

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»

Авторы:

Булгакова Алифтина Ивановна
Гильманшина Татьяна Ренатовна
Баранов Владимир Николаевич
Лыткина Светлана Игоревна

**«ОСНОВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК
ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА»**

(название дисциплины)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЦИКЛУ
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

Красноярск
2011

СОДЕРЖАНИЕ

1.1 Первичные металлические материалы.....	4
1.2. Вторичные металлические материалы.....	17
1.3 Специальные добавки	17
1.4. Топливо.....	19
1.5. Флюсы.....	20
2. Рекомендуемые составы шихты для чугунов.....	21
3. Чугун	21
4. Сталь.....	33
5. Расчет шихты.....	34
5.1. Пример расчета шихты для чугуна методом подбора.....	42
Задачи для практического решения.....	45
5.2. Пример расчета шихты для чугуна аналитическим методом.....	51
Задачи для практического решения.....	54
5.3. Пример расчета для чугуна шихты графическим методом.....	58
Задачи для практического решения.....	58
5.4. Пример расчета шихты для выплавки кислой электростали методом подбора.....	64
Задачи для практического решения.....	67
5.5. Пример расчета шихты методом подбора для выплавки высоколегированной стали методом переплава шихты.....	74
Задачи для практического решения.....	77
5.6. Пример расчета шихты методом подбора для выплавки стали с окислением	78
Задачи для практического решения.....	88
Контрольные вопросы и задания.....	89
Библиографический список.....	91

ВВЕДЕНИЕ

Современную жизнь невозможно представить себе без металлов. Металлы являются основой технического прогресса, фундаментом материальной культуры всего человечества. Но металл становится полезным человеку только тогда, когда из него получили изделия.

В настоящее время наиболее широкое применение находят сплавы черных металлов: около 70 % всех отливок по массе изготавливают из чугуна и около 20 % – из стали. И в ближайшее десятилетие чугун останется ведущим по объемам производства и применения конструкционным материалом. Диапазон механических и служебных свойств современных типов и марок чугунов весьма широк. Серый чугун имеет хорошие антифрикционные свойства, высокопрочные и ковкие чугуны отличаются высокой прочностью и пластичностью. По износостойкости, низкой чувствительности к надрезам и технологичности чугуны превосходят сталь. Металлоемкость литых чугунных деталей меньше, чем изготовленных из проката и деформированных стальных заготовок. Вопросы дальнейшего снижения металлоемкости и себестоимости, повышения механических свойств отливок из чугуна имеют важное значение. Получение чугунов различных марок потребовало разработки новых и совершенствования традиционных процессов плавки с внепечной обработкой чугуна. Все это приводит к повышению стоимости жидкого чугуна и ставит как одну из важнейших задач оптимизацию состава шихты с целью снижения ее стоимости.

Шихту можно рассчитать методами: подбора, аналитическим и графическим. В последнее время эффективно применяют методы математического, в частности линейного программирования, требующие, как правило, использования ЭВМ.

В практикуме главное внимание при изложении материала уделено рассмотрению основных видов шихтовых материалов для чугуна и стали, а также приведены конкретные примеры расчета шихты для каждого метода.

При выборе плавильных агрегатов и методов плавки чугуна необходимо учитывать как их технологические (металлургические) возможности, так и технико-экономические показатели работы. В общем случае можно рекомендовать применение вагранок (коксовых с горячим или холодным дутьем, коксогазовых, газовых) для получения серых чугунов; дуплекс-процесса «вагранка (коксовая с горячим дутьем, коксогазовая, газовая) – индукционная канальная печь» – серых чугунов и ковкого чугуна; индукционных тигельных печей для серых, легированных и специальных чугунов, ковкого чугуна и чугуна с шаровидным или вермикулярным графитом, а также для чугунов любых других марок при использовании в шихте стальных отходов.

1. ИСХОДНЫЕ (ШИХТОВЫЕ) МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПЛАВКИ ЧУГУНА И СТАЛИ

Шихтовые материалы классифицируют на:

- основные: доменный чугун, чугунный и стальной лом, ферросплавы и отходы собственного производства;
- легирующие, рафинирующие и модифицирующие добавки;
- специальные добавки;
- топливо;
- флюсы.

В качестве металлической шихты используют *первичные* (доменные чугуны, ферросплавы, лигатуры и чистые металлы) и *вторичные* (отходы, образующиеся в процессе производства и обработки заготовок, неисправимый брак изделий (возврат собственного производства), стальной и чугунный лом и стружка).

1.1 Первичные металлические материалы

Доменные чугуны поставляются в виде чушек толщиной не более 30 мм (в месте пережима), массой: 18 кг (без пережима); 30 кг (с одним пережимом); 45 кг (с двумя пережимами).

Поверхность чушек должна быть чистой (допускается налет извести и графита). Доменный чугун получают доменным процессом из железной руды при восстановлении железа углеродом кокса.

В настоящее время в литейных цехах используются литейные и переделные доменные чугуны.

Литейные доменные чугуны применяются преимущественно для получения серых чугунов.

Технологические требования на литейные доменные чугуны регламентируют ГОСТ 4832–80. В сертификате на чугун, прилагаемом к каждой партии, указывается действительное содержание элементов, которое должно укладываться в допуски ГОСТа 4832–80. Содержание углерода ГОСТом не оговаривается, но чугуны всех марок должны поставляться с указанием его содержания в процентах.

Согласно ГОСТ 4832–80 производят нерафинированные литейные чугуны шести марок и рафинированный магнием семи марок.

Литейные нерафинированные чугуны классифицируют следующим образом (табл. 1):

Таблица 1

Химический состав литейного чугуна (ГОСТ 4832–80)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)														
	C	Si	Mn для групп				P для классов					S, не более для категорий			
			I	II	III	IV	A	Б	В	Г	Д	1	2	3	4
Нерафинированные															
Л1	3,4–3,9	3,21–3,60	до 0,30	0,31–0,50	0,51–0,90	0,91–1,50	до 0,08	до 0,12	до 0,30	0,31–0,70	0,71–1,20	0,02	0,03	0,04	0,05
Л2	3,5–4,0	2,81–3,20													
Л3	3,6–4,1	2,41–2,80													
Л4	3,7–4,2	2,01–2,40													
Л5	3,8–4,5	1,61–2,00													
Л6	3,9–4,4	1,21–1,60													
Рафинированные															
ЛР1	3,4–3,9	3,21–3,60	до 0,30	0,31–0,50	0,51–1,0	–	до 0,08	до 0,12	–	–	–	0,005	0,010	–	–
ЛР2	3,5–4,0	2,81–3,20													
ЛР3	3,6–4,1	2,41–2,80													
ЛР4	3,7–4,2	2,01–2,40													
ЛР5	3,8–4,3	1,61–2,00													
ЛР6	3,9–4,4	1,21–1,60													
ЛР7	4,0–4,5	0,81–1,20													

– по содержанию углерода и кремния – на шесть марок, обозначаемые Л1, Л2, Л3, Л4, Л5 и Л6;

– по содержанию марганца – на четыре группы, обозначаемые I, II, III, IV;

– по содержанию фосфора – на пять классов, обозначаемые буквами А, Б, В, Г и Д;

– по содержанию серы – на четыре категории, обозначаемые арабскими цифрами 1, 2, 3, 4.

Например, марка Л3–II–Б–2 обозначает следующее:

– Л3 – чугун литейный марки 3 с содержанием кремния от 2,2 до 2,8 %;

– II – группа чугуна с содержанием марганца 0,3–0,5 %;

– Б – класс чугуна с содержанием фосфора до 0,12 %;

– 2 – категория с содержанием серы до 0,01 %.

Литейные рафинированные магнием чугуны (табл. 1) подразделяются следующим образом:

– по содержанию кремния – на семь марок, обозначаемые ЛР1, ЛР2, ...ЛР7;

– по содержанию марганца – на три группы, обозначаемые I, II и III;

– по содержанию фосфора – на два класса, обозначаемые А и Б;

– по содержанию серы – на две категории (1 и 2).

