

# Применение внутренних холодильников при литье по газифицируемым моделям

<sup>1</sup>ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович, д.т.н., профессор, исполнительный директор, aristotel@kstu.kz,

<sup>1</sup>ИБАТОВ Марат Кенесович, д.т.н., профессор, председатель правления – ректор, m.ibatov@bk.ru,

<sup>1\*</sup>МЕДВЕДЕВА Ирина Евгеньевна, старший преподаватель, irina-medvedeva-00-00@bk.ru,

<sup>1</sup>МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЙАН Елена Иозасовна, старший преподаватель, elenei66@mail.ru,

<sup>1</sup>ТУЛЕГЕНОВА Шолпан Ныгметовна, старший преподаватель, sholpan.tulegenova.65@mail.ru,

<sup>1</sup>Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Назарбаева 56,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы предупреждения объемных усадочных дефектов в отливках. Выполнен анализ механизма и условий их образования. Выявлены закономерности процесса формирования осевой усадочной пористости в отливках большой протяженности. Показано значение направленного затвердевания элементов отливки как способа предотвращения образования этого дефекта. Предложено применение внутренних холодильников в газифицируемых моделях, монолитных и дискретных внутренних холодильников.

**Ключевые слова:** объемная усадка, осевая усадочная пористость, направленное затвердевание, литье по газифицируемым моделям, внутренние холодильники.

## Введение

Как известно, в числе основных требований к качеству литых изделий предполагается обеспечение высокой плотности металла и отсутствие нарушений сплошности изделия. К наиболее характерным литейным дефектам этого типа относятся усадочные раковины и пористость. Образование объемных усадочных дефектов происходит на макро- и микроструктурном уровне и связано с фильтрацией жидкого металла между твердыми кристаллами в области затвердевания.

По месту ее образования различается усадочная пористость следующих видов:

- рассеянная, распределенная более или менее равномерно по всему или большей части объема отливки;

- зональная, или местная, сосредоточенная в определенных частях отливок – в утолщениях и сопряжениях стенок, а также местах подвода литников;

- осевая, образующаяся в осевых частях плоских и призматических отливок и их элементов большой протяженности [1].

Развитие объемных усадочных дефектов в утолщениях и зонах местных разогревов зависит от размеров изолированного бассейна жидкого металла и разности времени его затвердевания относительно соседних участков отливки.

Наиболее широкое развитие в отливках имеет осевая усадочная пористость, известно, что ею

поражаются отливки и их элементы, имеющие большую протяженность при постоянной толщине: плиты, бруса, полого цилиндра кольца, (корпуса и гильзы компрессоров, насосов, двигателей) и аналогичные им детали [1]. Как известно из практики, в таких отливках передача жидкого металла из прибыли прекращается на определенном расстоянии от нее, несмотря на наличие в ней достаточно большого его количества, независимо от ее размеров и положения отливки в форме.

Многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями установлена связь осевой усадочной пористости с соотношением величин двух параметров: интервала кристаллизации сплава  $\Delta T_{кр}$ , и перепада температур  $\delta_1 T$  в поперечном сечении стенки отливки. От их соотношения зависит ширина зоны двухфазного (твердожидкого) состояния металла отливки на границе твердой и жидкой фаз. Исходя из существующих представлений о механизме образования пористости, ширина ее области в отливке может быть приближенно оценена как сумма величин ширины двухфазных зон в момент их соединения в ходе затвердевания [2].

Величина интервала кристаллизации сплава  $\Delta T_{кр}$ , обуславливается его теплофизическими характеристиками, зависящими от состава. Величина перепада температур в стенке отливки, как известно, зависит как от теплопроводности сплава, так и от коэффициента аккумуляции тепла

материала формы. Таким образом, на величину и характер пористости в литье наибольшее влияние оказывают теплофизические свойства отливки и формы, геометрические параметры отливки, а также термическое сопротивление газового зазора между отливкой и формой.

