

**Бондарь А. А.,  
Дудзинский Ю. М.,  
Колесник К. В.,  
Воронова О. И.**

## **ОХЛАЖДАЕМЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СТЕРЖНИ С ТЕПЛОЗАЩИТНЫМ ПОКРЫТИЕМ**

*Рассмотрена технология формирования отливок со сложными полостями при помощи охлаждаемых легкоудаляемых металлических стержней высокого качества. Такой подход позволяет регулировать интенсивность охлаждения стержня, а, следовательно, и отливки, что дает нам дополнительные рычаги влияния для получения качественных отливок.*

**Ключевые слова:** *металлические стержни, охлаждаемые стержни, теплозащита, покрытия, краски.*

### **1. Введение**

В настоящее время в машиностроении требуется большая номенклатура литых деталей со сложными внутренними полостями, к качеству которых предъявляются повышенные требования.

Формирование таких полостей при помощи песчаных стержней на основе различных связующих вызывает сложности, связанные, в основном, с трудоемкостью удаления стержней из готового изделия и высокой шероховатостью поверхности отливки [1, 2].

С другой стороны, применение легкоудаляемых стержней, которые обеспечивают низкую шероховатость, ограничено их нестабильными и невысокими физико-механическими свойствами. Так, например, соляные стержни имеют высокую усадку и низкую прочность, высокие остаточные термические напряжения, что приводит к повышенному трещинообразованию, а также высокую гигроскопичность, что ограничивает срок их хранения и затрудняет нанесение защитных покрытий [3].

### **2. Постановка проблемы**

Целью данной работы является повышение эффективности легкоудаляемых металлических стержней, которые применяются для изготовления высококачественных отливок со сложными внутренними полостями, не требующими последующей механической обработки.

Поскольку металлические выплавляемые стержни изготавливаются из материала с температурой плавления значительно ниже температуры плавления материала отливки, в которой оформляется полость, при непосредственном контакте такого стержня с жидким металлом может произойти его преждевременное оплавление, т. е. он может начать плавиться до того, как в отливке со стороны стержня наморозится корка достаточной толщины [4].

### **3. Методы решения**

Для предотвращения оплавления рабочую поверхность выплавляемого стержня покрывают теплозащитным покрытием [5].

В качестве теплозащитного материала могут применяться различные краски [6, 7]. Толщина слоя наносимой краски ограничена, и не всегда достаточна для

эффективной теплозащиты, что в свою очередь требует дополнительных мер по защите стержня от расплавления.

Данную проблему можно решить охлаждением стержней жидкими теплоносителями, в качестве которых может быть использована вода или масло. А слой краски выполняет функцию защиты в начальный момент на границе контакта «стержень — заливаемый металл» [8].

В таком случае металлический выплавляемый стержень должен быть пустотелым. Такой стержень можно получить одним из методов «намораживания в покое» — литьем с выплеском [9].

Сущность способа литья заключается в следующем. На барабанном заливочном устройстве закрепляется форма без основного стержня. После поворота барабана вся полость заливается сплавом через специальную литниковую систему. В этом положении форма выдерживается определенное время, в течение которого на стенках полости формы намораживается корочка необходимой толщины. Затем барабанное заливочное устройство возвращается в исходное положение для выплеска затвердевшего расплава. Применение описанного способа литья устраняет необходимость установки стержня для получения внутренней полости [9].

При необходимости металлический стержень подвергается механической обработке.

Рассмотрим пример расчета необходимого времени «намораживания корки» при изготовлении металлического стержня, толщины слоя краски и режима охлаждения стержня на примере отливки «корпус насоса» (рис. 1). Материал отливки — СЧ20, материал стержня — сплав АК9, проводимость теплового потока от отливки в форму  $3,0 \text{ кВт/м}^2\text{ч}\cdot\text{К}$ , температура кристаллизации  $893 \text{ К}$ , температура стенки канала  $573 \text{ К}$ , время заливки  $2 \text{ с}$ , плотность материала отливки  $2500 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплота кристаллизации металла  $390 \text{ кДж/кг}$ , удельная теплоемкость двухфазной зоны сплава  $0,0002 \text{ кВт/кг}\cdot\text{К}$ , интервал кристаллизации сплава  $313 \text{ К}$ , коэффициент теплообмена при свободном конвективном движении расплава около затвердевающей корочки  $14,8 \text{ кВт/м}^2\text{ч}\cdot\text{К}$ , температура заливки расплава  $973 \text{ К}$ , высота зеркала расплава в форме  $0,93 \text{ м}$ , скорость заполнения формы  $0,2 \text{ м/с}$ . В качестве противопригарного и теплоизолирующего покрытия применяется краска следующего состава: мел  $21 \%$ , тальк прокаленный  $7 \%$ , борная кислота  $0,7 \%$ , вода  $71,3 \%$ . Масса отливки  $2,5 \text{ кг}$ , количество производимых отливок —  $10$  штук в час, теплоемкость

