

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Кафедра «Технологии функциональных и конструкционных материалов»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ
ЦВЕТНОЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ"

Составитель
В.А. КЕЧИН

Владимир, 2019

УДК 621.74
ББК 34.61

Рецензент
Доктор технических наук, директор ООО «Ферромаг»
Е.В.Сидоров

Рекомендуется к изданию в электронном виде по решению кафедры
ТФиКМ (протокол № 10 от 21.06.2019 г.)

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине
"Прогрессивные технологии плавки цветнолитейных сплавов", ВлГУ; (Электронный
ресурс), 2019, - 36 с.

Методические указания содержат общие организационные положения и требования к оформлению отчетов. Дают представление о свойствах и характеристиках сплавов на основе цветных металлов, а также расчетных методах определения физических и литейных свойств сплавов. Содержат информацию о выборе шихтовых материалов и методах расчета шихты.

Предназначены для магистрантов направления подготовки 22.00.00 по программам 22.04.01 и 22.04.02.

Табл.12 . Библиогр.: 13 назв.

УДК 621.74
ББК 34.61

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	4
Общие организационные положения и требования к отчету.....	4
Работа № 1. Изучение свойств и характеристик сплава	5
Работа № 2. Определение литейных свойств сплава и контроль качества отливок.....	8
Работа № 3. Выбор шихтовых и вспомогательных материалов. Методы расчета шихты.....	13
Приложение № 1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ И РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И РАФИНИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	27
Приложение № 2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ И РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ.....	32
Библиографический список.....	34

ПРЕДИСЛОВИЕ

При подготовке методических указаний к практическим занятиям по дисциплине «Прогрессивные технологии плавки цветнолитейных сплавов», написанных в соответствии с учебной программой курса, использован опыт преподавания на кафедрах, выпускающих магистров, а также методические материалы, справочники и пособия, написанные ведущими преподавателями литейных кафедр Российских вузов (НИТУ МИСиС, ЮУрГУ, СибФУ, САМГТУ и др.).

Представленные работы направлены на усвоение и закрепление лекционного материала дисциплины, затрагивающей вопросы свойств и характеристик сплавов на основе цветных металлов, освоения различных методов расчета.

Выполнение практических работ будет способствовать освоению профессиональных компетенций ПК-1, ПК-3, ПК-5.

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Основное внимание в практических работах по дисциплине «Прогрессивные технологии плавки цветнолитейных сплавов» уделено развитию навыков самостоятельной работы студентов, значительная часть которой выполняется на уровне работы с литературой.

Перед студентами ставится задача изучения особенностей плавки основных марок цветных сплавов. Выделяются следующие вопросы:

- анализ свойств и характеристик сплава и компонентов шихты;
- расчет шихты для приготовления заданного состава сплава;
- методы внепечной обработки металлических расплавов;
- характеристика плавильных агрегатов;
- разработка технологии приготовления сплава с заданными свойствами;
- изучение методов оценки качества сплава.

С целью более полного освоения курса в ходе практических занятий предусмотрено использование ПЭВМ. Настоящие методические указания составлены таким образом, чтобы, ознакомившись с содержанием работы, изучив рекомендуемую литературу и воспользовавшись справочными данными, студент мог самостоятельно решать поставленные задачи.

Практические работы носят аналитический характер. При этом каждому студенту выдается индивидуальная марка сплава для проведения анализа и выполнения инженерных расчетов.

Отчет по работам оформляется каждым студентом в тетради или на стандартных листах. За титульным листом следует задание, полученное студентом в начале выполнения практического занятия. Далее идет оглавление, в котором должны быть указаны разделы отчета и номера страниц. Содержание отчета должно соответствовать оглавлению данных методических указаний. В отчете необходимо привести список литературы, а в тексте ссылки на литературу.

Работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВА

Цель работы: изучение физических, химических и технологических свойств заданного сплава, определение типа диаграммы состояния и фазового состава сплава в зависимости от вида применяемой обработки.

Общие сведения

В современной технике известно большое количество сплавов, отличающихся друг от друга составом и физико-механическими свойствами. Основой большинства промышленных сплавов являются металлы, известные человечеству с давних времен: медь, железо, цинк, олово, свинец, золото, а также освоенные сравнительно недавно никель, титан, вольфрам, молибден, цирконий, хром и др. В состав сплавов входят также и неметаллы - углерод, кремний, фосфор, сера, кислород, бор, и др. По основному элементу сплав получает свое название. Некоторые сплавы имеют специальные названия. Например, сплавы меди с цинком называют латунями, меди с оловом - бронзами, сплавы железа с углеродом и кремнием - сталью (до 2% С) и чугуном (2,0...6,0 % С и 1,5...2,0% Si).

Кроме основы, в состав сплавов входят легирующие элементы и примеси. Современный уровень развития металлургии не позволяет получать совершенно чистые металлы без примесей. По этой причине даже сверхчистые металлы следует рассматривать в ряде случаев как сплавы.

Химический состав сплава регламентируется ГОСТом или техническими условиями. Содержание основного компонента в сплаве колеблется обычно в широких пределах. В меньших пределах допускается колебание легирующих элементов. Что касается примесей, то, как правило, указывается верхний предел содержания их в сплаве, превышение которого выводит сплав в брак.

По технологическому назначению сплавы можно подразделить на несколько групп: рабочие сплавы; лигатуры; вторичные сплавы.

Большинство лигатур и рабочих сплавов производят путем непосредственного сплавления компонентов. В качестве шихтовых материалов используют чистые ме-

таллы, отходы, вторичные металлы и сплавы, лигатуры. Основное достоинство способа - высокая производительность и возможность получения сплавов с низкой загрязненностью металлическими примесями и неметаллическими включениями со строго определенным химическим составом и необходимыми физико-химическими и механическими свойствами.

Особенно важное значение в современной технике имеют черные (чугуны и стали) и цветные сплавы на основе алюминия, меди и цинка. Основными особенностями этих сплавов являются высокая удельная прочность, пластичность и коррозионная стойкость.

Технология получения различных сплавов также имеет свои особенности, обусловленные не только физико-химическими свойствами сплава, но и условием эксплуатации литых изделий.

Качество приготовленного сплава зависит от многих факторов, среди которых первостепенное значение имеют:

- выбор оптимального соотношения компонентов сплава;
- выбор плавильного агрегата, виды энергии и материала футеровки печи;
- правильный выбор шихтовых и вспомогательных материалов;
- выбор способов предотвращения возможного загрязнения расплава;
- выбор способов рафинирования, дегазации и раскисления расплава.

Порядок проведения работы

Работа рассчитана на 6 часов.

1. Получить у преподавателя задание на выполнение работы.
2. Изучить химический состав сплава и представить в виде таблицы с указанием содержания легирующих и примесных элементов в заданном сплаве в соответствии со стандартом.
3. Ознакомиться с физико-химическими и механическими свойствами сплава и представить соответствующие сведения в виде таблицы.
4. Определить тип диаграммы состояния, к которой относится сплав. В этой части работы необходимо сделать рисунок диаграммы состояния, обозначить на ней области существования фаз и дать их характеристику.
5. Определить и изучить фазовый состав и природу сплава в литом, модифицированном и термообработанном состояниях.

Необходимо указать:

- 1) элементы-модификаторы, применяемые для обработки данного сплава, способ ввода и их влияние на структуру затвердевшего металла;
- 2) режимы термической обработки, применяемые для данного сплава.

Следует определить, какие фазы составляют структуру сплава в литом, модифицированном и термообработанном состояниях, а также провести сравнитель-

ный анализ фазового состава сплава до и после обработки, если таковая предусмотрена для данного сплава.

5. Изучить физические, механические и технологические свойства сплава. Данные представить в виде таблиц в сопоставлении со свойствами других сплавов изучаемой группы (2 - 3 сплава). Из технологических свойств наибольший интерес представляют литейные свойства : жидкотекучесть, усадка линейная и объемная, пористость, склонность к появлению горячих трещин, газонасыщенность.

