

621.7
С54

3879



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

**В.Ф. Соболев
А.Н. Чичко**

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

**Пособие
по выполнению практических работ**

**Минск
БНТУ
2010**

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

В.Ф. Соболев
А.Н. Чичко

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

Пособие
по выполнению практических работ

Минск
БНТУ
2010

УДК 621.74(076.5) (075.8)

ББК 34.61я7

С 54

Рецензенты:

А.М. Лазаренков, Г.В. Довнар

Соболев, В.Ф.

С 54 Специальные виды литья: пособие по выполнению практических работ / В.Ф. Соболев, А.Н. Чичко. – Минск: БНТУ, 2010. – 72 с.

ISBN 978-985-525-488-2.

Каждая работа содержит необходимые теоретические сведения, порядок выполнения и задания. Выполнение работ предусмотрено по разделам «кокильное литье», «литье под давлением», «центробежное литье».

Пособие предназначено для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины, а также приобретения практических навыков по выбору параметров технологического процесса по названным видам литья.

Пособие может быть использовано студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов.

УДК 621.74(076.5) (075.8)
ББК 34.61я7

ISBN 978-985-525-488-2

© Соболев В.Ф.,
Чичко А.Н., 2010
© БНТУ, 2010

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

Исследование и расчет теплофизических характеристик кокильных покрытий

Цель работы: разработка методики и исследование коэффициента теплопроводности кокильных покрытий.

При разработке технологического процесса литья в кокиль одной из важнейших задач является выбор покрытия рабочей поверхности кокиля с необходимым коэффициентом теплопроводности. Выбор покрытия основывается на тепловой теории, описывающей перенос тепла от отливки к форме через границы раздела «отливка–покрытие», «покрытие–форма».

Основным параметром, который характеризует тепловое состояние формирующей отливки, является величина удельного теплового потока, проходящего из отливки в форму. Этот параметр определяет темп развития процесса формирования отливки. Величина теплового потока может быть установлена при распространении тепла в зазоре между отливкой и формой.

Если зазор заполнен только слоем кокильной краски (огнеупорного покрытия), то величина теплового потока, проходящего из отливки в форму, может быть определена по формуле

$$g = \frac{\lambda_{\text{кр}}}{\chi_{\text{кр}}} (T_1 - T_2), \text{ Вт/м}^2, \quad (1.1)$$

где $\lambda_{\text{кр}}$ – коэффициент теплопроводности краски, Вт/м²·К;

$\chi_{\text{кр}}$ – толщина слоя краски, м;

T_1 – температура поверхности отливки, К;

T_2 – температура внутренней поверхности формы, К.

Полное количество теплоты, проходящей из отливки в форму за время Δt , равно $Q = g \cdot F \cdot \Delta t$, или

$$Q = \frac{\lambda_{\text{кр}}}{\chi_{\text{кр}}} (T_1 - T_2) \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1.2)$$

где F – площадь поверхности соприкосновения отливки и формы, м^2 .

Из формулы (1.2) непосредственно находится коэффициент теплопроводности краски. Имеем

$$\lambda = \frac{Q \cdot \chi_{\text{кр}}}{(T_1 - T_2) \cdot F \cdot \Delta t} = \frac{Q \cdot \chi_{\text{кр}}}{\delta T \cdot F \cdot \Delta t}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}. \quad (1.3)$$

Разность температур в формуле (1.3) ($T_1 - T_2$) обозначается через δT , т.е. $\delta T = T_1 - T_2$. Количество отданной металлом теплоты кристаллизации может быть определено по весу затвердевшего металла. Время выделения теплоты кристаллизации равно времени полного затвердевания металла t_3 .

Количество теплоты определяется по формуле

$$Q = G \cdot r_{\text{кр}} - Q_{\text{окр}}, \quad (1.4)$$

где G – масса отливки, кг;

$r_{\text{кр}}$ – удельная теплота кристаллизации материала отливки, Дж/кг;

$Q_{\text{окр}}$ – количество теплоты, потерянной открытой поверхностью отливки в окружающую среду, Дж.

Величина $Q_{\text{окр}}$ складывается из тепла Q_c , переданного соприкосновением, и тепла Q_l , переданного лучеиспусканием:

$$Q_{\text{окр}} = Q_c + Q_l. \quad (1.5)$$

Количество теплоты Q_c определяется по формуле

$$Q_c = \alpha_c (T_{\text{кр}} - T_c) F_{\text{окр}} \cdot t_3, \quad (1.6)$$

где T – температура кристаллизации материала отливки, К;

T_c – температура окружающей среды, К;

α_c – коэффициент теплоотдачи сопротивлением, Вт/м²;

$F_{\text{окр}}$ – площадь открытой поверхности отливки, м².

Количество теплоты $Q_{\text{л}}$, переданной лучеиспусканием, находится из выражения

$$Q = C \left[\left(\frac{T_{\text{кр}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] F_{\text{окр}} t_{\text{з}}, \quad (1.7)$$

где C – коэффициент излучения свободной поверхности отливки, Вт/м² К⁴.

Пользуясь формулами (1.2) и (1.3), можно вычислить количество теплоты, прошедшей из отливки в форму, и затем подсчитать коэффициент теплопроводности краски.

Порядок выполнения работы

Для определения коэффициента теплопроводности огнеупорных покрытий (кокильных красок) используется метод заливки. Сущность метода состоит в том, что экспериментальный кокиль с нанесенным на его рабочую поверхность слоем огнеупорной краски заливается расплавленным металлом (рис. 1.1).

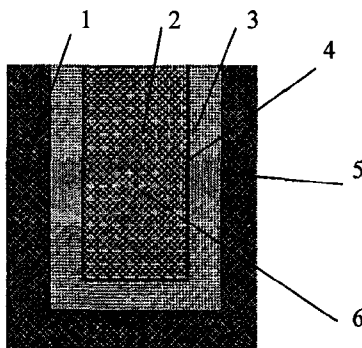


Рис. 1.1. Схема экспериментального кокиля:

- 1 – кокиль; 2 – отливка; 3 – слой испытуемого покрытия;
4 – граница раздела «отливка–покрытие»; 5 – граница раздела «покрытие–кокиль»; 6 – термический центр отливки

Для вычисления коэффициента теплопроводности измеряются все величины, входящие в формулы (1.3)–(1.7). Заливка кокиля с исследуемой краской производится чистым алюминием или цинком. Перед нанесением краски на поверхность кокиль нагревается до температуры 423–473 К, при которой получают самые благоприятные результаты. Более высокая температура приводит к растрескиванию и отслаиванию краски, а более низкая – к ее стеканию. Краска наносится на поверхность кокиля кистью или из пульверизатора. Толщина слоя испытуемой краски $\chi_{кр}$ определяется замером с помощью микрометра. Испытание проводится 4 раза. Первая заливка металла сопровождается газовыделением, что является следствием выгорания веществ краски и удаления из нее влаги. Между поверхностью расплавленного металла и краской образуется газовая подушка, обладающая большим термическим сопротивлением. В результате первая заливка имеет пониженное значение коэффициента теплопроводности. При последующих заливках газовыделение не наблюдается, и этим опытам соответствует истинное значение коэффициента теплопроводности. Получив из опыта необходимые данные, коэффициент теплопроводности кокильной краски рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{Q\chi_{кр}}{AF_1}; \quad (1.8)$$

$$A = \int_{t_1}^{t_2} [T_1(t) - T_2(t)] dt; \quad (1.9)$$

$$Q = G \cdot r_{кр} - \alpha_c \cdot (T_{кр} - T_c) \cdot F_1 \cdot t_3 - C \cdot \left[\left(\frac{T_{кр}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] \cdot F_2 \cdot t_3, \quad (1.10)$$

где F_1 – площадь поверхности соприкосновения отливки и формы, m^2 ;

F_2 – площадь открытой поверхности отливки, m^2 ;

t_i – время окончания кристаллизации отливки, с;
 $T_1(t)$ – температура контакта «отливка–покрытие», К;
 $T_2(t)$ – температура контакта «покрытие–форма», К.

Входными параметрами в формуле (1.9) являются функции $T_1(t)$ и $T_2(t)$, которые определяются в областях контакта 4, 5 рис. 1.1. На рис. 1.2 представлены температурные зависимости для различных контактных областей системы «отливка–форма». Величина A (1.9) определяется заштрихованной областью между экспериментальными кривыми $T_1(t)$ и $T_2(t)$. Основная часть информации о теплофизических свойствах покрытия «заложена» в этих кривых.

В процессе затвердевания экспериментальной отливки проводится измерение температур в точках, указанных на рис. 1.1. По полученным экспериментальным кривым выполняются необходимые вычисления.

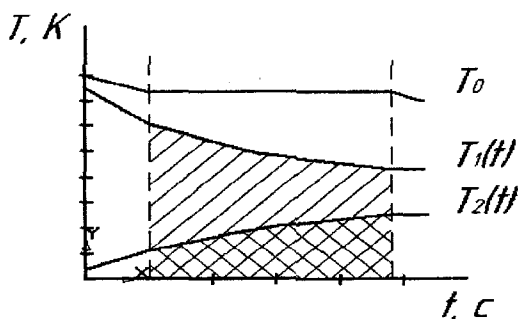


Рис. 1.2. Изменение температур в процессе затвердевания металла

Задания к работе

Задание 1. Разработать метод расчета коэффициента теплопроводности кокильного покрытия по экспериментально измеренным температурным кривым $T_1(t)$ и $T_2(t)$. Для расчета использовать формулу (1.8). Функции $T_1(t)$ и $T_2(t)$ заданы интервально; t измеряется в секундах:

$$T_1(t) = \begin{cases} 0,5 \cdot (-6,5 \cdot t + 1267)^{1,1}, & \text{если } 10 \leq t < 25; \\ 0,5 \cdot (-2,7 \cdot t + 1167)^{1,1}, & \text{если } 25 \leq t < 100; \\ 0,5 \cdot (-1,6 \cdot t + 1060)^{1,1}, & \text{если } 100 \leq t < 225; \\ 0,5 \cdot (-0,57 \cdot t + 830)^{1,1}, & \text{если } 225 \leq t \leq 400; \end{cases}$$

$$T_2(t) = \begin{cases} 0,5 \cdot (6,0 \cdot t + 330)^{1,1}, & \text{если } 10 \leq t < 25; \\ 0,5 \cdot (0,7 \cdot t + 465)^{1,1}, & \text{если } 25 \leq t < 100; \\ 0,5 \cdot (0,4 \cdot t + 490)^{1,1}, & \text{если } 100 \leq t < 225; \\ 0,5 \cdot (-0,06 \cdot t + 570)^{1,1}, & \text{если } 225 \leq t \leq 400. \end{cases}$$

Считать заданным $\chi_{кр} = 2,7 \cdot 10^{-3}$, $r_{кр} = 2,75 \cdot 10^5$ Дж/кг, $G = 10$ кг, $\alpha_c = 7,84 \cdot 10^{-5}$ Дж/К·с·м², $T_{кр} = 873$ К, $T_c = 298$ К, $F_1 = 0,864$ м², $F_2 = 0,3 \cdot F_1$, $C = 6,39 \cdot 10^{-4}$ Дж/м²К⁴·с. Значение времени изменяется от 10 до 400 с, шаг составляет 1 с. Вычисление интеграла А можно проводить в аналитическом виде, либо с использованием ЭВМ. Пример решения задания 1 приведен в прил. 1.

Задание 2. Определить коэффициенты теплопроводности кокильных покрытий на основе заданных характеристик температурных кривых. Предположить, что кривые $T_1(t)$ и $T_2(t)$ заданы кусочно линейными функциями вида $a_i \cdot t + b_i$ (a_i и b_i определяются по табл. 1.1 и 1.2). Значение времени изменяется от 10 до $(n+20)^2$ с, шаг составляет 1 с.

$$T_1(t) = \begin{cases} 0,5 \cdot (a_1 \cdot t + b_1)^{1,1}, & \text{если } 10 \leq t < (n+5)^2; \\ 0,5 \cdot (a_2 \cdot t + b_2)^{1,1}, & \text{если } (n+5)^2 \leq t < (n+10)^2; \\ 0,5 \cdot (a_3 \cdot t + b_3)^{1,1}, & \text{если } (n+10)^2 \leq t < (n+15)^2; \\ 0,5 \cdot (a_4 \cdot t + b_4)^{1,1}, & \text{если } (n+15)^2 \leq t \leq (n+20)^2; \end{cases}$$

$$T_1(t) = \begin{cases} 0,5 \cdot (a_5 \cdot t + b_5)^{1,1}, & \text{если } 10 \leq t < (n+5)^2; \\ 0,5 \cdot (a_6 \cdot t + b_6)^{1,1}, & \text{если } (n+5)^2 \leq t < (n+10)^2; \\ 0,5 \cdot (a_7 \cdot t + b_7)^{1,1}, & \text{если } (n+10)^2 \leq t < (n+15)^2; \\ 0,5 \cdot (a_8 \cdot t + b_8)^{1,1}, & \text{если } (n+15)^2 \leq t \leq (n+20)^2, \end{cases}$$

где n – номер покрытия.

Общее время кристаллизации определяется как $\Delta t = (n+20)^2 - 10$. Предположить, что $F_2 = 0,8 \cdot F_1$, а толщина покрытий $\chi_{кр}^1 = 3,4 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^2 = 4,2 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^3 = 5,2 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^4 = 7,2 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^5 = 4,5 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^6 = 6,2 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^7 = 5,7 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^8 = 7,8 \cdot 10^{-4}$ м, $\chi_{кр}^9 = 7,2 \cdot 10^{-4}$ м (индекс вверху соответствует номеру покрытия). Массу отливки принять равной 10 кг. Температура окружающей среды равна 298 К. Варианты заданий приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.1

Характеристики температурной кривой $T_1(t)$
для различных покрытий (n – номер покрытия)

n	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	a_4	b_4
1	-3,85	1238,5	-2,35	1184,7	-1,48	1079,3	-0,54	838,38
2	-2,56	1225,6	-2,11	1203,2	-1,38	1098,6	-0,51	848,21
3	-1,85	1218,5	-1,9	1221,9	-1,29	1118,1	-0,49	858,05
4	-1,41	1214,1	-1,74	1240,9	-1,21	1137,6	-0,47	867,91
5	-1,11	1211,1	-1,6	1260,0	-1,14	1157,1	-0,44	877,78
6	-0,9	1209,0	-1,48	1279,3	-1,08	1176,8	-0,43	887,66
7	-0,75	1207,5	-1,38	1298,6	-1,03	1196,4	-0,41	897,55
8	-0,63	1206,3	-1,29	1318,1	-0,98	1216,1	-0,39	907,45
9	-0,54	1205,4	-1,21	1337,6	-0,93	1235,8	-0,38	917,36

Таблица 1.2

Характеристики температурной кривой $T_2(t)$
для различных покрытий (n – номер покрытия)

n	a_5	b_5	a_6	b_6	a_7	b_7	a_8	b_8
1	3,46	355,38	0,59	458,82	0,37	485,19	0,050	566,16
2	2,31	366,92	0,53	454,21	0,34	480,35	0,050	565,18
3	1,67	373,33	0,48	449,52	0,32	475,48	0,049	564,20
4	1,27	377,32	0,43	444,78	0,30	470,61	0,047	563,21
5	1,00	380,00	0,40	440,00	0,29	465,71	0,044	562,22
6	0,81	381,89	0,37	435,19	0,27	460,81	0,043	561,23
7	0,67	383,28	0,34	430,35	0,26	455,90	0,041	560,25
8	0,57	384,34	0,32	425,48	0,24	450,98	0,039	559,26
9	0,48	385,16	0,30	420,61	0,23	446,05	0,038	558,26

Таблица 1.3

Варианты заданий

Номер варианта	Покры- тия	F_1 , м ²	$r_{кр}$, 10 ⁵ Дж/кг	$T_{кр}$, К	α_c , 10 ⁻⁴ Дж/К·с·м	c , 10 ⁻⁴ Дж/К ⁴ ·м ² ·с
0	1, 2, 3, 4	0,967	4,35	970	8,01	3,33
1	2, 3, 6, 9	0,243	7,47	873	9,05	8,42
2	1, 4, 5, 7	0,875	8,41	1180	4,43	7,87
3	3, 4, 7, 8	0,901	7,14	1200	5,76	8,19
4	1, 3, 6, 7	0,814	3,38	1275	7,81	9,00
5	2, 5, 6, 8	0,787	5,87	1063	9,43	6,31
6	1, 2, 5, 7	0,542	7,81	985	8,87	7,43
7	2, 4, 5, 8	0,489	9,06	1170	9,93	9,41
8	1, 3, 4, 9	0,794	8,75	1093	4,86	5,88
9	6, 7, 8, 9	0,385	4,87	993	7,77	6,76

Задание 3. Исследовать зависимость количества теплоты, проходящей через покрытие, с учетом теплофизических характеристик формы и сплава $Q_i = f_i(z_i)$, где z_i – параметры формулы (1.10). Предположить, что теплота кристаллизации сплава и его температура кристаллизации могут быть определены на основе правила аддитивности:

$$r_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^m k_i \cdot r_{\text{кр}i};$$

$$T_{\text{кр}} = \sum_{i=1}^m k_i \cdot T_{\text{кр}i},$$

где k_i – весовой вклад атомов i -го элемента сплава;

$r_{\text{кр}i}$ – теплота кристаллизации i -го элемента сплава;

$T_{\text{кр}i}$ – температура кристаллизации i -го элемента сплава.