металла при заливке 0,37 кВт, теплоемкость металла при выбивке 0,15 кВт, коэффициент теплопроводности краски 0,18 Вт/(м\*К), температура заливки металла 1573 К, температура, при которой начинается процесс парообразования 623 К, толщина стенки стержня 0,007 м, коэффициент теплопроводности стержня 150 Вт/(м\*К), тепловой поток 401606 Вт/м<sup>2</sup>, коэффициент теплоотдачи краски 639,5 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), критическая температура масла 628 К.

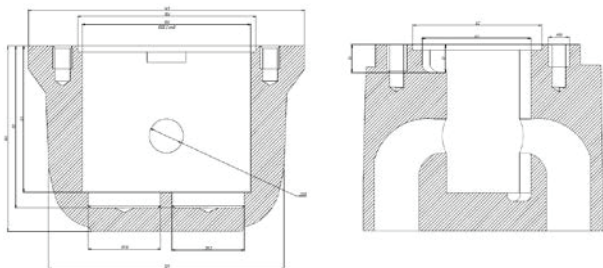


Рис. 1. Корпус насоса

Время «намораживания корки» можно рассчитать при помощи формул (1) и (2) [10]:

$$\xi = \sqrt{\frac{\lambda_1 \left[ \frac{\lambda_1}{\beta} + \frac{2\beta(t_{кр} - t_{ст})(\tau - \tau_{зал})}{\gamma_1(\rho_1 + c_1\Delta t_{кр})} \right]}{\beta}} - \frac{\lambda_1}{\beta} - \frac{a_c(t_{зал} - t_{кр})}{\gamma_1(\rho_1 + c_1\Delta t_{кр})}(\tau - \tau_{зал}) + \xi_{зал}, \quad (1)$$

где  $\xi$  — толщина намерзшей корочки, мм;  $\lambda_1$  — коэффициент теплопроводности расплава, ккал/м<sup>2</sup>час\*°С;  $\beta$  — проводимость теплового потока от отливки в форму, ккал/м<sup>2</sup>час\*°С;  $t_{кр}$  — температура кристаллизации, °С;  $t_{ст}$  — температура стенки канала, °С;  $\tau$  — время выдержки расплава в форме, с;  $\tau_{зал}$  — время заливки, с;  $\gamma_1$  — объемный вес материала отливки, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_1$  — удельная теплота кристаллизации металла, ккал/кг;  $c_1$  — удельная теплоемкость двухфазной зоны сплава, ккал/кг\*°С;  $\Delta t_{кр}$  — интервал кристаллизации сплава, °С;  $a_c$  — коэффициент теплообмена при свободном конвективном движении расплава около затвердевающей корочки, ккал/м<sup>2</sup>час\*°С;  $t_{зал}$  — температура заливки расплава, °С;  $\xi_{зал}$  — толщина корочки, намерзшей на стенках полости формы во время заполнения, мм.

$$\xi = \sqrt{\frac{\lambda_1 \left[ \frac{\lambda_1}{\beta} + \frac{2\beta(t_{кр} - t_{ст})(\tau - \tau_{зал})}{\gamma_1(\rho_1 + c_1\Delta t_{кр})} \right]}{\beta}} - \frac{\lambda_1}{\beta} - \frac{a_c(t_{зал} - t_{кр})}{\gamma_1(\rho_1 + c_1\Delta t_{кр})} \left( \tau_{зал} - \frac{h}{u} \right), \quad (2)$$

где  $h$  — высота зеркала расплава в форме, м;  $u$  — скорость заполнения формы, м/сек.