При характеристике механических свойств следует указать способы литья и режимы обработки сплава.

6. Пользуясь справочными материалами показать области применения заданного сплава.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. В соответствии с порядком выполнения работы описание свойств и характеристик заданного сплава.

Контрольные вопросы

1. Какие элементы Периодической системы называют металлами?
2. Какими специфическими свойствами обладают цветные металлы?
3. Как в природе распространены цветные металлы?
4. Какие цветные металлы и почему определяют ускоренное развитие промышленности? Автомобилестроение? Аэрокосмическая отрасль?
5. Укажите основные задачи литейщиков в области получения цветных сплавов.
6. Дайте определение понятия «сплав».
7. Как разделяют сплавы по технологическому назначению?
8. Какие требования предъявляют к сплавам?
9. Какие компоненты сплавов называются легирующими и примесными?
10. К какому типу относится диаграмма состояния исследуемого сплава?
11. Как меняется структура металла при термообработке и модифицировании?
12. С какой целью производится модифицирование сплава?
13. Какими конкретными свойствами обусловлена область применения исследуемого сплава?

Работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК

Цель работы: оценить правильность разработанной технологии приготовления заданного сплава и исследовать его основные свойства в соответствии с технологическим процессом плавки.

Общие сведения

Для оценки правильности разработанной технологии приготовления заданного сплава проводятся исследования следующих свойств и характеристик:

- фактической плотности γ_f , г/см³;
- расчетной пористости П, %;
- балла пористости Б (I-V)
- твердости..... НВ
- предела прочности на разрыв σ , МПа;
- жидкотекучести L, мм.

Результаты исследований заносятся в табл. 2.1

Таблица 2.1

Результаты исследований

№ п/п	Исследуемый параметр	Состояние расплава	
		исходный	после физико-химической обработки

Определение фактической плотности сплава

Определение фактической плотности сплава проводят методом гидростатического взвешивания. Для этого небольшую порцию сплава заливают в металлическую изложницу. После охлаждения от нижней части полученного слитка отрезают образец высотой 10 мм, который взвешивают на воздухе и в жидкости (чаще всего в дистиллированной воде), и определяют фактическую плотность по формуле

$$\gamma_{\text{тм}} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{в}} - m_{\text{ж}}} \cdot \gamma_{\text{ж}},$$

где $m_{\text{в}}, m_{\text{ж}}$ - масса образца на воздухе и в жидкости соответственно, г; $\gamma_{\text{ж}}$ - плотность жидкости, г/см³.

Определение пористости сплава

Для определения расчетной пористости сплава используют формулу

$$\Pi = \frac{\gamma_m - \gamma_{\phi}}{\gamma_m} 100\%,$$

где γ_m, γ_{ϕ} - теоретическая и фактическая плотности сплава соответственно, г/см³.

Определение балла пористости

Для определения балла пористости необходимо отлить образцы, разрезать их по вертикальной плоскости, зачистить поверхность напильником и приготовить микрошлиф, после чего протравить (состав используемого травителя зависит от марки сплава).

После этого подсчитать число газовых пор, приходящихся на 1 см площади шлифа (на трех - пяти участках), после чего оценить диаметр пор и с помощью шкалы пористости ВИАМ (табл. 2.2) определить балл пористости.

Таблица 2.2

Балл пористости	Количество пор на 1 см	Диаметр пор, мм	Доля пор данного размера, %
1	До 5	До 0,1	90
		До 0,2	10
2	До 10	До 0,1	80
		До 0,2	20
3	До 15	До 0,3	80
		До 0,5	20
4	До 20	До 0,5	70
		До 0,1	30
5	До 25	До 0,5	60
		До 1,0	30
		Св.1,0	10

Определение твердости и предела прочности на разрыв

Твердость определяют на приборе ТШ - 2. Испытания проводят по 3 - 4 раза на каждом образце. Диаметр каждого отпечатка измеряют по двум направлениям и определяют среднее значение.

Численное значение твердости сплава находят по формуле, кгс/мм

$$HB = \frac{4P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)},$$

где P - нагрузка, кгс; D - диаметр шарика, мм ; d - диаметр отпечатка, мм .

Если твердость определяется не по методу Бринелля, то полученные величины необходимо перевести в значения НВ (т.е. в значения, соответствующие методу Бринелля), пользуясь соответствующей литературой.

Известно, что между твердостью по Бринеллю и пределом прочности пластичных деформируемых металлов существует ориентировочная зависимость.

$$\sigma = \kappa HB,$$

где κ - коэффициент пропорциональности, равный для различных сплавов соответственно

для алюминиевых	- 0,37,
для медных	- 0,55,
для цинковых	- 0,41,
для стали	- 0,35.

Определение жидкотекучести

Различают, как известно, нулевую, истинную, условно-истинную и практическую жидкотекучесть.

Жидкотекучесть и формозаполняемость сплавов определяют по технологическим пробам. Мера жидкотекучести во всех пробах - степень заполнения сплавом полости формы по длине. Мера относительной формозаполняемости - F :

$$F = \frac{\lambda - l}{\lambda} 100\% ,$$

где l - длина пробы в конце потока, на которой наблюдается сужение сечения, мм; λ - абсолютная формозаполняемость, т.е. длина пробы без сужения сечения, мм.

Пробы по конструкции можно подразделить на три группы:

- постоянного сечения (спиральная, прутковая, лабиринтная, U-образная, винтовая);
- переменного сечения (клиновья, шариковая);
- комбинированные.

Перед заливкой форму необходимо установить строго горизонтально по уровню.

1) Спиральные пробы применяются обычно для определения жидкотекучести Cu, Al, Zn и ряда других сплавов. Спиральная проба (спираль Кери) дает сравнимые результаты жидкотекучести цветных металлов и сплавов при постоянных условиях заливки, т.е. необходимо соблюдать постоянство температуры перегрева металла.

2) Проба Нехендзи - Купцова.

Численное значение жидкотекучести определяют по формуле,

$$\lambda = l_1 + l_2 + \pi R + S,$$

Определение усадки

Усадку линейную, литейную и объемную определяют по образцам. Линейную (свободную) усадку можно определять на приборах конструкции

И.Ф. Большакова с встроенными индикаторами или методом А.А.Бочвара, когда в соприкосновение с залитым прямым образцом устанавливается индикатор, фиксирующий изменение размера образца.

В простейшем варианте усадка определяется по изменению размера образца. При этом линейная усадка - это разница между линейными размерами полости в форме и размером полученной отливки после полного охлаждения.

$$\varepsilon_l = \frac{l_{нф} - l_{отл}}{l_{отл}} 100\%$$

где ε_l - линейная усадка, %; $l_{нф}$ - линейный размер полости формы, мм; $l_{отл}$ - линейный размер отливки, мм.

Литейной усадкой называют разницу между линейными размерами модели $l_{мод}$ и отливки $l_{отл}$

$$\varepsilon_{лит} = \frac{l_{мод} - l_{отл}}{l_{отл}} 100\%$$

Литейная усадка отличается от линейной тем, что она зависит не только от свойств и состава металла и сплава, но также и от конструкции отливки, конструкции формы и некоторых других факторов.

Объемная усадка - разница между объемом полости формы и объемом отливки после ее полного охлаждения.

$$\varepsilon_v = \frac{V_{нф} - V_{отл}}{V_{отл}} 100\%,$$

где ε_v - объемная усадка, %; $V_{нф}$ - объем полости формы, см³; $V_{отл}$ - объем отливки, см³.

Для определения объемной усадки применяют разнообразные технологические пробы. Чаще всего это конусные пробы различных размеров. При определении объемной усадки необходимо учитывать, что она складывается из усадки в жидком состоянии, усадки в температурном интервале $t_l - t_c$ и усадки в твердом состоянии. Поэтому необходимо различать изменение объема сплава в отливке и изменение объема самой отливки. При этом чем больше температурный интервал кристаллизации сплава, тем больше склонность сплава к образованию рассеянной пористости, а у сплавов с узким интервалом кристаллизации, у чистых металлов и сплавов эвтектического состава - склонность к образованию концентрированной усадочной раковины. В то же время картина затвердевания в значительной степени за-

висит от интенсивности охлаждения. Поэтому для получения сравнимых результатов необходимо четко оговаривать именно этот параметр.

