

ческой энергии можно принять равной 21 коп/кВтчас.

Величину издержек за потребленную электрическую энергию в год рассчитаем, как:

$$I_1' = 320881,5 \cdot 0,21 = 67385,1 \text{ грн.}$$

Подставляя в формулу (2) величину издержек за использованную электрическую энергию, определяем окончательный результат экономического эффекта от замены материала для штампового инструмента:

$$Э_к = \left[2000 \cdot \frac{8}{1} + \frac{(67385,1 - 1,71 \cdot 67385,1) - 4460}{8} \right] \cdot 695 = 3,86 \text{ млн. грн.}$$

Выводы

1. Для повышения технологических характеристик штампового инструмента с большими габаритными размерами целесообразно будет заменить сталь 5ХНМ на сталь 4Х5МФ1С.

2. При расчете годового экономического эффекта сопоставлялись, как положительные факторы, так и недостатки, связанные с удорожанием стоимости более легированного материала и затраты, связанные с

проведением дополнительной термообработки с целью формирования благоприятной структуры штампового инструмента.

3. Предполагаемое повышение работоспособности штампового инструмента принималось для рассмотренного примера в минимальных пределах.

4. Годовой экономический эффект от замены сталей на одну тонну термообработанного штампованного инструмента составляет около 6 тыс. грн.

5. Данную методику можно использовать в качестве предварительной оценки технических решений, связанных с ресурсосбережением, например, при замене материалов.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов*. Учебник для вузов. М.: "Металлургия", 1984. – 360 с.
2. *Экономика машиностроительного производства*. Под общ. редакцией И.М. Бабука. – М.: Высшая школа, 1980. – 362 с.

Одержано 29.03.2006 р.

Стаття стосується проблем ресурсозбереження та оцінки доцільності заміни матеріалу штампового інструменту сталі марки 5ХНМ на сталь марки 4Х5МФС. У статті подано теоретичне обґрунтування такої заміни та виробничі дані щодо її здійснення. Оцінка ефекту від заміни матеріалу розрахована збільшено, але з урахуванням головних факторів, що визначають результат.

The article deals with the resources consumption problem and expediency estimation of the replacement of the stamp tool material of 5XHM steel grade with 4X5MFC steel grade. Theoretical grounds for such replacement and production data of realization is given. The effect estimation for the replacement of materials is calculated as an approximate value taking into consideration define the result.

УДК 621. 74.002.

Канд. техн. наук О. Н. Хорошилов, д-р техн. наук О. И. Пономаренко

Национальный технический университет "ХПИ", г. Харьков

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

В данной статье рассмотрены вопросы повышения выхода годного при непрерывном литье заготовок из цветных сплавов путем регулирования температуры поверхности заготовки у валков тянущей клетки за счет изменения интенсивности вторичного охлаждения. Показана предполагаемая экономическая эффективность при использовании оптимальных технологических параметров процесса непрерывного литья.

Повышение выхода годного была и остается одной из актуальных задач литейного производства. Известно, что способ непрерывного литья заготовок из медных и цветных сплавов обеспечивает 94-96 % выхода годного литья.

В литературных источниках отсутствуют материалы по оптимизации выхода годного процесса непре-

рывного литья при использовании тянущей клетки с валками, которая широко применяется как в странах СНГ так и в дальнем зарубежье.

Как свидетельствуют исследования для извлечения заготовки из кристаллизатора необходимо приложить усилие, которое зависит от диаметра заготовки и материала кристаллизатора.

Нижний и верхний валки имеют насечки, которые вдавливаются в тело заготовки на глубину до 1,0 мм, и создают эффект зацепления валков с заготовкой и извлечения заготовки из кристаллизатора.

Для извлечения заготовки из кристаллизатора необходимо приложить некоторое усилие P к верхнему валку (рис. 1.) [1].

