44, № 6. – P. 1851-1858.
7. Yong, L. Reliability evaluation of composite power systems using Markov cut-set method [Text] / L. Yong, C. Singh // IEEE Trans. on Power Systems. – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 777-785.
8. Канур, К. Надежность и проектирование систем [Текст] / К. Канур, Л. Ламберсон. – М. Мир, 1980. – 604 с.
9. Chryssaphinou, O. Multi-state reliability systems under discrete time semi-Markovian hypothesis [Text] / O. Chryssaphinou, N. Limnios, S. Malefaki // IEEE Trans. on Reliability. – 2011. – Vol. 60, № 1. – P. 80-87.
10. Lozynsky, O. Y. Failure intensity determination using Markov reliability model for renewal non-redundancy systems [Text] / O. Y. Lozynsky, S. V. Shcherbovskykh // Przegląd Elektrotechniczny. – 2009. – Vol. 85, № 4. – P. 89-91.
11. Shcherbovskykh, S. V. Failure intensity determination for system with standby doubling [Text] / S. V. Shcherbovskykh, O. Yu. Lozynsky, Ya. Yu. Marushchak // Przegląd Elektrotechniczny. – 2011. – Vol. 87, № 5. – P. 160-162.
12. Клапан-отсекатель [Текст] : пат. на изобретение 2285180 РФ, МПК8, F16 K17/04 / Светушенко С. Г., Мокеев М. Ю., Смирнов Ю. А. – заявл. 14.02.2005; опубл. 10.10.2006. – 7 с.

Пропонується як параметр забезпечення якості безперервно-литих порожнистих заготовок з мідних сплавів розглядати стабільність процесу лиття. Виявлена умова стабільності процесу безперервного лиття і вдосконалена конструкція дорна шляхом виконання зрізів на його робочій поверхні. Наведено рекомендації щодо забезпечення якості порожнистих безперервно-литих заготовок з мідних сплавів з внутрішнім діаметром 0,05 ... 0,15 м.

Ключові слова: забезпечення якості, порожнисті заготовки, технологічний процес безперервного лиття, стабільність процесу

Предлагается в качестве параметра обеспечения качества непрерывнолитых полых заготовок из медных сплавов рассматривать стабильность процесса литья. Определено условие стабильности процесса непрерывного литья и усовершенствована конструкция дорна путем выполнения срезов на его рабочей поверхности. Приведены рекомендации по обеспечению качества полых непрерывнолитых заготовок из медных сплавов с внутренним диаметром 0,05...0,15 м

Ключевые слова: обеспечение качества, полые заготовки, технологический процесс непрерывного литья, стабильность процесса

УДК 621.074

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛЫХ НЕПРЕРЫВНОЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

О. Н. Хорошилов

Доктор технических наук, доцент*

E-mail: horol@i.ua

А. А. Павлова

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: pavlova_aa@mail.ru

*Кафедра интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства

Украинская

инженерно-педагогическая академия

ул. Университетская, 16, г. Харьков,

Украина, 61003

1. Введение

Процесс непрерывного литья в настоящее время широко распространен в наиболее развитых странах, причиной тому является возможность автоматизации процесса, высокая производительность машины непрерывного литья и стабильность показателей качества непрерывно-литых заготовок.

В настоящее время на машинах непрерывного литья производят полые заготовки из медных сплавов, потребителями которых являются предприятия машиностроительного комплекса.

Недостатком технологического процесса непрерывного литья полых заготовок является тот факт, что увеличение длительности паузы, которая есть неотъемлемой частью циклического движения заготовки, приводит к увеличению усилия извлечения заготовки

из кристаллизатора. Усилие извлечения заготовки формирует две составляющие: сила трения скольжения наружной поверхности заготовки и сила трения скольжения внутренней поверхности охлаждающейся заготовки по дорну. При усадке охлаждающаяся заготовка приходит в силовое взаимодействие с дорном. При определенных условиях (увеличении длительности паузы) для срыва заготовки с дорна понадобится усилие, которое превысит предельно-допустимое усилие разрушения графита, из которого изготовлен дорн. В этом случае будет происходить изготовление сплошной заготовки, что является нарушением стабильности процесса непрерывного литья и значительно снижает качество заготовки.