В начале затвердевания перемещение жидкого металла внутри затвердевшей корки происходит при относительно небольшом сопротивлении. По мере роста толщины затвердевающих слоев и уменьшения величины просвета между растущими навстречу друг другу фронтами кристаллизации, возрастает значение трения потока о его стенки, скорость движения падает. При достаточном сужении канала течение питающего металла сменяется фильтрацией.

### Разработка технологических приемов для предупреждения образования различных видов усадочной пористости

Производственный опыт и теоретический анализ позволили разработать ряд технологических приемов для предупреждения образования различных видов усадочной пористости:

- кристаллизация под электромагнитным, поршневым, всесторонним газовым давлением [3];

- кристаллизация залитых в предварительно нагретые формы отливок в установках одноосного теплоотвода с высоким градиентом температур на фронте кристаллизации [4];

- литье в поле центробежной силы:

- литье в объемные формы с созданием направленного затвердевания от периферийных частей отливок к прибыли, чем улучшается питание мест образования осевой пористости [2].

Приемы, входящие в четвертую группу, находят наиболее широкое практическое применение благодаря тому, что они универсальны, относительно просты и достаточно освоены технологами-практиками.

Для получения в элементе отливки минимально возможной осевой усадочной пористости необходимо создать такую направленность затвердевания от периферии к прибыли, при которой обеспечивается беспрепятственное перемещение жидкого металла от прибыли к местам питания усадки до его окончания. Это условие может быть выполнено за счет получения в затвердевающей стенке отливки клиновидного промежутка, равномерно расширяющегося в сторону источника питания – прибыли (см. рисунок). Исходя из того, что геометрия и эффективность этого питающего промежутка зависят от скорости продвижения фронта затвердевания в поперечном ( $W_1$ ) и продольном (вдоль стенки отливки  $W_2$ ) направлениях, предложено в качестве критерия направленного затвердевания использовать отношение этих скоростей [2].

В зависимости от величины интервала кристаллизации сплава для этого необходимо дости-

жение углом расширения питающего промежутка определенной критической величины.

Это может быть получено двумя путями:

- применением технологических напусков, то есть утолщений (или уклона) в стенках отливок, увеличивающихся в направлении к источнику питания (рисунок а);

- управлением процессом отвода тепла таким образом, чтобы скорость затвердевания стенки монотонно увеличивалась с ростом удаленности от источника питания (рисунок б).

Технологические напуски являются достаточно простым решением, легко реализуются, однако это приводит к увеличению расхода металла и к дополнительному расходу труда и материалов при необходимости их удаления в ходе механической обработки изделий. Величина напуска определяется через разницу времени полного затвердевания, которая зависит от разности приведенных толщин стенки отливки на границах участка (рисунок 1):

$$k_w \geq \frac{\Delta R}{\Delta l} = \frac{R_2 - R_1}{\Delta l}, \quad (1)$$

где  $\Delta l$  – расстояние от сечения II до затвердевшего сечения I;  $\Delta R = R_2 - R_1$  – ширина питающего канала в сечении II, равная разности приведенных толщин стенки отливки в рассматриваемых сечениях (см. рисунок 1а).

Определение перепада толщин на участке отливки, ограниченного сечениями I и II, предполагает, что параметры отливки в сечении I известны, а искомыми являются параметры сечения II [2, 5].

Управление процессом отвода тепла с разной степенью эффективности осуществляется технологами различными приемами, среди которых можно выделить следующие:

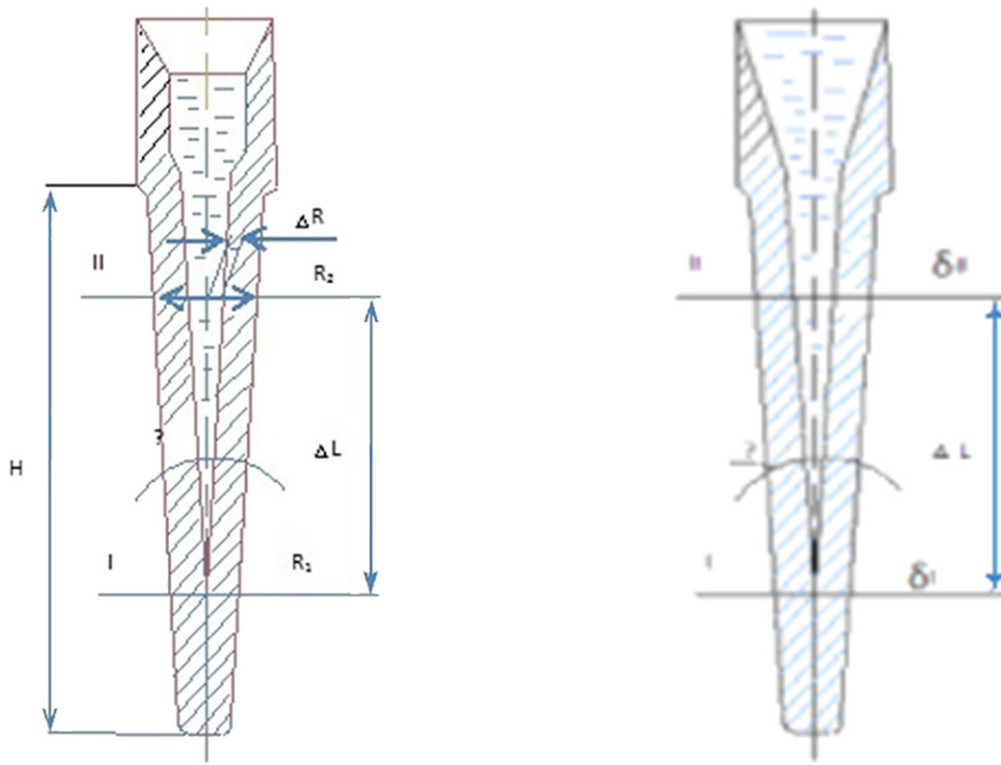
- обеспечение благоприятного распределения температур металла и формы к моменту окончания ее заливки применением рациональной конструкции литниковой системы;

- использование в форме материалов с различной охлаждающей способностью, в том числе наружных холодильников [2].

В последнем случае решается задача нахождения величин скорости затвердевания участков стенки отливки, увеличивающихся по мере их удаления от источника питания при постоянном значении ее приведенной толщины.

Для обеспечения направленности затвердевания в отливках сложной конфигурации наряду с наружными, широко используются внутренние холодильники [6].

Внутренние холодильники, устанавливаемые в полости формы, могут расплавляться в отливке или удаляться из нее при обработке. Первые полностью или частично расплавляются теплом металла элемента отливки и должны иметь идентичный с ним состав. Удаляемые чаще всего устанавливаются в местах, предназначенных для получения отверстий, в частности, под резьбовые



а – в направлении к источнику питания

б – удаленности от источника питания

Угол расширения питающего промежутка

соединения, и высверливаются при механической обработке детали.

Масса внутреннего холодильника может быть определена из условия равенства теплоты  $Q_{\text{хол}}$  (Дж) для его нагрева и полного или частичного расплавления и величины уменьшения теплосодержания  $Q_{\text{отл}}$  (Дж) части отливки или термического узла, в которых он устанавливается. Она чаще всего ориентировочно выбирается равной теплоте перегрева металла отливки над ликвидусом.

Исходя из соотношений

$$Q_{\text{хол}} = m_{\text{хол}} [(t_{\text{пл}} - t_{\text{комн}}) + L_{\text{хол}}K], \quad (2)$$

$$Q_{\text{отл}} = m_{\text{отл}} (t_{\text{зал}} - t_{\text{кр}}), \quad (3)$$

где  $L_{\text{хол}}$ ,  $L_{\text{отл}}$  – теплота плавления материала холодильника и отливки (Дж/кг);

$m_{\text{отл}}$ ,  $m_{\text{хол}}$  – масса теплового узла отливки и холодильника (кг);

$K$  – степень оплавления холодильника, обычно  $K=0,3-0,9$ ,

получаем 
$$m_{\text{хол}} = m_{\text{узла}} \frac{c_{\text{ж}} (t_{\text{зал}} - t_{\text{кр}}) + L}{c_{\text{тв}} (t_{\text{пл}} - t_{\text{комн}}) + KL}, \quad (4)$$

где  $c_{\text{ж}}$ ,  $c_{\text{тв}}$  – удельная теплоемкость (Дж/кг·°С).

