

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

Кафедра сварочных, литейных и аддитивных технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к практическим занятиям по дисциплине
«Литейные технологии в машиностроении»**



Уфа 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»
Кафедра сварочных, литейных и аддитивных технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
к практическим занятиям по дисциплине
«Литейные технологии в машиностроении»**

Учебное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ

Уфа 2022

Авторы-составители: О. Б. Деменок, А. О. Деменок

Методические рекомендации к практическим занятиям по дисциплине «Литейные технологии в машиностроении» [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т ; [авт.-сост. : О. Б. Деменок, А. О. Деменок]. – Уфа : УГАТУ, 2022. – URL: https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-69.pdf

Цель данных методических рекомендаций – системное изучение студентами на практических занятиях основных положений теории литейных процессов, расчет параметров литниковых систем, овладение методиками расчета нагревателей в печах сопротивления.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 15.03.01 Машиностроение.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. С. Гайнцева

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы-составители: *Деменок Олег Борисович*
Деменок Анна Олеговна

Редактирование и верстка *Р. М. Мухамадиева*
Программирование и компьютерный дизайн *О. М. Толкачёва*

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Подписано к использованию: 26.04.2022
Объем: 1,12 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.
Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: rik@ugatu.su

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

РАСЧЕТ ВЛАЖНОСТИ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

1.1. Цель работы

Исследовать влияние влажности и плотности набивки на газопроницаемость и прочность песчано-глинистой смеси.

Работа выполняется за 4 часа.

1.2. Краткие теоретические сведения

Газовые раковины являются одним из наиболее распространенных видов брака отливок. Образование газовых раковин зависит от свойств формы, в частности пористости, газопроницаемости, газотворности. Газопроницаемостью называется способность формовочных и стержневых материалов пропускать через себя газы. На газопроницаемость влияет неоднородность зерен формовочного состава, степень уплотнения, влажность, температура газов (увеличение объема газов и вязкости с возрастанием температуры), содержание глинистой составляющей и т. д.

Газопроницаемость K определяется на основании закона фильтрации Дарси по формуле

$$K = \frac{Vh}{F P \tau},$$

где K – газопроницаемость, $\text{м}^2/(\text{Па}\cdot\text{с})$; V – объем воздуха, который прошел через образец, м^3 ; h – высота образца, м; F – площадь поперечного сечения образца, м^2 ($F_{\text{станд}}=19,6 \text{ см}^2$); P – давление воздуха перед образцом, Па; τ – время прохождения через образец данного объема воздуха, с.

Приближенно можно считать, что для двух одинаковых по составу формовочных материалов отношение величин газопроницаемости пропорционально отношению степеней уплотнения – S

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^c,$$

где c – показатель степени уплотнения.

Если принять за единицу начальные величины K_1 и S_1 , а полученное выражение прологарифмировать, то получим

$$\lg K_2 + c \lg S_2 = 0.$$

Критерием уплотняемости может быть отношение газопроницаемости образца K_1 , изготовленном при одном ударе бабы стандартного копра (степень уплотнения $S_1=1$), к газопроницаемости образца K_n , изготовленном при n ударах бабы копра (степень уплотнения S_n).

В табл. 1.1 приведено значение показателя «с» в зависимости от содержания глинистой составляющей.

Таблица 1.1

Значение «с» от содержания глинистой составляющей

Содержание глинистой составляющей, %	0	10	20	30
С	0,01	0,05	0,15	0,3

Влияние влажности на газопроницаемость в сыром состоянии сказывается неоднозначно. Газопроницаемость повышается в случаях, когда вода, покрывая зерна тонкой пленкой, сглаживает шероховатость поверхности зерен. Силы поверхностного натяжения стягивают отдельные зёрна и образуются конгломераты. Все это вместе уменьшает сопротивление прохождению воздуха (газов) в литейной форме. Если же содержание воды возрастёт, то её избыток будет располагаться в порах смеси, и сопротивление прохождению газов увеличится.

При заливке и охлаждении металла литейная форма подвергается воздействию тепловых и механических факторов. Отдельные участки поверхности формы испытывают динамическое воздействие струи заливаемого металла. Давление на поверхность формы определяется по формуле

$$P = \rho V^2 f \sin \alpha; P = \rho V Q \sin \alpha,$$

где P – сила воздействия струи сплава на поверхность формы, Н; Q – объем заливаемого металла в единицу времени, м³/с; V – скорость струи, м/с; f – площадь поперечного сечения струи, м²; ρ – плотность сплава, кг/м³; α – угол наклона поверхности формы к оси струи сплава.

Статическая сила давления металла на площадку может быть подсчитана по формуле

$$P = \rho g h_c S,$$

где S – размер площадки, м^2 ; h_c – высота столба металла в центре тяжести площадки, м ; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Жидкий металл при заливке создает подъемную силу, которая при недостаточной прочности стержня может привести к его поломке. Усилие выталкивания обусловлено разницей плотностей металла и материала стержня (формы). Кроме того, возникают усилия в форме в процессе усадки металла. Поэтому прочность формовочной и стержневой смесей выбирается достаточной для противодействия всем разрушающим нагрузкам. Определенная прочность смесей необходима также в процессе изготовления, транспортировки и сборки формы (установки стержней в форму).