2. Постановка проблемы

Одним из возможных путей повышения эффективности производства, улучшения качества продукции и условий труда является широкое использование методов непрерывного литья. Наиболее прогрессивными, с экономической и технической точек зрения, являются машины горизонтально-непрерывного литья в графитовый формообразователь с медной водоохлаждаемой рубашкой. Несмотря на то, что машины горизонтального непрерывного литья имеют высокие технико-экономические показатели, их работа может быть значительно улучшена за счет стабилизации технологических параметров, нахождения оптимальных режимов ведения процесса, автоматизации управления работой установки [1].

3. Анализ исследований и публикаций

На машинах непрерывного литья производят сплошные и полые заготовки круглого и поперечного сечения из различных металлов и сплавов.

Процесс непрерывного литья полых заготовок является одним из сложных технологических процессов. Например, в России производство полых заготовок из стали сопровождается прокаткой труб из непрерывно литой заготовки [2].

Использование полых трубной заготовки при изготовлении тянутых медных труб позволяет исключить трудоемкие, энергоемкие и вредные операции литья, прессования и прокатки и получить у производителя труб значительный экономический эффект. Трубная заготовка 046x5 использована для получения готовой трубы 022x2 [3].

Значительно проще осуществляется процесс непрерывного литья полых заготовок из медных сплавов в силу того, что дорн и графитовая втулка кристаллизатора выполняются из графита. Медные сплавы не насыщаются графитом, который является огнеупорным материалом и обладает смазывающим эффектом [4].

Для получения качественных непрерывно литых деформированных заготовок, отвечающим заданным размерно-геометрическим характеристикам и необходимым свойствам, на установке непрерывного литья необходимо учитывать лимитирующий критерий этого процесса. Этот критерий включает в себя режимы

работы устройства, его конструктивные особенности, способы охлаждения и позволяет не только получать качественные металлоизделия, но и обеспечивает безаварийную работу данного устройства [5].

Как показали исследования [6], что если в процессе непрерывного литья полых заготовок скорость непрерывного литья ведется со скоростями, находящимися в интервале: $0,95V_{зад} \leq 0,97V_{зад}$, то заготовка будет иметь ухудшение качества внутренней поверхности заготовки (рис. 1).



Рис. 1. Капля, выступившая на внутренней поверхности заготовки, в процессе подхода фронта затвердевания к торцу дорна

Возникновение «сталактитовых» капель [7], свищающих с верхней образующей внутренней поверхности заготовки, обуславливает взаимное расположение фронта затвердевания и торца дорна (рис. 2). Приближение фронта затвердевания к торцу дорна вызывает попадание в полость заготовки расплава. Это в свою очередь приводит к выливаю расплава из металлоприемника и прекращению процесса.

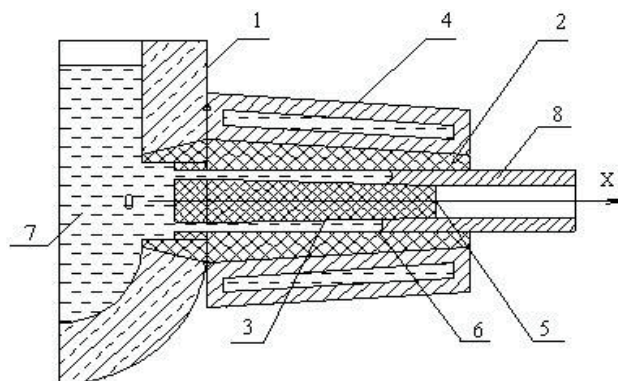


Рис. 2. Конструкция узла кристаллизации машины непрерывного литья полых заготовок из медных сплавов: 1 - корпус металлоприемника; 2 - графитовая втулка кристаллизатора; 3 - дорн для формирования внутренней поверхности заготовки; 4 - водоохлаждаемый кожух кристаллизатора; 5 - торец дорна; 6 - положение фронта затвердевания; 7 - расплав; 8 - полая заготовка

4. Формулировка целей статьи

Целью работы является усовершенствование конструкции дорна для улучшения качества внутренней поверхности заготовки и для обеспечения стабильности процесса непрерывного литья.