Одним из наиболее распространенных видов внутренних холодильников являются стержни круглого или призматического сечения, а также плоские или пространственные решетки из них, в определенном порядке, располагаемые в двух или

трех взаимно перпендикулярных направлениях.

При литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) внутренние холодильники целесообразно размещать в моделях при их изготовлении и монтаже. Это обеспечивает требуемое расположение их в теле отливки и предохранение от коррозии при хранении модели и формовке. Холодильники должны иметь части, выступающие за контуры моделей, которые служат их дополнительными фиксаторами при заполнении формы расплавом, особенно в тех случаях, когда технологией предусматривается оплавление большей части холодильника.

В известном способе литья с вводом микрохолодильников при заливке форм, получаемых по постоянным моделям, они вводятся в полость формы через специальные каналы, присоединенные к литниковой системе. Микрохолодильниками могут служить литая и колотая дробь, обрезь гвоздильного производства, отрезки проволоки, порошки, размельченная и обезжиренная стружка, опилки, другие отходы металлообработки, химический состав которых близок составу металла отливки. Как известно, указанный способ имеет целью ускорение охлаждения и затвердевания отливок и образование дополнительных центров кристаллизации во всем объеме получаемой отливки и диспергирования ее макроструктуры вследствие интенсивного внутреннего отвода тепла за счет его поглощения при нагреве и плавлении микрохолодильников. Однако этот способ

не позволяет ввести их локально, в строго заданные объемы отливки, например, в горячие узлы, утолщения, сочленения стенок. Технология ЛГМ обеспечивает использование микрохолодильников для регулирования скорости охлаждения отдельных частей отливки с целью обеспечения ее направленного затвердевания. Это достигается путем размещения их в определенном порядке в объемах модели в ходе ее изготовления. Микрохолодильники могут порциями определенной массы и плотности, располагаться во фрагментах моделей при их изготовлении и монтаже, между слоями пенополистирола, а при необходимости концентрированно закладываться в предусматриваемые для этого полости в теле модели. С применением указанной технологии были отлиты партии отливок типа панелей и плит, а также

сложной конфигурации.

### Выводы

Применение данных расчетов позволит получить отливки без усадочных дефектов и сплошным однородным строением, что объясняется выравниванием температуры отдельных частей сложных отливок и обеспечением их направленного затвердевания. Ввод микрохолодильников непосредственно в горячий узел отливки позволяет повысить качество металла, уменьшить брак и снизить себестоимость литья путем устранения усадочных раковин и пористости. Этим способом также возможно осуществить местное легирование и армирование литых изделий, а также ввод неметаллических частиц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларичев Н.С., Куца А.Ю., Куцый О.Я. Классификация и методы контроля внутренних усадочных дефектов // Наука и образование. МГТУ им. Баумана. 2016. № 5. С. 1-13.
2. Назаратин В.В., Смирнов А.П. Расчет направленного затвердевания стальных отливок // Литейное производство. 2008. № 1. С. 37.
3. Коротченко А.Ю., Тверской М.В. Методика расчета пористости при направленном затвердевании отливок // Наука и образование. МГТУ им. Баумана. 2014. № 5. С. 1-12.
4. Никишин В.А. Производство фасонных отливок из сталей и жаропрочных сплавов методом направленного затвердевания // Литейное производство. 2003. № 4. С. 4.
5. Дорошенко В.С. Литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией под давлением // Литейное производство. 2016. № 12. С. 3.
6. Юрин Ю.М. О внутреннем холодильнике для стальных отливок // Литейное производство. 2006. № 12. С. 9.