Прочность песчано-глинистой смеси во влажном состоянии зависит от зернового состава песка, влажности, плотности, содержания глины, ее связующей способности.

Глинистые оболочки представляют собой глинистые пасты. Механические свойства паст обусловлены сцеплением частиц глинистых минералов в местах контакта через тонкие прослойки влаги.

Повышение влажности (утолщение водных оболочек на поверхности частиц глины) сопровождается снижением механических свойств песчано-глинистой смеси, максимальная прочность достигается при оптимальном количестве воды, покрывающей поверхность зерен пленкой оптимальной толщины.

1.3. Задание

Рассчитать необходимое количество воды или сухой формовочной смеси для получения формовочной смеси заданной влажности.

Определить изначальную влажность формовочной смеси по формуле

$$W = \frac{C - C_1}{C} \cdot 100\%,$$

где W – влажность, C и C_1 – вес навески до и после высушивания.

Определить необходимое количество воды или сухой формовочной смеси для доведения до нужной влажности.

Таблица 1.2

Варианты заданий

Вариант	Масса смеси, кг	C	C_1	Необходимая влажность
1	10	10	9,87	3%
2	10	10	9,95	5%
3	10	10	9,83	7%
4	10	10	9,78	9%
5	5	10	9,86	4%
6	5	10	9,85	6%
7	5	10	9,76	8%
8	5	10	9,92	2%

1.4. Методические указания по выполнению задания и обработке результатов

Определение влажности формовочного состава

По расчетным данным необходимо произвести контрольное определение влажности.

Влажность вычислить по формуле

$$W = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100\%,$$

где G_1 и G_2 – масса навески до и после сушки, гр.

Если влажность не соответствует расчетной влажности, необходимо внести соответствующие коррективы.

1.5. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Краткое изложение методики выполнения работы.
4. Результаты работы.
5. Анализ результатов.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Почему образуются газовые раковины?
2. Какая связь степени уплотнения и газопроницаемости?
3. Может ли влиять влажность на газопроницаемость?
4. Как влияет уплотнение и влажность на прочность образцов при сжатии?

Список литературы

1. Трухов А. П. и др. Технология литейного производства: литье в песчаные формы: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: изд. центр «Академия», 2005. 528 с.
2. Курдюмов А. В. и др. Лабораторные работы по технологии литейного производства. М: Машиностроение, 1990. 200 с.
3. Технология литейного производства: формовочные и стержневые смеси: учебное пособие для студентов вузов / под ред. С. С. Жуковского, А. Н. Болдина, А. Я. Яковлева и др. Брянск; изд-во БГТУ, 2002 г.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ

2.1. Цель занятия

Знать (на уровне узнавания) назначение литниковой системы и ее основных элементов.

Уметь (на уровне первоначального опыта) спроектировать простую литниковую систему.

Работа выполняется за 8 часов.

2.2. Краткая теоретическая часть

Литниковой системой называют систему каналов в литейной форме, с помощью которой (системы каналов) обеспечивается заполнение формы сплавом и питание отливки в период ее остывания и кристаллизации.

В простейшем случае система подводящих каналов, то есть каналов, через которые литейная форма заполняется расплавом, состоит из следующих элементов (рис. 2.1): приемная чаша (или воронка) стояк, шлакоуловитель, питатели.

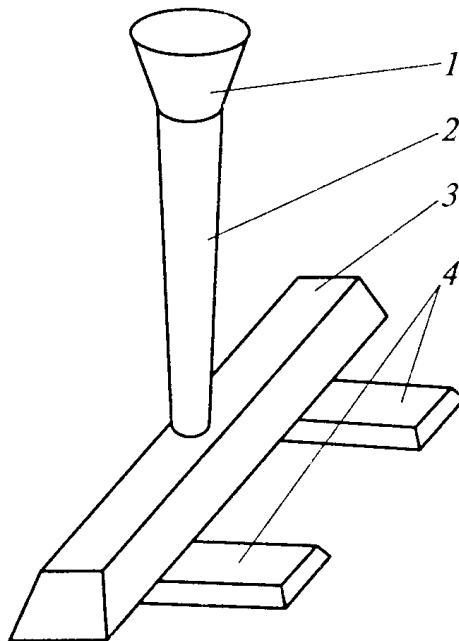


Рис. 2.1. Подводящая часть литниковой системы и ее элементы:
1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель; 4 – питатели

Прибыль относят к питающей части литниковой системы. Выпор – к вентиляционной части.

Проектирование литниковой системы заключается в разработке пространственного расположения всех элементов литниковой системы относительно отливки, расчета размеров поперечных сечений элементов и определения их длинных размеров.

Расчет литниковых систем чаще всего выполняют на основе закона сохранения масс (закона неразрывности), который для движущихся в закрытых каналах жидкостей, записывается в виде равенства

$$F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2, \quad (2.1)$$

где F_1 и F_2 , м^2 – площади поперечных сечений каналов одной и той же системы; v_1 и v_2 , м/с – скорости движения жидкости соответственно через сечение F_1 и F_2 .

Само равенство (2.1) говорит о том, что в любой момент времени, через любое сечение одной системы проходит одинаковый объем жидкости. Величина $F_1 v_1$ имеет размерность $\text{м}^3/\text{с}$ и называется «объемный расход».

