

В.Ю. Селиверстов, Т.В. Селиверстова, А.В. Збинец

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ В КОКИЛЕ НАРУЖНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ИЗ ШТАМПОВОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

*Аннотация.* Приведены результаты моделирования процесса затвердевания отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л в кокиле с применением наружных холодильников разной конструкции и размеров. Установлена степень влияния вводимого холодильника на характер и продолжительность герметизации отливки в форме.

*Ключевые слова:* газодинамическое воздействие, герметизация, холодильник, конструкция, утеплитель, моделирование, затвердевание.

**Введение.** В настоящее время задачей заинтересованных специалистов неизменно является совершенствование действующих и разработка новых эффективных процессов литья. Как известно, снижение материальных и энергетических затрат на производство при одновременном повышении качества литых заготовок может достигаться при разработке и внедрении новых методов внешних физических воздействий на затвердевающий металл. Это в полной мере относится и к технологии газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

**Анализ предыдущих публикаций.** Способ литья с применением газодинамического воздействия на затвердевающий в литейной форме расплав позволяет создавать нарастающее давление в герметизированной системе отливка-устройство для ввода газа вплоть до полного затвердевания отливки [1 -5]. К моменту начала подачи газа в систему отливка-устройство для подачи газа на поверхности отливки должен сформироваться слой затвердевшего металла. При этом одним из основных конструктивных компонентов устройства для ввода газа является наружный герметизирующий холодильник, форма, размеры, материал и масса которого оказывают влияние на продолжительность и эффективность технологического процесса газодинамического воздействия [6]. Ранее проведенные исследования показали эффективность данного воздействия на затвердевающий в литейной форме

металл при изготовлении отливок как в кокиле [7 - 9], так и в керамической оболочковой форме [10, 11]. В данных работах подчеркивается, что наибольшая эффективность метода может быть достигнута путем создания таких теплофизических условий, которые обеспечивают формирование равномерного затвердевшего слоя на всей поверхности отливки. Поэтому актуальной задачей является получение научно обоснованных результатов, позволяющих определить степень влияния как отдельных характеристик, так и комплекса параметров, обеспечивающих эффективную работу герметизирующего наружного холодильника для осуществления газодинамического воздействия на расплав в литейной форме.

**Целью исследований** является компьютерное моделирование процесса герметизации отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л, затвердевающей в кокиле с различными вариантами конструкции и размеров наружного холодильника.

**Основной материал.** Для определения термовременных параметров процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа и степени влияния наружного холодильника на этот процесс, было проведено компьютерное моделирование герметизации отливки из стали X18Ф1Л (табл. 1) с использованием системы компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон».

Таблица 1

## Химический состав стали X18Ф1Л

Содержание химических элементов, мас. %							
C	Mn	Si	Cr	V	P	S	Fe
1,41	0,74	0,39	18,13	0,89	0,02	0,01	ост.

Литейная форма - стальной вытряхной кокиль со средней толщиной стенки 100 мм, высотой рабочей полости 550 мм и средним диаметром 240 мм. Начальная температура формы - 400°C. Высота отливки – 350 мм. Остальные теплофизические характеристики заливаемого сплава, принятые в качестве исходных данных для проведения моделирования, представлены в таблице 2.

Теплофизические параметры стали X18Ф1Л

Параметр	Значение солидус	Значение ликвидус
Плотность, $кг/м^3$	7718	7718
Теплоемкость, $Дж/(кг К)$	525	525
Теплопроводность, $Вт/(м К)$	50	150
Температура, $^{\circ}C$	1247	1359
Теплота затвердевания 300 365 $Дж/кг$ .		
Температура заливки (начальная температура) 1420 $^{\circ}C$		

Материал холодильника – сталь X18Ф1Л. Диаметр холодильника принимался равным 100 мм, 150 мм и 200 мм. Каждому из диаметров соответствовали толщины: 10 мм, 20 мм и 30 мм. Начальная температура холодильника – 350 $^{\circ}C$ . На рисунке 1 представлена схема конструкции холодильников и расположения виртуальных термопар (№№ 1 - 3). Особенностью конструкции холодильников является наличие (отсутствие) вставки из теплоизоляционного материала. Поэтому в одном из вариантов (рис. 1, а) холодильник полностью металлический на газоподающем патрубке, а в другом (рис. 1, б) – холодильник представляет из себя металлический корпус (обычно, из того же материала, что и отливка), в котором находится вставка из теплоизоляционного материала (на рисунке не показана). Для конструкции со вставкой из теплоизоляционного материала толщина холодильника принималась равной 30 мм с толщиной теплоизоляционного материала 10 мм и 25 мм для каждого из выбранных диаметров.