Варианты заданий приведены в табл. 1.4, значения $r_{\text{кр}i}$ и $T_{\text{кр}i}$ – в табл. 1.5.

Таблица 1.4

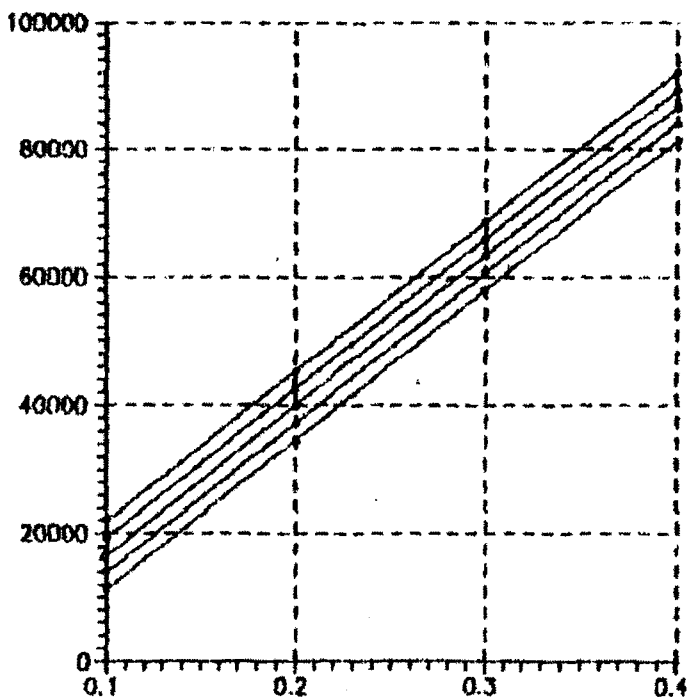
Варианты заданий

Номер варианта	Сплавы	$Q_i = f(z_i)$
0	Al + 0,09Si + 0,005Mn + 0,002Mg	$Q_1 = f_1(G, \alpha_c),$ $Q_2 = f_2(T_c, F_2)$
1	Al + 0,07Si + 0,02Ti + 0,005Fe	$Q_1 = f_1(G, T_c),$ $Q_2 = f_2(\alpha_c, F_2)$
2	Al + 0,07Si + 0,02Cu + 0,004Mg	$Q_1 = f_1(c, \alpha_c),$ $Q_2 = f_2(T_c, t_3)$
3	Al + 0,05Si + 0,02Cu + 0,01Fe	$Q_1 = f_1(G, t_3),$ $Q_2 = f_2(T_c, \alpha_c)$
4	Mg + 0,035Al + 0,005Mn + 0,015Zn	$Q_1 = f_1(c, T_c),$ $Q_2 = f_2(t_3, c)$
5	Mg + 0,1Al + 0,005Mn + 0,012Zn	$Q_1 = f_1(F_2, c),$ $Q_2 = f_2(T_c, c)$
6	Cu + 0,095Al + 0,025Mn	$Q_1 = f_1(G, F_2),$ $Q_2 = f_2(\alpha_c, t_3)$
7	Cu + 0,3Pb	$Q_1 = f_1(\alpha_c, G),$ $Q_2 = f_2(c, F_2)$
8	Cu + 0,115Al + 0,035Fe + 0,055Ni	$Q_1 = f_1(G, c),$ $Q_2 = f_2(T_c, F_2)$
9	Pb + 0,17Sn + 0,17Sb + 0,02Cu	$Q_1 = f_1(G, t_3),$ $Q_2 = f_2(\alpha_c, F_2)$

Отчет о работе должен содержать:

– таблицу коэффициентов теплопроводности для заданных покрытий кокиля;

– графики зависимостей из задания 2 (пример решения задания 2 представлен на рис. 1.3).



- (1) – $F_2 = 0,1 \text{ м}^2$; (2) – $F_2 = 0,3 \text{ м}^2$; (3) – $F_3 = 0,5 \text{ м}^2$;
(4) – $F_2 = 0,7 \text{ м}^2$; (5) – $F_2 = 0,9 \text{ м}^2$

Рис. 1.3. График зависимости $Q_1 = f_1(G, F_2)$ для сплава $\text{Cu} + 0,17\text{Zn} + 0,03\text{Si}$:
 $T_{\text{кр}} = 1253,9 \text{ К}$, $r_{\text{кр}} = 233301,4 \text{ Дж/кг}$, $T_c = 298 \text{ К}$, $\alpha_c = 8 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/м}^2$,
 $c = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$, $t_3 = 900 \text{ с}$

**Значение теплоты и температуры кристаллизации
некоторых химических элементов**

<i>Элемент</i>	<i>$r_{кр}$, Дж/кг</i>	<i>$T_{кр}$, К</i>	<i>Элемент</i>	<i>$r_{кр}$, Дж/кг</i>	<i>$T_{кр}$, К</i>
Al	395 691	933	Sn	60 663	505
Si	1 654 590	1683	Pb	23 056	601
Mn	266 733	1517	Sb	164 969	904
Ti	323 541	1940	Zn	113 010	693
Fe	275 137	1809	Ni	300 331	1728
Cu	205 565	1357	Mg	368 638	832

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2

Исследование и расчет положения зоны усадочных дефектов в отливках

Цель работы: исследование влияния теплофизических характеристик стержня и кокиля на положение зоны усадочных дефектов в цилиндрических отливках; расчет положения зоны усадочных дефектов отливок по заданным размерам.

Затвердевание отливки в реальных условиях литья, как правило, не является последовательным. Рост корки твердого металла происходит как от поверхности формы, так и от поверхности стержня. В месте встречи двух противоположных фронтов кристаллизации образуются усадочные дефекты (пористость, раковины). Располагаются они в тепловой оси отливки, там, где кристаллизуются последние порции расплава. Положение тепловой оси в стенке отливки, как правило, не совпадает с геометрической осью, т.к. существуют неодинаковые условия теплоотвода от обеих поверхностей отливки (рис. 2.1).

Поэтому расчет положения зоны усадочных дефектов имеет большое практическое значение.

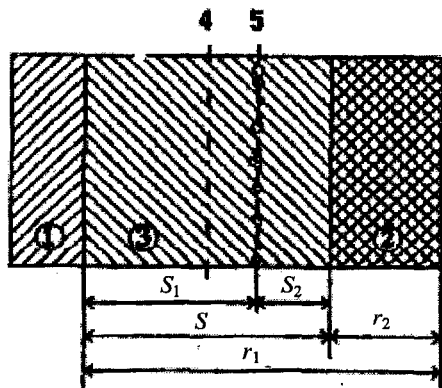


Рис. 2.1. Схема положения зоны усадочных дефектов в стенке отливки:
1 – кокиль; 2 – стержень; 3 – отливка; 4 – геометрическая ось отливки;
5 – тепловая ось отливки

В простейшем случае оценку зоны усадочных дефектов можно осуществить по формуле

$$S_1 \left[1 - \frac{S_1}{2r_1} \right] \frac{1}{K_1} = (S - S_1) \left[1 + \frac{S - S_1}{2r_2} \right] \frac{1}{K_2}, \quad (2.1)$$

где S_1 – расстояние от тепловой оси до наружной поверхности;
 r_1, r_2 – радиусы наружной и внутренней поверхности отливки соответственно, м;

S – толщина стенки отливки ($S = r_1 - r_2$), м;

K_1, K_2 – константы затвердевания наружной и внутренней поверхности отливки соответственно, м/с^{0,5}.

Выделив неизвестную S_1 , формулу (2.1) можно преобразовать к виду

$$S_1^2 \left[\frac{1}{2r_2} + \frac{K_2}{2r_1 K_1} \right] + S_1 \left[-\frac{S}{r_2} - 1 - \frac{K_2}{K_1} \right] + \left[\frac{S^2}{2r_2} + S \right] = 0. \quad (2.2)$$

Уравнение (2.2) квадратное и его решением является

$$S_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (2.3)$$

где $b = -\frac{S}{r_2} - 1 - \frac{K_2}{K_1}$; $a = \frac{1}{2r_2} + \frac{K_2}{2r_1 K_1}$; $c = \frac{S^2}{2r_2} + S$.

Корни (2.3) необходимо выбирать с учетом физических параметров r_1 и r_2 .

Задания к работе

Задание 1. Разработать методику для расчета зоны усадочных дефектов цилиндрической отливки на основе решения (2.2). С помощью разработанного метода найти такие комбинации r_1 и r_2 , при которых для зоны усадочных дефектов выполняет-

ся условие, представленное в табл. 2.1. Для варианта 0 необходимо оценить положение зоны S_1 для всех комбинаций r_1 и r_2 . Величина r_1 изменяется в пределах от 0,2 до 0,3 м с шагом 0,02 м, а r_2 изменяется в пределах от 0,11 до 0,18 м с шагом 0,01 м. Если выполняется условие $S_1 > 0,5S$ (табл. 2.1), то r_1 , r_2 , S и S_1 выводить в файл S.LST. Если это условие не выполняется (файл S.LST не содержит информации), то в отчете следует представить наиболее типичные результаты расчетов, дав необходимые при этом пояснения.

Таблица 2.1

Условия для расчета

Номер варианта	r_1 , м	r_2 , м	Условие
0	0,2–0,3 (0,02)	0,11–0,18 (0,01)	$S_1 > 0,5S$
1	0,25–0,4 (0,03)	0,12–0,20 (0,01)	$0,33S < S_1 < 0,5S$
2	0,28–0,39 (0,01)	0,15–0,27 (0,03)	$0,21S < S_1 < 0,3S$
3	0,3–0,4 (0,01)	0,15–0,2 (0,01)	$0,13S < S_1 < 0,2S$
4	0,3–0,4 (0,01)	0,2–0,23 (0,005)	$0,33S < S_1 < 0,4S$
5	0,27–0,34 (0,005)	0,2–0,3 (0,025)	$0,03S < S_1 < 0,1S$
6	0,14–0,38 (0,04)	0,09–0,1 (0,001)	$0,01S < S_1 < 0,08S$
7	0,22–0,42 (0,05)	0,13–0,19 (0,01)	$0,14S < S_1 < 0,25S$
8	0,31–0,39 (0,01)	0,2–0,27 (0,01)	$0,02S < S_1 < 0,15S$
9	0,36–0,43 (0,01)	0,26–0,33 (0,01)	$0,88S < S_1 < 0,99S$

Задание 2. По рассчитанным данным построить зависимость положения зоны усадочных дефектов $S_1 = f(K_2/K_1)$, где K_2/K_1 – отношение констант затвердевания (положить $0 \leq K_2/K_1 \leq 1000$). Провести анализ влияния констант затвердевания на зону усадочных дефектов. Задать при этом произвольно K_1 и K_2 в интервале $0 < K_1, K_2 \leq 100$.

Задание 3. Рассчитать величину S_1 для $r_1/r_2 \rightarrow \max$ и $r_1/r_2 \rightarrow \min$ в соответствии с заданным вариантом (табл. 2.1). Дать необходимые пояснения.

Задание 4. Найти, при каких комбинациях r_1 и r_2 невозможно определить положение зоны усадочных дефектов отливки (т.е. в уравнении 2.2 величина дискриминанта $b^2 - 4ac < 0$). Выполнить это задание с учетом заданного варианта (табл. 2.1).

Отчет о работе должен содержать:

- график зависимости $S_1 = f(K_2/K_1)$;
- величины $S_1(r_1/r_2 \rightarrow \max)$ и $S_1(r_1/r_2 \rightarrow \min)$;
- комбинации r_1 и r_2 , при которых невозможно определить положение зоны усадочных дефектов по модели (2.2).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3

Исследование и расчет параметров камеры прессования и формы при литье под давлением

Цель работы: исследование влияния конструкции отливки на параметры камеры прессования и пресс-формы.

В современных машинах литья под давлением с горизонтальной камерой прессования, как правило, осуществляется трехстадийный процесс заполнения; на первом (h_1) происходит перекрытие заливочного окна; на втором (h_2) вытеснение воздуха из камеры прессования и заполнение каналов литниковой системы; на третьем (h_3) – заполнение формы (рис. 3.1).