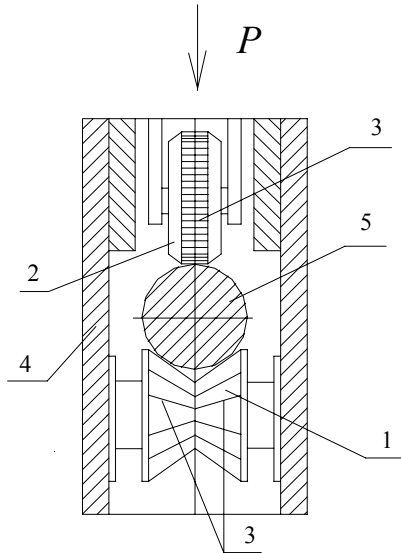


Рис. 1. Схема зацепления заготовки валками тянущей клетки 1 – нижний валок, соединенный с валом электродвигателя; 2 – верхний прижимной валок; 3 – зубцы на поверхности валков; 4 – каркас тянущей клетки; 5 – заготовка

Для решения задачи оптимизации технологического процесса горизонтального непрерывного литья заготовок с целью повышения выхода годного необходимо:

- обеспечить возможности регулирования степени продавливания зубцами валка поверхности заготовки при постоянном усилии на валки $P = \text{const}$;

- рассчитать минимальное значение величины деформации зубцами валка поверхности заготовки, при которой возможно ее извлечение из кристаллизатора горизонтальной машины непрерывного литья заготовок (ГМНЛЗ);

- определить зависимость температуры заготовки у валков тянущей клетки от интенсивности ее вторичного охлаждения и величину деформации поверхности заготовки (при $P = \text{const}$) от ее температуры.

Для этого были проведены исследования, которые позволили определить характер изменения температуры заготовки у тянущей клетки в зависимости от расхода воды при вторичном охлаждении при движении водяного слоя под действием силы ее тяжести и направлении движения воды перпендикулярно оси цилиндра (заготовки). В результате, осуществляется безотрывное омывание водой цилиндра с отрывом ламинарного и турбулентного пограничных слоев. Как доказано исследованиями "...отрыв пограничного слоя

и образование вихрей является основной особенностью поперечного омывания трубы" [2, 3].

Нахождение числа Нуссельта необходимо для определения коэффициента теплоотдачи α [Вт/м²·К] и определения температуры на поверхности заготовки.

Для расчета числа Нуссельта при средних коэффициентах теплоотдачи ламинарного течения при свободном движении жидкости вокруг горизонтального цилиндра может быть использована формула И.М. Михеева [4]:

$$Nu_{d,жс} = 0,5(Gr_{d,жс} Pr_{жс})^{0,25} (Pr_{жс} / Pr_m)^{0,25}, \quad (1)$$

где Gr – число Грасгофа, рассчитывается как:

$$Gr_{d,жс} = \frac{\beta \cdot g \cdot l_0^3 \Delta t}{\nu^2}, \quad (2)$$

где $Pr_m, Pr_{жс}$ – Числа Прандтля для жидкости,

g – ускорение силы тяжести м/с²;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

β – температурный коэффициент объемного расширения жидкости,

Δt – разность температур между стенкой и жидкостью, °С,

l_0 – характерный линейный размер, м.

В качестве определяющего размера принимается диаметр цилиндра.

Если цилиндрическую заготовку радиусом R , температура которой в начальный момент времени всюду одинакова и равна t_0 охлаждается в жидкой среде при постоянной температуре $t_{жс}$ и постоянном значении коэффициента теплоотдачи, то безразмерная температура цилиндра Θ является функцией следующих безразмерных величин:

$$\Theta = \frac{t_n - t_{жс}}{t_0 - t_{жс}} = f\left(\frac{r}{R}; F_0; Bi\right), \quad (3)$$

где Θ – безразмерная температура;

r – текущее значение радиуса заготовки;

t_n – температура цилиндра на расстоянии r от оси в момент времени τ .

Число Фурье можно рассчитать по следующей формуле:

$$F_0 = \frac{\alpha \cdot \tau}{R^2}, \quad (4)$$

в которой α – коэффициент теплоотдачи рассчитывают:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (5)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

c – теплоемкость материала, Дж/кг·К;

ρ – плотность материала, кг/м³;

τ – время охлаждения или нагревания, с;

R – радиус заготовки, м.

Критерий Био определяется как:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} \quad (6)$$

Безразмерная температура находится по формуле [5]:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4Bi^2}{\varepsilon_n^2(\varepsilon_n^2 + Bi^2)} \cdot \exp(-\varepsilon_n^2 F_0), \quad (7)$$

где ε_n – корни характеристического уравнения.

При условии $Bi < 0,1$, принимаем: $\varepsilon^2 = 2Bi$, значения $\varepsilon_n I_1(\varepsilon_n) = Bi I_0(\varepsilon_n)$, приведены в [4]. При значении F_0 $\approx 0,25$ и ошибке, не превышающей 1 %, можно вычислять Θ , ограничиваясь одним первым членом ряда (7).