При выполнении работы в формы заготовленных проб необходимо залить приготовленный сплав (с небольшим перегревом). После охлаждения выбить пробы из формы и погружением в мензурку с водой узнать объем отливки ($V_{отл}$). После этого по приведенному выше выражению найти объемную усадку.

Определение размеров макро- и микрозерна

Для определения размера макрозерна необходимо надпилить и сломать образцы, а для определения микрозерна изготовить шлифы и протравить их. Затем определить размеры макро- и микрозерна одним из известных способов.

1) Способ Джеффриса. Число зерен (не менее 50) подсчитывают на матовом стекле микроскопа в пределах площади, ограниченной окружностью $\varnothing 79,8$ мм. При увеличении в 100 раз это соответствует площади на шлифе 0,5 мм. Общее число зерен подсчитывают по формуле

$$n_{100} = n + 0,5n_l ,$$

где n - число зерен внутри круга; n_{100} - число зерен, пересекающихся окружностью.

Число зерен, приходящихся на 1 мм поверхности шлифа, равно

$$N = 2n_{100} .$$

Среднее число зерен N_{cp} находят, подсчитывая их число для трех характерных участков микрошлифа. Среднюю площадь зерен F_{cp} и их диаметр d_{cp} вычисляют по формулам

$$F_{cp} = 1/N_{cp} ; \quad d_{cp} = 1/N_{cp} .$$

2) Способ секущих. Величину зерен характеризуют средним условным диаметром, который определяют по изображению на матовом стекле микроскопа. С этой целью произвольно проводят несколько прямых линий так, чтобы каждая пересекала не менее 10 зерен. После этого подсчитывают число зерен, пересекаемых каждой линией. Затем делят суммарную длину всех линий на число зерен и, учитывая выбранное увеличение, получают средний условный диаметр зерна:

$$d_{cp.у.} = (\Sigma l / \Sigma N) q ,$$

где Σl - суммарная протяженность секущих линий, мм ; ΣN - суммарное количество зерен, попавших в пересечение, включая и те зерна, которые полностью не пересечены у концов линий ; q - увеличение.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 6 часов.

1. Подготовить образцы для испытаний.
2. Определить фактическую плотность и рассчитать пористость сплава.
3. Определить балл пористости.

4. Измерить твердость и вычислить предел прочности на разрыв.
5. Изготовить и изучить шлиф, зарисовать микроструктуру исходного и обработанного сплава.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание исследуемых свойств.
3. Расчеты фактической плотности, пористости, предела прочности на разрыв в сравнении с табличными данными.
4. Рисунки структуры сплава до и после соответствующей физико-химической обработки.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено различие фактической и теоретической плотности сплава?
2. В чем заключается причина возникновения пористости отливок?
3. Что показывает величина балла пористости?
4. Чем отличается линейная усадка от литейной?
5. Какие примеси оказывают наибольшее влияние на изменение микроструктуры?

Работа № 3

ВЫБОР ШИХТОВЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ШИХТЫ

Цель работы: выбрать шихтовые материалы для приготовления сплава заданного состава и рассчитать шихту одним из известных методов.

Общие сведения

Качество используемых в промышленности сплавов зависит, в первую очередь, от их химического состава. Для некоторых сплавов даже небольшие изменения состава сопровождаются большими отклонениями в заданных свойствах. Поэтому вопросам выбора шихтовых материалов должно уделяться серьезное внимание.

Чтобы правильно решить вопрос о предельно-допустимых содержаниях примесных элементов в сплаве, следует учитывать требования, предъявляемые к нему

в процессе службы изделий из этого материала, а также успешное проведение соответствующей обработки при изготовлении отливок.

Используемые шихтовые материалы должны быть такими по составу, при котором обеспечивается получение готового сплава с количеством примесей, не превышающем допустимые пределы.

При составлении шихты для сплава должны быть учтены помимо чисто экономических показателей физические и химические свойства легирующих компонентов и основного металла. Цинк, например, при нагреве его выше температуры плавления сильно испаряется и энергично окисляется. Плавка алюминиевых сплавов в шамотных тиглях, содержащих кремнезем, сопровождается восстановлением последнего и переходом кремния в сплав, а алюминий, перейдя в оксиды, шлакуется имеющимся кремнеземом. Поэтому плавка алюминия в шамотных тиглях без специальной обработки поверхности тигля недопустима.

Если не учитывать поведение составляющих шихты в процессе приготовления сплавов, то можно получить состав их, в большей или меньшей мере отличающийся от расчетного. Снижение угара при плавке может быть осуществлено за счет применения лигатур, которое обусловлено также необходимостью получать сплав заданного состава.

Это особенно важно в тех случаях, когда легирующая добавка вводится в малых количествах и когда колебания в составе некоторых компонентов ограничиваются узкими пределами. Во всех случаях для получения сплава заданного состава необходимо применять исходные материалы с известным химическим составом.

Угар металлов при плавке сплавов зависит от многих факторов: продолжительности плавки, типа применяемых плавильных агрегатов, тщательности предохранения сплава от печной атмосферы, температуры перегрева, состава шихтовых материалов и т.д.

Содержание каждого компонента сплава в шихте рассчитывается с учетом его угара в ходе плавки по формуле

$$C_{\text{иш}} = (C_{\text{ic}} \cdot 100) / (100 - Y_i), \quad (3.1)$$

где C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, % ; Y_i - угар данного компонента при плавке, % .

При определении количества компонента сплава, вносимого возвратом собственного производства, используют формулу

$$C_i = (K_{\text{всп}} \cdot C_{\text{ивсп}} \cdot K_{y_i}) / 100, \quad (3.2)$$

где $K_{\text{всп}}$ - количество возврата собственного производства, % ; $C_{\text{ивсп}}$ - содержание компонента сплава в возврате собственного производства, % ; K_{y_i} - коэффициент усвоения компонента при плавке,

$$K_{y_i} = (100 - Y_i) / 100. \quad (3.3)$$

Количество остальных компонентов шихты (кроме возврата собственного производства) определяют по формуле

$$K_j = (C_{\text{ic}} - C_i) \cdot 100 / (C_{ij} \cdot K_{y_i}), \quad (3.4)$$

где K_j - расчетное количество шихтового материала, % ; C_{ic} - заданное содержание данного компонента в сплаве, % ; C_i - количество компонента сплава, уже внесенного в расплав, например, возвратом собственного производства, % ; C_{ij} - содержание данного компонента сплава в шихтовом материале, %.

Исходными данными при расчете являются:

- а) химический состав сплава по ГОСТ или ТУ;
- б) оптимальный или расчетный состав сплава;
- в) химический состав исходных шихтовых материалов;
- г) угар отдельных составляющих сплава в процессе его изготовления.

Расчет шихты ведут, как правило, на 100 кг сплава. Это значительно упрощает расчет. При расчете следует брать средний химический состав на данный сплав или оптимальный химический состав в пределах ГОСТа и ТУ, при котором сплав имеет наилучшие свойства.

Расчеты шихты могут проводиться арифметическим, аналитическим или графическим методами, в том числе с использованием ПЭВМ.

Порядок выполнения работы

Работа рассчитана на 6 часов.

1. Выбрать плавильный агрегат для получения заданного сплава. При выборе плавильного агрегата для плавки металлов и сплавов следует учитывать возможность получения наиболее качественного металла с минимальными потерями его составляющих. Выбор плавильного агрегата необходимо осуществлять, руководствуясь следующими критериями:

- масштаб производства;
- требования, предъявляемые к качеству выплавляемого сплава;
- экономичность приготовления сплава;
- технологические характеристики оборудования.