В чушковом литейном рафинированном чугуне графитная спель (заэвтектический графит) не допускается, излом чушек должен быть плотным, без раковин.

Для удобства производства прокатных валков согласно ОСТ 1465–80 предусмотрены две марки *специального валкового чугуна* (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав валкового чугуна (ОСТ 1465–80)

Марка чугуна	Массовая доля, % (остальное железо)					
	С	Si	Mn	S	P	Cr
				не более		
ЧВ1	3,7–4,4	0,1–0,5	0,2–0,6	0,03	0,15	0,04
ЧВ2	3,7–4,4	0,5–1,0	0,2–0,6	0,03	0,15	0,04

Литейные природно-легированные доменные чугуны получили свое название из-за того, что руды некоторых месторождений железа содержат хром, медь и другие металлы. В процессе доменной плавки оксиды частично восстанавливаются и легируют выплавленный чугун. Наибольшее распространение получили хромоникелевые (0,4–3,20 % Cr и 0,4–1,0 % Ni), титановые (0,3–1,2 % Ti) и титаномедистые (0,3–1,2 % Ti и 2,0–3,0 % Cu) чугуны.

Природно-легированные литейные чугуны применяются для получения низколегированных марок конструкционного чугуна.

Природно-легированные чугуны в чушках поставляют по ТУ 14–15–4–74 и ТУ 14–15–3–74.

Технологические свойства *передельных чугунов* регламентирует ГОСТ 805–80.

В зависимости от назначения передельный чугун изготовляют марок П1 и П2 для сталеплавильного производства; ПЛ1 и ПЛ2 для литейного производства; также получают фосфористый чугун марок ПФ1, ПФ2, ПФ3 и передельный высококачественный чугун марок ПВК1, ПВК2, ПВК3. Химический состав передельных чугунов приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав передельных чугунов (ГОСТ 805–80)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)													
	Si	Mn для групп				P для классов, не более				S для категорий, не более				
		I	II	III	IV	A	Б	В	Г	1	2	3	4	5
П1	0,5–0,9	до 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	–	0,10	0,20	0,3	–	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
П2	до 0,5	до 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	–	0,10	0,20							
ПЛ1	0,8–1,2	до 0,3	0,3–0,5	0,5–0,9	0,9–1,5	0,08	0,12							
ПЛ2	0,5–0,8	до 0,3	0,3–0,5	0,5–0,9	0,9–1,5	0,08	0,12							
ПФ1	0,9–1,2	1,0	1,5	2,0	–	0,3–0,7	0,7–1,5	1,5–2,0	–	0,03	0,05	0,07	–	–
ПФ2	0,5–0,9													
ПФ3	до 0,5													
ПВК1	0,9–1,2	до 0,5	0,5–1,0	1,0–1,5	–	0,02	0,03	0,04	0,05	0,015	0,02	0,025	–	–
ПВК2	0,5–0,9													
ПВК3	до 0,5													

Преимущества применения передельных чугунов перед литейными: уменьшается стоимость металлошихты; сокращается расход кокса; механические свойства чугуна выше, чем на литейном чушковом чугуне на 5–10 %.

При использовании передельных чугунов взамен литейных в шихту необходимо вводить ферросилиций с небольшим содержанием кремния.

Ферросплавы – это сплавы железа с одним или несколькими легирующими элементами, которые используются для корректировки химического состава по кремнию, марганцу, хрому, никелю и другим легирующим элементам, а также для модифицирования чугуна.

Ферросилиций (ГОСТ 1415–93) наиболее часто применяют при выплавке и внепечной обработке чугуна и стали для отливок. Низкокремнистые марки используют для подшихтовки в процессе плавки, высококремнистые – для раскисления сталей и модифицирования чугунов. Химический состав ферросилиция приведен в табл. 4–5.

Таблица 4

Химический состав ферросилиция (ГОСТ 1415–93)

Марка ферро- силиция	Массовая доля элементов, % (остальное железо)						
	Si	C	Al	Mn	Cr	S	P
		не более					
ФС92	≥ 92,0	–	2,5	0,2	0,2	0,02	0,03
ФС90	≥ 84,0	0,1	3,5	0,2	0,2	0,02	0,03
ФС75	74,0–80,0	0,1	–	0,4	0,4	0,02	0,05
ФС75Л	74,0–80,0	–	2,5	0,3	0,3	0,02	0,05
ФС65	63,0–68,0	0,1	2,5	0,4	0,4	0,02	0,05
ФС45	41,0–47,0	0,2	2,0	0,6	0,5	0,02	0,05
ФС25	23,0–27,0	0,8	1,0	0,9	1,0	0,02	0,06
ФС20	19,0–23,0	1,0	1,0	1,0	–	0,02	0,10
ФС20Л	19,0–23,0	–	1,0	1,0	0,2	0,02	0,20

Таблица 5

Химический состав ферросилиция (ISO 5445–80)

Марки (ISO)	Массовая доля, %							
	Si	Al	P	S	C	Mn*	Cr*	Ti*
			не более					
FeSi10	8,0–13,0	не более 0,2	0,15	0,06	2,00	3,0	0,8	0,30
FeSi15	14,0–20,0	не более 1,0	0,15	0,06	1,50	1,5	0,8	0,30
FeSi25	20,0–30,0	не более 1,5	0,15	0,06	1,00	1,0	0,8	0,30
FeSi45	41,0–47,0	не более 2,0	0,05	0,05	0,20	1,0	0,5	0,30
FeSi50	47,0–51,0	не более 1,5	0,05	0,05	0,20	0,8	0,5	0,30
FeSi65	63,0–68,0	не более 2,0	0,05	0,04	0,20	0,4	0,4	0,30
FeSi75A11	72,0–80,0	не более 1,0	0,05	0,04	0,15	0,5	0,3	0,20
FeSi75A11,5	72,0–80,0	1,0–1,5	0,05	0,04	0,15	0,5	0,3	0,20
FeSi75A12	72,0–80,0	1,5–2,0	0,05	0,04	0,20	0,5	0,3	0,30
FeSi75A13	72,0–80,0	2,0–3,0	0,05	0,04	0,20	0,5	0,5	0,30
FeSi90A11	87,0–95,0	не более 1,5	0,04	0,04	0,15	0,5	0,2	0,30
FeSi90A12	87,0–95,0	1,5–3,0	0,04	0,04	0,15	0,5	0,2	0,30

* Указаны примерные максимальные значения.

Ферромарганец применяют при выплавке чугунов для подшихтовки и для раскисления сталей. Химический состав ферромарганца приведен в табл. 6–7.

При выборе сплава с марганцем для целей легирования следует учитывать одновременно содержание углерода и фосфора. Для получения низкоуглеродистых сталей с низким содержанием фосфора в шихту вводят дорогостоящие низкоуглеродистые сплавы, вплоть до металлического марганца. При производстве комплексно–легированных сталей во многих случаях оказывается целесообразным использование **ферросиликомарганца** (табл. 8–9).