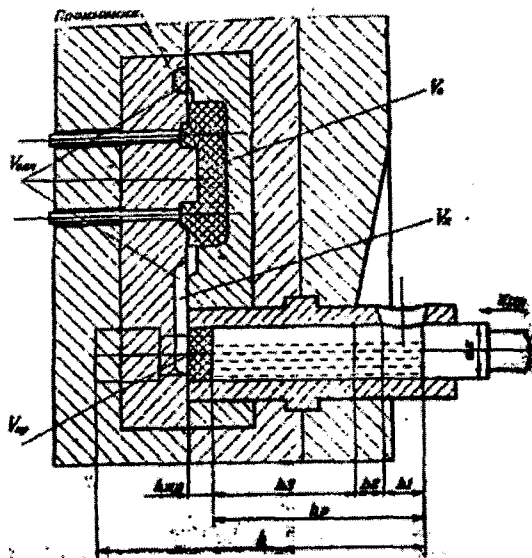


Рис. 3.1. Схема камеры прессования:

h_1 – предварительный ход пресс-плунжера; h_2 – ход пресс-плунжера до начала заполнения формы; h_3 – ход пресс-плунжера в процессе заполнения формы; h_p – рабочий ход пресс-плунжера; h – суммарный ход пресс-плунжера при удалении пресс-остатка; $W_{\text{пр}}$ – скорость прессования; d_k – диаметр камеры; $V_{\text{оп}}$ – объем полости формы с промывниками; $V_{\text{л}}$ – объем литниковой системы вместе с питателем (без пресс-остатка); $V_{\text{пр}}$ – объем пресс-остатка; V_0 – объем полости формы; $V_{\text{опп}}$ – объем полости формы с литниковой системой и промывниками

Весь процесс получения отливки методом литья под давлением характеризуется следующими параметрами:

$$t = A \cdot \frac{4M^2}{K_e^2}; \quad (3.1)$$

$$A = 0,005 \cdot \sqrt{V_{\text{оп}}} + 0,2; \quad (3.2)$$

$$K_e = 3M + 0,3 + \frac{100}{V_{\text{оп}}}; \quad (3.3)$$

$$M = \frac{V_{\text{оп}}}{F}; \quad (3.4)$$

$$W_{\text{пр}} = \frac{3000}{\sqrt{V_{\text{оп}}}} + 200; \quad (3.5)$$

$$d_k = \frac{0,564}{M} \cdot \left(3M + 0,3 + \frac{100}{V_{\text{оп}}}\right) \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{оп}}}{A \cdot W_{\text{пр}}}}, \quad (3.6)$$

где t – время заполнения полости формы, с;

A , K_e – коэффициенты, характеризующие затвердевание сплава;

M – модуль затвердевания, см;

$V_{\text{оп}}$ – объем отливки (или полости формы) вместе с промывниками, см³;

F – площадь охлаждаемой поверхности отливки, см²;

$W_{\text{пр}}$ – скорость перемещения прессующего плунжера, см/с;

d_k – диаметр камеры прессования, см.

Если $M > 0,2$ см (толстостенная отливка), формула (3.6) имеет вид (при толщине стенок отливки более 4 мм)

$$d_k = 0,05V_{\text{оп}} + 40. \quad (3.7)$$

Параметры хода прессующего плунжера определяются как

$$h_2 = \begin{cases} \frac{d_k}{2}, & \text{если } M < 0,15 \text{ см;} \\ \frac{d_k}{3}, & \text{если } 0,15 \text{ см} \leq M < 0,25 \text{ см;} \\ \frac{d_k}{4}, & \text{если } M \geq 0,25 \text{ см;} \end{cases} \quad (3.8)$$

$$h_3 = \frac{4V_{\text{оп}}}{\pi d_k^2}. \quad (3.9)$$

Суммарный ход прессующего плунжера определяется:

$$h_p = \frac{6V_1}{\pi d_k^2} - h_{\text{пр}}; \quad (3.10)$$

$$V_t = \begin{cases} 2V_{\text{оп}}, & \text{если } V < 250 \text{ см}^3; \\ 1,5V_{\text{оп}}, & \text{если } 250 \leq V < 1000 \text{ см}^3; \\ 1,25V_{\text{оп}}, & \text{если } V \geq 1000 \text{ см}^3; \end{cases} \quad (3.11)$$

$$h_{\text{пр}} = 0,2d_k, \quad (3.12)$$

где $h_{\text{пр}}$ – величина пресс-остатка, см;

h_p – рабочий ход прессующего плунжера, см;

V_t – суммарный объем, см³.

Для определения площади сечения питателя $F_{\text{пит}}$ используется эмпирическая формула

$$F_{\text{пит}} = \frac{V_{\text{оп}}}{0,016D^{1,984} \cdot W_{\text{вп}}}, \quad (3.13)$$

где D – толщина стенки отливки, см;

$W_{\text{вп}}$ – скорость потока металла в питателе, см/с.

Задания к работе

Задание 1. Для заданной отливки рассчитать параметры процесса заполнения формы: t , $W_{\text{вп}}$, $d_{\text{к}}$, h_2 , h_3 , $h_{\text{р}}$, $h_{\text{пр}}$, $F_{\text{пит}}$ по формулам (3.1), (3.5), (3.6), (3.8), (3.9), (3.10), (3.12), (3.13) соответственно. Входными параметрами являются: объем отливки ($V_{\text{оп}}$), модуль затвердевания (M), толщина стенки отливки (D), скорость впуска ($W_{\text{вп}}$). Для решения задачи можно воспользоваться программой DIAM прил. 2.

Задание 2. Провести расчеты параметров процесса заполнения формы для характеристик отливок, указанных в табл. 3.1. Сформировать файл А.А из комбинаций параметров $V_{\text{оп}}$, M , $W_{\text{вп}}$, D , удовлетворяющих условию для диаметра камеры пресования ($d_{\text{к}}$). Для параметров, заданных в табл. 3.1, рассчитать возможные варианты площади сечения питателя, при которых выполняется условие для $d_{\text{к}}$. Шаг варьирования параметров $V_{\text{оп}}$, M , $W_{\text{вп}}$, D выбрать самостоятельно. Сделать выводы.

Задание 3. На основе результатов построить зависимости $d_{\text{к}} = f_1(V_{\text{оп}}, M)$, $F_{\text{пит}} = f_2(W_{\text{вп}}, V_{\text{оп}})$. Сделать выводы.

Задание 4. Рассчитать и построить зависимости $h_2 = f_3(V_{\text{оп}})$, $h_3 = f_4(V_{\text{оп}})$, $h_{\text{р}} = f_5(V_{\text{оп}})$ для различных параметров M , входящих в задание (табл. 3.1). Сделать выводы.

Отчет о работе должен содержать:

- схему алгоритма решения задачи;
- программу; таблицы с расчетами $d_{\text{к}}$, $F_{\text{пит}}$, h_2 , h_3 , $h_{\text{р}}$;
- графики $d_{\text{к}} = f_1(V_{\text{оп}}, M)$, $F_{\text{пит}} = f_2(V_{\text{оп}}, W_{\text{вп}})$, $h_2 = f_3(V_{\text{оп}})$, $h_{\text{р}} = f_5(V_{\text{оп}})$;
- ВЫВОДЫ.

Варианты заданий

Вариант	$V_{\text{оп}},$ 10^2 см^3	$M,$ см	$W_{\text{вп}},$ $10^2 \text{ см} / \text{с}$	$D,$ см	Условие для $d_k,$ см
0	1,2–2,4	0,07–0,10	10–15	0,20	$10 < d_k < 11$
I	2,5–8,2	0,10–0,15	20–35	0,40	$8 < d_k < 9$
2	3,4–9,4	0,20–0,30	8–12	0,15	$6 < d_k < 7$
3	10,5–15,1	0,10–0,18	9–20	0,45	$12 < d_k < 14$
4	11,4–16,1	0,07–0,1	25–40	0,50	$17 < d_k < 19$
5	12,4–18,1	0,15–0,25	32–42	0,60	$9 < d_k < 10$
6	5,8–9,4	0,20–0,30	10–24	0,25	$7 < d_k < 8$
7	7,8–12,0	0,10–0,15	15–30	0,35	$11 < d_k < 12$
8	8,2–9,7	0,12–0,18	36–50	0,39	$9 < d_k < 10$
9	2,6–3,3	0,10–0,19	18–28	0,12	$7 < d_k < 9$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4

Исследование процесса удаления воздуха из камеры прессования при литье под давлением

Цель работы: исследование условия удаления воздуха из камеры прессования; расчет критической скорости прессования.

Особенность процесса литья под давлением заключается в том, что скорость прессующего плунжера при запрессовке металла в форму изменяется по определенному закону. Движение прессующего плунжера машины литья под давлением происходит в три стадии (рис. 4.1).

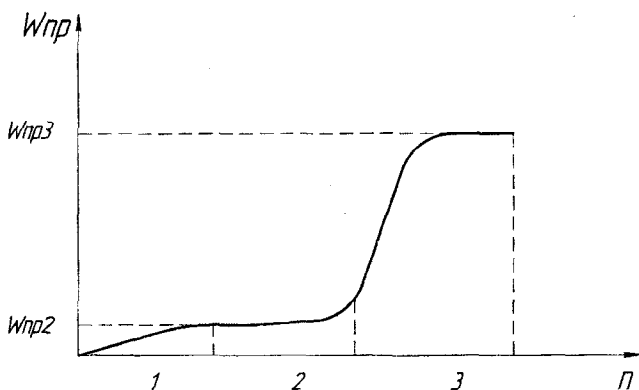


Рис. 4.1. Закон изменения скорости прессующего плунжера ($W_{пр}$) в зависимости от хода прессования (h)

Первая стадия — холостой ход и разгон плунжера до скорости $W_{пр2}$. На этой стадии движения происходит перекрытие заливочного окна камеры прессования (путь h_1 , см. рис. 3.1). Такой характер движения плунжера диктуется необходимостью исключения взбрызгивания расплава из заливочного окна камеры прессования.

На второй стадии движения при медленной скорости плунжер перемещается на расстояние h_2 (см. рис. 3.1) до тех пор,

пока жидкий металл не заполнит всю камеру прессования и расплав достигнет входа в питатель.

Нижний и верхний пределы изменения скорости плунжера на второй стадии определяются необходимостью сохранения заданной температуры расплава до его подхода к питателю и обеспечения вытеснения воздуха из камеры прессования в литниковую систему и далее в полость формы.

Третья стадия соответствует заполнению полости формы и промывников при очень высокой скорости движения плунжера и соответственно высокой скорости потока в питателе.

Быстрое перемещение плунжера на третьем этапе вызвано необходимостью приобретения расплавленным металлом кинетической энергии, достаточной для заполнения полости формы и сохранения расплавом теплоты перегрева.

Важным моментом, влияющим на качество отливки, а именно на пористость, является скорость перемещения плунжера на второй, медленной, стадии прессования.

Когда прессующий поршень набирает скорость, впереди него возникает волнообразный наплыв металла, как показано на рис. 4.2. Высота и скорость волны определяются скоростью движения плунжера, диаметром камеры прессования и уровнем жидкого металла в ней.

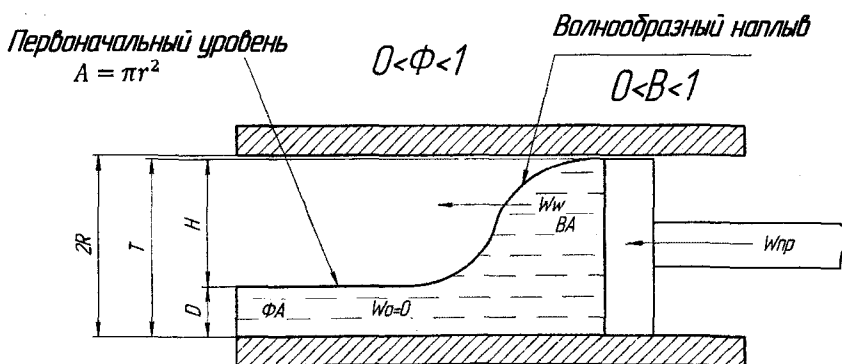


Рис. 4.2. Волнообразный наплыв металла

Если скорость прессующего поршня является постоянной, высота и скорость волны – постоянны. Конфигурация фронта жидкого металла определяется его ускорением с момента начала перемещения до заданной медленной фазы прессования.

В процессе медленной фазы прессования при идеальных условиях вытесняемый плунжером воздух поступает в пресс-форму и успевает выйти через вентиляционные каналы по плоскости разъема. После полного удаления воздуха из камеры прессования последняя целиком заполняется жидким металлом с последующим включением быстрой фазы прессования, до начала заполнения пресс-формы.

Чтобы обеспечить такие идеальные условия наполнения камеры прессования, необходимо точно регулировать высоту волны, которая, в свою очередь, зависит от скорости медленной фазы. Таким образом, имеется некоторая критическая скорость медленной фазы прессования, при которой создаются идеальные условия полного заполнения камеры прессования. При таких условиях расплав впереди волнового участка занимает тот же уровень, который имел металл в процессе его первоначальной заливки, при этом расплав сзади волнового участка полностью заполняет поперечное сечение камеры прессования, и воздух будет выталкиваться в пространство перед волной.

Если скорость прессующего поршня превышает эту критическую величину, то создается избыток энергии при формировании волны. Поднимающийся металл будет ударять о верхние участки камеры прессования и перемещаться вперед по этим поверхностям. Волна захлестывается и происходит захват воздуха, как показано на рис. 4.3. Таким образом, чрезмерно высокая скорость прессующего поршня на медленной фазе прессования сопровождается попаданием воздуха в металл.

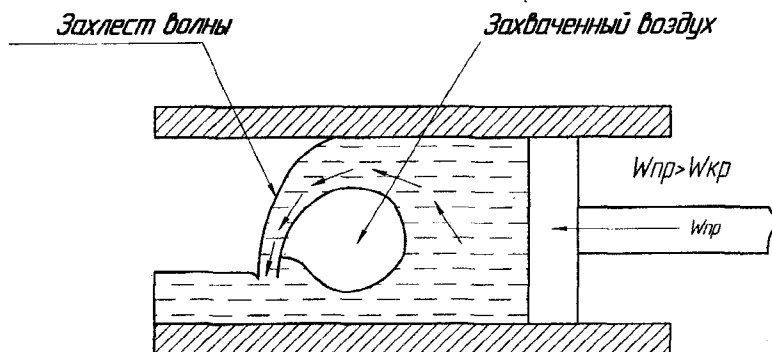


Рис. 4.3. Захват воздуха при захлестывании волны

Если скорость прессующего поршня ниже критической, то также происходит попадание воздуха в металл. При докритических скоростях максимальная высота волны не достигает верхнего участка камеры прессования. Следовательно, имеется зазор между верхними участками волны и камеры прессования. Этот зазор будет продолжать существовать между фронтом волны и торцом пресс-поршня. На более поздней стадии медленной фазы прессования воздушные включения перемещаются с жидкостью (рис. 4.4).

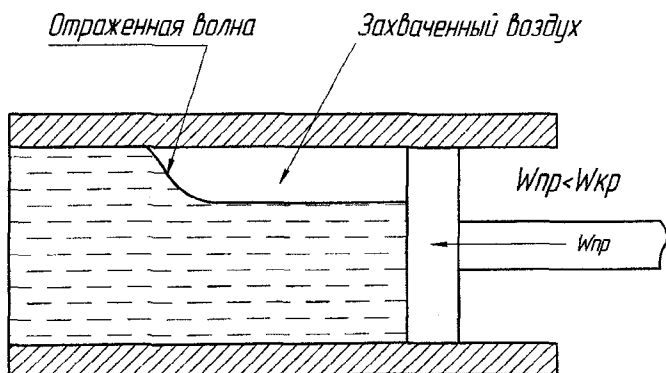


Рис. 4.4. Попадание воздуха в металл при $W_{np} < W_{кр}$

Захват воздуха осуществляется, если скорость прессующего поршня больше (сверхкритическая) или меньше (докритическая), чем критическая (оптимальная) скорость. Рассмотренные рассуждения неприемлемы для тех случаев, когда степень заполнения заливочного стакана расплавом менее 50 %. При таком количестве заливаемого металла критические скорости при медленной фазе прессования настолько высоки, что возникают закрученные волновые участки или отраженные волны, которые вызывают захват воздуха.

Таким образом, при данном диаметре наполнительного стакана и первоначальном объеме жидкого металла имеется критическое значение скорости медленной фазы движения плунжера. При превышении скорости прессующего поршня образуется перехлестная волна. Если скорость меньше критической, воздух захватывается сзади волнового участка. Первый случай обуславливает значительно больший захват воздуха. Если скорость прессующего поршня равна критической, то захвата воздуха не происходит. Величину критической скорости можно рассчитать.