2. Определить тип огнеупорных материалов для изготовления футеровки плавильного агрегата или материал тигля и указать его состав и свойства, учитывая следующие требования:

- температуру плавления;
- жароупорность и стойкость против печной атмосферы;
- химическую стойкость в отношении расплавов и флюсов;
- коэффициент теплового линейного расширения;
- механическую прочность при нормальной и высокой температурах;

3. Установить величины угара элементов при получении сплава в зависимости от применяемого плавильного оборудования и шихтовых материалов (табл.3.1, 3.2).

4. Составить баланс металла для выплавки данного сплава.

5. Определить набор марок и установить химический состав шихтовых материалов.

6. Ознакомиться с существующими методами расчета шихты.

7. Рассчитать шихту одним из существующих методов, включая проверку на содержание наиболее вредных примесей, например таких, как железо в силуминах. Контроль содержания других примесей осуществлять косвенно, путем, учета суммарного количества примесей.

Таблица 3.1

Элемент	Сплавы			
	алюминиевые		магниевые	
	Тип плавильной печи			
	тигельная	отражательная	тигельная	отражательная
Li	до 10	до 15	до 15	до 20
Be	2-3	5-7	2-3	5-7/10-20
B	2-3	3-5	-	-
Na	2-3	3-5	2-4	4-6
Mg	2-3	3-5	1,0-1,5	1,5-2,0
Al	0,8-1,0	2-3	0,5-1,0	1,0-1,5
Si	1,0-1,5	2-5	0,2-1,0	2,0-3,0
K	1-2/2-3	2-3/3-55	1,0-2,5/2,0-3,0	2,0-3,5/3,0-5,0
Ti	1,0-1,5	2-5	1,0-1,5/2,0-5,0	2-5
V	0,5-1,0	1-2	1-2/2-4	2-5
Cr	0,5-1,0	1-2	-	-
Mn	1,0-1,5	1-2	0,2-1,0	2-
Fe	0,5-1,0	2-5	до1,0	до 1,5
Ni	0,5-1	0,5-1,0	до1,0	до 1,5
Cu	0,5-1,0	1,0-1,2	1,0-1,5	1-2
Zn	0,5-2,0	2-3	0,5-2,0	2-3
Y	-	-	до 1	-
Zr	1-2	3-55	1-2	3-5
Mo	0,5-1,0	0,5-2,0	-	-
Cd	до 2	до 5	до 2	до 5
Sn	0,2-0,5	1,0-1,5	до 0,5	1,0-1,5/1,0-2,0
La	-	-	до 8	-
Ce	0,5-1,0	1-2	до 5	до 10
Мишметалл	1-3	3-5	до 5	до 10
Nd	-	-	5	-

Таблица 3.2

Эле- мент	Сплавы				
	титановые	медные		цинковые	
	Тип плавильной печи				
	тигельная	тигельная	отражательная	тигельная	отражательная
Be	-	2-3	3-5	-	-
Na	-	2-3	3-5	-	-
Mg	-	3-5	5-10	до 2	3-5
Al	2,0-2,5	1,0-1,5	2-3	0,5-1,0	2-3
Si	15-20	до 1	1-5	до 1,5	2-3
K	-	1,5-2,5	2-4	-	-
Ti	0,1-0,2	до 5	до 10	до 1,5	2-5
V	до 0,1	-	-	-	-
Cr	15-20	2-3	3-5	-	-
Mn	10-15	1,0-1,5	2-3	1-2	2-3
Fe	10-15	0,5-1,0	0,5-2,0	-	-
Ni	-	0,5-1,0	1,0-1,5	до 1	до 1,5
Cu	-	0,3-1,0	1,0-1,5	до 1,0-1,5-2,0	1,0-1,5
Zn	-	2-3	5-10	1,5-2,0	3-5
Zr	до 0,1	3-10	5-15	-	-
Mo	до 0,1	-	-	-	-
Cd	-	6-20	15-40	2-3	3-5
Sn	20-30	0,5-1,0	1,0-1,5	до 0,5	1,0-2,5

Арифметический метод расчета шихты

Данный метод расчета применяется при определении количества компонентов шихты с известным количеством возвратов и некоторых других шихтовых материалов. Расчетное содержание того или иного элемента в шихте определяется по формуле (1) или (2). Определив среднее содержание элемента в шихте, рассчитывают процентное содержание составляющих шихты.

Пример расчета шихты с применением лигатуры: задано приготовить 30000 кг сплава Д16. Средний химический состав сплава - 4,4% Cu, 1,5% Mg, 0,6% Mn, 93,5% Al.

Исходные данные:

- 1) Алюминий чушковый марки А0.
- 2) Двойная лигатура Al - Mg марки АМг10, содержащая 10% Mg и 90% Al.
- 3) Двойная лигатура Al - Cu марки АМ50, содержащая 50% Cu и 50 % Al.
- 4) Тройная лигатура Al - Cu - Mn марки АМЦ 40-10, содержащая 40% Cu, 10% Mn, 50% Al.
- 5) Плавка будет производиться в отражательной пламенной печи. Угар компонентов: 1,5% Al, 2% Cu, 1,5% Mn, 4% Mg.

М е т о д и к а р а с ч е т а

1. Определяем состав металлической завадки:

- а) магния $(1,5 \cdot 100)/(100-4) = 1,562 \text{ кг};$
- б) меди $(4,4 \cdot 100)/(100-2) = 4,490 \text{ кг};$
- в) марганца $(0,6 \cdot 100)/(100-1,5) = 0,609 \text{ кг};$
- г) алюминия $(93,5 \cdot 100)/(100-1,5) = 94,924 \text{ кг}.$

2. Определяем необходимое количество лигатур:

- а) тройной лигатуры Al - Cu - Mn. Расчет ведется по марганцу
 $(0,609 \cdot 100)/10 = 6,09 \text{ кг}.$

С лигатурой вносятся :

- марганца $0,609 \text{ кг};$
- меди $(6,09 \cdot 4,0)/10 = 2,436 \text{ кг};$
- алюминия $6,09 - (0,609 + 2,436) = 3,045 \text{ кг};$

- б) двойной лигатуры Al - Cu. Расчет ведется по меди

$$[(4,490 - 2,436) \cdot 100] / 50 = 4,108 \text{ кг}.$$

С лигатурой вносятся : $2,054 \text{ кг}$ меди и $2,054 \text{ кг}$ алюминия;

- в) двойной лигатуры Al - Mg. Расчет ведется по магнию

$$(1,562 \cdot 100)/10 = 15,620 \text{ кг}.$$

С лигатурой вносятся магния $1,562 \text{ кг}$

$$\text{алюминия } 15,62 - 1,562 = 14,058 \text{ кг};$$

г) определяем суммарное количество каждого компонента, вносимого лигатурами:

- меди $2,436 + 2,054 = 4,490 \text{ кг};$
- марганца $0,609 \text{ кг};$
- магния $1,56 \text{ кг};$
- алюминия $3,045 + 2,054 + 14,058 = 19,157 \text{ кг}.$

3. Определяем количество алюминия, которое необходимо ввести в чистом виде:

$$94,924 - 19,057 = 75,867 \text{ кг}.$$

4. Определяем массу каждой составляющей шихты на одну плавку сплава ($30\,000 \text{ кг}$):

- а) тройной лигатуры

$$(30000 \cdot 6,09)/100 = 1827 \text{ кг};$$

- б) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 4,108)/100 = 1232 \text{ кг};$$

- в) двойной лигатуры

$$(30000 \cdot 15,62)/100 = 4686 \text{ кг};$$

- г) алюминия

$$(30000 \cdot 75,867)/100 = 22,760 \text{ кг}.$$

Таким образом, шихта будет состоять из следующих компонентов:

Алюминия марки А0	22760 кг
Тройной лигатуры АМЦ 40-10	1827 кг
Двойной лигатуры АМ 50	1232 кг
Двойной лигатуры АМг 10	4686 кг
Всего :	30505 кг.

