

В. Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, д-р техн. наук, проф. НМетАУ, Днепропетровск,
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТА СТЕФАНА-ШВАРЦА ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ОТЛИВКИ В
ОБЪЕМНОЙ ПЕСЧАНОЙ ФОРМЕ**

Представлен сравнительный анализ результатов расчета процесса затвердевания отливок из стали и алюминиевого сплава, относящихся к основным геометрическим разновидностям тел охлаждения, методом Стефана-Шварца и методом конечных элементов. Изд.: 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: затвердевание, расчет, метод Стефана-Шварца, метод конечных элементов, сравнительный анализ.

Введение

Технология газодинамического воздействия предполагает в качестве необходимого условия осуществления процесса наличие на поверхности отливки слоя затвердевшего металла. Толщина этого слоя должна обеспечивать по своим

© В. Ю. СЕЛИВЕРСТОВ 2012

прочностным характеристикам герметичность системы отливка-устройство для ввода газа, находящейся под давлением, вплоть до полного затвердевания отливки.

Анализ предыдущих публикаций

Для осуществления и достижения максимальной степени эффективности газодинамического воздействия необходимо определить время выдержки расплава в форме до момента подачи газа, соответствующее формированию корки заданной толщины и, соответственно, прочности [1 – 5]. При этом могут применяться экспериментальные методики, такие как выливание жидкого остатка или термоэлектрические исследования. Также несомненный интерес представляет использование для этих целей систем компьютерного

моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) и инженерных методов расчета температурного поля отливки. Одной из наиболее «доступных» расчетных схем затвердевания отливки в полубесконечной литейной форме, обладающей высокой степенью достоверности результатов, является аналитическое решение К. Шварца [119].

Для задачи затвердевания в постановке К. Шварца приняты следующие допущения (рис. 1) [119]:

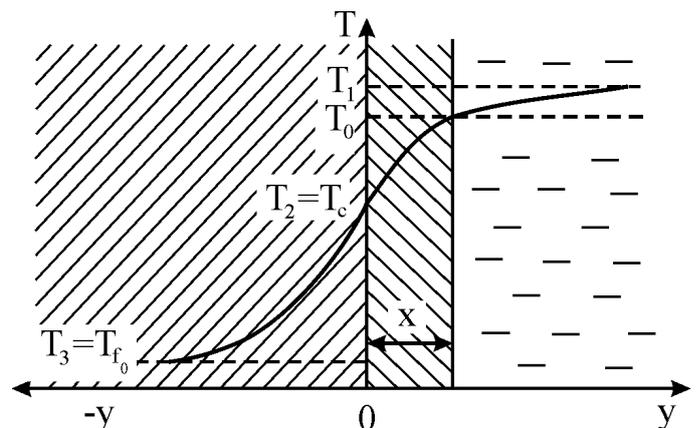


Рис. Схема к задаче Стефана-Шварца

– полубесконечное тело, имитирующее отливку, соприкасается с другим полубесконечным телом, имитирующим форму. Поверхность их соприкосновения является неограниченной плоскостью;

– температура тела первоначально во всех точках равна T_1 . В начальный момент времени, на поверхности тела температура мгновенно понижается до T_2 и далее остается постоянной;

– при температуре T_0 , лежащей между T_1 и T_2 , происходит затвердевание вещества тела, в результате которого освобождается удельная теплота кристаллизации L ;

– начальная температура формы во всех точках равна T_3 ;

– тепловые характеристики вещества тела не зависят от температуры, но в твердом и жидком состоянии могут иметь разные величины;

– теплопередача как в твердой, так в жидкой частях тела, подчиняется уравнению Фурье; конвективное перемешивание в жидкой части не учитывается.

В момент времени, равный нулю, отливка соприкасается с формой, имеющей начальную температуру T_3 . Между отливкой и формой сразу же устанавливается и поддерживается неограниченно долго идеальный контакт. Температуры их соприкасающихся поверхностей, а также производные для линий распределения температур в точке соприкосновения для отливки и формы равны друг другу. Температура в точке соприкосновения отливки и формы или температура контакта, $T_c = T_2$.

Цель работы - проведение сравнительного анализа результатов расчета затвердевания отливок основных конфигуративных типов из стали и алюминиевого сплава в объемной песчаной форме инженерным методом и методом конечных элементов.