5. Разработка мер по обеспечению стабильности процесса непрерывного литья полых заготовок из медных сплавов

Качество заготовок (комплекс физико-механических характеристик) обеспечивается определенным набором технологических параметров процесса непрерывного литья, а так же особенностями конструкции узла кристаллизации (в частности графитового дорна), это особенно актуально для изготовления полых заготовок из медных сплавов на машинах горизонтального типа. Для процесса непрерывного литья полых заготовок одним из основных условий обеспечения производства заготовок, является стабильность процесса. Поэтому разработаем условия для обеспечения стабильности процесса непрерывного литья и повышения качества внутренней поверхности полых заготовок на примере заготовок с внутренним диаметром 0,05, 0,1 и 0,15 м из сплава марки Бр. О5Ц5С5.

При производстве полых заготовок из медных сплавов особое внимание необходимо обратить на следующие параметры процесса:

- средняя скорость непрерывного литья полых заготовок не должна превышать следующего значения:

$$V_{cp} = \frac{L}{T_{ц}} = \frac{V_{дв} \cdot t_{дв}}{t_{дв} + t_{п}} = 0,95V_{зад}, \tag{1}$$

где V_{cp} - средняя скорость непрерывного литья, которая по своей сути является линейной производительностью машины, м/мин; L - величина шага заготовки, $t_{ц}$, $t_{дв}$, $t_{п}$ - длительности цикла, движения, паузы, с; $V_{дв}$, $V_{зад}$ - скорости движения заготовки во время цикла и заданная скорость непрерывного литья;

- средняя скорость непрерывного литья сплошных заготовок не должна превышать заданного значения:

$$V_{cp} = \frac{L}{t_{ц}} = \frac{V_{дв} \cdot t_{дв}}{t_{дв} + t_{п}} = V_{зад}. \tag{2}$$

Во время изготовления сплошных заготовок аналогичное положение с выливанием расплава возникает при приближении фронта затвердевания к торцу графитовой втулки кристаллизатора, если скорость непрерывного литья будет находиться в интервале: $0,95V_{зад} \leq 1,00V_{зад}$.

- длительность паузы не должна превышать заданного значения:

$$t_{п} \leq t_{зад}, \tag{3}$$

где $t_{зад}$ - заданное значение длительности паузы для конкретной производительности машины непрерывного литья, с.

Обеспечить качество технологического процесса непрерывного литья за счет регулирования величины шага и диаметра дорна на усилие извлечение полый заготовки из кристаллизатора можно при соблюдении в каждом цикле движения заготовки условия:

$$P_{извл} < K[P_{пред}^{гр}], \tag{4}$$

где $P_{пред}^{гр} = [\sigma] \cdot F_d$ - предельное усилие вызывающее разрушение графитового материала, из которого изготов-

лен дорн, Н; $[\sigma]$ - предельное напряжение в графите, приводящее его к разрушению, МПа; F_d - средняя площадь поперечного сечения консольной части дорна, м²; $K = 1,35$ - коэффициент запаса.

Один из способов реализации этого является усовершенствование конструкции дорна за счет выполнения на его рабочей поверхности срезов, определение зависимостей изменения усилия извлечения полый заготовки из кристаллизатора от величины шага при различных диаметрах дорна и определение скоростных режимов процесса непрерывного литья.

В такой конструкции дорна должны соблюдаться следующие условия:

- все вершины срезов необходимо выполнить на одной линии, которая расположена под определенным углом ϕ к линиям изотермы фронта затвердевания т.е. к линиям АВ и CD (рис. 3, а);

- в ходе исследований, основанных на работе [6], было определено, что на расстоянии величины шага $0,03 < L < 0,05$ м от фронта затвердевания формируется заготовка прочностью:

$$0,1 \text{ МПа} < \sigma < 1,0 \text{ МПа}; \tag{5}$$

- ширина всех срезов В на торце дорна 5 имеет одинаковое значение, независимо от их длины (рис. 3, б).

В горизонтально расположенном кристаллизаторе машины непрерывного литья возникает термомеханическое расслоение расплава. Поэтому изотерма, соединяющая верхнюю и нижнюю образующие кристаллизатора, расположена под углом ϕ от $2\pi/5$ до $\pi/4$ к оси заготовки (рис. 3, а).