Графический метод расчета шихты

Графический расчет шихты применяется при сравнительно малом количестве шихтовых материалов. Для большого количества компонентов этот метод применяется лишь в качестве проверки по нескольким элементам. Метод достаточно прост и удобен, но вследствие сравнительно малой точности применим только для расчета шихт сплавов с большими перепадами верхних и нижних пределов содержания основных элементов. К графическим методам расчета шихт относятся :

- метод параллельных координат;
- метод построения треугольника;
- метод построения многоугольника.

Пример расчета шихты методом параллельных координат по одному элементу сплава шихты из двух компонентов. Требуется приготовить латунь Л70 в количестве 1500 кг из отходов латуней Л90 и Л63. Их химический состав : Л70 Cu = 69-72%, Zn = 28-31%, для расчета принят оптимальный состав с Cu = 71%, Zn = 29% ; Л90 - Cu = 88% , Zn = 12% ; Л63 - Cu = 62% , Zn = 33%. Плавка производится в канальной индукционной печи ИЛК - 1,6. Угар при компактной шихте Zn = 3,0%, Cu = 0,3%. С учетом угара в 100 кг сплава должно быть 71,21 кг меди; 29,9 кг цинка.

Построение графика параллельных координат (рисунок).

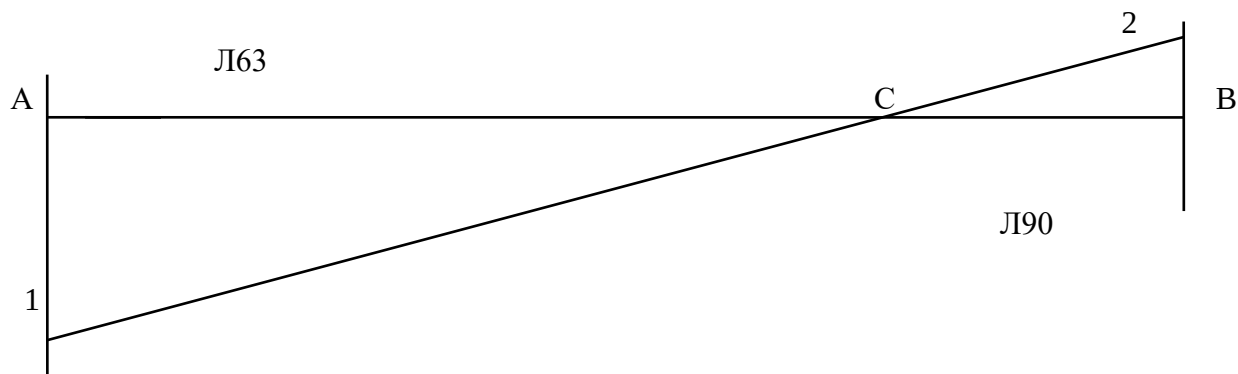
От точки прямой АВ опускается перпендикуляр А1, равный недостатку содержания цинка в отходах Л90 по сравнению со сплавом Л70 (17,9 кг) и от точки В перпендикуляр В2, равный избытку цинка в Л63 по сравнению с Л70 (3,1 кг). Точка С прямой 1-2 делит АВ на отрезки а масштабе : АС = 84 кг и ВС = 16 кг, соответствующие количеству латуни Л63 = 84 кг и Л90 = 16 кг в шихте.

Проверка на содержание

$$Zn = (34 \cdot 33 + 16 \cdot 12) / 100 = 29,7 \text{ кг} - \text{это близко к заданному} .$$

Составляем шихтовую карту

Шихтовые материалы :	Количество, кг
1) Отходы Л63	1260,0
2) Отходы Л90	240,0
В с е г о:	1500,0



Пример расчета шихты методом параллельных координат

Расчет шихты с применением ЭВМ

"Ручной" расчет шихты становится громоздким и утомительным, если число шихтовых материалов превышает семь-восемь. Кроме того, в таком расчете не участвует оценка стоимости шихтовых материалов. В связи с этим прибегают к расчету шихты на ЭВМ. Использование ЭВМ позволяет найти оптимальный набор шихтовых материалов по стоимости. Эта задача обычно решается методами линейного программирования. Балансовые соотношения по расчетным элементам и ограничения по количеству шихтовых материалов при линейном программировании могут быть заданы как в виде равенств, так и неравенств. При этом нижний и верхний пределы по содержанию элементов устанавливают, исходя из регламентируемого состава сплава с учетом отклонений, обусловленных колебанием содержания легирующих элементов.

Ограничения по числу компонентов шихты также задают в виде равенств или неравенств. Кроме того, в число расчетных уравнений включают целевую функцию, которая является математическим выражением общей стоимости шихты:

$$Ц = Ц_x/100 + Ц_y/100 + Ц_z/100 + Ц_l/100 \Rightarrow \min ,$$

где $Ц$ - стоимость шихты для выплавки 1 т. сплава, руб./т; $Ц_x \dots Ц_l$ - цены компонентов шихты, руб./т; $x \dots l$ - масса каждого шихтового материала, необходимая для выплавки 100 кг сплава.

Таким образом, расчет оптимального состава шихты заключается в нахождении минимального значения целевой функции $Ц_{\min}$ при условиях-ограничениях, которые представляют собой систему балансовых соотношений по всем расчетным легирующим компонентам сплава и примесям, по видам шихтовых материалов (собственные возвраты, отходы со стороны, свежие и вторичные металлы и сплавы) и по общему количеству шихты.

Практически задача сводится к введению в ЭВМ целевой функции и системы балансовых соотношений в натуральной форме или в виде матрицы из коэффициентов целевой функции и балансовых соотношений и подаче команды на расчет.

Аналитический метод расчета шихты.

Этот метод применяется при большом количестве компонентов шихты для сложных по составу сплавов.

Заключается он в составлении нескольких уравнений, которые решаются совместно. Количество уравнений должно быть равно числу неизвестных. В этом методе также наиболее удобно вести расчет на 100 кг сплава. Если количество каждого компонента в шихте обозначить, например, x , y , z и т.д., то в качестве первого уравнения может быть использована сумма этих составляющих, которая для долей должна быть равна единице, для процентов – 100%, а при расчете на 100 кг сплава – 100 кг. В тех случаях, когда все возвраты (литники, брак, сплески и др.) полностью используются на переплав, сумма всех составляющих может быть приравнена к сумме выхода годного и угара. При этом удастся сократить число расчетных уравнений и число неизвестных. Для упрощения обычно расчет производится по основным элементам. В тех случаях, когда большое количество примесей, вносимых компонентами, может изменить химический состав сплава, рекомендуется предварительно производить расчет на неоднородность. Рассмотрим пример аналитического расчета шихты сплава из возвратов и отходов.

Предлагается рассчитать шихту для получения сплава Бр05Ц5С5 из возвратов Бр05Ц5С5 и отходов Бр010Ц2, БррС30 и латуни ЛЦ32 (ГОСТ 15527-70).

Плавка производится в индукционной тигельной печи при некомпактной шихте. Угар элементов Sn – 1%; Zn – 4%; Pb – 1,5%; Cu – 1%. Содержание элементов в сплаве для расчета принято среднее: Sn – 5%; Zn – 5%; Pb – 5%; Cu – 85%.