Расчет литниковых систем чаще всего начинают с определения площади поперечного сечения самого узкого элемента подводящей части литниковой системы. В зависимости от того, какой элемент принимают за самый узкий, различают сужающиеся литниковые системы и расширяющиеся литниковые системы.

2.2.1. Расчет сужающихся литниковых систем. При расчете сужающихся литниковых систем принимают, что самым узким элементом является питатель. Поэтому расчет начинают с определения площади поперечного сечения питателя (если питателей несколько, рассчитывают суммарную площадь поперечных сечений питателей).

Как уже говорилось, исходной формулой для расчета принимается закон неразрывности (2.1).

Если левую и правую части уравнения (2.1) умножить на плотность сплава, которым заливают форму, то получим равенство массовых расходов в секунду. Если правую и левую части умножить на время, равное времени полного заполнения литейной формы,

то получим равенство масс, причем масса справа и масса слева будет равна массе отливки. Следовательно, равенство (2.1) может быть перезаписано в виде

$$F_1 \cdot v_1 \cdot \rho_1 \cdot \tau_{\text{зал}} = F_2 \cdot v_2 \cdot \rho_2 \cdot \tau_{\text{зал}}, \quad (2.2)$$

где $\tau_{\text{зал}}$ – время заливки формы, с.

Считая, что все параметры, стоящие слева относятся к питателю, а стоящие справа к отливке, формула (2.2) может быть записана в виде

$$F_{\text{п}} = \frac{G_{\text{отл}}}{v_{\text{п}} \cdot \rho \cdot \tau_{\text{зал}}}, \quad (2.3)$$

Так как

$$v_{\text{п}} = \mu \sqrt{2gH}, \quad (2.4)$$

то

$$F_{\text{п}} = \frac{G_{\text{отл}}}{\rho \cdot \tau_{\text{зал}} \cdot \mu \sqrt{2gH_{\text{р}}}}, \quad (2.5)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поперечного сечения питателя, м²; $G_{\text{отл}}$ – масса отливки, кг; ρ – плотность сплава, кг/м³; $\tau_{\text{зал}}$ – время заливки формы, с; μ – коэффициент расхода; g – ускорение свободного падения, м/с²; $H_{\text{р}}$ – расчетный гидростатический напор, м.

Чтобы воспользоваться формулой (2.5), необходимо знать или уметь определять все величины, входящие в правую часть уравнения.

Значения величины массы отливки берут согласно чертежу отливки. Значение плотности берут по справочным материалам. Время заливки определяют по эмпирическим формулам. Таких формул в технической литературе несколько. Они получены для разных сплавов, для отливок разных масс, габаритов, способов заливки и так далее.

В данной работе рекомендуется воспользоваться зависимостью

$$\tau_{\text{зал}} = K \cdot G_{\text{отл}}^{0,38},$$

здесь 0,38 и K – эмпирические коэффициенты. Значение K принимают равным [1]:

- для чугунов – 3,7
- углеродистой стали – 2,4
- алюминиевых сплавов – 4,5
- магниевых сплавов – 5,0
- сплавов на медной основе – 3,5

Значение коэффициента расхода рекомендуется принимать $\mu=0,4$ для сложных систем, $\mu=0,5\dots0,6$ для систем средней сложности и $\mu=0,6\dots0,8$ для простых систем.

В выражениях (2.4) и (2.5) под H и H_p понимается гидростатический напор. Предполагается, что в уравнении (2.4) гидростатический напор H известен, а в уравнении (2.5) гидростатический напор требуется рассчитать.

В общем случае подвод сплава в полость формы может быть расположен в любом месте по высоте отливки. Поэтому расчетный гидростатический напор определяют в соответствие с выражением

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C},$$

где H – высота стояка от места подвода сплава в форму (рис. 2.2); P – высота отливки от места подвода сплава в форму, м; C – высота отливки, м.

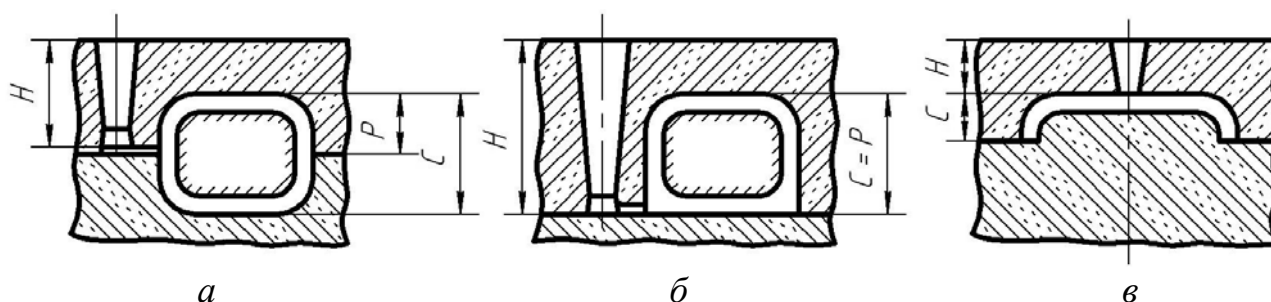


Рис. 2.2. Схема для расчета H_p при подводе сплава в форму:
 a – по разъему; b – снизу – сифоном; v – сверху

В результате выполненного расчета по (2.5) получают площадь поперечного сечения питателя.