Материалы теплоизоляционных вставок и их теплопроводность представлены в таблице 3.

Таблица 3

Утеплители и их теплопроводность

№	Материал	Теплопроводность, $Вт/(м К)$	Литературный источник
1	Двухкомпонентная зольная формовочная смесь	0,35	[12]
2	Огнеупорное волокно МКРВЦ – 1	0,79	[13]
3	Сухая песчаная формовочная смесь (10 % глины)	1,28	[14]
4	Хромомагнетитовая жидкостекольная формовочная смесь (6% жидкого стекла)	2,56	[14]
5	Шамот высокоглиноземистый	5,40	[14]

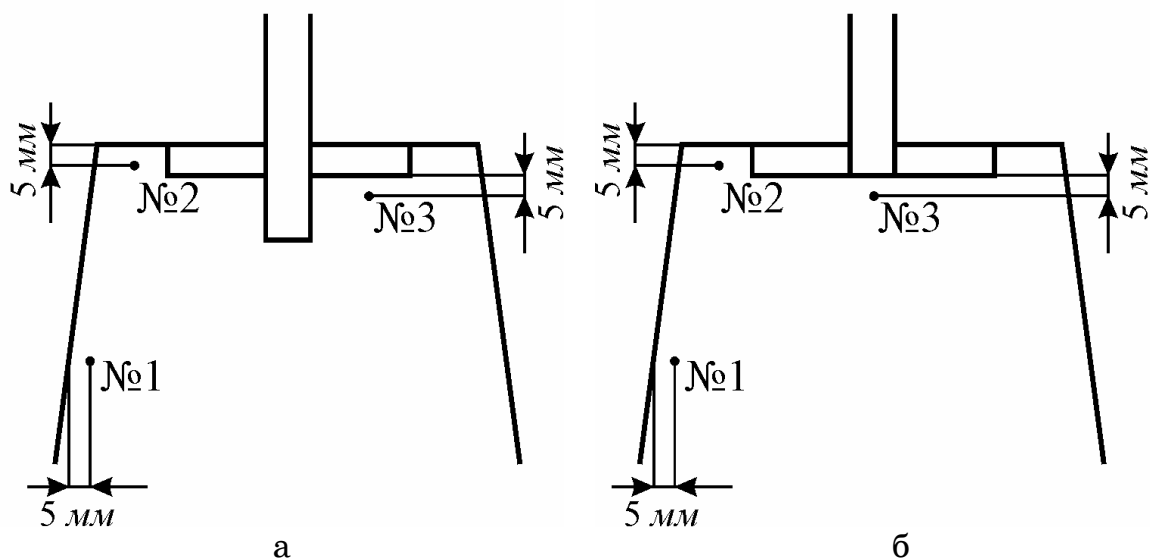


Рисунок 1 - Схема цельнометаллического холодильника на газоподающей патрубке (а) и корпусного холодильника с утеплительной вставкой (б), а также расположение виртуальных термопар (№№ 1 - 3)

В таблицах 4 - 6 представлены результаты моделирования процесса затвердевания отливки на этапе герметизации металла в литейной форме после введения холодильника различной конструкции при вариации материала утеплителя (№ материала – из табл. 3). Герметизация системы отливка – устройство для ввода газа проходит в течение времени, необходимого для формирования слоя затвердевшего металла на всей поверхности отливки. Учитывая условия затвердевания данной отливки (плотный контакт основания с металлической формой), наиболее «узким местом» этого процесса является формирование затвердевшего слоя на боковой поверхности и место ввода холодильника (верхняя часть отливки), в которых расположены виртуальные термопары. Время охлаждения металла до температуры «солидус» в точках, соответствующих расположению виртуальных термопар (см. рис. 1) в таблицах 3 -5 обозначено: для термопары № 1 –  $T_1$ , для термопары № 2 –  $T_2$ , для термопары № 3 –  $T_3$ .