Таблица 6

Химический состав ферромарганца (ГОСТ 4755–91)

Марка ферро- марганца	Массовая доля элементов, % (остальное железо)				
	Mn	C	Si	P	S
	не более				
Низкоуглеродистые					
ФМн0,5	85,0	0,5	2,0	0,30	0,03
Среднеуглеродистые					
ФМн1,0А	85,0	1,0	1,5	0,10	0,03
ФМн1,0	85,0	1,0	2,0	0,30	0,03
ФМн1,5	85,0	1,5	2,5	0,30	0,03
ФМн2,0	75,0	2,0	2,0	0,35	0,03
Высокоуглеродистые					
ФМн78А	78,0–82,0	7,0	2,0	0,05	0,03
ФМн78	78,0–82,0	7,0	2,0	0,35	0,03
ФМн78К	78,0–82,0	7,0	1,0	0,35	0,03
ФМн75АС6	75,0	7,0	6,0	0,45	0,03
ФМн75С4	75,0	7,0	4,0	0,45	0,03
ФМн75С9	75,0	6,0	9,0	0,45	0,03
ФМн75	75,0	7,0	1,0	0,45	0,03
ФМн70	70,0	7,0	2,0	0,55	0,03

Таблица 7

Химический состав ферромарганца (ISO 5446–80)

Марка	Массовая доля, %				
	Mn	C	Si	P	S
1	2	3	4	5	6
не более					
Малоуглеродистые					
FeMn80C05	От 75,0 до 85,0 включ.	0,10–0,50	2,0	0,35	0,030
FeMn80C05LP				0,15	
FeMn80C01		до 0,10	2,0	0,35	
FeMn80C01LP				0,15	
FeMn90C05	Более 85,0 до 95,0 включ.	0,10–0,50	2,0	0,35	0,030
FeMn90C05LP				0,15	
FeMn90C01		до 0,10	2,0	0,35	
FeMn90C01LP				0,15	
Среднеуглеродистые					
FeMn80C20	От 75,0 до 85,0 включ.	1,5–2,0	2,0	0,35	0,030
FeMn80C20LP				0,20	
FeMn80C15		1,0–1,5	2,0	0,35	
FeMn80C15LP				0,20	
FeMn80C10		0,5–1,0	2,0	0,35	
FeMn80C10LP				0,20	

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6
FeMn90C20	более 85,0 до 95,0 включ.	1,5–2,0	2,0	0,35	0,030
FeMn90C20LP				0,20	
FeMn90C15		1,0–1,5	2,0	0,35	
FeMn90C15LP				0,20	
FeMn90C10		0,5–1,0	2,0	0,35	
FeMn90C10LP				0,20	
Высокоуглеродистые					
FeMn75C80VHP	От 70,0 до 82,0 включ.	не более 8,0	2,0	0,50	0,030
FeMn75C80HP				0,35	
FeMn75C80MP				0,25	
FeMn75C80LP				0,15	
FeMn75C80VLP				0,10	

Таблица 8

Химический состав ферросиликомарганца (ISO 5447–80)

Марка	Массовая доля элементов, %				
	Mn	Si	C	P	S
			не более		
FeMnSi 12	65,0–75,0	10,0–15,0	3,5	0,35	0,030
FeMnSi18		15,0–20,0	2,5	0,35	
FeMnSi18LP				0,15	
FeMnSi22HP		20,0–25,0	1,6	0,30	
FeMnSi22MP				0,15	
FeMnSi22LP				0,10	
FeMnSi23HP		20,0–25,0	1,0	0,30	
FeMnSi23MP				0,15	
FeMnSi23LP				0,10	
FeMnSi28		25,0–30,0	0,50	0,20	
FeMnSi28LP				0,10	
FeMnSi30HP		57,0–67,0	28,0–35,0	0,10	
FeMnSi30LP	0,10				
FeMnSi30ELP	0,05				

Таблица 9

Химический состав ферросиликомарганца (ГОСТ 4756–91)

Марка	Массовая доля элементов, %					
	Si	Mn	C	P, для класса		S
				A	Б	
	не более					
MnC25	≥ 25,0	≥ 60	0,5	0,05	0,25	0,02
MnC22	20,0–25,0	≥ 65	1	0,1	0,35	
MnC17	15,0–20,0		2,5		0,6	
MnC12	10,0–15,0		3,5			

Силикокальций эффективен для раскисления сталей и модифицирования чугунов. Химический состав силикокальция регламентирует ГОСТ 4762–71*Е (табл. 10).

Таблица 10

Химический состав силикокальция (ГОСТ 4762–71*Е)

Марки силикокальция	Массовая доля, % (остальное кремний)				
	Ca	Si	Al	C	P
	не менее		не более		
СК10	10	45	1,0	0,2	0,02
СК10Р	10	50	1,5	0,5	0,04
СК15	15	45	1,0	0,2	0,02
СК15Р	15	50	1,5	0,5	0,04
СК20	20	45	1,0	0,5	0,02
СК20Р	20	50	2,0	1,0	0,04
СК25(ч)	25	50	1,0	0,2	0,02
СК25	25	50	2,0	0,5	0,02
СК25Р	25	55	2,0	1,0	0,04
СК30(ч)	30	50	1,0	0,2	0,02
СК30	30	50	2,0	0,5	0,02
СК30Р	30	55	2,0	1,0	0,04

Феррохром применяется только для легированных чугунов и сталей. Химический состав феррохрома регламентирует ГОСТ 4757–91 (табл. 11).

Для одновременного легирования стали кремнием и хромом в литейном производстве используется **ферросиликохром**. Химический состав ферросиликохрома различных марок регламентирует ГОСТ 11861–91 (табл. 12).

Таблица 11

Химический состав феррохрома (ГОСТ 4757–91)

Марка феррохрома	Массовая доля элементов, % (остальное железо)				
	Cr, не менее	C	Si	P	S
1	2	3	4	5	6
низкоуглеродистые					
ФХ001А	68,0	0,01	0,8	0,02	0,02
ФХ001Б	68,0	0,01	0,8	0,03	0,02
ФХ002А	68,0	0,02	1,5	0,02	0,03
ФХ002Б	68,0	0,02	1,5	0,03	0,03
ФХ003А	68,0	0,03	1,5	0,02	0,03
ФХ003Б	68,0	0,03	1,5	0,03	0,03
ФХ004А	68,0	0,04	1,5	0,02	0,03
ФХ004Б	68,0	0,04	1,5	0,03	0,03
ФХ005А	65,0	0,05	1,5	0,03	0,03
ФХ005Б	65,0	0,05	1,5	0,05	0,03
ФХ006А	65,0	0,06	1,5	0,03	0,03

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6
ФХ006Б	65,0	0,06	1,5	0,05	0,03
ФХ010А	65,0	0,10	1,5	0,03	0,03
ФХ010Б	65,0	0,10	1,5	0,05	0,03
ФХ015А	65,0	0,15	1,5	0,03	0,03
ФХ015Б	65,0	0,15	1,5	0,05	0,03
ФХ025А	65,0	0,25	2,0	0,03	0,03
ФХ025Б	65,0	0,25	2,0	0,05	0,03
ФХ050А	65,0	0,50	2,0	0,03	0,03
ФХ050Б	65,0	0,50	2,0	0,05	0,03
среднеуглеродистые					
ФХ100А	65,0	1,0	2,0	0,03	0,04
ФХ100Б	65,0	1,0	2,0	0,05	0,04
ФХ200А	65,0	2,0	2,0	0,03	0,04
ФХ200Б	65,0	2,0	2,0	0,05	0,04
высокоуглеродистые					
ФХ650А	60,0	6,5	2,0	0,03	0,06
ФХ650Б	60,0	6,5	2,0	0,05	0,08
ФХ800А	60,0	8,0	2,0	0,03	0,06
ФХ800Б	60,0	8,0	2,0	0,05	0,08
азотированные*					
ФХН100А	60,0	0,06	1,0	0,02	0,03
ФХН100Б	60,0	0,06	1,0	0,03	0,03
ФХН400А	60,0	0,06	1,0	0,03	0,04
ФХН400Б	60,0	0,06	1,0	0,04	0,04
ФХН600А	60,0	0,03	1,0	0,03	0,04
ФХН600Б	60,0	0,03	1,0	0,04	0,04

* В маркировке азотированного феррохрома содержание азота указывается в сотых долях процента после буквы Н (например, в феррохrome ФХН100 А – 1 % N)

Таблица 12

Химический состав ферросиликохрома (ГОСТ 11861–91)