### Газдалған үлгілер бойынша құю кезінде ішкі тоңазытқыштарды қолдану

<sup>1</sup>ИСАҒҰЛОВ Аристотель Зейнуллинович, т.ғ.д., профессор, атқарушы директор, aristotel@kstu.kz,

<sup>1</sup>ИБАТОВ Марат Кенесович, т.ғ.д., профессор, басқарма төрағасы – ректор, m.ibatov@bk.ru,

<sup>1</sup>\*МЕДВЕДЕВА Ирина Евгеньевна, аға оқытушы, irina-medvedeva-00-00@bk.ru,

<sup>1</sup>МАЛАШКЕВИЧУТЕ-БРИЯН Елена Иозасовна, аға оқытушы, elenei66@mail.ru,

<sup>1</sup>ТУЛЕГЕНОВА Шолпан Ныгметовна, аға оқытушы, sholpan.tulegenova.65@mail.ru,

<sup>1</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Құю кезінде көлемді жиырылу ақауларының пайда болуын болдырмау мәселесі қарастырылған. Олардың пайда болу механизмі мен шарттарын талдау жүзеге асырылады. Ұзартуы жоғары құймалардағы шөгінді кеуектіліктің пайда болу процесінің заңдылығы анықталды. Бұл ақаудың пайда болуына жол бермейтін құрал ретінде құю элементтерінің бағытты қатаюының мәні көрсетілген. Ішкі тоңазытқыштарды газдандырылған модельдерде монолитті және дискретті жабық тоңазытқыштарда қолдану ұсынылады.

**Кілт сөздер:** көлемдік шөгү, осьтік шөгү кеуектілігі, бағытта қатаю, газдалған үлгілер бойынша құю, ішкі тоңазытқыштар.

### Application of Indoor Refrigerators When Casting on Gasified Models

<sup>1</sup>ISSAGULOV Aristotle, Dr. Tech. Sci., Professor, Executive Director, aristotel@kstu.kz,

<sup>1</sup>IBATOV Marat, Dr. Tech. Sci., Professor, Chairman of the Management Board – Rector, m.ibatov@bk.ru,

<sup>1</sup>\*MEDVEDEVA Irina, Senior Lecturer, irina-medvedeva-00-00@bk.ru,

<sup>1</sup>MALASHKEVICHUTE-BRIYAN Elena, Senior Lecturer, elenei66@mail.ru,

<sup>1</sup>TULEGENOVA Sholpan, Senior Lecturer, sholpan.tulegenova.65@mail.ru,

<sup>1</sup>Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

\*corresponding author.

**Abstract.** *The problem of preventing the appearance of volumetric shrinkage defects during pouring is considered. The analysis of the mechanism and conditions of their formation is carried out. The regularity of the process of formation of sedimentary porosity in castings with high elongation is revealed. The value of directional hardening of casting elements is shown as a means of preventing the formation of this defect. It is proposed to use internal refrigerators in gasified models. Monolithic and discrete indoor refrigerators.*

**Keywords:** *shrinkage, axial shrinkage porosity, directional solidification, gasified casting, internal refrigerators.*

## REFERENCES

1. Larichev N.S., Kucaja A.Ju., Kucyj O.Ja. Klassifikacija i metody kontrolja vnu-trennih usadochnyh defektov // Nauka i obrazovanie. MGTU im. Baumana. 2016. No. 5. pp. 1-13.
2. Nazaratin V.V., Smirnov A.P. Raschet napravlennogo zatverdevanija stal'nyh otlivok // Litejnoe proizvodstvo. 2008. No. 1. P. 37.
3. Korotchenko A.Ju., Tverskoj M.V. Metodika rascheta poristosti pri napravlennom zatverdevanii otlivok // Nauka i obrazovanie. MGTU im. Baumana. 2014. No. 5. pp. 1-12.
4. Nikishin V.A. Proizvodstvo fasonnyh otlivok iz stalej i zharoprochnyh splavov metodom napravlennogo zatverdevanija // Litejnoe proizvodstvo. 2003. No. 4. P. 4.
5. Doroshenko V.S. Lit'e po gazificiruemyh modeljam s kristallizaciej pod davleniem // Litejnoe proizvodstvo. 2016. No. 12. P. 3.
6. Jurin Ju. M. O vnutrennem holodil'nike dlja stal'nyh otlivok // Litejnoe proizvodstvo. 2006. No. 12. P. 9.