Площади поперечных сечений шлакоуловителя и стояка определяют, используя соотношения, полученные на основании производственного опыта. Такие соотношения приводятся в справочной и технической литературе [1], [4].

Для мелких отливок из СЧ (серого чугуна) чаще всего принимают:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,05 : 1,1;$$

для средних отливок из СЧ:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,1 : 1,2;$$

для крупных отливок из СЧ:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1,0 : 1,2 : 1,4.$$

Для отливок из углеродистых сталей:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,2;$$

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,2 : 1,4.$$

Для отливок из латуни:

$$\sum F_{\text{пит}} : \sum F_{\text{шл}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,3 : 1,8.$$

Форму и линейные размеры сечений технолог проектирует с учетом геометрии стенок отливки, к которым подводится питатель.

Для отливок из бронзы и алюминиевых сплавов используют обычно расширяющиеся литниковые системы.

2.2.2. Расчет расширяющихся литниковых систем.

Расширяющиеся литниковые системы применяются для отливок из сплавов, склонных к пенообразованию (алюминиевые, магниевые и бронзы). При расчете расширяющихся литниковых систем принимают, что самым узким местом литниковой системы является нижняя часть стояка. Поэтому закон сохранения масс (2.1) записывают в виде

$$F_{\text{ст}} \cdot v_{\text{ст.ср}} = Q_{\text{ср}}, \quad (2.6)$$

где $F_{\text{ст}}$ – площадь поперечного сечения стояка в его основании, м^2 ;
 $v_{\text{ст.ср}}$ – фактическая скорость течения расплава в этом сечении, м/с ;
 $Q_{\text{ср}}$ – объемный расход расплава, $\text{м}^3/\text{с}$.

Скорость течения расплава выбирают из условия обеспечения минимально допустимой турбулентности потока сплава в форме

$$v_{\text{ст.фак}} = \frac{Re_{\text{max}} \cdot v}{4R_{\phi}}, \quad (2.7)$$

здесь Re_{max} – максимально допустимое значение числа Рейнольдса, при котором отливка получается годной; v – кинематическая вязкость сплава, $\text{м}^2/\text{с}$; R_{ϕ} – гидравлический радиус канала в некотором сечении формы ($R_{\text{геом}} = 2R_{\phi}$).

Следовательно,

$$v_{\text{ст.сп}} \cdot R_{\phi} = \frac{Re_{\text{max}} \cdot v}{4}. \quad (2.8)$$

Максимально допустимые значения $\frac{Re \cdot v}{4}$ берут по справочным данным табл. 2.1.

Таблица 2.1

Максимально допустимые значения $vR = \frac{Re \cdot v}{4}$ [7]

Участок на пути следования потока сплава	стояк	коллектор	питатели	форма	
				простая	сложная
Н. М. Галдин	65,25	42,0	11,7	3,9	1,17
Е. М. Ноткина	72,5	50,75	7,96	2,03	2,03

Учитывая, что $\frac{Re \cdot v \cdot F_{\phi}}{4R_{\phi}}$ – расход сплава (см.(2.6) и (2.7)),

по уравнению (2.6) находят поперечное сечение стояка в самом узком месте.

Используя существующие рекомендации, представленные в табл. 2.2 [1], получают значение поперечных сечений других элементов литниковой системы.

Геометрическую форму и размеры сечения конструируют исходя из особенностей отливки.

Таблица 2.2

Рекомендуемые соотношения $\sum F_{ст.} : \sum F_{кол.} : \sum F_{пит}$

Масса отливки, кг		Соотношения $\sum F_{ст.} : \sum F_{кол.} : \sum F_{пит}$ для отливок высотой, мм			
Сплавы алюминия	Сплавы магния	до 150	151...450	451...750	свыше 750
до 5	до 3,5	1:2:2	1:2:3	–	–
свыше 5 до 10	свыше 3,5 до 7	1:2:2	1:2:3	1:2:4	1:3:3
свыше 10 до 20	свыше 7 до 14	1:2:3	1:2:4	1:3:3	1:3:4
свыше 20 до 40	свыше 14 до 28	1:2:4	1:3:3	1:3:4	1:4:4
свыше 40 до 70	свыше 28 до 50	1:2:4	1:3:4	1:4:4	1:4:5
свыше 70 до 150	свыше 50 до 100	1:3:4	1:3:5	1:4:4	1:4:5
свыше 150	свыше 100	1:4:4	1:4:5	1:4:6	–

2.3. Задание

Для своего номера варианта спроектировать и рассчитать литниково-питающую систему.

2.3.1. Проектирование сужающейся литниковой системы.

– Начертить в эскизном варианте схему литниковой системы для отливки, изображенной на чертеже задания;

– рассчитать поперечное сечение питателя, предполагая, что сечение питателя является самым узким элементом литниковой системы;

– рассчитать поперечные сечения шлакоуловителя и стояка;

– спроектировать форму и геометрические размеры шлакоуловителя и стояка;

– вычертить в эскизном варианте поперечные сечения питателя, шлакоуловителя и стояка в соответствии с ГОСТ 3.1125-88.