Марка ферро- хрома	Массовая доля элементов, % (остальное железо)				
	Si	Cr, не менее	C	P	S
				не менее	
1	2	3	4	5	6
ФСХ13	10,0–16,0	55,0	6,0	0,04	0,03
ФСХ20	16,0–23,0	48,0	4,5	0,04	0,02
ФСХ26	23,0–30,0	45,0	3,0	0,03	0,02
ФСХ33	30,0–37,0	40,0	0,9	0,03	0,02
ФСХ40	37,0–45,0	35,0	0,2	0,03	0,02
ФСХ48	> 45,0	28,0	0,1	0,03	0,02
FeCrSi15	10,0–18,0	55,0	6,00	0,05	0,03
FeCrSi22	20,0–25,0	55,0	5,00	0,03	0,03
FeCrSi23	18,0–28,0	45,0	3,50	0,05	0,03
FeCrSi26	24,0–28,0	45,0	1,50	0,03	0,03

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6
FeCrSi33	28,0–38,0	43,0	1,00	0,05	0,03
FeCrSi40	35,0–40,0	35,0	0,20	0,03	0,03
FeCrSi45	40,0–45,0	28,0	0,10	0,03	0,03
FeCrSi48	42,0–55,0	35,0	0,05	0,03	0,01
FeCrSi48LP	42,0–55,0	35,0	0,05	0,02	0,01
FeCrSi50	45,0–60,0	20,0	0,10	0,03	0,03
FeCrSi50LC	45,0–60,0	20,0	0,05	0,03	0,03
FeCrSi55	50,0–55,0	28,0	0,03	0,03	0,03

При производстве легированных сталей и чугунов используют и другие ферросплавы:

- **ферровольфрам** (табл. 13–14);
- **ферротитан** (табл. 15);
- **феррониобий** (табл. 16);
- **феррованадий** (табл. 17);
- **ферромolibден** (табл. 18–19);
- **ферробор** (табл. 20);
- **феррофосфор** и др.

Таблица 13

Химический состав ферровольфрама (ГОСТ 17293–93)

Марки ферро- вольфрама	Массовая доля, %													
	W	Mo	Mn	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Al	Pb	Bi	Sb
	не менее	не более												
ФВ80(а)	80	6,0	0,2	0,8	0,10	0,03	0,02	0,10	0,04	0,04	3,0	0,01	0,01	0,01
ФВ75(а)	75	7,0	0,2	1,1	0,15	0,04	0,04	0,20	0,05	0,05	5,0	–	–	–
ФВ70(а)	70	7,0	0,3	2,0	0,20	0,06	0,06	0,30	0,06	0,08	6,0	–	–	–
ФВ72	72	1,0	0,4	0,5	0,30	0,04	0,08	0,15	0,04	0,08	–	0,02	0,02	0,02
ФВ70	70	2,0	0,5	0,8	0,50	0,06	0,10	0,20	0,05	0,10	–	–	–	–
ФВ65	65	6,0	0,6	1,2	0,70	0,10	0,15	0,30	0,08	0,20	–	–	–	–

Таблица 14

Химический состав ферровольфрама (ISO 5450–80)

Марки ферро- вольфрама	Массовая доля, %											
	W	Si	C	Mn	Cu	S	P	As	Sb	Al	Mo	Sn
	не более											
FeW80	70,0–85,0	1,0	1,0	0,6	0,25	0,05	0,06	0,1	0,05	0,1	1,0	0,1
FeW80LC	70,0–85,0	1,0	0,1	1,0	0,20	0,05	0,08	0,1	0,05	1,0	0,5	0,1

Таблица 15

Химический состав ферротитана (ГОСТ 4761–80)

Марка ферротитана	Массовая доля элементов, % (остальное железо)										
	Ti, не менее	Al	Si	C	P	S	Cu	V	Mo	Zn	Sn
		не более									
ФТи68	68	5	0,5	0,20	0,05	0,05	0,2	0,6	0,6	0,6	0,10
ФТи65	65	5	1,0	0,40	0,05	0,05	0,4	3,0	2,5	2,0	0,15
ФТи40А	40	9	5,0	0,10	0,05	0,05	0,2	0,5	0,5	0,3	0,05
ФТи40Б	40	9	6,0	0,15	0,08	0,10	3,0	–	–	–	–
ФТи35	35	8	5,0	0,10	0,07	0,05	0,1	0,8	0,5	0,2	0,05
ФТи30А	28–37	8	4,0	0,12	0,04	0,03	0,4	0,8	0,4	0,2	0,01
ФТи30Б	30	9	6,0	0,15	0,08	0,05	2,0	0,8	0,5	0,2	0,05
ФТи30	30	14	8,0	0,20	0,07	0,07	3,0	1,0	1,0	0,7	0,08
ФТи25А	25	8	5,0	0,10	0,05	0,05	0,1	–	–	–	–
ФТи25Б	25	9	7,0	0,20	0,08	0,08	3,0	–	–	–	–
ФТи20	20	8	6,0	0,20	0,15	0,08	3,0	–	–	–	–
ФТи20А	20	15–35	15–35	1,00	0,08	0,03	–	–	–	–	–

Таблица 16

Химический состав феррониобий (ГОСТ 16773–85)

Марка феррониобий	Массовая доля элементов, % (остальное железо)							
	Nb + Ta	Ta	Si	Al	Ti	C	S	P
		не более						
ФНб60	55–65	1,0	1,5	3,0	1,0	0,1	0,03	0,10
ФНб58	50–65	1,0	2,0	6,0	1,0	0,2	0,03	0,15
ФНб58(ф)	50–65	–	2,0	6,0	2,0	0,3	0,05	0,40
ФНб55С	50–65	–	15	4,0	8,0	0,2	0,03	0,30
ФН50С	40–65	–	20	6,0	–	0,5	0,05	0,50

Таблица 17

Химический состав феррованадия (ТУ 14–5–98–78)

Марка феррованадия	Массовая доля элементов, % (остальное железо)					
	V, не менее	C	Si	P	S	Al
		не более				
ФВд35А	85,0	0,75	2,0	0,10	–	1,0
ФВд35Б	85,0	–	3,0	0,20	0,10	1,5
ФВд350	85,0	1,00	3,5	0,25	0,15	2,0

Таблица 18

Химический состав ферромolibдена (ГОСТ 4759–91)

Марки ферромolibдена	Массовая доля, %												
	Mo	W	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Zn	Bi
	не менее	не более											
ФМо60(нк)	60	0,3	0,5	0,05	0,05	0,10	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ФМо60	60	0,3	0,8	0,05	0,05	0,10	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ФМо58(нк)	58	0,5	0,5	0,08	0,05	0,10	0,8	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
ФМо58	58	0,5	1,0	0,08	0,05	0,12	0,8	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
ФМо55	55	0,8	1,5	0,10	0,10	0,15	1,0	–	0,05	0,05	–	–	–
ФМо50	50	–	3,0	0,50	0,10	0,50	2,0	–	0,10	0,10	–	–	–

Таблица 19

Химический состав ферромolibдена (ISO 5452–80)

Марки ферромolibдена	Массовая доля Mo, %	Массовая доля, %, не более				
		Si	C	S	P	Cu
FeMo60	55,0–65,0	1,0	0,10	0,10	0,05	0,50
FeMoCu1	55,0–65,0	1,5	0,10	0,10	0,05	1,00
FeMoCu1,5	55,0–65,0	2,0	0,50	0,15	0,05	1,50
FeMo70	65,0–75,0	1,5	0,10	0,10	0,05	0,50
FeMo70Cu1	65,0–75,0	2,0	0,10	0,10	0,05	1,00
FeMo70Cu1,5	65,0–75,0	2,5	0,10	0,20	0,10	1,50

Таблица 20

Химический состав ферробора (ГОСТ 14848–69)

Марки (ГОСТ)	Массовая доля, %						
	B, не менее	Si	Al	C	S	P	Cu
		не более					
ФБ20	20	2	3	0,05	0,01	0,02	0,05
ФБ17	17	3	5	0,20	0,02	0,03	0,10
ФБ12	12	10	10	–	–	–	–
ФБ6	6	10	10	–	–	–	–

Химический состав феррофосфора должен соответствовать ТУ 14–5–72–80. Этот ферросплав помимо железа содержит фосфор в количестве, которое указано в марке, например ФФ14 (14 % P).