В результате проведенных расчетов были получены зависимости коэффициента теплоотдачи и температуры от диаметра заготовки.

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента теплоотдачи при различных толщинах пленки воды, омывающих заготовку, от диаметра заготовки.

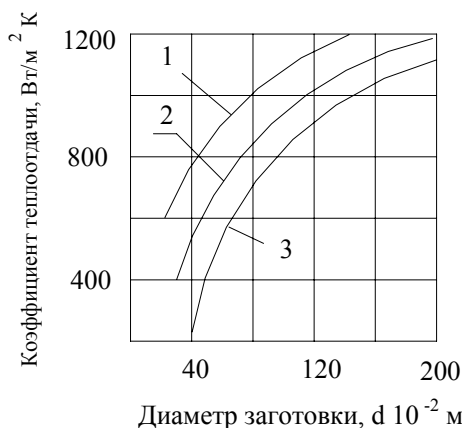


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи сплава от диаметра заготовки и толщины пленки омываемой поверхности заготовки воды: 1-3 – кривые изменения температуры заготовки при толщинах пленки охлаждающей воды равных 1,0; 0,75 и 0,5 мм, соответственно

Установлено, что с уменьшением диаметра заготовки коэффициент теплоотдачи от заготовки к воде уменьшается, а с увеличением толщины пленки увеличивается и коэффициент теплоотдачи. Например, для заготовки диаметром 120 мм при увеличении толщины пленки с 0,5 до 1,0 мм коэффициент теплоотдачи увеличивается с 200 до 575 Вт/м²К.

На рис. 3 представлены зависимости изменения температуры заготовки от ее диаметра и толщины пленки охлаждающей воды. Кривые на рис. 3 показывают, что для фиксированной толщины водяной пленки с увеличением диаметра отливаемой заготовки происходит увеличение температуры заготовки, а при фиксированном диаметре ($d = \text{const}$) с увеличением

толщины пленки температура заготовки уменьшается. Например, для заготовки диаметром 120 мм увеличение толщины водной пленки с 0,5 до 1,0 мм приводит к уменьшению температуры заготовки с 620 до 450 °С.

Для установления минимальной глубины продавливания валками заготовки и поддержания заданного зацепления между валками и заготовкой необходимо определение оптимального расхода охлаждающей воды при вторичном охлаждении.



Рис. 3. Зависимость степени охлаждения заготовки от ее диаметра и толщины пленки омывающей заготовку воды: 1-3 – Кривые изменения температуры заготовки при толщинах пленки охлаждающей жидкости равных 1,0; 0,75 и 0,5 мм, соответственно

Величину деформации (продавливания) зубцами валков тянущей клетки поверхности заготовки определим из выражения:

$$\varepsilon = m \cdot P^2, \quad (8)$$

где ε – деформация заготовки при продавливании ее валками тянущей клетки, м;

m – эмпирический коэффициент,

P – усилие между валками и заготовкой, действующее перпендикулярно оси заготовки, Н.

На деформацию поверхности заготовки кроме усилия, существенное влияние оказывает и продолжительность (t) приложенного усилия деформирующего усилия P :

$$t = \frac{k \cdot P_{извл}^a}{S}, \quad (9)$$

где t – продолжительность приложения усилия, с;

S – расстояние которое проходит заготовка в процессе ее смятия, м

k, a – эмпирические коэффициенты,

$P_{извл}^a$ – усилие извлечения заготовки из кристаллизатора, Н.

Тогда зависимость деформация заготовки валками тянущей клетки можно представить выражением:

$$\varepsilon = \frac{1}{k \cdot P_{извл}^a} \cdot m \cdot P^2 \cdot S. \quad (10)$$

Произведем расчет минимально допустимой деформации, которая будет выражаться в глубине продавливания (h) поверхности заготовки валками тянущей клетки.

Принимаем, что каждый зубец, расположенный на поверхности валков 3 (рис. 1 и рис. 4) имеет следующие геометрические параметры высоту – h , и ширину – b (рис.4), длину – l (не показан), (рис. 1).

При внедрении зубца в тело заготовки каждый зубец упирается и толкает заготовку следующей поверхностью:

$$S_Y = h_{OPT} l, \quad (11)$$

где S_Y – площадь упора зубца валка в заготовку, m^2 ;

h_{OPT} – деформация поверхности заготовки (или глубина внедрения зубцов), м;

l – длина зубца, м.