На рис. 4.2 изображена частично заполненная камера прессования с постоянной скоростью прессующего поршня $W_{пр}$. Соответствующие поперечные сечения ΦA и BA будут:

$$\begin{aligned} 0 \leq \Phi \leq 1; \quad B > \Phi; \\ 0 \leq B \leq 1; \quad A = \pi r^2, \end{aligned} \tag{4.1}$$

где Φ – соотношение поперечных сечений камеры прессования и залитого расплава;

B – соотношение поперечных сечений камеры прессования и расплава за волновым участком.

Первоначально ставится задача определить скорость волны (критическую скорость прессования) в зависимости от факторов Φ , A , $W_{пр}$. На рис. 4.5 приведена расчетная схема.

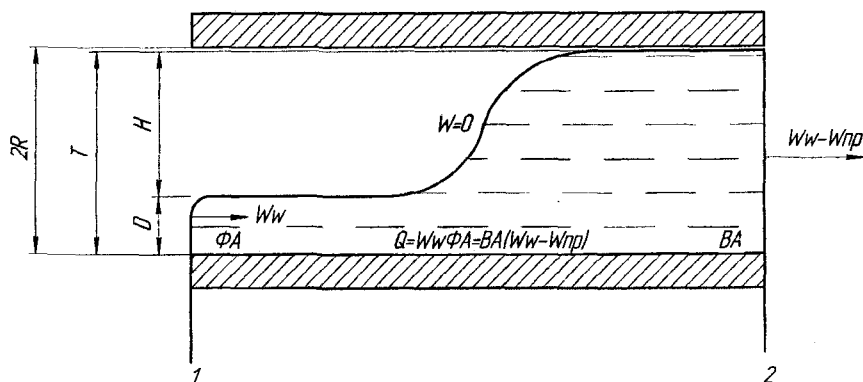


Рис. 4.5. Расчетная схема критической скорости прессования

Установлено, что

$$W_w \Phi A = BA(W_w - W_{пр}) \quad (4.2)$$

или

$$W_{пр} = W_w \left(1 - \frac{\Phi}{B}\right),$$

где W_w – скорость волны;

$W_{пр}$ – скорость прессующего поршня.

Затем необходимо применить уравнение Бернулли, чтобы получить значения W_w и B , исходя из энергетических факторов:

$$E_1 = D + \frac{Q^2}{2g\Phi^2 A^2}; \quad (4.3)$$

$$E_2 = T + \frac{Q^2}{2gB^2 A^2}.$$

Если энергетические потери между 1 и 2 участками (см. рис. 4.5) относительно малы, то $E_1 = E_2$,

$$D + \frac{Q^2}{2g\Phi^2\Lambda^2} = T + \frac{Q^2}{2gB^2\Lambda^2}; \quad Q = W_w\Phi\Lambda; \quad (4.4)$$

$$W_w^2 = \frac{2gB^2(T-D)}{B^2 - \Phi^2}; \quad W_w = \frac{B}{B-\Phi}W_{\text{пр}}; \quad (4.5)$$

$$W_{\text{пр}} = 2g \left[\frac{(T-D)(B-\Phi)}{(B+\Phi)} \right]^{1/2}, \quad (4.6)$$

где g – ускорение силы тяжести;

T – толщина слоя жидкости позади волны;

D – глубина жидкости впереди волны.

К сожалению, геометрия холодной камеры прессования усложняет вычисление Φ , B , T , D , H . Расчетная схема для определения перечисленных параметров приведена на рис. 4.6.

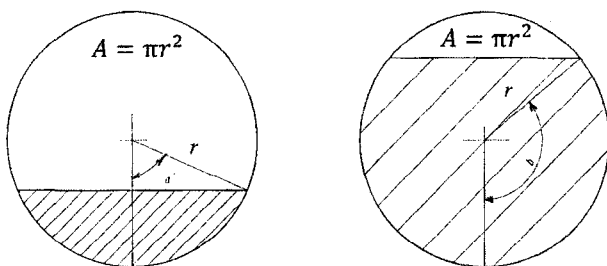


Рис. 4.6. Схема расчета параметров холодной камеры прессования

$$\Phi = \frac{2a - \sin(2a)}{2\pi}; \quad B = \frac{2b - \sin(2b)}{2\pi}. \quad (4.7)$$

Получены следующие соотношения:

$$\Phi = \frac{2a - \sin(2a)}{2\pi}, \quad B = \frac{2b - \sin(2b)}{2\pi},$$

$$H = r(\cos a - c \cos b), \quad D = r(1 - \cos a), \quad (4.8)$$

$$T = r(1 - \cos b).$$

Уравнения (4.5)–(4.8) используются следующим образом. Выбираются значения диаметра камеры прессования, первоначальный уровень металла и скорость движения прессующего поршня. По этим данным определяют скорость волны и ее высоту.

Задания к работе

Задание 1. Для заданной отливки разработать технологические режимы изготовления на машине с горизонтальной камерой прессования.

Время заполнения полости формы определяется из рассмотрения процесса теплообмена между заливаемым металлом и формой. Время заполнения, обеспечивающее свариваемость отдельных струй и брызг, подсчитывается из условия, что температура металла в наиболее удаленном от питателя месте не должна падать ниже температуры окончательного затвердевания (ниже температуры солидуса).

$$t_{\phi} \leq t_{\text{вв}} + t_{\text{max}}, \text{ с}, \quad (4.9)$$

где $t_{\text{св}}$ – время свободного полета и растекания струи до момента возникновения сплошного потока по всему сечению;

t_{max} – максимально допустимое время заполнения при температуре потока, равной температуре солидуса.

$$t_{\text{св}} = \frac{L + H + h}{v}, \text{ с}, \quad (4.10)$$

где L – длина отливки;

H – толщина отливки;

h – толщина струи металла;

$$t_{\text{max}} = 0,196H^2 \left(\frac{C'_M \rho'_M}{b_{\phi}} \right)^2 \ln \left[\frac{T_{\text{зал}} - T_{\phi}}{T_{\text{сол}} - T_{\phi}} \right]^2. \quad (4.11)$$

Таким образом, общее время заполнения полости пресс-формы определяется по формуле

$$t_{\max} \leq \frac{L + H + h}{v} + 0,196H^2 \left(\frac{C'_M \rho'_M}{b_\Phi} \right)^2 \ln \left[\frac{T_{\text{зал}} - T_\Phi}{T_{\text{сол}} - T_\Phi} \right]^2. \quad (4.12)$$

Подставляя значение коэффициента тепловой аккумуляции для стальной формы

$$b_\Phi = 176 \text{ Вт/час}^{1/2} \text{ м}^2 \cdot \text{°С}$$

и теплофизических характеристик для различных сплавов, получим:

$$t_\Phi = KH^2 \ln \left[\frac{T_{\text{зал}} - T_\Phi}{T_{\text{сол}} - T_\Phi} \right]^2, \text{ с}, \quad (4.13)$$

где K – постоянная величина, равная для медных сплавов 0,025, магниевых – 0,005, алюминиевых – 0,013, цинковых – 0,015;

H – средняя толщина стенки отливки, мм;

T_Φ – температура поверхностных слоев пресс-формы, т.е. температура контакта, определяемая по формуле:

$$T_\Phi = \frac{T_{\text{зал}}^* b'_M + T'_\Phi b'_\Phi}{b'_M + b_\Phi}, \text{ °С}, \quad (4.14)$$

где $T_{\text{зал}}^*$ – средняя температура заливки за время заполнения полости формы, определяемая по формуле

$$T_{\text{зал}}^* = \frac{T_{\text{зал}} + T_{\text{сол}}}{2}, \text{ °С}, \quad (4.15)$$

где $T_{\text{сол}}$, $T_{\text{зал}}$ – температура солидуса и заливки сплава.

Диаметр камеры прессования можно рассчитать по упрощенной формуле

$$dk = 0,06V_{\text{оп}} + 43, \text{ мм}, \quad (4.16)$$

где $V_{\text{оп}}$, см^3 .

Скорость прессования $W_{\text{пр}}$ связана со скоростью впуска v уравнением неразрывности потока:

$$W_{\text{пр}}F_{\text{пр}} = F_{\text{п}}v. \quad (4.17)$$

Площадь сечения питателя $F_{\text{п}}$ зависит от выбранного значения скорости впуска v и от времени заполнения t :

$f_{\text{п}} = \frac{m_0 10^8}{t\rho v}$, мм. Подставляя значение в уравнение неразрыв-

ности и заменяя $F_{\text{пр}} = 0,785 dk^2$ и $V_c = \frac{m_0 10^8}{\rho}$, получим зависимость скорости прессования от времени заполнения полости пресс-формы:

$$W_{\text{пр}} = \frac{V_0}{t0,785dk^2}, \text{ м/с}, \quad (4.18)$$

где V_0 – объем порции заливаемого сплава, см^3 .

Необходимый ход прессующего плунжера, равный

$$h_p = h_3 + h_2 + h_1,$$

определяется из условия, что при заливке камеры прессования жидким металлом она заполняется на 2/3 своего объема. В этом случае суммарный объем V_0 составляет

$$V_c = V_{\text{оп}} + V_{\text{п}} + V_{\text{пр}} = \frac{2}{3} \frac{\pi dk^2}{4} (h_p + h_{\text{пр}}). \quad (4.19)$$

Откуда

$$h = \frac{6V_c}{\pi dk^2} - h_{\text{пр}}. \quad (4.20)$$

Можно считать, что для отливок различного объема заполнения V_c пропорциональны $V_{\text{оп}}$, если

$$V_{\text{оп}} < 250 \text{ см}^3, \text{ то } V_c = 1,7V_{\text{оп}} \quad (\text{группа } -1);$$

$$V_{\text{оп}} \text{ от } 250 \text{ см}^3, \text{ до } 1000, \text{ то } V_c = 1,35V_{\text{оп}} \quad (\text{группа } -2); \quad (4.21)$$

$$V_{\text{оп}} > 1000 \text{ см}^3, \text{ то } V_c = 1,2V_{\text{оп}} \quad (\text{группа } -3).$$

Величина хода плунжера в процессе заполнения полости формы определяется выражением

$$h_3 = \frac{4V_{\text{оп}}}{\pi dk^2} - h_{\text{пр}}. \quad (4.22)$$

Записанные ранее выражения справедливы при заполнении камеры прессования на $2/3$ ее объема. При такой степени заполнения камеры можно записать, что

$$V_c - V_{\text{пр}} = \frac{2}{3} \frac{\pi dk^2}{4} h_p.$$

$$\text{Так как } V_{\text{пр}} = \frac{\pi dk^2}{4} h_{\text{пр}}, \text{ то } V = \frac{\pi dk^2}{4} \left(\frac{2}{3} h_p + h_{\text{пр}} \right). \quad (4.23)$$

По этой формуле, задаваясь величиной пресс-остатка $h_{\text{пр}}$ и подсчитав значение h_p , можно определить необходимый суммарный объем жидкого металла для выбранной камеры прессования.

Величина пресс-остатка обычно принимается равной

$$h_{\text{пр}} = \frac{dk}{5}. \quad (4.24)$$

Площадь сечения в месте подвода к отливке выражается из уравнения неразрывности потока:

$$F_{\text{п}} = \frac{W_{\text{пр}} F_{\text{пр}}}{v}, \text{ мм}^2. \quad (4.25)$$

Скорость выпуска v определяется приближенным методом Москвина в зависимости от размеров и конфигурации отливки:

$$v = K_t \frac{X_{\text{отл}}}{\sqrt{t}}, \quad (4.26)$$

где K_t – коэффициент, зависящий от температуры заливаемого сплава и равный: для алюминиевых сплавов 0,021; для медных 0,026; для магниевых 0,028; для цинковых 0,016;

$X_{\text{отл}}$ – безразмерная величина, характеризующая отливку,

$$X_{\text{отл}} = \frac{L}{H} \sqrt{\sum n + 1}. \quad (4.27)$$

где L – длина отливки;

H – средняя или преобладающая толщина стенки отливки;

$\sum n$ – число поворотов потока в полости формы под углом 90 градусов.

Скорость движения прессующего поршня определяют исходя из условия неразрывности потока (4.17).

Задание 1. Изучить общий характер движения расплава в камере прессования на фазе медленной скорости движения прессующего поршня.

2.1. Рассчитать геометрические параметры волновых участков, возникающих на фазе медленного перемещения поршня;

2.2. Исследовать влияние скорости прессующего поршня на захват воздуха на поверхности волны и впереди и позади ее.

2.3. Исследовать влияние первоначального уровня жидкого металла в камере прессования на захват воздуха.

2.4. Определить критическую скорость движения прессующего поршня и объем порции заливаемого металла для исследуемой отливки.

Задание 2. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Отчет о работе должен содержать подробные выводы и описания заданий 2 и 3.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5

Исследование влияния технологических параметров литья под давлением на свойства отливки

Цель работы: исследование влияния технологических режимов литья на механические свойства отливки.

Одно из важных мест в теории специальных видов литья занимает раздел, посвященный методам анализа взаимосвязи параметров технологии и состава сплава с его свойствами. Основой такого анализа является построение математических моделей, связывающих параметры технологии и свойства отливок. Естественно, что эти взаимосвязи существенно различаются для различных видов литья. Следует отметить, что установленные в результате анализа взаимосвязи справедливы для конкретной отливки и для конкретных параметров технологии. В то же время методы, используемые для оценки взаимосвязей параметров технологии и свойств, универсальны. Одним из таких методов является регрессионный анализ, который активно используется в дисциплине «Математическое моделирование технологических процессов».

Простейшей моделью взаимосвязи факторов x_i (входные параметры технологии) и y (выходной параметр технологии) является модель вида

$$y = B_0 + B_1 x_1. \quad (5.1)$$

Регрессионные коэффициенты этой модели определяются как

$$B_0 = \bar{y} - B_1 \bar{x}_1; \quad (5.2)$$

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(y_{1i} - \bar{y}_1)}{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}. \quad (5.3)$$

Значения x_{1i} и y_i являются экспериментальными данными, показывающими влияние фактора x_1 на свойство y . Величины \bar{x}_1 и \bar{y} вычисляются как средние с учетом числа экспериментов n . Характеристиками взаимосвязи x_1 и y являются коэффициент корреляции r_{1x} и среднеквадратичные отклонения от средних σ_{x1} и σ_y .

$$r_{x1y} = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(y_i - \bar{y})}{\sigma_{x1} \cdot \sigma_y}; \quad (5.4)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}; \quad (5.5)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (5.6)$$

При оценке влияния двух параметров x_1 и x_2 на свойство y используется модель вида

$$y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2; \quad (5.7)$$

$$B_1 = \frac{(r_{yx1} - r_{yx2}r_{x1x2})\sigma_y}{(1 - r_{x1x2}^2)\sigma_{x1}}; \quad (5.8)$$

$$B_2 = \frac{(r_{yx2} - r_{yx1}r_{x1x2})\sigma_y}{(1 - r_{x1x2}^2)\sigma_{x2}}; \quad (5.9)$$

$$B_0 = \bar{y} - B_1x_1 - B_2x_2. \quad (5.10)$$

При оценке моделей (5.1) и (5.7) используют критерий Фишера F , рассчитываемый как

$$F = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\frac{1}{n-k-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i^{\text{расч}})^2}. \quad (5.11)$$

Если $F > F_{\text{крит}}$, то модель адекватна, если $F < F_{\text{крит}}$, то модель неадекватна. При построении математических моделей можно использовать возможности пакета регрессионного анализа Microsoft Excel.