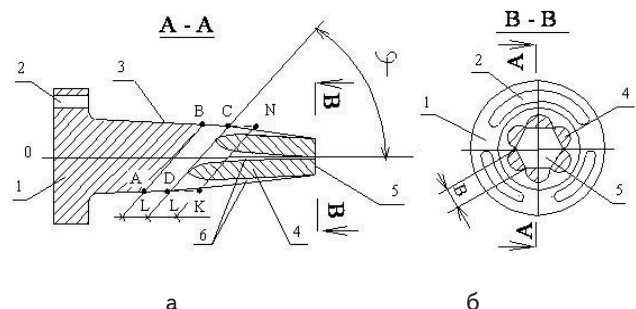


Рис. 3. Усовершенствованная конструкция дорна со срезами на его рабочей поверхности при горизонтальном непрерывном литье: а – сечение А-А; б – сечение В-В (1 – посадочное место дорна, 2 – каналы для прохождения расплава в кристаллизатор; 3 – рабочая (консольная) часть дорна; 4 – срезы на рабочей поверхности дорна; 5 – торец дорна; В – ширина среза на уровне торца дорна; L – величина шага)

В работе [8] показана методика перемещения и расчета положения фронта затвердевания на поверхности дорна. Фронт затвердевания необходимо располагать на расстоянии одного шага от вершин срезов, чтобы на площади участка ABCD мог формироваться участок заготовки шириной L (рис. 3, а). Между фронтом затвердевания и вершинами срезов на поверхности дорна происходит первичное упрочнение и формирование прочности заготовки. Сформированная заготовка, имеющая минимальную прочность, при последующем шаге L продвигается на заштрихованный участок DCKN, расположенный у вершин срезов. При этом

заготовка скользит по направляющим 6, остальная площадь внутренней поверхности, расположенная над срезами, не касается дорна. За счет этого уменьшается площадь контакта внутренней поверхности заготовки с дорном.

Исходя из вышеизложенного, для непрерывного литья полых заготовок, стабильность процесса обеспечивается соблюдением в каждом цикле движения заготовки условия (4).

Это условие направлено на регулирование усилия взаимодействия в контакте «дорн-заготовка» за счет изменения температуры ΔT за время паузы и контроля площади контакта заготовки и дорна со срезами.

Как было показано ранее, внутренний диаметр заготовки имеет существенное влияние на площадь контакта между заготовкой и дорном, образующуюся в процессе формирования внутренней поверхности заготовки.

Для исследования влияния внутреннего диаметра заготовки на усилия извлечения заготовки из кристаллизатора Ризвл проведем теоретические исследования влияние трех типоразмеров заготовки по диаметру: 0,05; 0,1 и 0,15 м на усилие извлечения ее из кристаллизатора машины непрерывного литья.

Стабильная работа машины непрерывного литья, связана с длительностью паузы [9]. Длительность паузы регулирует усилие взаимодействия в контакте «дорн - заготовка». Учитывая силу трения мы определяем УИЗ из кристаллизатора. В конечном счете выразим стабильность работы кристаллизатора через ограничение УИЗ (5).

В работах [10] было приведены уравнение для определения площади контакта внутренней поверхности заготовки с дорном со срезами и усилия извлечения заготовки из кристаллизатора при условии сжатия заготовкой дорна:

$$F^{л-3} = 2\pi R_2 L \left(1 - \sqrt{\frac{L}{I}} \right), \quad (6)$$

$$F_{сж}^{л-3} = F^{л-3} \cdot \sigma^{л-3}, \quad (7)$$

$$P_{извл} = f_{тр} \cdot P_{сж}^{л-3}, \quad (8)$$

где $F^{л-3}$ - площадь контакта дорна со срезами с внутренней поверхностью заготовки, м²;

L - величина шага, м; I - величина среза на дорне, м;

$P_{сж}^{л-3}$ - усилие взаимодействия «дорн-заготовка», Н;

$\sigma^{л-3} = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E [1 - (R_1/R_2)^2 / ((1-\nu) + (R_1/R_2)^2(1+\nu))]$ - удельное напряжение сжатия в контакте «дорн-заготовка», МПа;

α - коэффициент усадки материала заготовки, 1/град;

E - модуль упругости материала заготовки, МПа; ΔT - температурный интервал от начала затвердевания, °С;

R_1, R_2 - радиусы внешней и внутренней поверхности заготовки, м; ν - коэффициент Пуассона.

Влияние диаметра дорна на усилие извлечения заготовки с дорна будем определять при следующих условиях:

$$R_1/R_2 = \text{const}, \quad 1 = \text{const}. \quad (9)$$

На рис. 4 представлено изменение усилия извлечения заготовки из кристаллизатора Ризвл в зависимости от величины диаметра дорна при значениях величины шага 0,01; 0,02 и 0,04 м.