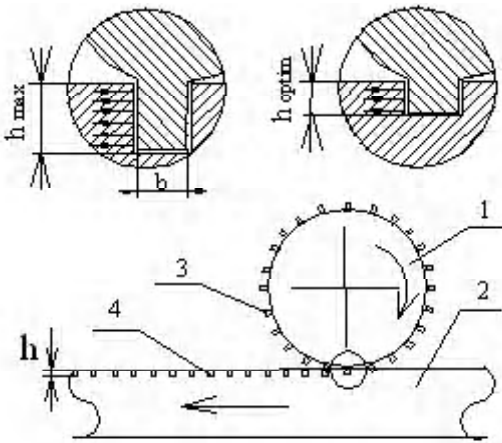


Рис. 4. Схема взаимодействия валка и заготовки в процессе непрерывного литья:

- 1 – верхний валок, 2 – заготовка, 3 – зубцы на поверхности валка, 4 – деформация от зубца валка на поверхности заготовки; а – максимальная деформация (базовая); б – оптимальная деформация (полученная)

Для уменьшения нагрузки в материале заготовки на нижнем валке, который соединен с валом редуктора, выполнены по два зубца, которые входят в зацепление с заготовкой.

Напряжение σ_K , которое развивается в зоне контакта заготовки и зубцов валков определяется следующим образом:

$$\sigma_K = \frac{P_{вал}}{2 \cdot S_Y}, \quad H/m^2, \quad (12)$$

где $P_{вал}$ – усилие, действующее со стороны валков на заготовку, Н;

Кроме того, для осуществления процесса извлечения заготовки из кристаллизатора необходимо соблюдать следующее условие:

$$[\tau] \geq \sigma_y, \quad (13)$$

где τ – допустимое усилие среза материала, H/m^2 .

Как показали экспериментальные и расчетные данные для обеспечения достаточного зацепления между заготовкой и валками тянущей клетки деформация поверхности заготовки зубцами валка должна быть не менее $2,5 \cdot 10^{-4}$ м (0,25 мм).

Таким образом, появилась возможность уменьшить деформацию заготовки зубцами валков тянущей клетки от 1,0 до 0,25 мм.

Деформация заготовки валками тянущей клетки зависит от таких факторов как от усилия взаимодействия между заготовкой и валками тянущей клетки так и от скорости извлечения заготовки из кристаллизатора.

Эксперименты проведенные на ГМНЛЗ показали, что деформация заготовки при ($P = const$) зависит также от температуры заготовки.

На рис. 5 представлены зависимости степени деформации поверхности заготовки от температуры (T) и усилий (P) воздействующих на нее.

Так для заготовки из сплава Бр. А9Ж3Л, имеющей температуру 100 и 200 °С деформации составляет 0,2 и 0,24 мм при нагрузке на верхний валок 100 кгс, соответственно, а при нагрузке на верхний валок 400 кг – 0,45 и 0,53 мм.

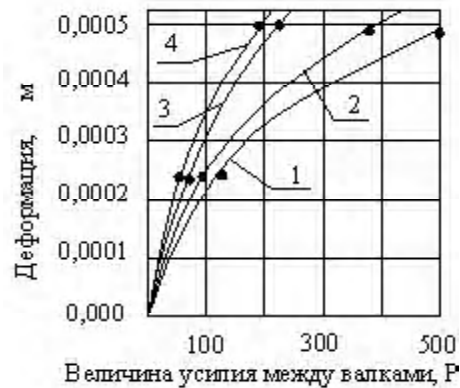


Рис. 5. Зависимость деформации поверхности заготовки от ее температуры и усилия давления валков при постоянной скорости извлечения заготовки из кристаллизатора $V = 0,01$ м/с: 1-2 – кривые зависимости продавливания бронзы марки Бр. А9Ж3Л при температурах 100 и 200 °С, соответственно; 3-4 – кривые зависимости продавливания бронзы марки Бр. О5Ц5С5 при температурах 100 и 200 °С, соответственно

Для заготовки из сплава Бр. О5Ц5С5, имеющей температуру 100 и 200 °С деформация составляет 0,3 и 0,35 мм при нагрузке на верхний валок 100 кг, а при нагрузке на верхний валок 200 кг – 0,47 и 0,51 мм.

На рис. 6 представлены зависимости влияния скорости движения заготовки в валках на величину деформации поверхности заготовки зубцами валков в зависимости от прилагаемой нагрузки.