В 100 кг сплава должно содержаться 5 кг олова, 5 кг цинка, 5 кг свинца и 85 кг меди. Количество этих элементов должно быть увеличено для учета угара при плавке Sn – 5,05 кг; Zn – 5,2 кг; Pb – 5,08 кг; Cu – 85,85 кг. Химический состав исходных шихтовых материалов и принятые обозначения приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Наименование материала	Обозначение	Элементы, %			
		Sn	Zn	Pb	Cu
Бр05Ц5С5	X1	4,0	4,0	6,0	86,0
Бр010Ц2	X2	10,0	2,5	-	87,5
БрС30	X3	-	-	30,0	70,0
ЛЦ32	X4	-	30,0	-	70,0

Принято, что сумма исходных шихтовых материалов должна составить 100 кг. Следующие уравнения составляются балансом по элементам:

$$X1 + X2 + X3 + X4 = 101,18 \quad (3.5)$$

Баланс по олову

$$X1 \frac{4}{100} + X2 \frac{10}{100} = 5,05 \quad (3.6)$$

Баланс по цинку

$$X1 \frac{4}{100} + X2 \frac{2,5}{100} + X4 \frac{30}{100} = 5,2 \quad (3.7)$$

Баланс по свинцу

$$X1 \frac{6}{100} + X3 \frac{30}{100} = 5,08 \quad (3.8)$$

При решении системы уравнений определяются неизвестные:

$$X1 = 64,67 \text{ кг}; X2 = 24,63 \text{ кг}; X3 = 3,99 \text{ кг}; X4 = 8,97 \text{ кг}.$$

Производится проверка по уравнению (3.5) и др.:

$$64,67 + 24,63 + 3,99 + 8,97 = 101,18$$

Проверка по олову

$$\frac{64,67 \cdot 4}{100} + \frac{24,63 \cdot 10}{100} = 5,05.$$

Проверка по цинку

$$\frac{64,67 \cdot 4}{100} + \frac{24,63 \cdot 2,5}{100} + \frac{6,64 \cdot 30}{100} = 5,195.$$

Проверка по свинцу

$$\frac{64,67 \cdot 6}{100} + 3 \frac{3,99 \cdot 30}{100} = 5,085.$$

Составляется шихтовая карта для получения сплава Бр05Ц5С5 в печи ИЛТ-1.2.

Шихтовые материалы	Количество, кг
1. Возврат Бр05Ц5С5	776,04
2. Отходы Бр010Ц2	295,56
3. Отходы БрС30	47,88
4. Отходы ЛЦ32	107,64
	1227,12

Расчет шихты на ПЭВМ. Требуется рассчитать шихту для получения сплава марки АЛ4-1 в индукционной тигельной печи (шихта - компактная). Химический состав сплава и шихтовых материалов, а также необходимые для составления матрицы данные приведены в табл.3.4., 3.5.

Для сплава АЛ4-1 основными контролируемыми примесями являются Fe, Cu и Zn. Содержание основных и примесных элементов в лигатурах Al - Mg - Mn, Al - Mn, Al - Mg и Al - Ti определяется исходя из содержания этих элементов в лигатурах, а также химического состава первичных металлов, используемых для приготовления лигатур (табл.3.2) и определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{лиг}} = (\sum x_i y_i) / 100 \%,$$

где $\mathcal{E}_{\text{лиг}}$ - фактическое содержание элемента в лигатуре, %; x_i - содержание элемента в первичном металле, %; y_i - регламентированное содержание элемента в лигатуре, %.

Матрица для поиска оптимального состава шихты с использованием симплексного метода представлена в табл.3.6.

Расчет шихты ведут, используя программу SHIXTA. Сначала задают размеры матрицы m и n (в данном примере $m = n = 11$), затем вводят верхний и нижний пределы содержания основы сплава и легирующих элементов, предельно допустимые содержания примесных элементов и саму матрицу.

После выполнения расчета получены следующие значения переменных X_i :

$X_1 = 0,15178;$	$X_5 = 0;$	$X_9 = 0,02456;$
$X_2 = 0;$	$X_6 = 0,00091;$	$X_{10} = 0;$
$X_3 = 0,65504;$	$X_7 = 0,01546;$	$X_{11} = 0.$
$X_4 = 0,17766;$	$X_8 = 0;$	

Таблица 3.4

Показатели	Содержание элементов, %									Обо- значе- ние	Цена, руб/т*
	Основных					Примесных					
	Mg	Si	Mn	Ti	Al	Fe	Cu	Zn	Σ		
Хим. состав спла- ва, %	0,17- -0,30	8,0-10,5	0,2-0,5	0,08- -0,15	88,55- -91,55	0,30	0,1000	0,30	0,60	-	-
Угар элементов, %	3	1,5	1,5	1,5	1	-	-	-	-	-	-
Хим.состав сплава с учетом угара, %	0,175- -0,309	8,122- -10,660	0,203- -0,508	0,081- -0,152	89,444- -92,475	0,30	0,100	0,30	0,60	-	-
Алюминий марки А85	-	0,060	-	0,010	99,850	0,08	0,010	0,02	0,15	X ₁	985
Алюминий марки А5	-	0,300	-	0,030	99,500	0,30	0,020	0,06	0,50	X ₂	780
Силумин марки СИЛОО	-	13,000	0,050	0,050	89,520	0,20	0,030	0,08	0,48	X ₃	905
Силумин марки СИЛ1	-	12,000	0,050	0,150	86,640	0,50	0,030	0,08	1,36	X ₄	805
Магний марки Мг90	99,900	0,010	0,040	-	0,020	0,04	0,005	-	0,10	X ₅	1130
Титановая губка марки ТГ100	-	0,020	-	99,690	-	0,07	-	-	0,31	X ₆	2640
Лигатура Al-Mg-Mn	19,980	0,072	9,658	0,014	69,864	0,55	0,011	-	0,51	X ₇	1048
Лигатура Al-Mg	9,990	0,091	0,004	0,018	89,822	0,11	0,009	-	0,19	X ₈	1010
Лигатура Al-Mn	-	0,090	9,650	0,018	89,820	0,34	0,012	-	0,53	X ₉	996
Лигатура Al-Ti	-	0,096	-	5,004	94,810	0,12	0,009	-	0,21	X ₁₀	1080
Сплав АК2	0,200	9,500	0,200	-	87,700	0,80	1,000	0,50	2,40	X ₁₁	750

* - Цены на 1 января 1991 года

Таблица 3.5

Марка металла, лигатуры	Содержание элементов, %									Цена, руб./т*
	Основных					Примесных				
	Mg	Si	Mn	Ti	Al	Fe	Cu	Zn	Σ	
Алюминий марки А8	-	0,100	-	0,020	99,800	0,12	0,010	-	0,20	895
Магний марки Мг90	99,90	0,010	0,040	-	0,020	0,04	0,005	-	0,10	1130
Марганец Мр1	-	-	96,50	-	-	2,30	0,030	-	3,50	1000
Титановая губка марки ТГ100	-	0,020	-	99,69	-	0,07	-	-	0,31	2640
Лигатура Al-Mg-Mn (70-20-10)	19,98	0,072	9,658	0,014	69,864	0,55	0,011	-	0,51	1048
Лигатура Al-Mg (90-10)	9,99	0,091	0,004	0,018	89,822	0,11	0,009	-	0,19	1010
Лигатура Al-Mg-Mn (70-20-10)	-	0,090	9,650	0,018	89,820	0,34	0,012	-	0,53	996
Лигатура Al-Ti (95-5)	-	0,096	-	5,004	94,810	0,12	0,009	-	0,21	1080

* - Цены на 1 января 1991 года

Таблица 3.6

m/n	Э _н	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	Э _в
1	0,175	0	0	0	0	99,90	0	19,980	9,990	0	0	0,2	0,309
2	8,122	0,06	0,30	13,00	12,00	0,010	0,02	0,072	0,091	0,090	0,096	9,5	10660
3	0,203	0	0	0,05	0,50	0,040	0	9,658	0,004	9,650	0	0,2	0,508
4	0,081	0,01	0,03	0,05	0,15	0	99,69	0,014	0,018	0,018	0,004	0	0,152
5	89,444	99,85	99,50	89,52	86,64	0,020	0	69,894	89,822	89,820	94,810	87,7	92,475
6	-	0,08	0,30	0,20	0,50	0,040	0,07	0,550	0,110	0,340	0,120	0,8	0,300
7	-	0,01	0,02	0,03	0,03	0,005	0	0,011	0,009	0,012	0,009	1,0	0,100
8	-	0,02	0,06	0,08	0,08	0	0	0	0	0	0	0,5	0,300
9	-	0,15	0,50	0,48	1,36	0,100	0,39	0,510	0,190	0,530	0,210	2,4	0,600
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,047
11	-	985	780	905	805	1130	2640	1048	1010	996	1080	750	-

Примечание. Э_н – нижний предел содержания элементов;Э_в – верхний предел содержания элементов.