Таблица 4

Результаты моделирования затвердевания отливки  
с холодильником диаметром 100 мм

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя (b), мм	T <sub>1</sub> , сек	T <sub>2</sub> , сек	T <sub>3</sub> , сек
10	–	–	300	250	310
20	–	–	300	220	320
30	–	–	300	200	340
30	5	10	310	220	550
30	4	10	310	220	560
30	3	10	310	220	570
30	2	10	310	220	570
30	1	10	310	230	570
30	5	25	310	220	560
30	4	25	310	220	570
30	3	25	310	230	570
30	2	25	310	230	570
30	1	25	310	230	570

Таблица 5

Результаты моделирования затвердевания отливки  
с холодильником диаметром 150 мм

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя, (b) мм	T <sub>1</sub> , сек	T <sub>2</sub> , сек	T <sub>3</sub> , сек
10	–	–	300	210	340
20	–	–	300	170	330
30	–	–	290	150	330
30	5	10	310	160	580
30	4	10	310	160	600
30	3	10	310	160	600
30	2	10	310	160	610
30	1	10	310	160	620
30	5	25	310	160	600
30	4	25	310	160	610
30	3	25	310	160	620
30	2	25	310	160	620
30	1	25	310	160	620

Результаты моделирования затвердевания отливки  
с холодильником диаметром 200 мм

Высота холодильника (h), мм	Утеплитель холодильника, № материала	Толщина слоя утеплителя (b), мм	T <sub>1</sub> , сек	T <sub>2</sub> , сек	T <sub>3</sub> , сек
10	–	–	300	130	330
20	–	–	290	100	330
30	–	–	280	90	320
30	5	10	280	90	600
30	4	10	280	90	620
30	3	10	280	90	640
30	2	10	280	90	640
30	1	10	280	90	650
30	5	25	280	90	630
30	4	25	280	90	640
30	3	25	280	90	650
30	2	25	280	90	650
30	1	25	280	90	650

Процесс герметизации является наиболее эффективным в том случае, если к моменту подачи газа в систему отливка-устройство для ввода газа на внутренней поверхности холодильника, закрывающей зеркало металла, замерзает минимальное количество металла отливки, т.е. к этому моменту металл под холодильником должен быть жидким. Время затвердевания расплава в зазоре между холодильником и боковой поверхностью рабочей полости литейной формы должно быть минимальным и соответствовать времени формирования затвердевшего слоя на остальной площади поверхности отливки. Данные, приведенные в таблицах 3 – 5 свидетельствуют о том, что при наличии слоя утеплителя даже минимальной толщины процесс затвердевания металла непосредственно под холодильником идет значительно медленнее, чем в случае цельнометаллического холодильника тех же габаритных размеров. При использовании цельнометаллического холодильника всех рассматриваемых диаметров продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником находится в диапазоне 310 - 340 с, т.е. влияние диаметра холодильника минимально. При использовании утеплителя №5 (с высокой теплопроводностью) в конструкции холодильника ( $\varnothing$  100 мм, h = 30 мм, b = 10 мм) это время составляет не менее 550 с. На процесс затвердевания значительное влияние оказывает площадь зеркала металла, закрываемая холодильником с одинаковой толщиной и тем же

материалом утеплителя: чем больше диаметр, тем дольше сохраняется температура металла под холодильником.. В свою очередь, теплофизические свойства материала утеплителя также существенно влияют на продолжительность затвердевания. Например, расчеты показали, что продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником  $\varnothing 150$  мм,  $h = 30$  мм, утеплитель № 4,  $b = 10$  мм и холодильником  $\varnothing 200$  мм,  $h = 30$  мм, утеплитель № 5,  $b = 10$  мм одинакова. Выбирая конструкцию холодильника и утеплительную вставку с необходимыми теплофизическими характеристиками можно регулировать в широких пределах кинетику затвердевания металла отливки (рис. 2, 3).