Каждая из зависимостей 1 – 3 свидетельствует, о том с ростом диаметра дорна усилие извлечения с него заготовки увеличивается. Так, зависимость 2 показывает, что при увеличении диаметра дорна в 3,0 раза с 0,05 до 0,15 м усилие извлечения заготовки с дорна увеличилось в 3,0 раза,

Удельный коэффициент (K_B) влияния диаметра заготовки на усилие извлечения заготовки составляет 1,0.

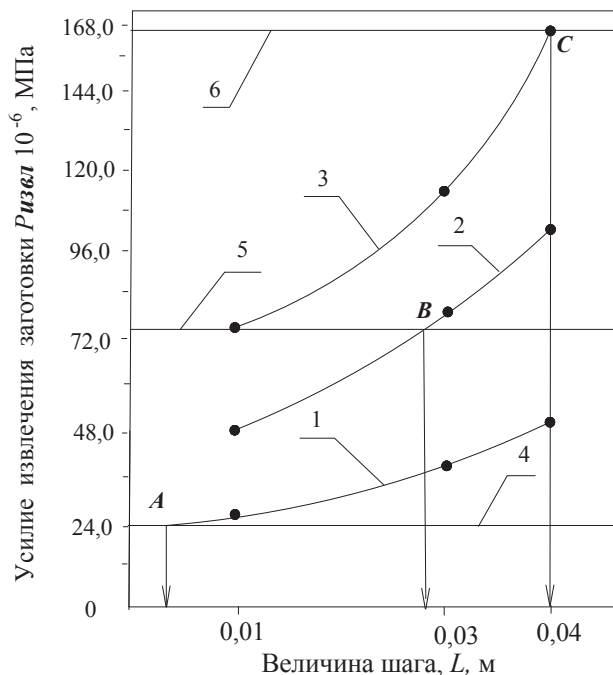


Рис. 4. Влияние величины шага на усилие извлечения заготовки из кристаллизатора: 1 – 3 – зависимости влияния шага на усилие извлечения заготовки с дорна при величинах внутреннего диаметра заготовки 0,05, 0,1 и 0,15 м, соответственно; 4 – 6 – прямые предельного значения прочности графитового дорна для различных значений диаметров дорна 0,05, 0,1 и 0,15 м

Зависимости 1-3 при $D_2 = \text{const}$ свидетельствуют о влиянии шага на усилие извлечения заготовки с дорна. Так например, увеличение шага в 4,0 раза с 0,01 до 0,04 м приводит к увеличению УИЗ с дорна в 2,0 раза. Для величины шага K_B составляет 0,5.

Прямые 4 – 6 показывают, предельные значения растягивающих усилий направленных вдоль его оси для диаметров превышение которых может вызвать разрушение поперечного сечения дорна диаметрами 0,05; 0,1 и 0,15 м, соответственно.

На основе взаимного расположения кривых, представленных на рис. 4, делаем предположение о допустимых значениях величины шага при литье заготовок с различной величиной диаметра.

Пересечение кривых 1 и 4 свидетельствует о том, что при диаметре заготовки равном 0,05 м для обе-

спечения стабильности работы машины непрерывного литья необходимо, чтобы величина шага не превышала 0,004 м.

Пересечение кривых 2 и 5 свидетельствует о том при непрерывном литье полых заготовок диаметром 0,01 м не целесообразно превышать величину шага более чем 0,025...0,027 м.

Пересечение кривых 3 и 6 свидетельствует о том при непрерывном литье полых заготовок диаметром 0,015 м для обеспечения стабильности работы машины непрерывного литья необходимо, чтобы величина шага не превышала 0,004 м. более чем 0,038...0,040 м.

Кроме того, было проведено еще одно усовершенствование конструкции дорна, которое позволит исключить ухудшение качества внутренней поверхности заготовки (образование капель, рис. 1). Для этого необходимо чтобы торец дорна (поз. 5 рис. 2) был на одной линии с торцом графитовой втулки кристаллизатора 2 (рис. 2).

6. Выводы

В ходе исследований были получены следующие результаты:

1. Усовершенствована конструкция дорна машины непрерывного литья полых заготовок из медных сплавов за счет выполнения срезов на его рабочей поверхности, что позволило повысить стабильность процесса непрерывного литья и увеличения длины консольной части дорна до длины графитовой втулки кристаллизатора, что исключило возможность образования дефектов на внутренней поверхности заготовки.