Установлено, что при постоянной скорости извлечения заготовки из кристаллизатора скорость деформации постоянна, но изменении нагрузки на верхний валок скорость деформации на поверхности заготов-

ки изменяется. Например, для сплава Бр. А9ЖЗЛ при скорости 10 мм/с и нагрузке 120 кгс на верхний валок тянущей клетки деформация заготовки составляет 0,24 мм, а при нагрузке 470 кгс – 0,5 мм.

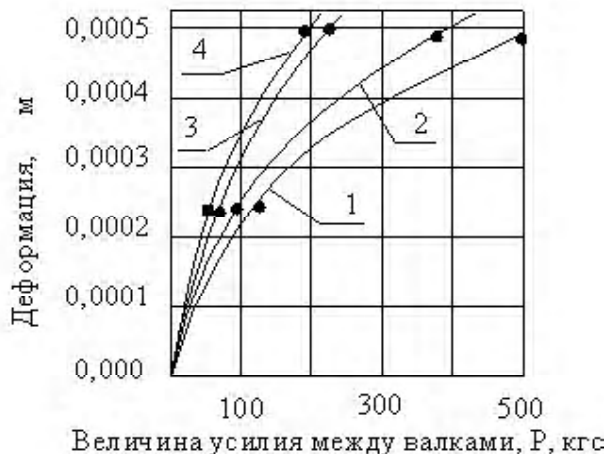


Рис. 6. Влияние скорости движения заготовки и усилия между валками и заготовкой на величину деформации поверхности заготовки при температуре 100 °С: 1-4 – кривые изменения деформации заготовки марки Бр. А9ЖЗЛ при скоростях ее движения из кристаллизатора равных 0,005; 0,007; 0,010 и 0,015 м/с, соответственно

Заготовка из сплава Бр. А9ЖЗЛ, при нагрузке на верхний валок 100 кгс имеет деформацию поверхности заготовки 0,33 и 0,29 мм, соответственно, а для скоростей 5 и 7 мм/с, а при нагрузке на верхний валок 300 кгс – 0,51 и 0,47мм, соответственно.

Заготовка, движущейся из кристаллизатора со скоростями 10 и 15 мм/с, и имеющей температуру 100 °С -и нагрузку на верхний валок 100 кг деформация поверхности заготовки составляет 0.24 и 0.18 мм, соответственно, а при нагрузке на верхний валок 400 кг – 0.425, и 0.47 мм, соответственно.

Таким образом, получены зависимости деформации поверхности заготовок из сплавов Бр. А9ЖЗл и Бр. О5Ц5С5 в температурном интервале 100-200°С при изменении нагрузки на верхний валок тянущей клетки в интервале от 0 до 500 кг. Например, при непрерывном литье заготовки диаметром 50 мм уменьшение деформации поверхности заготовки зубцами валков тянущей клетки с 1,0 до 0,25 мм позволило повысить выход годного с 92,46 до 98,03 %, т.е. на 5,57 %, а при литье полой заготовки размером 50/30 мм позволяет повысить выход годного с 88,69 до 97,0 %, т.е. на 8,31 %. Это позволяет при средней стоимости бронзы 10 тыс. грн за тонну экономить от 557 до 831 гривны на каждой тонне литья.

Список литературы

1. Хорошилов О.Н. Оптимизация параметров непрерывного литья // *Металлургия машиностроения*. – 2005. – №2. – С. 43-37.
2. Кулиниченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – К: Техника, 1990. – 268 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. *Теплотехника*. – М.: “Энергия”, 1975. – 245 с.
4. Михеев И.М. –В кн.: *Теплопередача и тепловое моделирование*. – М.: Изд-во АН СССР. – 1959 – 343 с.
5. *Теплотехнический справочник*. / Под общей ред. В.Н.Юренина и П.Д.Лебедева. В 2-х т. Т. 2. Изд.2-е перераб. М.: “Энергия”. – 356 с.

Одержано 27.04.2006 р.

У даній статті були розглянуті питання щодо підвищення виходу годного лиття заготовок з кольорових сплавів шляхом регулювання температури поверхні заготовки у валків тягучої клітини за рахунок змінення інтенсивності вторинного охолодження. Показана економічна ефективність при застосуванні оптимальних технологічних параметрів процесу безперервного лиття.

The questions of output efficiency increasing during continuous casting of raw stocks made of nonferrous alloys by surface temperature regulation at roller of the pulling stage due to secondary cooling intensity change were shown. The expected economical efficiency due to optimal technological parameters of continuous casting process application was shown.