2.3.2. Проектирование расширяющейся литниковой системы

– Начертить в эскизном варианте схему литниковой системы для отливки, изображенной на чертеже задания;

– рассчитать поперечное сечение стояка в самом узком его месте;

- рассчитать поперечные сечения коллектора и питателя;
- спроектировать форму и геометрические размеры коллектора и питателя;
- вычертить в эскизном варианте поперечное сечение коллектора и питателя в соответствии с ГОСТ 3.1125-88.

Варианты задания:

1. СЧ20.
2. СЧ30.
3. Сталь 20Х.
4. МЛ10.
5. МЛ5.
6. ВТ20.
7. ВТ9.
8. АК9Ч.
9. АК12Ч.
10. Бронза Ц5О5С5.

2.4. Методические указания по выполнению задания и обработке результатов

Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с методами расчета литниковых систем, используя теоретическую часть этого практикума и техническую литературу [1], [2], [7], [8].

Работу необходимо начинать с анализа чертежа отливки, с целью определения места подвода сплава к полости отливки.

При этом следует учитывать склонность сплава к окислению и пенообразованию. С учетом последнего обстоятельства принимается решение о целесообразности использования расширяющейся или сужающейся литниковой системы.

После принятия решения о типе литниковой системы необходимо приступить к расчету, используя ту или другую вышеизложенную методику расчета площади поперечного сечения питателя или стояка, соответственно.

Затем рассчитывают площади поперечных сечений других элементов литниковой системы. После этого конструируют поперечное сечение каждого элемента, рассчитывая соответствующим образом размеры принятого контура сечения для каждого элемента.

После окончания расчета необходимо в эскизном варианте начертить литниковую систему, подобрав необходимые длинновые размеры. Поперечные сечения элементов литниковой системы вычертить согласно ГОСТ 3.1125-88.

2.5. Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Название практического занятия.
2. Цель практического занятия.
3. Эскиз отливки, включая схему литниковой системы.
4. Обоснование выбранной схемы и типа литниковой системы (расширяющейся или сужающейся).
5. Расчет самого узкого поперечного сечения литниковой системы.
6. Расчет поперечных сечений других элементов;
7. Эскиз спроектированной литниковой системы, включая поперечные сечения всех ее элементов, выполненных по ГОСТ 3.1125-88;
8. Дополнительные соображения и выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется литниковой системой?
2. Какие элементы составляют литниковую систему?
3. Какая литниковая система называется сужающейся?
4. С какой целью применяют сужающуюся литниковую систему?
5. Какая литниковая система называется расширяющейся?
6. В каких случаях применяют расширяющуюся литниковую систему?

Список литературы

1. Трухов А. П. и др. Технология литейного производства: литье в песчаные формы: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: изд. центр «Академия», 2005. 528 с.
2. Гини Э. Ч., Зарубин Э. Ч., Рыбкин В. А. Технология литейного производства: Специальные виды литья: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 352 с.

3. Каширцев Л. П. Литейные машины. Литье в металлические формы: учебное пособие. М.: Машиностроение. 2005. 365 с.

4. Чуркин Б. С. и др. Технология литейного производства: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф. пед. ун-та, 2006. 662 с.

5. Трухов А. П., Маляров А. И. Литейные сплавы и плавка. Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 336 с.

6. Специальные способы литья: Справочник / под общ. ред. В. А. Ефимова. М.: Машиностроение, 1991. 436 с.

7. Цветное литье: Справочник / под общ. ред. Н. М. Галдина. М.: Машиностроение, 1989. 528 с.

8. Деменов О. Б., Мухамадеев И. Р., Павлинич С. П. Основы конструирования отливок: учеб. пособие. УГАТУ, 2012. 83 с.

9. ГОСТ 3.1125-88. Правила выполнения элементов литейных форм и отливок. Введ. 1989-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2003.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3 РАСЧЕТ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

3.1. Цель занятия

Знать (на уровне узнавания) методику расчета и устройство шахтной электрической печи сопротивления

Уметь (на уровне первоначального опыта) выполнять расчет нагревательной плавильной печи.

Работа выполняется за 4 часа.

3.2. Теоретическая часть

Электрические печи сопротивления находят широкое применение в литейных цехах. Они делятся на два класса: нагревательные и плавильные.

Нагревательные печи используются в литейном производстве для термообработки отливок, прокалики форм перед заливкой металла, сушки форм, стержней, исходных формовочных материалов.

В основе работы печей сопротивления лежит принцип теплогенерации в рабочем теле при приложении к нему разности потенциалов, который требует обязательного наличия в рабочем теле свободных зарядов (ионов и электронов), т. е. его электропроводности.

Приложенная разность потенциалов вызывает направленное движение свободных зарядов, т.е. возникает электрический ток и при его протекании по проводнику, имеющему сопротивление, выделяется тепло.

Согласно закону Джоуля-Ленца

$$Q = UJt = I^2 R t \text{ (Дж)}$$

где U – приложенная разность потенциалов, В; J – сила тока, А; R – сопротивление, Ом; t – время, с.

В литейных цехах применяются печи косвенного действия, где в качестве рабочего тела используются нагревательные элементы, выполненные из специальных материалов, в которых происходит превращение электрической энергии в тепловую, передаваемую в дальнейшем нагреваемым изделием излучением при рабочей

температуре выше 600–700 °С и конвекцией в печах с принудительной циркуляцией атмосферы.