Порядок выполнения работы

Используя сведения табл. 5.1, полученные на основе экспериментальных данных, описывающих взаимосвязь факторов технологии литья под давлением и свойств отливок, построить математическую модель вида

$$\begin{cases} \sigma_B = B_0 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_4 + B_5 x_5 + B_6 x_6 + B_7 x_7, \\ HB = B'_0 + B'_2 x_2 + B'_3 x_3 + B'_4 x_4 + B'_5 x_5 + B'_6 x_6 + B'_7 x_7, \end{cases} \quad (5.12)$$

где x_2 – температура формы, °С;

x_3 – скорость впуска металла в форму, м/с;

x_4 – свободный объем камеры прессования, дм^3 ;

x_5 – длина третьей фазы, мм;

x_6 – содержание кремния в сплаве, %;

x_7 – содержание железа, %;

σ_B – предел прочности отливки, кгс/мм²;

HB – твердость отливки.

Решение задачи

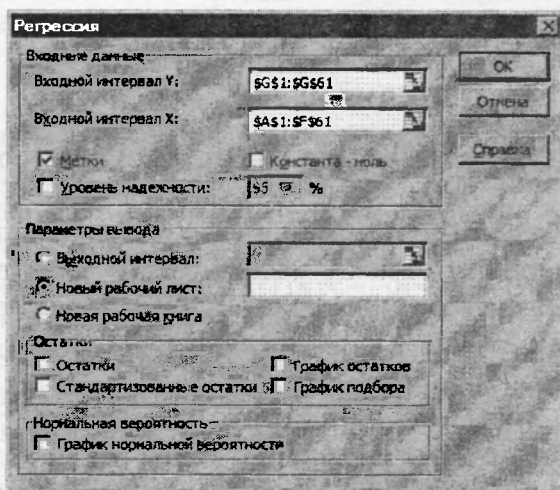
1. Сформируем входную матрицу из табл. 5.1 и поместим ее на лист файла Microsoft Excel. Входная матрица будет иметь вид, представленный на рис. 5.1, а.

2. Активизируем пункт меню *Сервис* → *Анализ данных* → → *Регрессия*. В появившемся диалоговом окне *Регрессия* (рис 5.1, б) необходимо:

- в поле *Входной интервал Y* указать диапазон данных, в которых находятся значения σ_y ;
- в поле *Входной интервал X* указать диапазон данных, в которых находятся значения x_1, x_2, \dots, x_{13} ;
- выделить пункт *Метки*;
- нажать кнопку *OK*.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	σ_y	
2	147	19,11	0,398	9,94	7,7	0,34	19,32	
3	149	19,11	0,39	9,94	7,5	0,38	19,066	
4	147	18,91	0,391	10,04	7,5	0,38	19,268	
5	153	18,91	0,396	9,94	7,7	0,34	19,992	
				...				
57	153	18,91	0,397	10,04	7,7	0,34	18,95	
58	149	19,11	0,4	9,94	7,7	0,3	18,333	
59	151	19,11	0,395	9,99	7,7	0,34	19,704	
60	149	19,01	0,394	9,94	7,7	0,34	19,86	
61	149	18,91	0,393	10,04	7,5	0,34	18,495	
62								

а



б

Рис. 5.1. Вид входной матрицы (а) и вид диалогового окна *Регрессия* (б)

3. На новом листе появятся результаты регрессионного анализа, которые будут иметь вид, представленный на рис. 5.2.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,65							
R-квадрат	0,42							
Нормированный R-квадрат	0,35							
Стандартная ошибка	0,45							
Наблюдения	60,00							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	6,00	7,70	1,28	6,31	0,00005			
Остаток	53,00	10,78	0,20					
Итого	59,00	18,48						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
У-пересечение	-24,78	23,85	-1,04	0,304	-72,62	23,07	-72,62	23,07
x2	0,11	0,03	3,55	0,001	0,05	0,17	0,05	0,17
x3	1,04	0,74	1,41	0,164	-0,44	2,52	-0,44	2,52
x4	10,57	15,18	0,70	0,489	-19,88	41,02	-19,88	41,02
x5	-2,96	1,47	-2,01	0,049	-5,92	-0,01	-5,92	-0,01
x6	3,53	0,63	5,58	0,000001	2,26	4,81	2,26	4,81
x7	17,95	3,56	5,04	0,000001	10,81	25,10	10,81	25,10

Рис. 5.2. Результаты регрессионного анализа

Рассмотрим представленную на рис. 5.2 регрессионную статистику.

Множественный R – коэффициент множественной корреляции R – выражает степень зависимости независимых переменных X и зависимой переменной Y , эта величина принимает значения в интервале от нуля до единицы. В нашем случае коэффициент корреляции равен 0,65.

Величина *R-квадрат*, называемая также мерой определенности, характеризует качество полученной регрессионной прямой и равна значению квадрата коэффициента множественной корреляции. Это качество выражается степенью соответствия

между исходными данными и регрессионной моделью (расчетными данными). Мера определенности всегда находится в пределах интервала $[0; 1]$. В нашем примере мера определенности равна 0,42, что говорит о не очень хорошей подгонке регрессионной прямой к исходным данным. Таким образом, линейная модель объясняет 42 % изменения переменных x_2, \dots, x_7 от значения σ_y . Не объясняется $100 - 42 = 58$ % изменения переменных x_2, \dots, x_7 .

Рассчитанный уровень значимости $\alpha_p = 0,00005 < 0,05$ (показатель *Значимость F* в таблице) подтверждает значимость коэффициента R^2 .

Теперь рассмотрим нижнюю часть расчетов, представленную на рис. 5.2. Здесь даны коэффициенты регрессии $b_2 = 0,11$, $b_3 = 1,04$, $b_4 = 10,57$, $b_5 = -2,96$, $b_6 = 3,53$, $b_7 = 17,95$ и смещение по оси ординат, т.е. константа $b_0 = -24,78$.

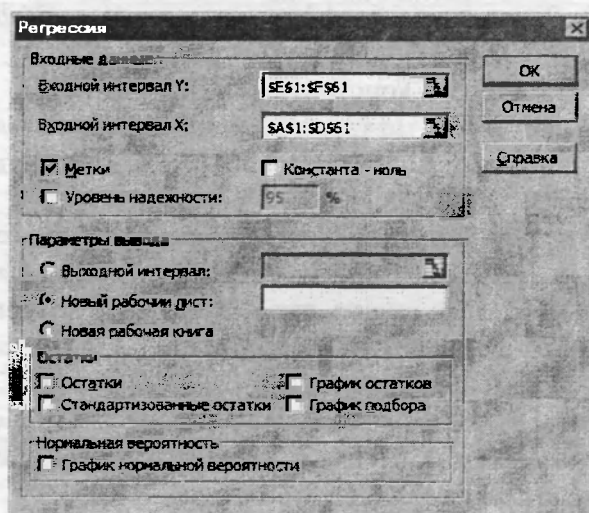
Направление связи между переменными определяется на основании знаков (отрицательный или положительный) коэффициентов регрессии (b_2, \dots, b_7).

Далее проверим значимость коэффициентов регрессии. Сравнивая попарно значения столбцов *Коэффициенты* и *Стандартная ошибка* (рис. 5.2), видим, что абсолютные значения коэффициентов больше, чем их стандартные ошибки для всех независимых переменных кроме x_4 ($10,57 < 15,18$). К тому же коэффициенты x_2, x_5, x_6, x_7 являются значимыми, о чем можно судить по значениям показателя *P-значение* в таблице, которые меньше заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$, тогда как коэффициенты x_3 и x_5 не являются значимыми.

4. Необходимо получить регрессионную модель, у которой все коэффициенты будут значимы, для этого отбросим незначимые переменные x_3 и x_5 . Новая входная матрица будет иметь вид, представленный на рис. 5.3, а. Параметры, задаваемые в диалоговом окне *Регрессия*, представлены на рис. 5.3, б.

	A	B	C	D	E
1	x_2	x_3	x_6	x_7	σ_6
2	147	9,94	7,7	0,34	19,32
3	149	9,94	7,5	0,38	19,066
4	147	10,04	7,5	0,38	19,208
5	153	9,94	7,7	0,34	19,992
			...		
57	153	10,04	7,7	0,34	18,95
58	149	9,94	7,7	0,3	18,333
59	151	9,99	7,7	0,34	19,704
60	149	9,94	7,7	0,34	19,86
61	149	10,04	7,5	0,34	18,495
62					

а



б

Рис. 5.3. Вид новой входной матрицы (а)
и вид диалогового окна *Регрессия* (б)

5. На новом листе появятся результаты регрессионного анализа (рис. 5.4). Как видно из рисунка, *Множественный R* уменьшился незначительно и стал равен 0,62. Рассчитанный уровень значимости $\alpha_p = 0,00002 < 0,05$ подтверждает значимость коэффициента R^2 .

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,62							
R-квадрат	0,39							
Нормированный R-квадрат	0,34							
Стандартная ошибка	0,45							
Наблюдения	60,00							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	4,00	7,16	1,79	8,69	0,00002			
Остаток	55,00	11,33	0,21					
Итого	59,00	18,48						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
У-пересечение	5,02	15,49	0,32	0,747	-26,02	36,06	-26,02	36,06
x2	0,10	0,03	3,20	0,002	0,04	0,15	0,04	0,15
x5	-3,36	1,46	-2,30	0,025	-6,28	-0,44	-6,28	-0,44
x6	3,56	0,63	5,60	0,000001	2,28	4,83	2,28	4,83
x7	18,18	3,57	5,09	0,000005	11,02	25,34	11,02	25,34

Рис. 5.4. Результаты регрессионного анализа

Сравнивая попарно значения столбцов *Коэффициенты* и *Стандартная ошибка*, видим, что абсолютные значения коэффициентов больше, чем их стандартные ошибки для всех независимых переменных и все коэффициенты являются значимыми.

Следовательно, можем записать уравнение регрессии таким образом

$$\sigma_B = 5,02 + 0,10x_2 - 3,36x_5 + 3,56x_6 + 18,18x_7.$$

6. Аналогичные результаты получим для твердости отливки, на рис. 5.5 представлен фрагмент входной матрицы, на рис. 5.6 – результаты регрессионного анализа. Как видно из рис. 5.6, коэффициент множественной корреляции *R* равен 0,85. Значение *R-квадрат* равно 0,71, что говорит об удовлетворительной подгонке регрессионной прямой к исходным данным.

Таким образом, линейная модель объясняет 71 % изменения переменных x_2, \dots, x_7 от значения *НВ*. Не объясняется $100 - 71 = 29$ % изменения переменных x_2, \dots, x_7 . Рассчитанный уровень значимости $\alpha_p = 8,012 \cdot 10^{-13} < 0,05$ подтверждает значимость коэффициента R^2 .

Далее проверим значимость коэффициентов регрессии. Сравнивая попарно значения столбцов *Коэффициенты* и *Стандартная ошибка* на рис. 5.6, видим, что абсолютные значения коэффициентов больше, чем их стандартные ошибки для всех независимых, кроме x_4 и x_5 . К тому же коэффициенты x_6, x_7 являются значимыми, тогда как коэффициенты x_2, x_3, x_4, x_5 не являются значимыми.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	ИВ	
2	147	19,11	0,398	9,94	7,7	0,34	97,633	
3	149	19,11	0,39	9,94	7,5	0,38	98,329	
4	147	18,91	0,391	10,04	7,5	0,38	98,853	
5	153	18,91	0,396	9,94	7,7	0,34	97,559	
...								
57	153	18,91	0,397	10,04	7,7	0,34	97,337	
58	149	19,11	0,4	9,94	7,7	0,3	99,333	
59	151	19,11	0,395	9,99	7,7	0,34	98,017	
60	149	19,01	0,394	9,94	7,7	0,34	97,94	
61	149	18,91	0,393	10,04	7,5	0,34	99,768	
62								

Рис. 5.5. Вид входной матрицы

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,85							
R-квадрат	0,71							
Нормированный R-квадрат	0,68							
Стандартная ошибка	0,74							
Наблюдения	60,00							
Дисперсионный анализ								
	df	SS	MS	F	Значимость F			
Регрессия	6,00	72,56	12,09	22,06	8,012E-			
Остаток	53,00	29,05	0,55					
Итого	59,00	101,61						
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 95,0%	Верхние 95,0%
У-пересечение	234,84	39,16	6,00	1,83007	156,30	313,39	156,30	313,39
x2	-0,06	0,05	-1,13	0,265	-0,16	0,04	-0,16	0,04
x3	-1,57	1,21	-1,30	0,201	-4,00	0,86	-4,00	0,86
x4	-4,63	24,92	-0,19	0,853	-54,62	45,36	-54,62	45,36
x5	-0,31	2,42	-0,13	0,897	-5,16	4,53	-5,16	4,53
x6	-9,45	1,04	-9,09	2,12011	-11,54	-7,37	-11,54	-7,37
x7	-62,57	5,85	-10,70	7,45659	-74,29	-50,84	-74,29	-50,84

Рис. 5.6. Результаты регрессионного анализа

7. Необходимо получить регрессионную модель, у которой все коэффициенты будут значимы, для этого отбросим незначимые переменные коэффициенты x_2, x_3, x_4, x_5 . Результаты регрессионного анализа, будут иметь вид, представленный на рис. 5.7.

Регрессионная статистика								
Множественный R	0,84							
R-квадрат	0,70							
Нормированный R-квадрат	0,69							
Стандартная ошибка	0,73							
Наблюдения	60,00							
Дисперсионный анализ								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
Регрессия	2,00	71,26	35,63	66,93	1,1023E-			
Остаток	57,00	30,35	0,53					
Итого	59,00	101,61						
	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>	<i>Нижние 95,0%</i>	<i>Верхние 95,0%</i>
Y-пересечение	189,51	8,61	22,00	1,54E-29	172,26	206,75	172,26	206,75
x6	-9,24	0,92	-10,03	3,39E-14	-11,08	-7,39	-11,08	-7,39
x7	-61,42	5,34	-11,50	1,752E-16	-72,12	-50,73	-72,12	-50,73

Рис. 5.7. Результаты регрессионного анализа

Как видно из рис. 5.7, множественный R уменьшился незначительно и стал равен 0,84. Рассчитанный уровень значимости $\alpha_p = 1,1023 \cdot 10^{-15} < 0,05$ подтверждает значимость коэффициента R^2 .

Сравнивая попарно значения столбцов *Коэффициенты* и *Стандартная ошибка*, видим, что абсолютные значения коэффициентов больше, чем их стандартные ошибки для всех независимых переменных и все коэффициенты являются значимыми.