Металлы цветные первичные. В ряде случаев, особенно при выплавке высоколегированных сталей и чугунов, находят применение чистые металлы (*никель* (ГОСТ 849–70), *медь* (ГОСТ 859–78), *марганец* (6008–82), *сурьма* (ГОСТ 1089–82*Е) и др.).

Химический состав марганца и сурьмы приведен в табл. 21–22.

Таблица 21

Химический состав металлического марганца (ГОСТ 6008–82)

Марка марганца	Массовая доля элементов, %									
	Mn	N	C	Si	Fe	Ni	Cu	P	S	Al + Ca + Mg
	не менее		не более							
Мр000	99,90	0,02	–	–	–	–	0,005	0,03	–	–
Мр00	99,85	0,04	–	–	–	–	0,010	0,03	–	–
Мр0	99,70	0,10	–	–	–	–	0,010	0,10	–	–
Мр1			0,8							
Мр2	96,5	0,10	1,8	2,3	0,02	0,03	0,05	0,05	0,70	–
Мр1С	95,0	0,20	1,8–	2,8	0,02	0,03	0,07	0,05	0,70	–
	93,5	0,15	3,0	2,8	0,02	0,03	0,07	0,05	0,07	–
Мр000Н6	93,0	0,02	–	–	–	–	0,005	0,03	–	6,0
Мр00Н6	93,0	0,04	–	–	–	–	0,010	0,03	–	6,0
Мр0Н6	92,0	0,10	–	–	–	–	0,010	0,10	–	6,0
МрН6А	88,5	0,10	0,8	2,3	0,02	0,03	0,05	0,05	0,7	6,0
МрН4А	90,5	0,10	0,8	2,3	0,02	0,03	0,05	0,05	0,7	4,0
МрН6Б	87,0	0,20	1,8	2,8	0,02	0,03	0,07	0,05	0,7	6,0
МрН4Б	89,0	0,20	1,8	2,8	0,02	0,03	0,07	0,05	0,7	4,0
МрН2	91,0	0,20	1,8	2,8	0,02	0,03	0,07	0,05	0,7	2,0

Таблица 22

Химический состав сурьмы (ГОСТ 1089–82*Е)

Марки сурьмы	Sb, % не менее	Массовая доля примесей, %, не более									Сумма нормируемых примесей, %
		Sn	As	Fe	S	Pb	Zn	Be	Au	Ni	
Су0	99,6	0,2	0,02	0,02	0,05	0,1	0,005	0,005	0,0008	0,016	0,337
Су1	99,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	–	–	–	–	0,480
Су2	98,8	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,001	–	1,12

Алюминий первичный по ГОСТ 11069–74 имеет три вида чистоты:

- особой чистоты с содержанием 99,999 % Al (обозначается А999);
- высокой чистоты – 99,995...99,95 % Al, обозначаемый А99...А95;
- технической чистоты – 99,85...99,0 Al, обозначаемый А85...А0.

В чушках первичной плавки поставляется силумин, содержащий 10–13 % Si. Цифры в марке силумина показывают степень загрязненности сплава. Если наиболее чистым является СИЛ–00, то силумин СИЛ–2 содержит около 2 % примесей Fe, Mn, Cu, Zn и Ca в сумме.

Медь в зависимости от чистоты и способа изготовления маркируют по ГОСТ 859–78: М00б (99,99 % Cu) – бескислородная медь; М1р, М2р, М1ф (до 99,9 % Cu) и медь огневого рафинирования М2 и М3 (до 99,7 % Cu).

Химический состав оловянистых бронз регламентирует ГОСТ 614–73, безоловянистых – ГОСТ 17328–78; также используют латуни литейные в чушках.

Магний первичный в чушках по ГОСТ 804–72 маркируют в зависимо-

сти от содержания магния Мг96, Мг95, Мг90 (соответственно 99,96; 99,95 и 99,90 % Mg).

Также применяют следующие металлы:

- **цинк** (ГОСТ 3640–79) – от ЦВ00 до ЦЗ (99,997...97,5 % Zn);
- **олово** (ГОСТ 860–75) – от ОВЧ–000 до О4 (99,999...96,43 % Sn);
- **свинец** (ГОСТ 3778–77) – от С0 до С3С (99,992...99,5 % Pb);
- **никель** (ГОСТ 849–70) – от Н0 до Н4 (99,99...97,6 % Ni);
- **хром** (ГОСТ 5905–79) – от Х99А до Х97 (99...97 % Cr);
- **титан** (ГОСТ 17746–79) маркируется по твердости от ТГ–90 до ТГ150.

Подготовка металлических шихтовых материалов. Ферросплавы поступают в литейные цеха в виде кусков, по заказу предприятия в измельченном виде. Почти все ферросплавы являются немагнитными материалами.

Крупный чугунный лом разбивают под копром. Стружку брикетируют. Возврат очищают от остатков формовочной смеси.

1.2. Вторичные металлические материалы

Вторичные черные металлы составляют значительную часть состава шихты. В соответствии с ГОСТом 2787–86 (табл. 23) их подразделяют:

- на классы по содержанию углерода (стальной лом и отходы; чугунный лом и отходы);
- на категории по наличию легирующих элементов (А – углеродистые и Б – легированные);
- на 25 видов по показателям качества;
- на 67 групп по содержанию легирующих элементов.

Лом и отходы цветных металлов и сплавов (ГОСТ 1639–78). По наименованиям металлов они классифицируются на лом Al, Ti, Cu, Pb, Ni, Mo, Zn, Sn, Mg и металлы всех видов. По физическим признакам их делят на классы (А, Б, В); по химическому составу – на группы и марки сплавов.

Алюминий вторичный используется для раскисления (ГОСТ 395–79Е). В алюминии марок АВ97...АВ86 содержится соответственно 97...86 % Al и Mg (в сумме), при содержании магния не более 3 %. Кроме магния и алюминия в сплавах содержатся Cu, Zn, Si, Sb и Sn.

1.3 Специальные добавки

Специальные добавки вводятся в печь при плавке для корректировки химического состава сплава, либо для улучшения свойств шлака. Например, для корректировки состава чугуна по углероду вводят науглероживающие добавки – карбюризаторы, в качестве которых используют **кокс**, **каменный уголь**, **электродный бой** и **графитизированный порошок**. Некоторые виды карбюризаторов используют для раскисления шлака. Для разжижения шлака

при выплавке чугуна и стали используют плавиковый шпат.

Таблица 23

Вторичные черные металлы, используемые в качестве металлической шихты в плавильных агрегатах в литейных цехах (ГОСТ 2787–86)

Категория	Вид	Но- мер вида	Общее обозна- чение	Плавильный агрегат
Стальные лом и отходы				
А, Б	Стальной лом и отходы №1	1	1А, 1Б	ДСП, ИСТ, В
А, Б	Стальной лом и отходы №2	2	2А, 2Б	ДСП
А, Б	Шихтовые слитки	4	4А, 4Б	ДСП
А, Б	Брикеты из стальной стружки	7	7А, 7Б	ДСП, В
А, Б	Пакеты №1	8	8А, 8Б	ДСП
А, Б	Пакеты №2	9	9А, 9Б	ДСП
А	Пакеты №3	10	10А	ДСП
А	Стальная стружка №1	13	13А	ДСП, ИСТ, ИЧТ
Чугунные лом и отходы				
А, Б	Чугунные лом и отходы №1	16	16А, 16Б	ИЧТ, В
А	Чугунные лом и отходы №2	17	17А	ИЧТ, В
А	Брикеты из чугунной стружки	20	20А	В
А, Б	Чугунная стружка	21	21А, 21Б	ДСП, ИЧТ

Условные обозначения плавильных агрегатов: ДСП – дуговая сталеплавильная печь, ИСТ – индукционная сталеплавильная тигельная печь высокой частоты; В – вагранка; ИЧТ – индукционная чугуноплавильная тигельная печь промышленной частоты

Для получения шаровидного графита в чугуне при модифицировании используют реагенты, содержащие Mg, Ca, Ce, Y, Nd, Pr и др. (табл. 24–25).