Работа нагревателей происходит в тяжелых температурных условиях. Поэтому к ним предъявляются следующие требования:

1) высокая жаростойкость, неокисляемость под действием кислорода воздуха в условиях высоких температур;

2) достаточная жаропрочность, чтобы нагреватели не деформировались и не разрушались под собственным весом в течение длительного времени при высоких температурах;

3) большое удельное сопротивление. Чем меньше удельное сопротивление материала, тем должна быть больше длина и меньше поперечное сечение нагревателя. Такой нагреватель конструктивно неудобен;

4) малый температурный коэффициент сопротивления. Чем коэффициент больше, тем больше разница в электрическом сопротивлении горячего и холодного нагревателя и в мощности, забираемой от сети. Пока нагреватели не нагреются, печь берет из сети повышенную мощность;

5) постоянство размеров;

6) удовлетворительная обрабатываемость с возможным получением ленты, проволоки, спирали, свариваемость.

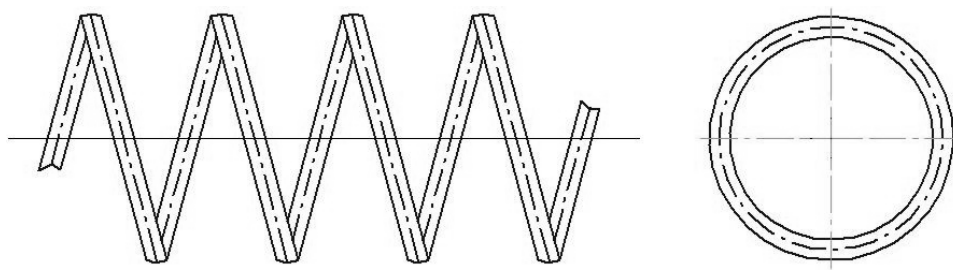
Нагреватели выполняются в виде проволоки, ленты и стержней, иногда литыми и штампованными. В современных электропечах сопротивления обычно используют следующие типы нагревательных элементов: проволочные зигзагообразные, проволочные спиральные, ленточные зигзагообразные (рис. 3.1).

Для изготовления нагревательных элементов применяются металлические и неметаллические материалы.

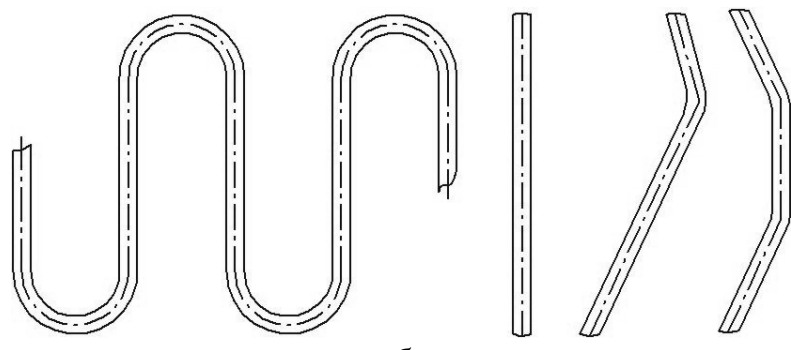
Нихромы – двойные сплавы никеля (75–78%) с хромом хорошо работают до температур 1100–1150 °С.

Железохромоалюминиевые сплавы, модифицированные цезием и барием, могут работать до 1200–1300°С, но они очень хрупкие и непрочные.

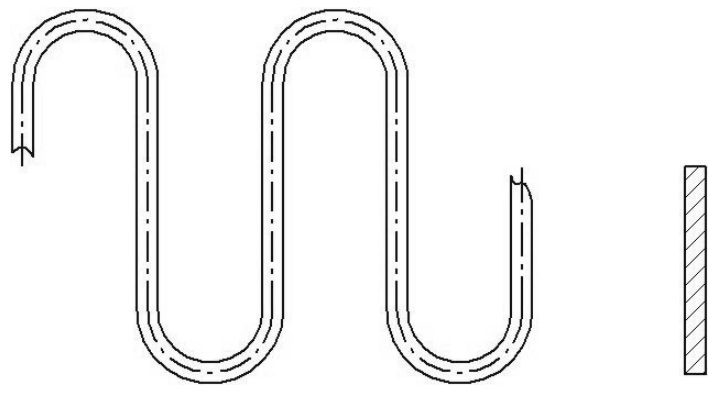
Силитовые и глобаровые нагреватели представляют собой карборундовые стержни, отличающиеся друг от друга конструктивным исполнением с сечением 8–30 мм и длиной активной части до 560–1200 мм. Они выдерживают температуру до 1400–1450 °С. Стержни хрупкие, требуют осторожного обращения. Применяются для работы в окислительной среде.