Исходя из расчетов, полученная регрессионная модель для переменной HV имеет вид:

$$HV = 189,51 - 9,44x_6 - 61,42x_7.$$

Экспериментальные данные факторов технологии и свойств отливки блок-цилиндра,
изготавливаемой литьем под давлением

№ экс-пер.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	σ_b	δ	ρ	НВ
1	742	147	19,11	0,398	9,94	7,7	0,34	0,40	0,21	350	0,73	27,0	0,630	19,32	1,584	2,234	97,633
2	650	149	19,11	0,39	9,94	7,5	0,38	0,41	0,22	360	0,73	27,0	0,630	19,066	1,734	2,226	96,329
3	742	147	18,91	0,391	10,04	7,5	0,38	0,38	0,22	410	0,73	27,0	0,630	19,208	1,732	2,232	98,853
4	650	153	18,91	0,396	9,94	7,7	0,34	0,39	0,18	440	0,73	27,0	0,630	19,992	1,947	2,252	97,559
5	719	149	18,91	0,388	10,04	7,9	0,3	0,38	0,20	350	0,74	27,0	0,630	19,764	2,330	2,276	99,427
6	742	153	18,91	0,388	9,94	7,5	0,39	0,40	0,19	365	0,74	27,0	0,630	19,814	2,075	2,265	96,125
7	673	151	18,91	0,395	9,99	7,7	0,34	0,39	0,21	380	0,74	27,0	0,630	19,675	1,801	2,241	98,219
8	742	151	18,91	0,387	9,99	7,5	0,38	0,40	0,22	410	0,74	27,0	0,630	18,183	1,982	2,246	97,523
9	673	149	19,11	0,395	10,04	7,9	0,34	0,41	0,19	440	0,74	27,0	0,630	19,612	2,248	2,255	95,125
10	742	147	19,01	0,394	9,99	7,9	0,34	0,40	0,18	365	0,75	27,0	0,630	19,988	2,272	2,271	95,127
11	696	153	19,01	0,399	10,04	7,9	0,3	0,41	0,19	380	0,75	27,0	0,631	19,349	1,960	2,256	97,212
12	650	149	19,11	0,399	9,94	7,5	0,38	0,39	0,19	395	0,75	27,0	0,631	19,934	1,469	2,223	96,693
13	742	151	18,91	0,398	9,99	7,9	0,3	0,40	0,18	410	0,75	27,0	0,631	19,211	2,038	2,264	97,891
14	742	147	18,91	0,4	10,04	7,5	0,38	0,40	0,18	425	0,75	27,0	0,631	18,256	1,512	2,227	96,199
15	650	147	19,11	0,398	9,99	7,5	0,38	0,39	0,22	440	0,75	27,0	0,631	19,303	1,373	2,204	98,091
16	742	149	18,91	0,397	10,04	7,9	0,3	0,40	0,21	350	0,76	27,0	0,631	18,874	1,882	2,251	98,533
17	650	149	19,11	0,395	9,99	7,9	0,3	0,39	0,20	360	0,76	27,0	0,631	19,879	1,985	2,251	98,743
18	673	151	18,91	0,389	10,04	7,7	0,34	0,41	0,22	380	0,76	27,0	0,631	18,64	2,042	2,246	97,307
19	742	147	18,91	0,396	9,94	8,1	0,3	0,40	0,19	410	0,76	27,0	0,631	19,706	2,337	2,272	96,709
20	650	147	19,01	0,396	10,04	8,1	0,3	0,41	0,16	440	0,76	27,0	0,631	19,131	2,385	2,263	95,589

Продолжение табл. 5.1

№ экс-пер.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	σ_b	δ	ρ	$HВ$
21	719	149	19,11	0,394	9,94	7,5	0,38	0,41	0,22	440	0,76	27,0	0,630	18,959	1,617	2,222	96,996
22	673	147	18,91	0,4	9,99	7,5	0,34	0,38	0,19	365	0,77	27,0	0,630	18,282	1,229	2,217	99,66
23	719	149	18,91	0,395	10,04	7,5	0,38	0,38	0,22	365	0,77	27,0	0,630	19,694	1,551	2,227	96,451
24	650	147	19,01	0,4	9,94	7,7	0,34	0,39	0,18	395	0,77	27,0	0,630	19,273	1,617	2,233	97,235
25	673	151	19,01	0,39	10,04	7,7	0,3	0,40	0,19	410	0,77	27,0	0,630	18,19	1,994	2,254	99,554
26	719	153	19,01	0,4	10,04	7,7	0,34	0,40	0,22	410	0,77	27,0	0,630	19,727	1,617	2,231	98,345
27	719	151	18,91	0,399	9,99	7,7	0,34	0,39	0,22	440	0,77	27,0	0,630	19,648	1,674	2,234	98,868
28	373	149	19,01	0,389	9,94	7,9	0,3	0,40	0,22	350	0,73	28,0	0,630	19,358	2,147	2,251	98,656
29	719	147	19,11	0,389	10,04	7,9	0,3	0,41	0,24	380	0,73	28,0	0,630	18,525	2,216	2,268	98,006
30	650	147	19,01	0,388	9,99	7,9	0,3	0,40	0,20	410	0,73	28,0	0,630	18,665	2,283	2,283	98,294
31	696	147	19,01	0,395	9,94	7,7	0,34	0,41	0,21	440	0,73	28,0	0,630	18,277	1,755	2,224	97,46
32	650	153	18,91	0,387	10,04	7,9	0,3	0,10	0,18	365	0,74	28,0	0,630	19,511	2,527	2,279	97,254
33	673	147	19,01	0,397	10,04	7,9	0,34	0,40	0,21	365	0,74	28,0	0,630	19,802	1,979	2,237	95,966
34	696	153	18,91	0,394	9,99	7,7	0,34	0,41	0,19	395	0,74	28,0	0,030	19,123	1,998	2,250	96,42
35	719	147	19,01	0,389	10,04	7,7	0,38	0,41	0,22	395	0,74	28,0	0,630	19,29	2,150	2,240	95,132
36	742	151	18,91	0,391	9,94	7,5	0,34	0,38	0,18	425	0,74	28,0	0,630	19,06	1,821	2,250	99,969
37	696	149	19,11	0,399	9,99	7,9	0,3	0,39	0,20	440	0,74	28,0	0,630	19,751	1,858	2,233	99,332
38	742	151	18,91	0,393	10,04	7,7	0,34	0,41	0,22	440	0,74	28,0	0,630	18,533	1,926	2,236	97,974
39	673	151	19,11	0,391	9,99	7,7	0,34	0,40	0,21	365	0,75	28,0	0,630	19,852	1,975	2,243	97,506
40	673	149	19,01	0,39	9,94	7,7	0,34	0,39	0,20	395	0,75	28,0	0,631	19,673	2,033	2,246	98,029
41	696	151	19,11	0,398	9,94	7,5	0,38	0,41	0,22	395	0,75	28,0	0,631	19,444	1,437	2,211	96,594
42	673	149	19,11	0,39	10,04	7,7	0,34	0,40	0,19	425	0,75	28,0	0,631	19,179	2,122	2,247	97,222
43	673	147	19,01	0,389	9,99	7,7	0,34	0,39	0,18	350	0,76	28,0	0,631	19,294	2,116	2,255	96,989

№ экс-пер.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	σ_b	δ	ρ	HB
44	696	149	19,11	0,397	9,99	7,5	0,38	0,41	0,20	350	0,76	28,0	0,631	19,065	1,520	2,221	95,554
45	742	147	19,01	0,396	9,94	7,5	0,38	0,40	0,19	380	0,76	28,0	0,631	18,927	1,598	2,229	96,233
46	719	151	19,11	0,394	9,99	7,9	0,3	0,41	0,18	395	0,76	28,0	0,631	19,369	2,202	2,264	97,04
47	673	147	19,11	0,396	10,04	7,5	0,38	0,41	0,18	410	0,76	28,0	0,631	18,372	1,656	2,222	95,101
48	719	151	18,91	0,4	9,94	7,5	0,34	0,40	0,19	425	0,76	28,0	0,631	18,18	1,353	2,219	98,919
49	719	149	19,11	0,393	10,04	7,9	0,3	0,41	0,21	440	0,76	28,0	0,631	18,737	2,109	2,246	98,432
50	742	153	18,91	0,389	9,94	7,7	0,3	0,41	0,18	395	0,77	28,0	0,631	18,173	2,122	2,267	98,658
51	650	149	19,11	0,397	9,94	7,5	0,34	0,39	0,21	395	0,77	28,0	0,631	18,818	1,310	2,208	99,849
52	650	147	19,01	0,391	10,04	7,9	0,3	0,40	0,18	425	0,77	28,0	0,631	18,498	2,259	2,255	97,636
53	742	153	19,01	0,396	9,99	7,5	0,34	0,39	0,19	350	0,73	29,0	0,631	19,365	1,554	2,234	99,122
54	673	149	19,11	0,391	10,04	7,5	0,38	0,39	0,22	350	0,73	29,0	0,631	19,83	1,705	2,219	97,521
55	719	153	18,91	0,395	9,94	7,5	0,34	0,38	0,18	380	0,73	29,0	0,631	19,546	1,641	2,239	99,567
56	650	153	18,91	0,397	10,04	7,7	0,34	0,41	0,22	395	0,73	29,0	0,631	18,95	1,715	2,218	97,337
57	696	149	19,11	0,4	9,94	7,7	0,3	0,40	0,18	425	0,73	29,0	0,631	18,333	1,536	2,224	99,333
58	696	151	19,11	0,395	9,99	7,7	0,34	0,40	0,21	425	0,73	29,0	0,631	19,704	1,838	2,228	98,017
59	742	149	19,01	0,394	9,94	7,7	0,34	0,39	0,20	350	0,74	29,0	0,631	19,86	1,853	2,242	97,94
60	673	149	18,91	0,393	10,04	7,5	0,34	0,38	0,19	380	0,74	29,0	0,631	18,495	1,611	2,224	99,768

Примечание: x_1 – температура металла, °C; x_2 – температура формы, °C; x_3 – скорость впуска металла в форму, м/с; x_4 – свободный объем камеры прессования, дм^3 ; x_5 – длина третьей фазы, мм; x_6 – содержание Si в сплаве, %; x_7 – содержание Fe в сплаве, %; x_8 – содержание Mn, %; x_9 – содержание Mg; x_{10} – температура термообработки отливки, °C; x_{11} – размер зерна α -фазы, мкм; x_{12} – количество эвтектики, %; x_{13} – размер зерна эвтектики, мкм.

Задания к работе

Задание 1. Провести регрессионный анализ с использованием возможностей пакета Microsoft Excel *Анализ данных* с целью построения одномерных и двухмерных математических моделей вида

$$y_k = B_0 + B_i x_i, \quad (5.14)$$

$$y_k = B_0 + B_i x_i + B_j x_j, \quad (5.15)$$

где y_k – свойства отливки (k изменяется от 1 до 4);

x_i – параметры технологии и состава (i и j изменяются от 1 до 13).

Рассчитать коэффициенты регрессионных моделей (5.14) и (5.15) на основе экспериментальных данных (табл. 5.1) и в соответствии с заданным вариантом (табл. 5.2). На основе вычисленного значения коэффициента множественной корреляции оценить влияние каждого из факторов x_1, \dots, x_{13} на свойства отливки «Блок-цилиндра» σ_b (предел прочности, кгс/мм), δ (относительное удлинение, %), ρ (плотность, кг/м³), $HВ$ (твердость) и сделать выводы. На основе полученных результатов выбрать для каждого из четырех свойств одномерную и двухмерную модели с наибольшим значением коэффициента корреляции). Оценить прогнозирующую способность модели по экспериментальным данным, которые использовались при построении модели.

Например, при оценке прогнозирующей способности модели, построенной для 0-го варианта нужно использовать экспериментальные данные с номерами 21–29, 41–49, 59–60 из табл. 5.1.

Варианты заданий

Номер варианта	Номера строк табл. 5.1, включенные во входную матрицу	Номер варианта	Номера строк табл. 5.1, включенные во входную матрицу
0	10–20 30–40 50–58	5	21–40 45–52 57–60
1	15–25 35–47 51–55	6	10–22 27–35 42–57
2	2–10 15–45 55–60	7	8–28 30–43 52–59
3	5–12 22–38 47–55	8	3–19 25–45 49–53
4	4–20 35–47 49–58	9	1–10 20–30 42–60

Заполнить таблицу следующего вида (N – номера экспериментов, не включенных во входную матрицу для данного варианта):

N	σ_1^p	σ_2^p	$\sigma^э$	δ_1^p	δ_2^p	$\delta^э$	HB_1^p	HB_2^p	$HB^э$	ρ_1^p	ρ_2^p	$\rho^э$

Верхний индекс «р» означает «расчетное», а индекс «э» – «экспериментальное». Значения σ_1^p , δ_1^p , HB_1^p , ρ_1^p получены по модели (5.14), а значения σ_2^p , δ , HB_2^p , ρ_2^p получены по модели (5.15). При описании моделей определить интервалы изменения факторов технологии и состава, для которых справедливы модели (5.14) и (5.15), в виде: $x_i^{\min} < x_i < x_i^{\max}$, где x_i^{\min} , x_i^{\max} – минимальное и максимальное значения факторов x_1, \dots, x_{13} , которые используются при построении моделей.

Задание 2. С помощью функций пакета *Анализ данных* Microsoft Excel построить математическую модель для описания свойств отливки блок-цилиндра, изготавливаемой из сплава АК7.

$$\begin{cases} \sigma_B = B_{01} + B_{11}x_{i1} + B_{12}x_{i2} + B_{13}x_{i3}; \\ \delta = B_{02} + B_{14}x_{i4} + B_{15}x_{i5} + B_{16}x_{i6}; \\ HB = B_0 + B'_2x_2 + B'_3x_3 + B'_4x_4 + B'_5x_5 + B'_6x_6 + B'_7x_7; \\ \rho = B_{04} + B_{110}x_{i10} + B_{111}x_{i11} + B_{112}x_{i12}, \end{cases} \quad (5.16)$$

где x_{i1}, x_{i2}, x_{i3} (σ_B); x_{i4}, x_{i5}, x_{i6} (δ); x_7, x_8, x_9 (HB); $x_{i10}, x_{i11}, x_{i12}$ (ρ) – три фактора из 13, для которых получено наибольшее значение коэффициента корреляции при построении модели (5.14) свойства, указанного в скобках.

Задание 3. По полученным моделям построить зависимости:

$$\sigma_B = f_1(x_{in}), \quad i_n = i_1, i_2, i_3; \quad \delta = f_2(x_{in}), \quad (i_n = i_4, i_5, i_6);$$

$$HB = f_3(x_{in}), \quad (i_n = i_7, i_8, i_9); \quad \rho = f_4(x_{in}), \quad i_n = i_{10}, i_{11}, i_{12}.$$

При изображении функции $\sigma_B = f_1(x_{in})$ на плоскости проводить четыре линии для четырех комбинаций параметров i_2 и i_3 . Аналогично построить и остальные функции.

Отчет о работе должен содержать:

- модели и коэффициенты корреляции, полученные при выполнении задания 1;
- модель вида (5.16), полученная при решении задания 2;
- зависимости, указанные в задании 3.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6

Оптимизация технологических параметров литья под давлением с целью улучшения механических свойств отливок

Цель работы: выбор технологических параметров литья под давлением, обеспечивающих заданный уровень свойств отливок; оптимизация технологии изготовления отливок на основе заданной математической модели.

Важнейшей задачей технологии является оптимизация режимов изготовления отливок. Наиболее эффективно оптимизация осуществляется на основе математических моделей, построенных с помощью метода, описанного в практической работе 5. Конечной целью оптимизации является выбор таких параметров технологии, которые обеспечивают заданный уровень свойств отливки по моделям, которые были использованы в работе 5 при изучении взаимосвязей свойств отливки и параметров технологии ее изготовления методом литья под давлением.

Порядок выполнения работы

На основе построенной математической модели

$$\begin{cases} \sigma_B = 4,55 + 0,081x_2 + 0,458x_3 - 12,61x_4; \\ HB = -6,11 + 0,211x_2 + 1,64x_3 + 109,4x_4. \end{cases}$$

определить параметры x_2 , x_3 , x_4 , обеспечивающие заданный уровень свойств сплава $20 \leq \sigma_B \leq 20,4$; $100 \leq HB \leq 101$. Параметр x_2 изменяется от 147 до 153 с шагом 2; параметр x_3 изменяется от 18,91 до 19,21 с шагом 0,1; параметр x_4 изменяется от 0,387 до 0,402 с шагом 0,001. Результаты работы программы вывести на экран и в файл *opt.lst*.