Основной материал

Решение задачи Стефана-Шварца представляет собой следующую систему уравнений (1 – 5). Температура контакта на границе отливки и формы определяется выражением (1) и является постоянной величиной

$$T_c = \frac{T_0}{1 + \frac{b_F}{b_s} \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)}; \quad (1)$$

коэффициент затвердевания K является корнем уравнения (3.2)

$$\rho_L L \frac{\sqrt{\pi}}{2} K = b_s (T_0 - T_c) \frac{e^{-\frac{K^2}{4a_s}}}{\operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)} - b_L t \frac{e^{-\frac{K^2}{4a_L}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_L}}\right)}; \quad (2)$$

температура в расплавленной и затвердевшей частях отливки определяется по формулам (3.3) и (3.4) соответственно

$$T_L = (T_0 + t) - t \frac{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_L} \tau}\right)}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_L}}\right)}, \quad (3)$$

$$T_s = T_c + (T_o - T_c) \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_s\tau}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{K}{2\sqrt{a_s}}\right)}; \quad (4)$$

распределение температуры в форме

$$T_F = T_c - (T_o - T_{F_0}) \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_F\tau}}\right), \quad (5)$$

где a – температуропроводность материала $a = \lambda / c\rho$, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$; c – теплоемкость, $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$; ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; b – коэффициент аккумуляции тепла формой ($b = \sqrt{\lambda c\rho}$), $\text{Вт}\cdot\text{с}^{0.5}/\text{м}^2\cdot\text{К}$; K – коэффициент затвердевания, $\text{см}/\text{с}$; y – координата, м ; τ – время, с . Индексы s и l обозначают, что соответствующие величины относятся к твердой или жидкой части отливки, F – к форме.

Расчеты процесса затвердевания и построение температурных полей проводились для отливок формы шара и цилиндра диаметром $200_{\text{мм}}$, а также плиты толщиной $200_{\text{мм}}$ из алюминиевого сплава эвтектического состава и углеродистой стали, затвердевающих в объемной форме из сухой песчано-глинистой смеси (ПГС). Сравнение проводилось с данными, полученными при моделировании аналогичных процессов в тех же условиях в СКМ ЛП «Полигон» (метод конечных элементов).

Для проведения расчетов были приняты следующие исходные данные для отливки и формы (табл. 1).

Расчет производился для 50 точек, 10 из которых лежат в области отливки, остальные принадлежат форме. Для распределений температур в отливке и форме, полученных на основании инженерного расчета Стефана-Шварца и с использованием СКМ ЛП «Полигон», определено максимальное относительное отклонение (6).

Таблица 1 - Усредненные значения теплофизических параметров материалов отливки и формы

Параметр	Значение	
	для твердого	для расплава
Отливка – углеродистая сталь		
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	7600	7150
Теплоемкость, $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	761	920
Теплопроводность, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$	56	21
Скрытая теплота кристаллизации, $\text{Дж}/\text{кг}$	268 000	
Температурный интервал кристаллизации, $^{\circ}\text{C}$	1455 – 1485	
Отливка – алюминиевый сплав		
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	2750	2370
Теплоемкость, $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$	1070	1279
Теплопроводность, $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$	160	165
Скрытая теплота кристаллизации, $\text{Дж}/\text{кг}$	290 000	
Температурный интервал затвердевания, $^{\circ}\text{C}$	560 – 600	

Форма – песчано-глинистая смесь	
Плотность, кг/м ³	1680
Теплоемкость, Дж/кгК	1090
Теплопроводность, Вт/мК	1,25

Таблица 2 - Сравнение результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов

Материал отливки	Максимальное относительное отклонение (%) изохрон при затвердевании долей приведенной толщины отливки								Отклонение времени затвердевания отливки, %
	для отливки, x/X				для формы, x/X				
	0,1	0,5	0,9	1	0,1	0,5	0,9	1	
Шар									
Алюминиевый сплав	0,8	0,7	0,3	0,8	10,2	40,7	41,4	41,6	1,7
Углеродистая сталь	0,3	0,8	1,7	2,6	13,8	45,8	47,7	46,5	0,8
Цилиндр									
Алюминиевый сплав	1,1	0,5	0,2	0,1	26,2	34,8	34,9	34,8	2,3
Углеродистая сталь	0,3	0,7	0,8	0,9	5,5	41,2	40,9	41,6	3,6
Плита									
Алюминиевый сплав	0,8	0,5	0,4	0,2	9,4	1,2	0,8	0,9	2,1
Углеродистая сталь	1,9	0,4	0,2	0,3	15,1	2,8	0,9	0,8	2,4