Подставив значения в формулу (1) получили, что за 8 сек. намораживается стенка толщиной 7 мм.

Следующим шагом рассчитываем необходимую толщину оболочки по формуле (3) [10]:

$$X_{кр.мин} = \lambda_{кр} \left( \frac{T_1 - T_{3п}}{q_k} - \frac{X_2}{\lambda_2} \right), \quad (3)$$

где  $\lambda_{кр}$  — коэффициент теплопроводности краски, Вт/(м\*К);  $T_1$  — температура заливки металла, К;  $T_{3п}$  — температура, при которой начинается процесс парообразования, К;  $X_2$  — толщина стенки стержня, м;  $\lambda_2$  — коэффициент теплопроводности стержня, Вт/(м\*К);  $q_k$  — тепловой поток, Вт/м<sup>2</sup>.

$$q_k = \alpha_k * \Delta T_k, \quad (4)$$

где  $\alpha_k$  — коэффициент теплоотдачи краски, Вт/(м<sup>2</sup>\*К);  $\Delta T_k$  — критическая температура масла, К.

Подставив значения в формулу (5) получили, что минимально допустимая толщина слоя краски составляет 0,4 мм.

Охлаждение металлического стержня может производиться при помощи термостатирующего оборудования, которое обеспечивает необходимую температуру за счет регулирования температуры теплоносителя на «входе» и на «выходе». Для подбора термостатирующего оборудования необходимо знать количество тепла, которое необходимо отвести от отливки  $Q$ .

$$Q = H * m_{ж.м.}, \quad (5)$$

где  $m_{ж.м.}$  — масса жидкого металла, кг;  $H_{зал}$  — теплоемкость металла при заливке, кВт;  $H_{выб}$  — теплоемкость металла при выбивке, кВт.

Подставив значения в формулу (5) получаем количество тепла, которое необходимо отвести от отливки  $Q = 5,4$  кВт/час.

Данным характеристикам соответствует масляный термостат СТОН 9/300.

#### 4. Выводы

1. Рассмотрена технология получения отливок со сложными полостями при помощи металлических легкоплавких стержней. И обоснована необходимость применения защитной оболочки на таких стержнях;
2. Рассмотрена возможность охлаждения стержней жидкими теплоносителями, в качестве которых может быть использована вода или масло. В таком случае краска выполняет функцию защиты только в начальный момент на границе контакта «стержень — заливаемый металл».
3. Предложена технология изготовления пустотелых стержней методом «намораживания в покое».

#### Литература

1. Kniagin, G. Stalivo. Metallurgia I odlewnictwo [Текст] / G. Kniagin, 1972. — 528.
2. Heine Hans, J. Foundry Manag and Technol [Текст] / J. Heine Hans // 22 Nations Attend un Foundry Seminar. — 1978. — Vol. 106, № 2. — P. 46–48, 50.
3. Ruddl, R. W. The solidification of castings [Текст] / R. W. Ruddl. — London, 1957.
4. Pawlowski, L. The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings. [Текст] / L. Pawlowski. — Wiley, 1998. — 626.
5. Marek, C. T. Modern casting [Текст] / C. T. Marek, 1965.
6. Бураков, С. Л. Литье в кокиль [Текст] / С. Л. Бураков, А. И. Вейник, Н. П. Дубинин. — М.: Машиностроение, 1980. — 415.
7. Burakowski, T. Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies [Текст] / T. Burakowski, T. Wierczon, 1999. — 592.

8. Hault, F. The «Effster» process. Chem. Binders Foundries Warwick. [Текст] / F. Hault — Birfningam, 1976.
9. Баландин, Г. Ф. Литье намораживанием [Текст] / Г. Ф. Баландин. — М.: Машиностроение, 1962. — 261.
10. Вейник, А. И. Расчет отливки [Текст] / А. И. Вейник. — М.: Машиностроение, 1964. — 404.

#### ОХОЛОЖДУВАНІ МЕТАЛІЧНІ СТРИЖНІ З ТЕПЛОЗАХИСНОЮ ОБОЛОНКОЮ

Розглянута технологія формування відливаних із складними порожнинами за допомогою охолоджуваних металевих стрижнів, що виплавляються, високої якості. Такий підхід дозволяє регулювати інтенсивність охолодження стрижня, а, отже, і відливання, що дає нам додаткові важелі впливу для здобуття якісних відливаних.