Таблица 24

Лигатуры с РЗМ на железокремниевой основе (ТУ 14–5–136–81)

Марка лигатуры	Массовая доля элементов, %			
	сумма РЗМ	Si	Al	
			класс А	класс В
ФС30РЗМ30	30–40	30–50	2–4	4–8
ФС30РЗМ20	20–30	30–55	2–3	3–6
ФС30РЗМ15	15–20	30–60	2–6	6–10
ФС30РЗМ10	10–15	30–60	2–3	3–6
ФС30РЗМ5	5–10	30–60	2–6	6–15

Примечания:

1. Во всех лигатурах массовая доля Mg до 1,5 %; С до 0,5 %; Си до 2,5 %; Са до 0,5–6 %.
2. Повышение концентрации РЗМ в лигатурах всех марок выше верхнего предела и снижение концентрации Si ниже нижнего предела не является браковочным признаком, т.к. повышается качество лигатуры.
3. В ФС30РЗМ5 по соглашению с потребителем допускается содержание РЗМ менее 5 %.

Таблица 25

Химический состав магниевокальциевых модификаторов

Марка или название модификаторов	Массовая доля элементов, % (остальное железо)					
	Mg	Ca	сумма PЗМ	Si	Al	прочие
ТУ 14-5-134-81						
СМг2К2	1,5-4	2-4	0,3-1	30-60	2,5	-
СМг4К2	4-6	2-4	0,3-1	30-60	2,5	-
СМг7К0,3	6,5-8,5	0,1-1	0,3-0,8	45-55	1,5	-
СМг6К0,3	6-9	0,3-1,5	0,3-1	45-60	2,5	-
СМг6К2	6-9	2-4	0,3-1	45-60	2,5	-
СМг9К2	9-12	2-4	0,3-1	45-60	2,5	-
ТУ 14-5-39-74						
ЖКМК1	6-12	8-15	10	40-55	-	-
ЖКМК2	3-6	8-15	10	40-55	-	3-9 % Ва
ЖКМК3	6-12	8-20	-	40-55	-	3-9 % Ва
ЖКМК4	3-6	8-20	-	40-55	-	-
ЖКМК5	6-12	8-20	-	40-55	-	-
ЖКМК6	3-6	8-20	-	40-60	-	-

1.4. Топливо

Для плавки литейных сплавов используются твердые, жидкие и газообразные виды топлива.

Кокс литейный каменноугольный получают сухой перегонкой (нагревом до 1100 °С без доступа воздуха) коксующихся каменных углей. В процессе перегонки из угля выделяются летучие вещества (коксовый газ), смолы, аммиак, бензол. В результате получают куски пористого вещества с насыпной массой около 0,5 т/м³. Горючей составляющей кокса является углерод. Качество кокса характеризуется реакционной способностью, содержанием углерода, серы, золы, кусковатостью и прочностью. По содержанию вредного элемента (серы) различают три марки кокса (табл. 26).

Таблица 26

Характеристики каменноугольного кокса (ГОСТ 3340-88)

Наименование показателя	Норма для марки и класса					
	КЛ-1		КЛ-2		КЛ-3	
	60 мм и более	40 мм и более	60 мм и более	40 мм и более	60 мм и более	40 мм и более
Массовая доля общей серы, %, не более	0,6		1,0		1,4	
Зольность A^d , %, не более	12,0		11,0		11,5	
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива W^r , %, не более	5,0		5,0		5,0	
Показатель прочности М40, %, не менее	76	73	78	77	78	77
Выход летучих, %, не более	1,2		1,2		1,2	

Очень важен средний размер кусков и зольность. Высокая зольность снижает теплотворную способность кокса и КПД вагранки. Каждые 10 мм уменьшения диаметра кусков кокса приводят к снижению температуры металла на 15 град.

Кокс применяют как топливо в вагранке и, реже, в качестве карбюратора в дуговых печах.

Мазут используется при выплавке чугуна в пламенных печах. Мазут – продукт переработки нефти, который остается после удаления моторных топлив. Горючими составляющими мазута являются углерод (80–87 %) и водород (11–13 %). Содержание серы в малосернистом мазуте – до 0,5 %; в сернистом – до 2 %; в высокосернистом – до 3,5 %.

Природный газ. Основное вещество природного газа – метан (77–98 %), кроме него содержатся этан, пропан, бутан и тяжелые углеводороды. Показатели природного газа приведены в табл. 27.

Таблица 27

Свойства природного газа (ГОСТ 5542–87)

Наименование показателя	Норма
Теплота сгорания низшая при 20 °С, 101,325 кПа, МДж/м ³ , не менее	31,8
Область значений числа Воббе (высшего), МДж/м ³	41,2–54,5
Допустимое отклонение числа Воббе от номинального значения, %, не более	±5
Массовая концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,02
Массовая концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036
Объемная доля кислорода, %, не более	1,0
Масса механических примесей в 1 м ³ , г, не более	0,001
Интенсивность запаха газа при объемной доле 1 % в воздухе, балл, не менее	3

1.5. Флюсы

Флюсы применяются для наведения шлака при выплавке чугуна и стали, защиты поверхности расплава от окисления, для удаления из расплава вредных примесей.

Наибольшее распространение получили следующие флюсы:

– **известняк металлургический** (ТУ 48–7–2–72, ТУ 14–1–491–72) с размерами кусков 25–100 мм. В зависимости от содержания извести известняк делится на 3 сорта (табл. 28);

– **известь негашеная** (ТУ 4173–72), свежееобожженная, в кусках, основу которой составляет 88–93 % СаО;

– **шпат плавиковый** (ГОСТ 7618–83), размельченный до фракции 3–10 мм. При плавке не допускается использовать шпат с прочным зеленым, розовым или палевым изломом;

– **мел и мрамор**, по своему составу аналогичны известняку;

– **карбид кальция** (ГОСТ 1460–81);

Таблица 28

Состав известняка, мас. %

Компонент	Сорт известняка		
	1-й	2-й	3-й
CaO, не менее	52	50	49
SiO ₂ , не более	1,75	3,0	4,0
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , не более	2,0	3,0	3,0
MgO, не более	3,5	3,5	3,5
P ₂ O ₅ , не более	0,02	0,04	0,04
SO ₂ , не более	0,25	0,35	0,35
Нерастворимый осадок	2,15	3,75	5,0

– *доломит*, содержащий, %: 30 CaO; 20 MgO; 45 CO₂. Применяют доломит обожженный (ГОСТ 10389–63) и сырой металлургический (ГОСТ 10375–63);

– *сода кальцинированная техническая* (ГОСТ 5100–85*E);

– *плавиковый шпат*, основной компонент которого CaF₂;

– *кварцевый песок* с содержанием не менее 95 % SiO₂.

2. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ СОСТАВЫ ШИХТЫ ДЛЯ ЧУГУНОВ

Рекомендуемые составы шихты для чугунов приведены в табл. 29–31.

Таблица 29

Рекомендуемые составы шихты для белого (ковкого) чугуна

Индекс шихты	Средний состав шихты, % по массе				возврат собственного производства (в т.ч. стружка)**
	доменный чугун		лом*		
	литейный	передельный	чугунный	стальной (в т.ч. стружка)**	
I	0–15	10–15	5–15	25–40 (6–10)	35–50 (5–10)
II	–	20–25	0–10	25–40 (6–10)	40–50 (4–8)
III	–	10–20	–	40–50 (0)	40–50 (до 5)

* Содержание хрома в шихте не более 0,06–0,07 %.