Решение задачи. Для решения задачи составим схему алгоритма (рис. 6.1) и программу, которая представлена ниже.

```

Program Opt;                               {Программа для оптимизации па-
раметров литья}
Uses Dos, Crt;
Var ff : Text;
    xn2, xn3, xn4,                          {начальные значения переменных}
    xk2, xk3, xk4,                          {конечные значения переменных}
    xh2, xh3, xh4,                          {шаги варьирования переменных}
    x2, x3, x4,
    sv, HB      : Real;
Begin                                       {начало программы}
  ClrScr;                                  {очистка экрана}
  xn2 := 147;      xk2 := 153;      xh2 := 2;
  xn3 := 18.91;   xk3 := 19.21;   xh3 := 0.1;
  xn4 := 0.387;   xk4 := 0.402;   xh4 := 0.001;
  Assign(ff,'opt.lst'); Rewrite(ff); {открыть файл opt.lst}
  Writeln(ff,' x2 x3 x4 sv HB');
  x4 := xn4;
  While x4 <= xk4 do
    begin                                  {начало цикла 4}
      x3 := xn3;
      While x3 <= xk3 do
        begin                              {начало цикла 3}
          x2 := xn2;
          While x2 <= xk2 do
            begin                          {начало цикла 2}
              sv := 4.55 + 0.081*x2 + 0.458*x3 - 12.61*x4;
              HB := -6.11 + 0.211*x2 + 1.64*x3 + 109.4*x4;
              if (sv >= 20) and (sv <= 20.4) and (HB >= 100) and
(HB <= 101) then
                begin                    {начало блока условия If}
                  Write(ff, x2:4:0, ' ', x3:5:2, ' ', x4:6:3, ' ');
                  Writeln(ff, sv:7:3, ' ', HB:7:3);      {вывод в файл
opt.lst}
                  Writeln(x2:4:0, ' ', x3:5:2, ' ', x4:6:3, ' ', sv:7:3, ' ',
HB:7:3);      {вывод на экран}
                end;
            end;
          end;
        end;
      end;
    end;
end;

```

```

end;           {конец блока условия if}
x2 := x2 + xh2; {приращение переменной x2}
end;          {конец цикла 2}
x3 := x3 + xh3; {приращение переменной x3}
end;          {конец цикла 3}
x4 := x4 + xh4; {приращение переменной x4}
end;          {конец цикла 4}
Close(ff);    {закрывать файл opt.lst}
End.           {конец программы}

```

Результаты работы программы

Файл *opt.lst*

x2	x3	x4	sv	НВ
149	19.11	0.397	20.365	100.101
149	19.01	0.398	20.307	100.047
149	19.11	0.398	20.353	100.211
149	19.01	0.399	20.294	100.156
149	19.11	0.399	20.340	100.320
149	18.91	0.400	20.236	100.101
151	18.91	0.400	20.398	100.523
149	19.01	0.400	20.282	100.265
147	19.11	0.400	20.165	100.007
149	19.11	0.400	20.327	100.429
149	18.91	0.401	20.223	100.211
151	18.91	0.401	20.385	100.633
149	19.01	0.401	20.269	100.375
147	19.11	0.401	20.153	100.117
149	19.11	0.401	20.315	100.539

Выводы

На основании расчетов сделаем вывод: для поддержания уровня свойств $20 \leq c_b \leq 20,4$; $100 \leq НВ \leq 101$ необходим следующий уровень технологических параметров: $147 \leq x_2 \leq 151$ °С; $18,91 \leq x_3 \leq 19,11$ м/с; $0,398 \leq x_4 \leq 0,401$ дм³.

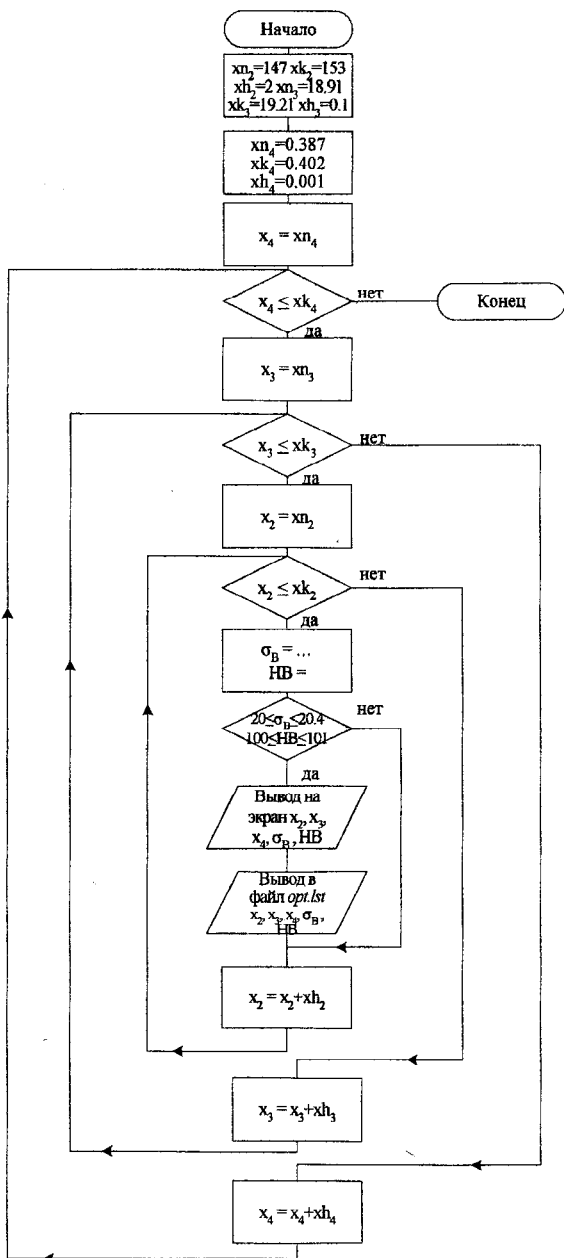


Рис. 6.1. Алгоритм для решения задачи

Задание к работе

С помощью модели вида (5.16), разработанной в работе 5 (в соответствии с заданным вариантом), выбрать набор параметров технологии и состава (рассматриваемые параметры были выделены при выполнении работ 3 и 4), удовлетворяющих следующему уровню свойств:

$$\begin{cases} \sigma_H < \sigma_B < \sigma_K; \\ \delta_H < \delta < \delta_K; \\ \rho_H < \rho < \rho_K; \\ HB_H < HB < HB_K. \end{cases} \quad (6.1)$$

Сформировать два файла A.lst и B.lst. В файл A.lst записать наборы факторов технологии и состава, для которых выполняются условия (6.1). В файл B.lst записать наборы факторов, для которых условие не выполняется.

Таблица 6.1

Варианты заданий

Номер варианта	Границы условия							
	σ_H	σ_K	δ_H	δ_K	ρ_H	ρ_K	HB_H	HB_K
0	20,6	21,0	1,00	1,25	2,26	2,30	102	105
1	19,0	19,4	1,15	1,40	2,24	2,28	100	103
2	19,2	19,6	1,30	1,55	2,22	2,26	98	101
3	19,4	19,8	1,45	1,70	2,20	2,24	96	99
4	19,6	20,0	1,60	1,85	2,18	2,22	94	97
5	19,8	20,2	1,75	2,00	2,16	2,20	92	95
6	20,0	20,4	1,90	2,15	2,14	2,18	90	93
7	20,2	20,6	2,05	2,30	2,12	2,18	88	91
8	20,4	20,8	2,20	2,45	2,10	2,20	90	93
9	20,6	21,0	2,35	2,60	2,08	2,20	88	91

Отчет о работе должен содержать:

– распечатку программы, распечатку файлов A.lst и B.lst (можно в указанном виде);

– выводы о факторах, обеспечивающих заданный уровень свойств.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7

Исследование и расчет технологических параметров изготовления отливок методом центробежного литья

Цель работы: расчет и анализ влияния коэффициента гравитации на процесс формирования отливки при центробежном литье.

Отличительной чертой центробежного литья является то, что форма при затвердевании металла находится под действием центробежных сил, которые вычисляются как

$$P = m \cdot r \cdot \omega^2,$$

где m – масса металла, кг;

r – радиус тела вращения, м;

$\omega = \pi n / 30$ – частота вращения формы, мин^{-1} .

При этом ось вращения может быть вертикальной, горизонтальной и наклонной.

На рис. 7.1 представлена схема вертикального центробежного литья, из которой можно видеть, что свободная поверхность расплава приобретает форму параболоида вращения. При использовании метода центробежного литья важным является расчет скорости вращения формы по коэффициенту гравитации, который показывает во сколько раз сила, действующая на заливаемый металл, больше силы тяжести. В математической форме это записывается так

$$K = \frac{F_u}{mg}. \quad (7.1)$$

Центробежная сила, действующая на частицы металла, определяется как

$$F_{\text{ц}} = m \frac{v^2}{R}, \quad (7.2)$$

где m – масса частицы, кг;
 v – линейная скорость, м/с;
 R – радиус вращения частицы, м.

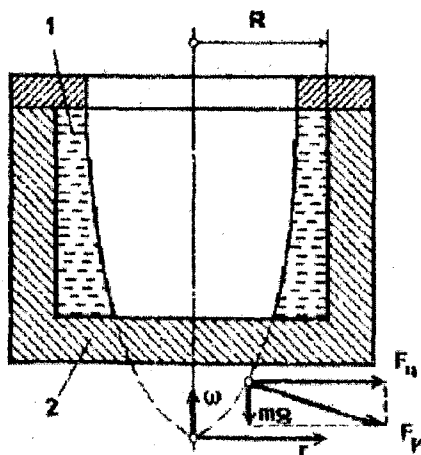


Рис. 7.1. Схема центробежного литья в форму с вертикальной осью вращения:
 1 – расплав; 2 – форма

Подставив (7.2) в (7.1), получим формулу для расчета коэффициента гравитации

$$K = \frac{v^2}{Rg}, \quad (7.3)$$

где $v = 2\pi Rn$ (n – частота вращения формы, об/мин).

Преобразовав (7.3), получим

$$K = \frac{4\pi^2 Rn^2}{g} = \frac{2\pi Dn^2}{g}. \quad (7.4)$$

Следовательно, частота вращения формы равна

$$n = \frac{\sqrt{2g}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{D}} = 0,705 \cdot \sqrt{\frac{K}{D}}, \quad (7.5)$$

где D – диаметр формы, м.

Величина K зависит от вида формы и заливаемого сплава. Например, для песчаной формы $K = 75$, для металлической – 80. Сплавы, близкие к эвтектике, характеризуются значением $K = 90-100$. Для расчета скорости вращения формы с вертикальной осью вращения применяют формулу (7.5), справедливую при горизонтальной центробежной заливке, при $K = 100-200$. В ряде случаев удобными являются полуэмпирические формулы

$$n = \frac{291}{\sqrt{\rho R}}, \quad (7.6)$$

где ρ – плотность сплава, кг/м^3 ;
 R – радиус формы, м.

$$n = \frac{K_0}{600\sqrt{R}}, \quad (7.7)$$

где K_0 – коэффициент, зависящий от типа сплава.

Формула (7.6) называется формулой Константинова, а (7.7) – формулой Кэммена.

Цель гидродинамических расчетов заключается в том, чтобы определить минимальную частоту вращения формы, при которой капли жидкого металла удерживаются на поверхности вращения.

Задания к работе

Задание 1. На основе данных по труболитейным машинам, представленных в табл. 7.1, провести расчет на ЭВМ коэффициента гравитации центробежного литья при изготовлении труб различных диаметров.

Задание 2. Построить зависимости $n = f_1(D)$ и $K = f_2(D)$.

Характеристики труболитейных машин

Модуль машины	Диаметр труб (D , мм)	Частота вращения формы (ω , мин ⁻¹)	Номер варианта
541	100	700	0
	125	630	
	150	570	
543	206	370	1
	250	320	
	300	280	
7093	80	1000	2
	100	700	
	125	630	
ЛН-104	200	440	3
	250	350	
	300	300	
ЛН-102	100	1000	4
	125	750	
	150	600	
МТ- 515	50	1100	5
	80	900	
	100	700	

Задание 3. Предполагая, что коэффициент Кэммена равен

$$\begin{cases} 2600 - 3590 & (\text{для алюминиевых сплавов}); \\ 1800 - 2500 & (\text{для серого чугуна}); \\ 1900 - 150 & (\text{для стали}), \end{cases}$$

определить спектр частот вращения формы, который может быть использован для получения труб различных диаметров (табл. 7.2). Построить зависимость $n = f(d, K_0)$ при $D = \text{const1}; \text{const2}; \dots$

Варианты заданий

Номер варианта	D , мм	Заливаемый сплав
0	50, 150 (10)	чугун
1	120, 200 (8)	алюминий
2	200, 300 (10)	сталь
3	150, 190 (4)	чугун
4	130, 180 (5)	алюминий
5	250, 400 (15)	сталь

Задание 4. Рассчитать частоту вращения формы n для различных составов сплавов на основе формулы Константинова (табл. 7.3). При расчетах использовать аддитивное приближение для плотности сплава:

$$\rho_{\text{спл}} = \sum_{i=1}^l m_i \rho_i,$$

где ρ – плотность i -го компонента сплава;

m_i – массовая доля i -го компонента ($\sum_{i=1}^l m_i = 1$);

l – число компонентов в сплаве.

Например, для сплава Al + 10 % Si + 40 % Ni + 10 % Mn плотность можно определить как

$$\rho_{\text{спл}} = 0,1\rho_{\text{Si}} + 0,4\rho_{\text{Ni}} + 0,1\rho_{\text{Mn}} + 0,4\rho_{\text{Al}}.$$

По результатам расчетов построить зависимости $\rho_{\text{спл}} = f(x)$, $n = f(x)$, где x – концентрация легирующего элемента. При выполнении расчетов использовать не менее пяти значений x . Зафиксировав значение x элемента, рассчитать и построить зависимость $n = f(y)$, где y – концентрация одного из элементов состава сплава. Сделать выводы и объяснить ход зависимостей $n = f(x)$ и $n = f(y)$. При расчете плотности использовать табл. 7.4.

Варианты заданий

Номер варианта	Сплав	Номер варианта	Сплав
0	Al + 12·Si + x % Mn	5	Cu + 20 % Zn + x % Al
1	Al + 10 % Si + x % Ni	6	Ni + 20 % Cr·x % Ti
2	Fe + 3,2 % C + x % Si	7	Ni + 28 % Cu + x % Fe
3	Ni + 10 % Mn + x % Ti	8	Zn + 4 % Al + x % Cu
4	Cu + 10 % Si + x % Zn	9	Cu + 7 % Al + x % Mn

Таблица 7.4

Плотность некоторых химических элементов

Элемент	ρ , кг/м ³	Элемент	ρ , кг/м ³
Al	2,70	C	2,27
Si	2,34	Ti	4,50
Mn	7,40	Cu	8,95
Ni	8,90	Zn	7,14
Fe	7,87	Cr	7,19

Отчет о работе должен содержать:

- схемы центробежного литья с вертикальной и горизонтальной осью вращения;
- расчет коэффициентов гравитации отливок типа трубы, выполненные для различных центробежных машин;
- зависимости $n = f_1(D)$ и $K = f_2(D)$;
- построенный спектр частот вращения формы, который может использоваться для отливок различного диаметра (задание 3);
- зависимости $n = f(x)$, $n = f(y)$ и $\rho = f(x)$ (задание 4).