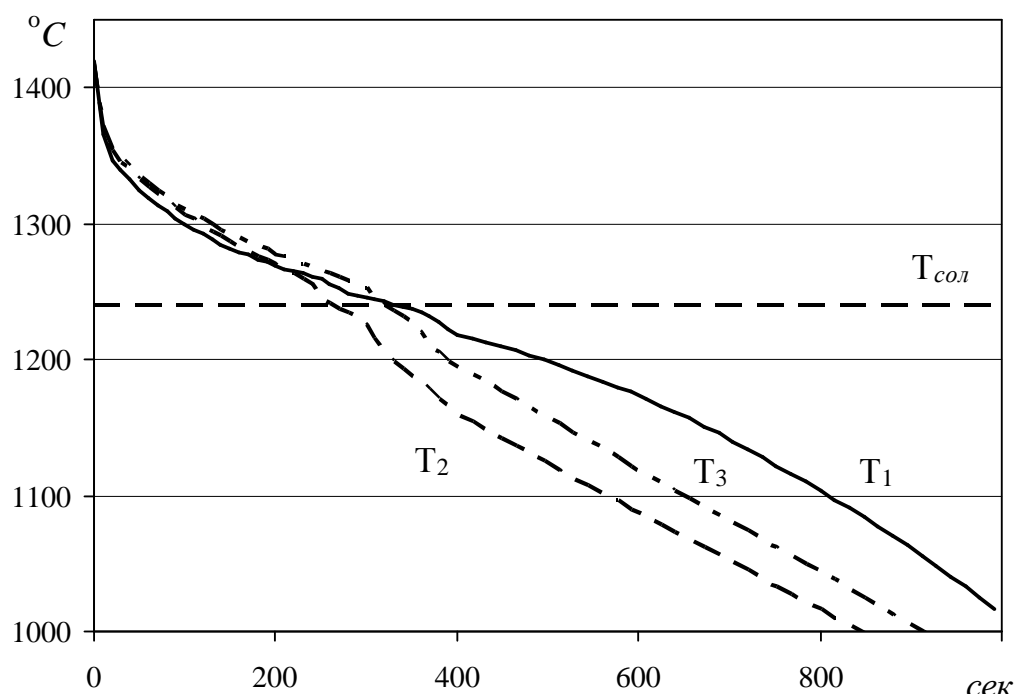


Рисунок 2 - Кривые охлаждения металла отливки в местах расположения виртуальных термопар №№ 1 – 3 при использовании цельнометаллического холодильника  $\varnothing 100$  мм,  $h = 10$  мм без утеплителя

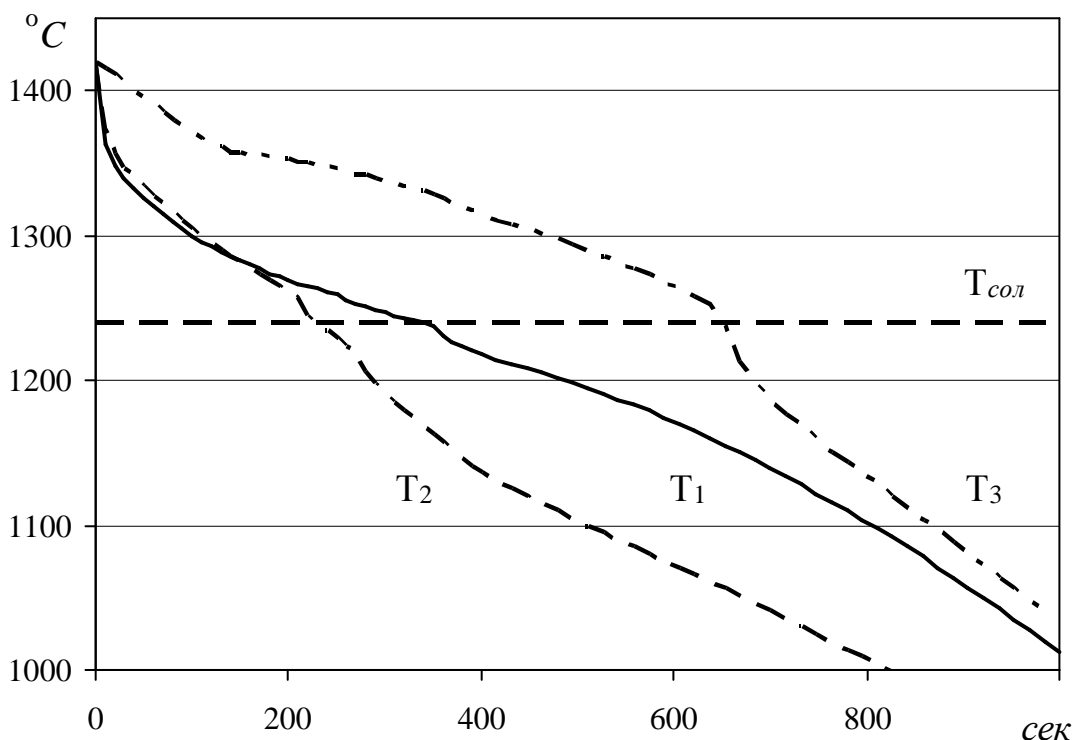


Рисунок 3 - Кривые охлаждения металла отливки в местах расположения виртуальных термопар №№ 1 – 3 при использовании холодильника  $\varnothing$  200 мм,  $h = 30$  мм с утеплителем № 1,  $b = 25$  мм

Данные рисунков 2 и 3 показывают разницу в продолжительности затвердевания расплава непосредственно под холодильником более чем в 2 раза в случае использования в качестве утеплителя двухкомпонентной зольной формовочной смеси. Это позволяет не только снизить непроизводительные потери металла из-за намерзания на поверхности холодильника, но и значительно улучшить тепловой режим осуществления газодинамического воздействия.