** Стальная и чугунная стружка при выплавке в электрических печах может применяться россыпью, в вагранках – в виде брикетов.

3. ЧУГУН

Чугун – сплав железа с углеродом (более 2,14 %) и другими компонентами. Требуемый химический состав чугунов регламентируется соответствующими ГОСТами и ТУ: чугун с пластинчатым графитом (ГОСТ 1412–85); чугун с шаровидным графитом (ГОСТ 7293–85); чугун с вермикулярным графитом (ГОСТ 28394–89); ковкий чугун (ГОСТ 1215–79); антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585–85).

Таблица 30

Рекомендуемые (средние) составы шихты для серого чугуна

Марка чугуна	Плавильный агрегат	Средний состав шихты, % по массе						возврат собственного производства
		доменный чугун		лом со стороны		стружка		
		литейный ¹	передельный	чугунный	стальной	чугунная	стальная	
От СЧ10	Вагранка холодного дутья ⁴	30–50	До 5	10–30	0–10	–	–	20–30
СЧ20		25–40	До 5	10–25	10–20	–	–	15–30
СЧ25		25–35	До 5	10–20	15–35	–	–	10–25
СЧ30								
От СЧ10 до СЧ18	Вагранка горячего дутья ⁴	20–40	5–10	10–20	4–10	–	–	20–40
СЧ20		20–30	5–10	10–25	10–20	–	–	10–25
От СЧ25 до СЧ35		15–25	–	5–25	20–60	–	–	5–20
От СЧ10 до СЧ20	Электрическая печь (дуговая, индукционная, тигельная)	–	10–25	25–35	20–40 ²	5–10 ³	До 5 ³	25–35
СЧ25		–	10–25	15–30	30–55 ²	5–10 ²	До 5 ³	20–30
От СЧ35 до СЧ45		–	–	95–100 ²	–	–	До 5 ³	–

Примечания. 1. Литейные чугуны следует применять в шихте в соотношении, %: ЛК1 – 15; ЛК2 – 25; ЛК3 – 30; ЛК4 – 20; ЛК5 – 10.

2. В том числе отходы углеродистой стали и отходы трансформаторной и динамной сталей.

3. Стружка россыпью известного химического состава.

4. В случае использования вагранок в дуплексе с электропечами содержание передельных чугунов в шихте можно увеличить до 20 %.

5. Карбюризаторы и ферросплавы на расчету сверх 100 %.

Рекомендуемые составы шихты для чугуна с шаровидным графитом

Марка чугуна	Плавильный агрегат	Средний состав шихты, % по массе						возврат собственного производства
		доменный чугун		лом со стороны		стружка		
		литейный	передельный	чугунный	стальной	чугунная	стальная	
ВЧ45–ВЧ50	Вагранка с холодным дутьем	20–60	10–50	20–30	5–10	0	0	30–35
ВЧ45–ВЧ60	Вагранка с горячим дутьем	20–50	10–50	20–30	5–10	5–10	0	30–35
ВЧ35–ВЧ70		20–30	10–20	20–30	до 15	5–10	до 5	30–35
ВЧ80	Дуговая электропечь кислая	10–50	10–50	до 50	5–10	до 15	0	Без ограничения
Все марки	Дуговая электропечь основная	10–40	10–40	до 50	5–10	до 15	до 5	
Все марки	Индукционная тигельная печь	0–15	0–15	до 50	до 60	до 15	до 5	

Серый чугун с пластинчатым графитом является наилучшим литейным сплавом, благодаря чему из него можно получать отливки различных размеров, массы и конфигурации без прибылей или с малыми прибылями с наибольшим выходом годного литья. Технология изготовления отливок отличается простотой, высокими технико-экономическими показателями, не требует дефицитных материалов и больших энергозатрат.

Химический состав и механические свойства этих чугунов приведены в табл. 32, физические свойства – в табл. 33.

Таблица 32

Механические свойства и рекомендуемый химический состав серого чугуна (ГОСТ 1412–85)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)					Механические свойства	
	C	Si	Mn	P	S	временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее	твердость по Бринеллю НВ
				не более			
СЧ10	3,5–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8	0,3	0,15	100	143–229
СЧ15	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8	0,2	0,15	150	163–229
СЧ18	–	–	–	–	–	180	–
СЧ20	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0	0,2	0,15	200	170–241
СЧ21	–	–	–	–	–	210	–
СЧ24	–	–	–	–	–	240	–
СЧ25	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0	0,2	0,15	250	180–250
СЧ30	3,0–3,2	1,3–1,9	0,7–1,0	0,2	0,12	300	181–255
СЧ35	2,9–3,0	1,2–1,5	0,7–1,1	0,2	0,12	350	197–269

Примечание. Допускается низкое легирование чугуна различными элементами (хромом, никелем, медью, фосфором и др.).

Таблица 33

Физические свойства чугуна с пластинчатым графитом

Марка чугуна	Плотность, $\cdot 10^3$ кг/м ³	Линейная усадка, %	Модуль упругости при растяжении, $\cdot 10^{-2}$ МПа	Удельная теплоемкость при температуре от 20 до 200°С, Дж/(кг·К)	Коэффициент линейного расширения при температуре от 20 до 200°С, 10^6 1/°С	Теплопроводность при 20 °С, Вт/(м·К)
СЧ10	6,8	1,0	700–1100	460	8,0	60
СЧ15	7,0	1,1	700–1100	460	9,0	59
СЧ20	7,1	1,2	850–1100	480	9,5	54
СЧ25	7,2	1,2	900–1100	500	10,0	50
СЧ30	7,3	1,3	1200–1450	525	10,5	46
СЧ35	7,4	1,3	1300–1550	545	11,0	42

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – наиболее перспективный литейный сплав, с помощью которого успешно решают проблему снижения массы конструкций при сохранении их высокой надежности и долговечности.

Отличительной способностью этого чугуна являются его высокие механические свойства (табл. 34), обусловленные шаровидной формой графита, которая в меньшей степени, чем пластинчатая в сером чугуне ослабляет рабочее сечение металлической основы и не оказывает на нее сильного надрезающего действия, благодаря чему вокруг включений графита в меньшей степени создаются концентрации напряжений.

Получение шаровидного графита в чугуне достигается при модифицировании расплава реагентами, содержащими магний, кальций и т.д. Некоторые элементы (например, S, As, Sb, Bi – *демодификаторы*) препятствуют сфероидизации графита, поэтому их содержание должно быть минимальным.

Высокопрочный чугун с вермикулярным графитом отличается от серого чугуна более высокой прочностью, теплопроводностью, стабильностью свойств по толщине стенки отливки. Этот материал перспективен для изготовления ответственных отливок, работающих в условиях теплосмен (например, в моторостроении).

Вермикулярный графит получают путем обработки расплава чугуна лигатурами, содержащими РЗМ. Рекомендуемый химический состав и механические свойства чугунов приведен в табл. 35.

Ковкий чугун – это менее перспективный материал из-за сложной технологии его получения и длительности производственного цикла. Ковкий чугун получают путем отжига белого чугуна определенного химического состава, отличающегося пониженным содержанием графитизирующих элементов (углерода, кремния), чтобы получить отбеленный чугун по всему сечению отливки, что обеспечивает получение компактного графита в процессе отжига.

Различают:

а) черносердечный ковкий чугун, получаемый в результате графитизирующего отжига;

б) белосердечный ковкий чугун, получаемый путем обезуглероживающего отжига в окислительной среде.

Матрица чугуна может быть перлитной, ферритной или перлитно-ферритной в зависимости от режима отжига (табл. 36).

Антифрикционные чугуны – это группа специальных сплавов, структура которых удовлетворяет правилу Шарпи (включения твердой фазы в мягкой основе), способных работать в условиях трения, как подшипники скольжения. Химический состав антифрикционных чугунов приведен в табл. 37, структура и свойства – в табл. 38.