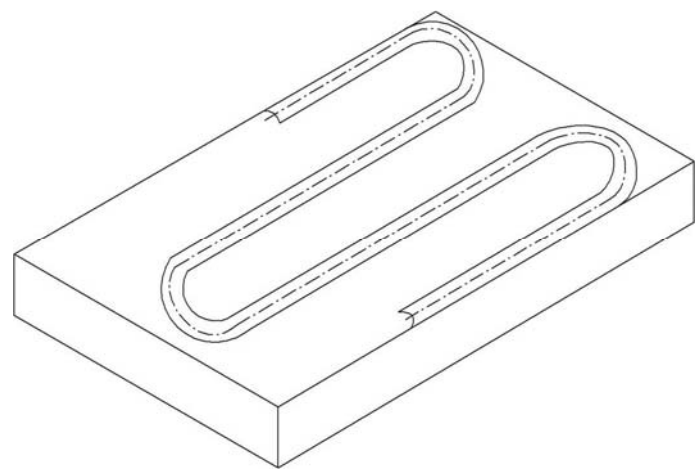
a



б



в



г

Рис. 3.1. Эскизы проволочных и ленточных нагревателей:
a – спираль проволочная; *б* – зигзаг проволочный; *в* – зигзаг ленточный;
г – зигзаг проволочный на керамических плитках

Нагреватели из дисцилицида молибдена работают в окислительной атмосфере при температурах до 1700 °С. Ввиду малого сопротивления, они изготавливаются тонкими по сечению и устанавливаются в печи вертикально.

Угольные и графитовые нагреватели выполняются в виде стержней, труб, тиглей и пластин. Они интенсивно окисляются на воздухе, поэтому могут работать только в вакууме или в защитной среде.

Молибденовые нагреватели применяются в виде проволоки в высоковакуумных печах средой при рабочих температурах до 2000 °С.

3.3. Задание

Выполнить расчет геометрических параметров электрических нагревателей печи для плавки алюминиевых сплавов. Рабочая температура в печи – 880 °С. Мощность печи указывается преподавателем. Напряжение питающей сети 220 В.

Расчет должен включать выбор типа нагревателя, материала для его изготовления, определение размеров: поперечного сечения, длины и размещение внутри печи.

Выполнить расчет геометрических параметров электрических нагревателей печи для плавки алюминиевых сплавов. Рабочая температура в печи – 880 °С. Мощность печи указывается преподавателем. Напряжение питающей сети 220 В.

Расчет должен включать выбор типа нагревателя, материала для его изготовления, определение размеров: поперечного сечения, длины и размещение внутри печи.

3.4. Методические указания по выполнению задания и обработке результатов

Внимательно ознакомиться с теоретической частью задания. Разобрать совместно с преподавателем возникшие неясные вопросы.

1. Нарисовать упрощенную схему печи с указанием ее основных частей и элементов.

2. Описать следующие основные узлы конструкции:

а) кожух печи;

б) дверцы

в) нагреватели;

г) футеровку;

д) узел установки термопары.

3. В соответствии с расположением садки в печи и требованиями технологии выбирать расположение нагревателей на стенках рабочей камеры печи (только на боковых стенках, только в поду и на своде, или на всех стенках камеры).

4. Определить рабочую температуру нагревателей по формуле

$$t_{\text{н}} = t_{\text{м}} + 100 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

5. По табл. 3.1 выбрать материал нагревателя и определить величину удельного электросопротивления.

6. Определить допустимую удельную поверхностную мощность идеального нагревателя в зависимости от степени черноты поверхности материала нагревателя и конечной температуры нагреваемого материала

$$W_{\text{уд}} = \frac{5,76 \cdot 10^{-4}}{\frac{1}{\varepsilon_{\text{н}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{изд}}} - 1} \left[\left(\frac{T_{\text{н}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{изд}}}{100} \right)^4 \right],$$

где $\varepsilon_{\text{н}}$ – степень черноты нагревателя – 0,7–0,8; $\varepsilon_{\text{изд}}$ – степень черноты изделия (табл. 3.3); $T_{\text{н}}$, $T_{\text{м}}$ – температуры нагревателя и изделия, К; $W_{\text{уд}}$ – удельная поверхностная мощность идеального нагревателя, Вт/см².

7. Выбрать тип нагревателя по относительной мощности стен (табл. 3.2).

$$P_{\text{ст.отн}} = \frac{P}{F_{\text{ст}} \cdot W_{\text{уд}}},$$

где P – мощность нагревателя, приходящаяся на данную стенку, кВт; $F_{\text{ст}}$ – площадь поверхности стены (свода или пода), на которой расположены нагреватели, м².

Если полученному значению относительной мощности стен соответствуют несколько типов нагревателей, то нужно выбирать проволочный зигзагообразный нагреватель.

8. Определить удельную поверхностную мощность W нагревателя по формуле

$$W = \alpha \cdot W_{\text{уд}},$$

где α – поправочный коэффициент (табл. 3.3).

9. Принять схему электрического соединения нагревателей и найти величину фазового напряжения: при схеме соединения «треугольник» $I_{\phi} = I_c$; при схеме соединения «звезда» $I_{\phi} = I_c/3$.