Т.е. шихта для получения сплава АЛ4-1 состоит из 6 компонентов, взятых в количестве:

Алюминий марки А85	15,178 кг
Силумин марки СИЛ00	65,504 кг
Силумин марки СИЛ1	17,766 кг
Титановая губка марки ТГ100	0,091 кг
Лигатура Al - Mg - Mn	1,546 кг
Лигатура Al - Mn	2,456 кг

ИТОГО: 102,541кг

Стоимость компонентов шихты для приготовления сплава АЛ4-1 составляет 928,41 руб./т.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание существующих методов расчета шихты.
3. Обоснование выбора типа плавильного агрегата.
4. Расчеты шихты различными методами.
5. Сопоставить расчет на ПЭВМ с аналитическим методом расчета.
6. Выводы

Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета шихты применяются на практике?
2. С какой целью выполняется расчет шихты?
3. Чем обусловлен выбор исходных шихтовых материалов?
4. Каким образом тип плавильного агрегата оказывает влияние на результаты расчета?
5. С какой целью учитывается тип огнеупорных материалов, применяемых при изготовлении футеровки плавильного агрегата?
6. Каковы преимущества и недостатки различных методов расчета шихты?
7. Для чего выполняется проверка химического состава шихты по примесным элементам?
8. Чем обусловлено применение расчета шихты на ЭВМ?
9. По каким параметрам выполняется оптимизация?
10. При каких условиях расчет на ЭВМ не может быть выполнен корректно?

Приложение 1

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ И РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Для большинства алюминиевых литейных сплавов основные этапы технологии приготовления включают пуск печи, составление шихты из расчета оптимального состава, загрузка и расплавление ее. Шихта загружается в определенном порядке: алюминий, силумины, лигатуры, магний.

Для сплавов типа АЛ8 технология изготовления имеет ряд особенностей и осуществляется двумя способами:

А) с добавками бериллия (0,02 – 0,07%) и титана (0,02 – 0,07%), с применением рафинирующего флюса (60% карналлита + 40% фтористого кальция) в количестве 2% от массы шихты;

Б) без добавок бериллия и титана, под защитным флюсом – карналлитом (56% хлористого магния и 44% хлористого калия).

Плавка по способу «а» ведется в следующем порядке:

1) Загрузка чушкового алюминия и лигатур, содержащих бериллий и титан.

2) Засыпка рафинирующего флюса по расплавлении первой порции шихты на поверхности ванны.

3) Загрузка крупных отходов сплава АЛ8. Введение чушкового магния по расплавлении шихты под слой флюса.

4) Интенсивное замешивание кусков флюса в поверхностный слой жидкого сплава до появления зеркальной поверхности и несмачивания кусков флюса расплавом.

5) Разливка сплава по формам.

По способу «б» шихта плавится в следующем порядке:

1) Расплавление чушкового алюминия.

2) Засыпка поверхности расплава флюсом карналлитом слоем 5-10 мм.

3) Загрузка крупных отходов сплава АЛ8.

4) Введение кускового магния клещами при температуре сплава 690-700°C.

5) Осторожное перемешивание сплава.

6) Разливка сплава по формам при температуре 660-670°C.

В данной работе алюминиевые сплавы готовятся в шамотно-графитовом тигле электропечи сопротивления.

Порядок работы

1. Равномерно прогреть тигель до 900°C. Взвесить шихтовые материалы в соответствии с расчетом для одной из заданных марок сплавов, указанных в табл. 1. Для всех сплавов кроме АЛ8, загрузить шихту в следующем порядке:

- 1) чушковые металлы;
- 2) крупные отходы;
- 3) тугоплавкие лигатуры;
- 4) возврат.

2. По расплавлении шихты добавить легкоплавкие металлические присадки. Крупную шихту укладывать аккуратно во избежание повреждения тигля. При введении в жидкий сплав присадок легкоплавких металлов соблюдать меры предосторожности, исключающие выплески и разбрызгивание жидкого металла. Замерить температуру расплава термопарой погружения.

Плавку шихты для сплава АЛ8 провести с учетом особенностей, указанных во вводной части данной работы. В плавке использовать лигатуру Al-Ti и Al-Be. Для легирования можно использовать фторберрилат натрия

Таблица 1

Сплав	Основные компоненты (Al - остальное)							Примесей, не более								
	Mg	Si	Mn	Cu	Ni	Zn	Ti	Mg	Si	Mn	Cu	Sn	Pb	Ni	Zr	Zn
АЛ2	-	10,0-13,0	-	-	-	-	-	0,1	-	0,5	0,6	-	-	-	-	0,3
АЛ4	0,17-0,3	8,0-10,5	0,2-0,5	-	-	-	-	0,1 Be	-	-	0,3	0,01	0,05	0,15Ti	-	0,3
АЛ5	0,35-0,6	4,5-5,5	-	1,0-1,5	-	-	-	0,1 Be	-	-	-	0,01	-	0,15Ti	-	0,3
АЛ7	-	-	-	4,0-5,0	-	-	-	0,03	1,2	0,5	-	0,01	0,01	0,2Ti	-	0,2
АЛ8	9,5-11,5	-	-	-	-	-	-	0,07 Be	0,3	0,1	0,3	-	-	0,07Ti	0,2	0,1
АЛ9	0,2-0,4	6,0-8,0	-	-	-	-	-	0,1 Be	-	0,1	0,2	0,05	0,05	0,15Ti	-	0,3
АЛ10	0,1-0,3	6,0-8,0	-	-	-	7,0-12,0	-	0,1 Be	-	0,5	0,2	0,05	0,05	0,15Ti	-	0,3
АЛ22	10,5-13,0	0,8-1,2	-	0,03-0,07 Be	-	-	0,05-0,15	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,1
АЛ24	1,5-2,0	-	0,2-0,5	-	-	23,5-4,5	0,1-0,2	0,1 Be	0,3	-	0,2	-	-	-	0,1	-

(Na_2BeF_4), количество которого должно быть равно 0,6% массы металла. При этом конечное содержание бериллия в расплаве составит 0,003-0,005%.

3. Установить степень газонасыщенности и загрязненности исходного расплава для чего залить расплав в формы-изложницы, указанные в работе № 2.

4. Травление структурной пробы ведут в растворе Келлера (20 мл HNO_3 + 20 мл HCl + 5 мл HF + 55 мл H_2O) или в растворе (20 – 30%) CuCl_2 + (70 – 80%) H_2O . Затем пробы освещают концентрированной азотной кислотой.

При определении газовой пористости следует пользоваться методикой, представленной в ГОСТ 1583-93. Контроль пористости проводить визуально, невооруженным глазом. Можно пользоваться оптическими приборами с увеличением до 10 раз. Степень пористости определить по табличным данным в работе № 2.

Провести излом структурной пробы и визуально (можно с помощью лупы) оценить степень загрязненности сплава (посчитать на площади шлифа число локальных выделений неметаллических включений). Определить литейные свойства.

5. Провести дегазацию расплава одним из способов, указанных в табл. 4.2 (по согласованию с преподавателем). Навеску дегазера вводить на 2/3 глубины расплава при 720-740°C с помощью «колокольчика». Выдержать расплав в течение 7-10 мин и удалить с его поверхности шлак. Залить повторно пробы и провести их испытания.

Таблица 2

Номер дегазера	Состав, %	Название	Количество, % от массы шихты
1	MnCl_2 , 100	Хлористый марганец	0,3-0,4
2	ZnCl_2 , 100	Хлористый цинк	0,3-0,4
3	C_2Cl_6 , 100	Гексахлорэтан	0,2-0,3
4*	(S, до 85) + (Na_2CO_3 , до 75) + + (спец. Добавки, до 50)	Таблетка дегазирующая	0,05-0,2

6. Провести рафинирование расплава одним из способов, указанных в табл. 3 (по согласованию с преподавателем). Флюс засыпать на поверхность расплава и интенсивно замешать в его объем. Температура рафинирования 720-740°C. Выдержать расплав 7-10 мин и удалить с его поверхности шлак. Залить еще раз пробы и провести их испытание.