#### Выводы

1. Проведено моделирование процесса герметизации отливки цилиндрической формы из стали X18Ф1Л в стальном вытряхном кокиле с цельнометаллическим и составным наружным холодильником диаметром ( $\varnothing$ ) 100 мм, 150 мм, 200 мм, толщиной ( $h$ ) 10 мм, 20 мм и 30 мм со вставками из теплоизолирующих материалов с различной теплопроводностью толщиной ( $b$ ) 10 мм и 25 мм. Установлено, что выбирая конструкцию холодильника и утеплительную вставку с необходимыми теплофизическими характеристиками можно регулировать в широких пределах кинетику затвердевания металла отливки.



2. При использовании цельнометаллического холодильника всех рассматриваемых диаметров продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником находится в диапазоне 310 - 340 с, т.е. влияние диаметра холодильника минимально. При использовании в качестве утеплителя высокоглиноземистого шамота (с наибольшей теплопроводностью) в конструкции холодильника  $\varnothing$  100 мм,  $h = 30$  мм,  $b = 10$  мм это время составляет не менее 550 с. В случае использования в качестве утеплителя двухкомпонентной зольной формовочной смеси время может быть увеличено до 650 с, что позволяет улучшить тепловой режим осуществления газодинамического воздействия.

3. Установлено, что применяя материал утеплителя с пониженной теплопроводностью можно использовать холодильник меньшего диаметра. Расчеты показали одинаковую продолжительность затвердевания металла непосредственно под холодильником  $\varnothing$  150 мм  $b = 25$  мм и холодильником  $\varnothing$  200 мм,  $b = 10$  мм с разными утеплителями.

4. Результаты моделирования показали, что для данного вида сплава и литейной формы лимитирующей стадией процесса герметизации системы отливка-устройство для ввода газа будет формирование затвердевшего слоя металла на боковой и верхней поверхностях отливки. При этом толщина цельнометаллического холодильника будет играть второстепенную роль по сравнению с его диаметром. Кроме того, в данном случае, предпочтительно использование конструкции холодильника, предусматривающей наличие слоя утеплителя, что позволяет также снизить металлоемкость устройства для ввода газа

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) В22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
2. Пат. 28859 Україна, МПК (2006) В22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200708969; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21.
3. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) В22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.
4. Пат. 37837 Україна, МПК (2006) В22D 18/00. Пристрій для отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Доценко Ю.В. – № 200808858; заявл. 07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23.

5. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівьорстов В.Ю., Хричиков В.Є., Куцова В.З., Меньяло О.В., Савега Д.О. – № u 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23.
6. Селиверстов В.Ю. Влияние наружного холодильника на процесс герметизации отливки из стали с широким температурным интервалом затвердевания в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 3. - С. 32-37.
7. Селиверстов В.Ю. Влияние газодинамического воздействия на распределение сульфидных включений в цилиндрической отливке из углеродистой стали, затвердевающей в кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Т.В. Михайловская, Ю.В. Доценко, Ю.А. Мушенков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. - №5. - С. 40 – 43.
8. Селівьорстов В.Ю. Особливості структуроутворення литої вуглецевої сталі при газодинамічному впливі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов, В.Є. Хричиков, В.З. Куцова, О.А. Носко, Ю.В. Доценко, П.Д. Куц // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 5-6. – С. 80-85.
9. Селівьорстов В.Ю. Дослідження газодинамічного впливу на властивості литої вуглецевої сталі [Текст] / В.Ю. Селівьорстов // Теорія і практика металургії. – 2007. - № 4-5. – С. 22 - 25.
10. Селівьорстов В.Ю. Використання технології газодинамічного впливу на розплави при литті по витоплюваним моделям [Текст] / В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куц // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 4 – С. 89 – 94.
11. Селівьорстов В.Ю. Диверсифікація режимів здійснення технології газодинамічного впливу при виготовленні виливків способом ЛВМ [Текст] / В.Ю. Селиверстов, П.Д. Куц // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2010. - № 17 – С. 108 – 113.
12. Мазорчук В.Ф. Кристаллизация расплава с использованием плавающей прибыльной вставки из вторичных материалов: Дис. ... к - та техн. наук: 05.16.04. – Днепропетровск, 2009. – 125 с.
13. Плита мкрпг-400 теплоизоляционная // ОАО "Синельниковская теплоизоляция" [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://sintiz.com.ua/produkcija5.html>, свободный. - Загл. с экрана.
14. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки [Текст] / Г.Ф. Баландин. - М.: Машиностроение, 1976. -328 с.