Максимальное относительное отклонение (Δ , %) определялось как максимальное отношение разности температур в точках с одинаковыми координатами к среднему значению температуры в соответствующих точках (табл.2):

$$\Delta = \max_{i=1..n} \left\{ \frac{|T_{i1} - T_{i2}|}{(T_{i1} + T_{i2})/2} \cdot 100\% \right\} \quad (6)$$

где T_{i1} – значение температуры в i-й точке, полученное с применением инженерного расчета Стефана-Шварца, T_{i2} – значение температуры в i-й точке, полученное с применением СКМ ЛП «Полигон»

Выводы

1. Проведенный сравнительный анализ результатов расчета затвердевания отливок различной конфигурации инженерным методом и методом конечных элементов показал, что рассчитанное максимальное относительное отклонение, характеризующее расхождение результатов для распределений температур в отливке, находится в диапазоне 0,8 – 3,6 % по времени полного затвердевания и 0,3 – 2,6 % при затвердевании различных долей приведенной толщины отливки.

2. При необхідності побудови температурних полів і, в том числі, диверсифікації способів розрахування термовремених параметрів герметизації отливки в об'ємній піщаній литейній формі для здійснення газодинамічного впливу, можливо використання інженерного методу розрахування Стефана-Шварца.

Список літератури: 1. Пат. 28858 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівєрстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. – №200708968; заявл.03.08.2007; опубл. 25.12.2007, Бюл.№21. 2. Пат. 37838 Україна, МПК (2006) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівєрстов В. Ю., Хричиков В. Є., Доценко Ю. В. – №200808859; заявл.07.07.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл.№23. 3. Пат. 46128 Україна, МПК (2009) B22D 18/00. Спосіб отримання виливків / Селівєрстов В. Ю., Хричиков В. Є., Куцова В. З., Меньяло О. В., Савега Д. О. – № и 200906107; заявл.15.06.2009; опубл. 10.12.2009, Бюл. №23. 4. Селиверстов В. Ю. Технологія газодинамічного впливу на расплав в литейній формі – один из перспективних способів підвищення якості металу отливок [Текст]/В.Ю. Селиверстов //Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. – 2007. – Том 10. – С. 25 – 35. 5. Селівєрстов В. Ю. Перспективи використання газодинамічного впливу на расплав у ливарній формі при виготовленні якісних литих заготовок [Текст]/В.Ю. Селівєрстов, . Доценко //Матеріали II міжнародної конференції [Стратегія якості в промисловості і освіті] (Варна, Болгарія, 2 – 9 червня 2006 г.). – 2006. – Том 1. – С.164. 6. Гуляев Б. Б. Теорія литейних процесів [Текст]/Б. Б. Гуляев . – М.: Машиностроение, 1976. – 316 с

УДК 621.746.6.001.2

Використання розрахунку стефана-шварца для визначення часу герметизації виливка в об'ємній піщаній формі / Селівєрстов В. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. - № 50(956).С.17-22.

Представлений порівняльний аналіз результатів розрахунку процесу затвердіння виливків із сталі та алюмінієвого сплаву, що відносяться до основних геометричних різновидів тіл охолодження, методом Стефана-Шварца і методом скінчених елементів. Іл.: 1. Бібліогр.:6. назв.

Ключові слова: затвердіння, розрахунок, метод Стефана-Шварца, метод скінчених елементів, порівняльний аналіз.

UDC 621.746.6.001.2

Use of calculation of stephen-schwarz for determination of time of pressurizing of cast in a by volume sandy form/ Seliverstov V. //Bulletin of NTU “KhPI”. Subject issue: New decisions of modern technologies. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2012. - №50(956). P.17-22.

The comparative analysis of results of calculation of process of consolidation of casts is presented from steel and aluminium alloy, bodies of cooling related to the basic geometrical varieties, by the method of Stephen-Schwarz and method of eventual elements. Im.:1 : Bibliogr.: 6.

Keywords: consolidation, calculation, method of Stephen-Schwarz, method of eventual elements, comparative analysis.