Таблица 3

Номер флюса	Состав, %	Название	Количество, % от массы ших- ты
1	KCl,47 + NaCl30 + Na ₃ AlF ₆ ,23	Тройной	0,5-1
2	KCl,10 + NaCl50 + Na ₃ AlF ₆ ,10 +	Универсальный	1-1,5
3	NaF,30	Покровно-	0,1-1
4	(Na ₃ AlF ₆ , до 50) + (NaCl, до 50) +(KCl, до 50) + спец.доб., до 50)	рафинирующий Зернистый фильтр	-
5	Зерна из шамота, магнезита, графита и др. материалов ПКФ	Пенокерамический фильтр	-

7. Результаты изучения дегазеров, рафинирующих флюсов и других представить в табл. 4, а результаты изучения технологических проб, представить в табл. 5 и в виде рисунков и эскизов.

Таблица 4

Реагент для дегазации, рафинирования	Вид реагента (цвет, состояние)	Запах реагента	Механизм действия реагента

Таблица 5

Вид обработки	Литейные свойства			Число пор, шт на 1 см ² шлифа размером, мм			Балл пористости	Число НМВ на 1 см ² , шт
	Λ, мм	ε _т , %	V _{ус.} , %	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	0,5 - 1		

Приложение 2

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭТАПЫ И РЕЖИМЫ ПЛАВКИ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ

Силумины (сплавы алюминия с кремнием – групп 1 и 2, ГОСТ 1583-93) относятся к наиболее распространенным алюминиевым сплавам из-за хорошего сочетания технологических и эксплуатационных свойств.

Однако при литье силуминов в формы с невысокой скоростью охлаждения (песчаные и керамические формы, толстостенные отливки в кокиль) в структуре формируются грубые выделения кристаллов кремния в эвтектике, что не обеспечивает необходимый уровень механических свойств. Грубая форма кремния придает сплаву низкие пластические свойства, его разрушение идет по хрупкой фазе кремния при низком относительном удлинении 1-3%.

Поэтому силумины, содержащие более 6% кремния (АК12, АК9ч, АК7 и др.) в целях измельчения выделений эвтектического кремния подвергают модифицированию введением в расплав поверхностно-активных элементов.

Для модифицирования макроструктуры и дендритов алюминия в расплавы вводят элементы, образующие с компонентами сплава (основой сплава) тугоплавкие, преимущественно, инерметаллидные соединения типа $TiAl_3$, $ZrAl_3$, TiB и др.

В результате модифицирования эвтектики поверхностно-активными элементами пластинчатая форма кристаллов кремния переходит в компактно-дисперсную. Помимо влияния модификатора, дисперсность кремния в эвтектике определяется скоростью охлаждения сплава.

В производственных условиях для модифицирования микроструктуры силуминов используют различные модификаторы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

№ модификатора	Состав модификатора	Кол-во модификатора, %	Расчетное количество модифицирующего элемента, %	Температура модифицирования, °С
1	Лигатура 95Al+5Ti	1-1,5	0,02-0,05Ti	720-750
2	Металлический натрий -100	0,05-0,10	0,05-0,10Na	750-780
3	Флюс-67NaF, 33NaCl	1-2	0,05-0,10Na	780-810
4	Флюс-62,5NaCl, 25NaF, 12,5KCl	1-2	0,05-0,10Na	730-750
5	Флюс-50NaCl, 30NaF, 10KCl, 10Na ₃ AlF ₆	0,5-1	0,05-0,10Na	720-750
6	Лигатура 90Al+10Sr	0,6-0,8	0,06-0,08Sr	750-780

Порядок работы:

1. Провести расчет шихты для приготовления силумина (типа АК12, АК9ч, АК7). Оптимальное содержание компонентов, % (по массе).
2. Провести загрузку шихты в подготовительный тигель и расплавление шихтовых материалов в заданной последовательности: чушковый силумин; чушковый алюминий; отходы собственного производства; лигатуры; чушковый магний. Зафиксировать время плавки. Контролировать температуру металла в печи (700-730°C). Магний вводить в подогретом состоянии с помощью колокольчика или шумовки. После расплавления магния произвести тщательное перемешивание. При введении магния необходимо следить за тем, чтобы он не всплывал на поверхность.
3. После ввода всех компонентов выдержать расплав 5-10 мин, провести рафинирование (работа № 4) и тщательно снять с поверхности оксидные пленки.
4. При 710-720°C залить из тигля пробы в песчаную и металлическую формы и зафиксировать секундомером время охлаждения с момента заливки до полного затвердевания.
5. С учетом оставшегося расплава рассчитать количество модификатора (флюса, лигатуры) и подготовить его для введения в расплав.
6. Нагреть расплав до 730-740°C и провести модифицирование по указанию преподавателя (засыпка флюса, выдержка, замешивание, выдержка).
7. При 710-720°C залить пробу Нехендзи - Купцова, пробы в песчаную и металлическую формы, зафиксировать в них время охлаждения расплава.
8. Надпилить и сломать образцы. Описать вид поверхности излома проб, залитых в песчаную и металлическую формы (до и после модифицирования).
9. Определить литейные свойства исходного и модифицированного силумина.
10. Изготовить (по возможности, микрошлифы) и протравить их 0,5%-ным раствором плавиковой кислоты. На микроскопе при увеличении 200 методом случайных секущих определить длину кристаллов кремния и расстояние между частицами кремния в эвтектике. Зарисовать микроструктуру сплавов до и после модифицирования.
11. Зарисовать макроструктуру отливок до и после модифицирования с указанием размеров макрозерен.

Результаты изучения технологических проб и полученные данные представить в виде эскизов и табл. 2. Привести известные значения механических свойств до и после модифицирования.

Таблица 2

Сплав	Вид модификатора	Кол-во модификатора, % от массы шихты	Скорость охлаждения, °С/с	Вид структуры (размеры зерен)		Литейные свойства		
				макро-	микро-	λ , мм	E, %	V_{yc} , %

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курдюмов А.В. и др. Производство отливок из сплавов цветных металлов – М.: МИСиС, 1996. – 504 с.
2. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов Москва, МИСиС, 2001 – 416 с.
3. Кечин В.А., Скитович С.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Литейные сплавы и плавка». Владимир, ВлГУ, 2000 г. – 36 с.
4. Гаврилин И.В., Кечин В.А., Колтышев В.И. Получение литейных силуминов с использованием пылевидного кремния и металлоотходов. Владимир, ВлГУ, 2003 г.- 149 с.
5. Цветное литье: Справочник / Под редакцией Н.М.Галдина. – М. Машиностроение, 1989. – 528 с.
6. Лабораторный практикум по материаловедению. Под редакцией А.В.Костина, В.А.Кечина. Владимир, ВлГУ, 1999 г. – 84 с.
7. Лабораторные работы по технологии литейного производства. Под редакцией А.В.Курдюмова. М.: Машиностроение, 1990 г. – 272 с.
8. Кечин В.А. Теория и технология литых протекторных материалов. Владимир, ВлГУ, 2004 г. – 181 с.
9. Кечин В.А., Люблинский Е.Я. Цинковые сплавы. М.: Metallurgy, 1986 с. – 247 с.
10. Гуляев Б.Б. Синтез сплавов. Москва, Изд-во «Металлургия», 1986 г., 264 с.

11. Веткин И.П., Кечин В.А. Мушков С.В. Рафинирование и литье первичного магния. М.: Металлургия, 1974 г. – 192 с.
12. Пикунов М.В., Беляев И.В., Сидоров Е.В. Кристаллизация сплавов и направленное затвердевание отливок» Владимир, Изд-во ВлГУ, 2002 г. – 214 с.
13. Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах. Москва. Машиностроение-1. 2005 г. – 476 с.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ
ЗАНЯТИЯМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
"ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАВКИ
ЦВЕТНОЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ"

Составитель
КЕЧИН Владимир Андреевич

Издательство
Владимирский государственный университет.
600026, Владимир, ул. Горького, 87.