Приложение 1

Решение задачи 1. Схема алгоритма для решения данной задачи приведена на рис. 1.3. Ниже приведена программа на языке Pascal для расчета λ .

```
Program labal;
Uses Crt,Dos;
Var fff : Text;
    Tkp, Tc, tau3 : Real;
    Xkp, rkp      : Real;
    F1, F2, Q, G  : Real;
    L, ac, c, A   : Real;
Procedure CalcA; {процедура для вычисления A}
Var I1,I2 : Real;
    T      : Integer;
BEGIN          {начало процедуры calcA}
    I1:=0;     {интеграл от функции T1}
    I2:=0;     {интеграл от функции T2}
    for t := 10 to 25-1 do
    begin
        I1 := I1 + (0.5 * exp(1.1*ln(-6.5*t+1267)) + 0.5 * exp(1.1*
ln(-6.5*(t+1)+1267)))/2;
        I2 := I2 + (0.5 * exp(1.1*ln(6*t+330)) + 0.5 * exp(1.1*
ln(6*(t+1)+330)))/2;
    end;
    for t := 25 to 100-1 do
    begin
        I1 := I1 + (0.5 * exp(1.1*ln(-2.7*t+1167)) + 0.5 * exp(1.1*
ln(-2.7*(t+1)+1167)))/2;
        I2 := I2 + (0.5 * exp(1.1*ln(0.7*t+465)) + 0.5 * exp(1.1*
ln(0.7*(t+1)+465)))/2;
    end;
    for t := 100 to 225-1 do
    begin
```


$I1 := I1 + (0.5 * \exp(1.1 * \ln(-1.6 * t + 1060))) + 0.5 * \exp(1.1 * \ln(-1.6 * (t+1) + 1060)) / 2;$

$I2 := I2 + (0.5 * \exp(1.1 * \ln(0.4 * t + 490))) + 0.5 * \exp(1.1 * \ln(0.4 * (t+1) + 490)) / 2;$

end;

for t := 225 to 400-1 do

begin

$I1 := I1 + (0.5 * \exp(1.1 * \ln(-0.57 * t + 830))) + 0.5 * \exp(1.1 * \ln(-0.57 * (t+1) + 830)) / 2;$

$I2 := I2 + (0.5 * \exp(1.1 * \ln(0.06 * t + 570))) + 0.5 * \exp(1.1 * \ln(0.06 * (t+1) + 570)) / 2;$

end;

A := I1 - I2;

end; *{конец процедуры CalcA}*

Begin *{начало программы}*

ClrScr; *{очистка экрана}*

G := 10; *{масса отливки}*

rkr := 275000; *{удельная теплота кристаллизации материала отливки}*

ac := 0.0000784; *{коэффициент теплоотдачи}*

Tkr := 873; *{температура кристаллизации материала отливки}*

Xkr := 0.0027; *{толщина покрытия}*

tc := 298; *{температура окружающей среды}*

F1 := 0.864; *{площадь поверхности соприкосновения отливки и формы}*

F2 := 0.3 * F1; *{площадь открытой поверхности отливки}*

c := 0.000639; *{коэффициент излучения свободной поверхности отливки}*

CalcA; *{вызов процедуры CalcA}*

{----- вычисление Q -----}

tau3 := 400 - 10; *{время кристаллизации отливки}*

Q := (G * rkr) - (ac * (Tkr - Tc) * F2 * tau3);

```

Q := Q - c*((exp(4*ln(Ткр/100))) - (exp(4*ln(Тс/100))))*F2*tau3;
      {вычисление коэффициента теплопроводности}
L := (Q*Хкр)/(А*F1);
      {вывод результатов на экран}
Writeln('| Коэффициент теплопроводности = ', L:10:2, ' ');
      {вывод результата в файл l.lst}
Assign(fff, 'l.lst'); Rewrite(fff);      {открыть файл l.lst}
{запись результатов в файл l.lst}
Writeln(fff, 'G = ', G:10:2, ' rкр = ', rкр:10:2, ' ac = ', ac:10:7);
Writeln(fff, 'Ткр = ', Ткр:10:2, ' Тс = ', Тс:10:2, ' Хкр = ', Хкр:10:5);
Writeln(fff, 'F1 = ', F1:10:2, ' F2 = ', F2:10:2, ' c = ', c:10:7);
Writeln(fff, 'L = ', L:10:4);
Close(fff);      {закрывать файл l.lst}
END.

```

Результаты работы программы

На экране:

| Коэффициент теплопроводности = 0.0909 |

В файле *l.lst*:

```

G =    10.00 rкр = 275000.00 ac = 0.0000784
Ткр =   873.00 Тс =   298.00 Хкр = 0.00270
F1 =    0.86 F2 =    0.26 c = 0.0006390
L =    0.0909

```

Конечный результат расчетов выводится на экран в файл *l.lst*.

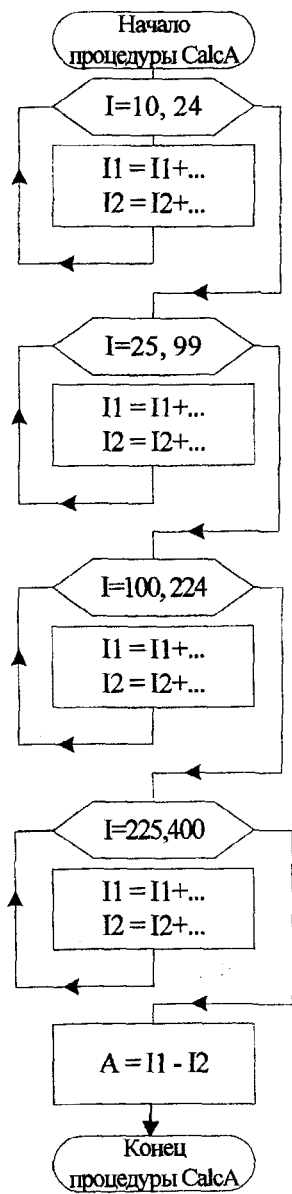
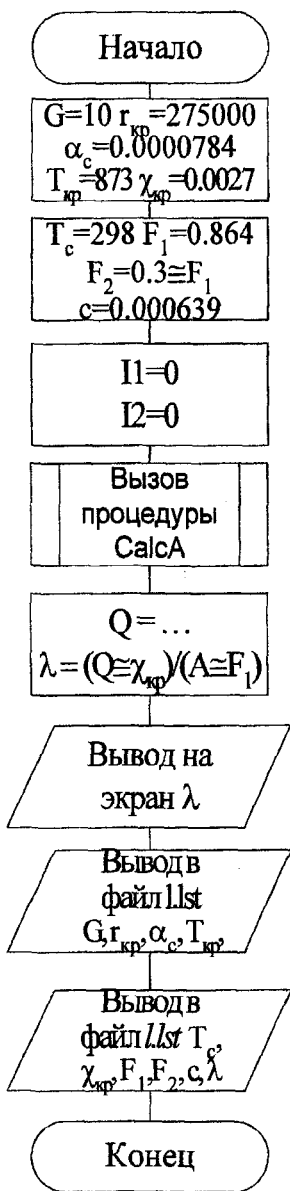


Рис. III. Алгоритмы для решения задачи:
 а – основная программа; б – процедура CalcA

Пример для вычисления диаметра камеры прессования (d_K) от параметров формы ($V_{оп} = 90-150 \text{ см}^3$) и металла ($M = 0,09-0,15 \text{ см}$). При расчетах использовать формулу (3.6). Значения параметров $V_{оп}$, M выводить в три файла A.lst, B.lst, C.lst в зависимости от условий, накладываемых на d_K : a.lst ($0 < d_K < 8$), b.lst ($8 \leq d_K < 10$), c.lst ($10 \leq d_K < 20$). Шаг варьирования для переменной $V_{оп}$ выбрать равным 10, для переменной M – равным 0,01.

Ниже приведена программа для решения этой задачи. Схема алгоритма решения данной задачи приведена на рис. 3.2.

```

Program Diam;
{Программа для расчета диаметра камеры прессования}
Uses Dos;
Var  f1, f2, f3 : Text;
      Vor, M, dk, sVor, sM : Real;
Begin
      {начало программы}
      Assign(f1,'a.lst'); Rewrite(f1); {открыть файл a.lst}
      Assign(f2,'b.lst'); Rewrite(f2); {открыть файл b.lst}
      Assign(f3,'c.lst'); Rewrite(f3); {открыть файл c.lst}
      sVor := 10; {шаг варьирования переменной Vor}
      sM := 0.01; {шаг варьирования переменной M}
      M := 0.09; {начальное значение модуля затвердевания M}
      While M <= 0.15 do {цикл 1}
      begin
      Vor := 90; {начальное значение объема формы Vor}
      While Vor <= 150 do {цикл 2}
      begin
      dk := (0.564/M) * (3*M + 0.3 + (100/Vor));

```

```

    dk := dk * Sqrt( Vop/(55 + (600/Sqrt(Vop)) + Sqrt(Vop)));
    If (0 < dk)      and (dk < 8) then Writeln(f1, Vop:4:0, ' ',
M:5:2, ' ', dk:7:3);
    If (8 <= dk)    and (dk < 10) then Writeln(f2, Vop:4:0, ' ',
M:5:2, ' ', dk:7:3);
    If (10 <= dk)   and (dk < 20) then Writeln(f3, Vop:4:0, ' ',
M:5:2, ' ', dk:7:3);
    Vop := Vop + sVop;      {приращение объема формы
Vop}
    end;                    {конец цикла 2}
    M := M + sM;           {приращение модуля затвер-
девания M}
    end;                    {конец цикла 1}
    Close(f1); Close(f2); Close(f3); {закрывать файлы a.lst, b.lst, c.lst}
End.                        {конец программы}

```

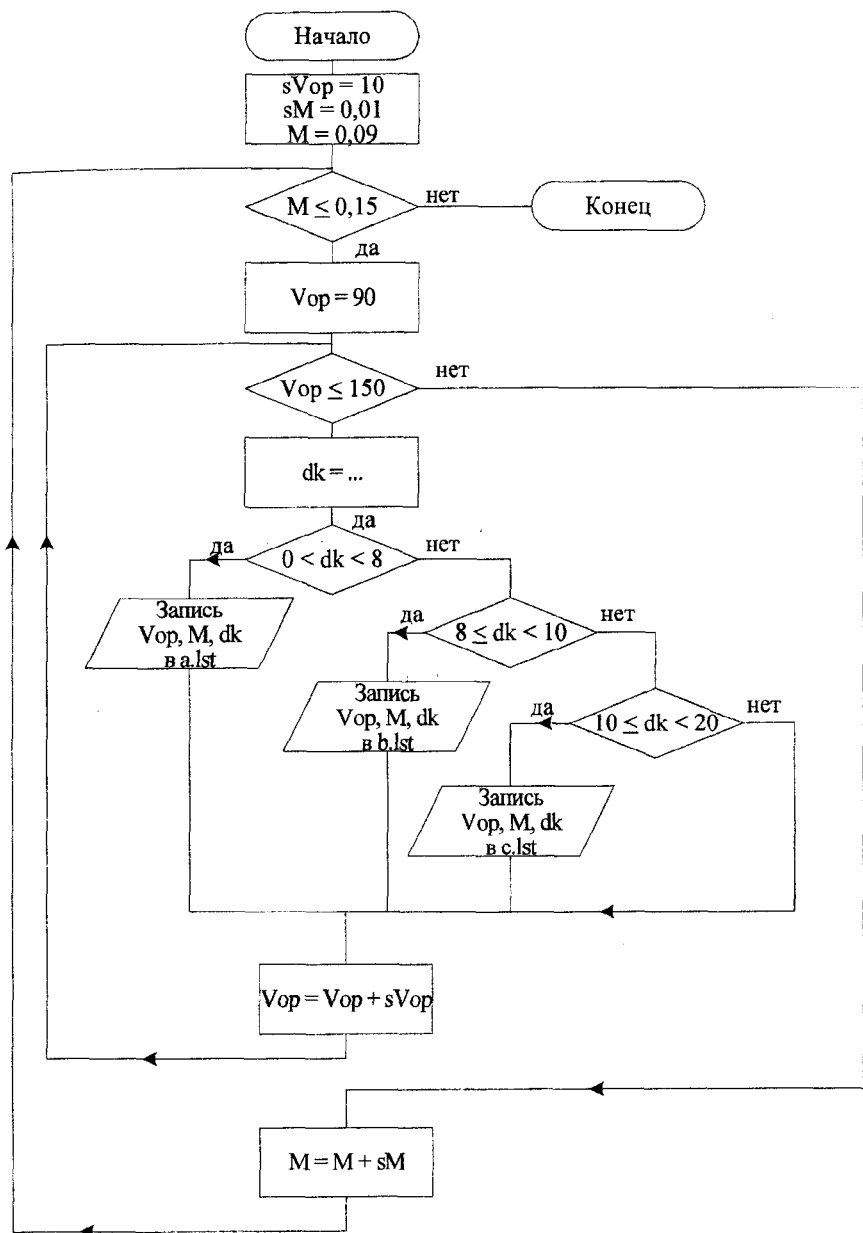


Рис. П2. Схема алгоритма решения задачи

Результаты работы программы

<i>Файл a.lst</i>	<i>Файл b.lst</i>	<i>Файл c.lst</i>
90 0.11 7.493	90 0.09 8.843	
100 0.11 7.475	100 0.09 8.800	
110 0.11 7.472	110 0.09 8.776	
120 0.11 7.480	120 0.09 8.768	
130 0.11 7.498	130 0.09 8.771	
140 0.11 7.522	140 0.09 8.783	
150 0.11 7.552	150 0.09 8.804	
90 0.12 6.987	90 0.10 8.101	
100 0.12 6.978	100 0.10 8.071	
110 0.12 6.983	110 0.10 8.059	
120 0.12 6.998	120 0.10 8.060	
130 0.12 7.020	130 0.10 8.071	
140 0.12 7.049	140 0.10 8.090	
150 0.12 7.083	150 0.10 8.115	
90 0.13 6.559		
100 0.13 6.558		
110 0.13 6.569		
120 0.13 6.589		
130 0.13 6.616		
140 0.13 6.649		
150 0.13 6.686		
90 0.14 6.192		
100 0.14 6.198		
110 0.14 6.214		
120 0.14 6.239		
130 0.14 6.270		
140 0.14 6.306		
150 0.14 6.346		
90 0.15 5.874		
100 0.15 5.885		
110 0.15 5.907		
120 0.15 5.935		
130 0.15 5.970		
140 0.15 6.009		
150 0.15 6.051		

Содержание

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1. Исследование и расчет теплофизических характеристик кокильных покрытий.	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 2. Исследование и ремонт положения зоны усадочных дефектов в отливках.	14
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 3. Исследование и расчет параметров камеры прессования и формы при литье под давлением.	18
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 4. Исследование процессов удаления воздуха из камеры прессования при литье под давлением.	23
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 5. Исследование влияния технологических параметров литья под давление на свойства отливки.	36
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 6. Оптимизация технологических параметров литья под давлением с целью улучшения механических свойств отливок.	52
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 7. Исследование и расчет технологических параметров изготовления отливок методом центробежного литья.	57
Приложение 1.	63
Приложение 1.	67

Учебное издание

СОБОЛЕВ Владимир Федорович
ЧИЧКО Александр Николаевич

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ЛИТЬЯ

Пособие
по выполнению практических работ

Редактор Е.О. Коржуева
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 23.10.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 3,27. Тираж 200. Заказ 1061.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.