10. Найти геометрические размеры нагревателя по следующим соотношениям:

а) для проволочного нагревателя:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \rho \cdot P^2 \cdot 10^{11}}{\pi^2 \cdot U^2 \cdot W}};$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U^2}{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot W^2 \cdot 10^5}};$$

$$G = \rho_m \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot P^5}{160 \cdot \pi^2 \cdot U^2 \cdot W^4}};$$

б) для ленточного нагревателя:

$$a = \sqrt[3]{\frac{\rho \cdot P^2 \cdot 10^{11}}{2 \cdot m \cdot (m+1) \cdot U^2 \cdot W}};$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{P \cdot U^2 \cdot m}{4 \cdot (m+1)^2 \cdot \rho \cdot W^2 \cdot 10^5}};$$

$$G = \rho_m \cdot \sqrt[3]{\frac{m^2 \cdot \rho \cdot P^5}{160 \cdot (m+1)^4 \cdot U^2 \cdot W^4}},$$

где P – мощность печи или зоны, кВт (мощность одной параллельной ветви, если в печи несколько ветвей и мощность одной фазы, если печь трехфазная); U – напряжение питающей сети, В (для трехфазной печи – фазовое, если нагреватели включены в звезду, и линейное, если нагреватели включены в треугольник); ρ – удельное сопротивление материала нагревателя, отнесенное к его рабочей температуре, Ом·м; ρ_m – плотность материала нагревателя, кг/м³; L , G – длина и вес нагревателя, м, кг (одной параллельной ветви и одной фазы); d – диаметр круглого нагревателя, мм; a , b – стороны прямоугольного ленточного нагревателя, мм; $m=b/a=10$; W – удельная поверхностная мощность нагревателя, Вт/см².

11. Разместить нагреватели в камере печи по указаниям, приведенным выше. Если рассчитанные нагреватели не размещаются в печи, необходимо либо заменить материал нагревателя (взять более жаростойкий, допускающий большую удельную поверхностную мощность), либо снизить питающее печь напряжение, руководствуясь следующими соображениями:

а) с точки зрения экономии расхода материала нагревателя целесообразно применять высокое напряжение, дробить мощность печи (увеличивать число параллельных ветвей), переходить на более высококачественный, более жаростойкий материал, заменять проволочные нагреватели ленточными;

б) для облегчения размещения нагревателя в печи нужно уменьшить питающее печь напряжение, увеличить мощности отдельных ветвей, брать более высококачественный с большим удельным сопротивлением материал.

В большинстве случаев проволочные спиральные нагреватели легче размещаются по сравнению с ленточными.

Таблица 3.1

Рекомендуемая и максимально допустимая температуры нагревателей

Наименование материала нагревателя	Рекомендуемая температура, °С		Максимально допустимая температура, °С		Плотность, кг/м ³	Удельное электрическое сопротивление ×10 ⁻⁶ , Ом·м
	Непрерывный режим	Прерывистый режим	Непрерывный режим	Прерывистый режим		
X20H80 и X20H80T	1050	1000	1150	1100	8400	1,1 (20 °С); 1,12 (600–1000 °С)
X15H60	950	900	1050	1000	8200	1,1 (20 °С); 1,12 (600–1000 °С)
X25H20 X23H18	850	800	1000	950	7880	0,92 (20 °С); 1,3 (800 °С)
X13Ю4 (фехраль)	750	650	900	800	7400	1,26 (20 °С); 1,4 (800 °С)
OX23Ю5А (Эи595)	1050	1000	1200	1150	7200	1,35 (20 °С); 1,45 (600–1000 °С)
OX27Ю5А (Эи626)	1150	1100	1300	1250	7190	1,42 (20 °С); 1,48 (600–1000 °С)
Карборундовые	1350	1300	1450	1400	2250	809–1900
Нагреватели из дисилицида молибдена	1550	1500	1700	1650	5600	0,3 (20 °С); 2,2 (1000 °С); 3,0 (1300 °С); 3,65 (1600 °С)
Графит	–	–	2700	2700	1460–1600	40–60

Таблица 3.2

Относительные мощности различных нагревателей

Наименование нагревателя	$P_{ст.отн}$
Ленточный зигзагообразный	0,9–0,95
Плоский ленточный зигзагообразный	0,95–1,0
Проволочный спиральный	0,90–0,95
Ленточный зигзаг в пазу	0,70–0,75
Проволочная спираль в пазу	0,75–0,80
Ленточный зигзаг на полке	0,60–0,65
Проволочная спираль на полке	0,65–0,70
Проволочная спираль на трубке	0,95–1,0

Таблица 3.3

Значения коэффициента α при нагреве материалов с различной степенью черноты

Тип нагревателя	Степень черноты				
	$\varepsilon=0,8$ сталь окисленная	$\varepsilon=0,7$ медь окисленная	$\varepsilon=0,6$ латунь	$\varepsilon=0,45$ сталь неокисленная	$\varepsilon=0,3$ алюминий
Ленточный зигзагообразный	0,46	0,47	0,48	0,51	0,54
Плоский ленточный зигзагообразный	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
Проволочные спирали	0,46	0,47	0,48	0,49	0,51
Ленточный зигзаг в пазу	0,44	0,45	0,46	0,5	0,54
Проволочная спираль в пазу	0,31	0,32	0,33	0,34	0,36
Проволочная спираль на керамической полочке	0,33	0,40	0,41	0,44	0,46

3.5. Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Название практического занятия;
2. Цель практического занятия;
3. Схему устройства печи и описание основных узлов конструкции;
4. Расчет электрических нагревателей.
5. Предложения по изменению конструкции, если они появились;
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Какие типы нагревателей используются в печах сопротивления?
2. На какие группы подразделяются нагреватели?
3. Перечислите требования, которые предъявляются к материалам нагревательных элементов.
4. Каким образом можно повысить экономическую эффективность нагревателя?

Список литературы

1. Электротермическое оборудование: Справочник / под ред. А. П. Альтгаузена, М. Я. Смелянского, М. С. Швецова. М.: Энергия, 1980. 436 с.