2. Определены зависимости влияния величины шага и внутреннего диаметра заготовки на усилие извлечения заготовки из кристаллизатора. Так, увеличение диаметра заготовки в три раза приводит к росту усилия извлечения заготовки в 3,0 раза ($K_B=1,0$), а увеличение шага в 4,0 раза приводит к росту $P_{извл}$ в 2,0 раза ($K_B=0,5$), т.е. внутренний диаметр заготовки по воздействию на усилие извлечения заготовки в два раза эффективен, чем величина шага.

Результаты аналогичных исследований в технической литературе не найдены.

3. Для полноты исследований необходимо дополнительно определить совместное влияние величины шага и длины среза на усилие извлечения заготовки из кристаллизатора при литье полых заготовок из медных сплавов.

4. В статье приведены расчеты для дорна имеющего 6 срезов. Обосновано это тем, что число 6 есть средней величиной между минимально возможным количеством срезов (три) и максимальным числом 12 (ограниченным по соображениям трудоемкости изготовления дорна). Существует ограничение внутреннего диаметра заготовки величиной 0,15 м по причине того, что при возникновении термоконвективного расслоения расплава в кристаллизаторе дальнейшее увеличение диаметра заготовки обуславливает увеличение длины кристаллизатора.

5. Полученные результаты позволяют для каждого конкретного диаметра отливаемой полый непрерывно-литой заготовки подобрать предельное значение величины шага, при котором должен осуществляться процесс непрерывного литья с гарантией того, что графитовый дорн не разрушится.

Литература

1. Кушнерова, Е. Ю. К вопросу математического моделирования процесса непрерывного литья в закрытый графитовый формообразователь. [Текст] : Наук. пр. / Е. Ю. Кушнерова, В. Н. Бредихин, Н. А. Маняк, А. И. Шевелев. // Донецкий национальный технический университет. – Серия: Металлургия. – 2011. – Вып. 13 (194). – С. 92-98.
2. Лубе, И. И. Исследование и совершенствование технологии горячей прокатки труб из непрерывнолитой заготовки на агрегатах с непрерывным станом [Текст]: дис. ... кан. техн. наук : 05.16.05 / Лубе Иван Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ин-т стали и сплавов]. – Москва, 2010. – 147 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/1978.
3. Непрерывное горизонтальное литье полых трубных заготовок из бескислородной меди [Электронный ресурс] / Rever-impex, Екатеринбург. – Режим доступа: www.reversgroop.ru/stati.html – Назва з екрана.
4. Григорьев, М. К вопросу моделирования гидродинамических явлений в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. [Текст] / М. Григорьев, З. К. Кабаков, Д. И. Габелая // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 3. – С. 121-124.
5. Черномас, В. В. Технологический критерий получения качественных металлоизделий на установке непрерывного литья и деформации металла. [Текст] / В. В. Черномас, С. Р. Саликов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2011. – Т. 1. – № 7. – С. 79-85.
6. Хорошилов, О. Н. Прочность медных сплавов в температурном интервале кристаллизации [Текст] / О. Н. Хорошилов // Литейное производство. – М.: – 1999. – № 12. – С. 22- 23.
7. Cuypers, P. F. Continuous casting in the copper industry [Текст] / P. F. Cuypers – Eindhoven : Technische Universiteit Eindhoven, 1987. – 61 p.
8. Хорошилов, О. Н. Модель для расчета положения фронта затвердевания в кристаллизаторе при различных параметрах процесса непрерывного литья [Текст] / О. Н. Хорошилов, Е. А. Прокопенко // Процессы литья. – К.: – 2001. – № 1. – С. 22-28.
9. Лукьянов, С. И. Система диагностирования механического оборудования электропривода тянущих роликов машины непрерывного литья [Текст] / С. И. Лукьянов, Е. С. Суспицын, М. В. Коновалов // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2011. – № 3. – С. 23-25.
10. Хорошилов, О. Н. Исследование конструкционных характеристик срезов на дорне при производстве полых заготовок из цветных сплавов. [Текст] / О. Н. Хорошилов, О. И. Пономаренко. // Литье и металлургия. – 2006. – № 2. – С. 187 -189.