**Ключові слова:** металічні стрижні, охолоджувані стрижні, теплозахист, покриття, фарби.

*Бондарь Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии управления литейными процессами, Одесский национальный политехнический университет, e-mail: andrey-bondar@rambler.ru.*

*Дудзинский Юрий Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики, Одесский национальный политехнический университет.*

*Колесник Кристина Витальевна, кафедра технологий управления литейными процессами, Одесский национальный политехнический университет, e-mail: kristykrista@mail.ru.*

*Воронова Ольга Ивановна, доцент, кафедра технологий и управления литейными процессами, Одесский национальный политехнический университет.*

*Бондар Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра технологий та управління ливарними процесами, Одесський національний політехнічний університет.*

*Дудзінський Юрій Михайлович, доктор фізико-математичних наук, професор, кафедра фізики, Одеський національний політехнічний університет.*

*Колесник Христина Віталіївна, кафедра технологій та управління ливарними процесами, Одеський національний політехнічний університет.*

*Воронова Ольга Іванівна, доцент, кафедра технологій та управління ливарними процесами, Одеський національний політехнічний університет.*

*Bondar Alexander, Odessa National Polytechnic University, e-mail: andrey-bondar@rambler.ru.*

*Dudzinsky Yuriy, Odessa National Polytechnic University,*

*Kolesnik Christina, Odessa National Polytechnic University, e-mail: kristykrista@mail.ru.*

*Voronova Olga, Odessa National Polytechnic University*

УДК 614.91

Поводзинський В. М.

## БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА ТЕХНОЛОГІЧНА ГІГІЄНА У ВИРОБНИЦТВІ АКТИВНИХ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ІНГРЕДІЄНТІВ

Для забезпечення якості продукції, безпеки персоналу та захисту довкілля потрібні дії у двох базових напрямках — коректне проектування виробництва та коректна розробка та експлуатація обладнання. Розроблена методологія та принципи проектних дій, а також принципи конструювання та експлуатації обладнання технологій активних фармацевтичних інгредієнтів для виробництва імунобіологічних лікарських засобів.

**Ключові слова:** гігієна, активний фармацевтичний інгредієнт, імунобіологічні лікарські засоби, біологічний агент.

### 1. Вступ

У виробництві лікарських засобів (ЛЗ) значне місце займають активні фармацевтичні інгредієнти (АФІ) отримані біотехнологічними способами при використанні біологічних агентів (БА), що представлені клітинними культурами та мікроорганізмами [1]. Під біотехнологічними виробництвами маються на увазі підприємства, що виробляють імунобіологічні та інші ЛЗ, які отримані за допомогою генної інженерії. Зокрема, при їх виробництві застосовується технологія рекомбінантної ДНК, метод контрольованої експресії генів і інше. Переважна більшість АФІ є генетично модифікованими метаболітами (ГММ), що є рекомбінантними білками — цитокинами, моноклональними антитілами тощо. За допомогою методів рекомбінації ДНК створений ряд нових більш продуктивних мікроорганізмів — продуцентів різноманітних біотехнологічних сполук — антибіотиків, ферментів, вітамінів [2].

Підприємства, які виробляють ЛЗ, сучасні контрольні та дослідницькі мікробіологічні лабораторії та наукові центри є робочими середовищами, що мають пряме відношення, як до генетично модифікованих організмів (ГМО), генетично модифікованих мікроорганізмів та їх ГММ так і до патогенних БА [3, 4].

Наявність цих генетично змінених організмів та речовин має пряме відношення до необхідності забезпечення безпеки та гігієни виробничого персоналу та довкілля. Не виключається, що виробнича діяльність, яка пов'язана з можливістю вивільнення їх у довкілля, може призвести до негативних наслідків і створювати потенційну небезпеку існуючому біологічному різноманіттю внаслідок самостійного розповсюдження ГМО та ГММ та неконтрольованого утворення нових генетичних конструкцій шляхом переносу їх генів до інших організмів [3, 4, 5].

Даний напрям фармацевтичного виробництва потребує специфічних підходів до проектування виробництва взагалі та врахування специфічних вимог до учасників