Таблица 34

Механические свойства и рекомендуемый химический состав чугуна с шаровидным графитом (ГОСТ 7293–85)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)							Механические свойства				
	С			Si			Mn	прочие	предел прочности на сжатие, МПа	предел прочности, МПа	твёрдость по Бринеллю, НВ	относитель- ное удлине- ние, %
	толщина стенки отливки			толщина стенки отливки								
	50	51–100	более 100	50	51–100	более 100						
ВЧ35	3,3–3,8	3,0–3,5	2,7–3,2	1,9–2,9	1,3–1,7	0,8–1,5	0,2–0,6	0,05 Cr	350	220	140–170	22
ВЧ40	3,3–3,8	3,0–3,5	2,7–3,3	1,9–2,9	1,2–1,7	0,5–1,5	0,2–0,6	0,10 Cr	400	250	140–202	15
ВЧ45	3,3–3,8	3,0–3,5	2,7–3,2	1,9–2,9	1,3–1,7	0,5–1,5	0,3–0,7	0,10 Cr	450	310	140–225	10
ВЧ50	3,2–3,7	3,0–3,3	2,7–3,2	1,9–2,9	2,2–2,6	0,8–1,5	0,3–0,7	0,15 Cr	500	320	153–245	7
ВЧ60	3,2–3,6	3,0–3,3	–	2,4–2,6	2,4–2,8	–	0,4–0,7	0,15 Cr 0,30 Cu 0,40 Ni	600	370	192–270	3
ВЧ70	3,2–3,6	3,0–3,3	–	2,6–2,9	2,6–2,9	–	0,4–0,7	0,15 Cr 0,40 Cu 0,60 Ni	700	420	228–302	2
ВЧ80	3,2–3,6	–	–	2,6–2,9	–	–	0,4–0,7	0,15 Cr 0,60 Cu 0,60 Ni	800	480	248–351	2
ВЧ100	3,2–3,6	–	–	3,0–3,8	–	–	0,4–0,7	0,15 Cr 0,60 Cu 0,80 Ni	1000	700	270–360	2

Примечание. Содержание фосфора до 0,1 %, серы до 0,02 %.

Рекомендуемый химический состав и механические свойства чугуна с вермикулярным графитом (ГОСТ 28394–89)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)								Механические свойства			
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	<u>магний</u> ΣРЗМ	временное сопротивление разрыву, МПа	относительный предел текучести, МПа	относительное удлинение, %	твёрдость по Бринеллю НВ
ЧВГ30	3,5–3,8	2,2–3,0	0,2–0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	–	<u>0,015–0,028*</u> 0,10–0,20	300	240	3,0	130–180
ЧВГ35	3,5–3,8	2,2–2,8	0,2–0,6	до 0,08	до 0,025	до 0,15	–	<u>0,02–0,028</u> 0,10–0,20	350	260	2,0	140–190
ЧВГ40	3,1–3,5	2,0–2,5	0,4–1,0	до 0,08	до 0,025	до 0,25	0,4–0,6	<u>0,02–0,028</u> 0,10–0,20	400	320	1,5	170–220
ЧВГ45**	3,1–3,5	2,0–2,5	0,8–1,2	до 0,05	до 0,025	до 0,30	0,8–1,0	<u>0,02–0,028</u> 0,10–0,20	450	380	0,8	190–250

* Цифры в числителе соответствуют содержанию остаточного магния в чугуне, в знаменателе – остаточному содержанию суммы редкоземельных элементов (РЗМ).

** Для получения износостойкого и теплостойкого перлитного ЧВГ допускается легирование чугуна марки ЧВГ45 0,8–1,2 % никеля и 0,2–0,4 % молибдена.

Таблица 36

Механические свойства и рекомендуемый химический состав ковкого чугуна
(ГОСТ 1215–79Е*, пересмотрен в 1991 г.)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)			Механические свойства		
	С	Si	Mn	временное сопротивление разрыву, МПа	относительное удлинение, %	твердость, по Бринеллю НВ
Ферритный чугун						
КЧ30–6	2,6–2,9	1,0–1,6	0,4–0,6	294	6	100–163
КЧ33–8	2,6–2,9	1,0–1,6	0,4–0,6	323	8	100–163
КЧ35–10	2,5–2,8	1,1–1,3	0,3–0,6	333	10	100–163
КЧ37–12	2,4–2,7	1,2–1,4	0,3–0,6	362	12	100–163
Перлитный чугун						
КЧ45–7	2,5–2,8	1,1–1,3	0,3–1,0	441	7	150–207
КЧ50–5	2,5–2,8	1,1–1,3	0,3–1,0	490	5	170–230
КЧ55–4	2,5–2,8	1,1–1,3	0,3–1,0	539	4	192–241
КЧ60–3	2,5–2,8	1,1–1,3	0,3–1,0	588	3	200–269
КЧ65–3	2,4–2,7	1,2–1,4	0,3–1,0	637	3	212–269
КЧ70–2	2,4–2,7	1,2–1,4	0,3–1,0	686	2	241–285
КЧ80–1,5	2,4–2,7	1,2–1,4	0,3–1,0	784	1,5	270–320

Примечание. Содержание примесей P ≤ 0,10–0,18 %; S ≤ U 0,06–0,20 %; Cr ≤ U 0,06–0,08 %

Таблица 37

Химический состав антифрикционных чугунов (ГОСТ 1585–85)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)					
	С	Si	Mn	P	S	прочие
АЧС–1	3,2–3,6	1,3–2,0	0,6–1,2	0,15–0,40	≤ 0,12	0,2–0,5 Cr 0,8–1,6 Cu
АЧС–2	3,0–3,8	1,4–2,2	0,3–1,0	0,15–0,40	≤ 0,12	0,2–0,5 Cr 0,2–0,5 Ni 0,03–0,10 Ti 0,2–0,5 Cu
АЧС–3	3,2–3,8	1,7–2,6	0,3–0,7	0,15–0,40	≤ 0,12	≤ 0,03 Cr ≤ 0,3 Ni 0,03–0,1 Ti 0,2–0,5 Cu
АЧС–4	3,0–3,5	1,4–2,2	0,4–0,8	≤ 0,30	0,12–0,20	0,04–0,4 Sb
АЧС–5	3,5–4,3	2,5–3,5	7,5–12,5	≤ 0,20	≤ 0,05	0,4–0,8 Al
АЧС–6	2,2–2,8	3,0–4,0	0,2–0,6	0,5–1,0	≤ 0,12	0,5–1,0 Pb
АЧВ–1	2,8–3,5	1,8–2,7	0,6–1,2	≤ 0,20	≤ 0,03	≤ 0,7 Cu 0,03–0,08 Mg
АЧВ–2	2,8–3,5	2,2–2,7	0,4–0,8	≤ 0,20	≤ 0,03	0,03–0,08 Mg
АЧК–1	2,3–3,0	0,5–1,0	0,6–1,2	≤ 0,20	≤ 0,12	1,0–1,5 Cu
АЧК–2	2,6–3,0	0,8–1,3	0,2–0,6	≤ 0,25	≤ 0,12	–

Структура и свойства антифрикционных чугунов (ГОСТ 1585–85)

Марка чугуна	Графит		Перлит типа Пт1		Фосфидная эвтектика	Прочие составляющие	Твердость по Бринеллю, НВ
	форма	размер	занимаемая площадь	дисперсность			
АЧС–1	Г _ф 1,	Г _{раз} 15– Г _{раз} 180	П–П70	П _д 0,3–П _д 1,6	Ф _р 1, Ф _р 2	Цементит не допускается	180–241
АЧС–2	Г _ф 2		П85–П70				180–229
АЧС–3	Г _ф 4, Г _ф 5						160–190
АЧС–4							П–П85
АЧС–5	Аустенит: после закалки – не менее 80 % поля шлифа, в литом состоянии – не менее 45 % поля шлифа. Карбиды: после закалки – не более 8 %, в литом состоянии – не более 25 %.		180–290 140–180*				
АЧС–6	П–П85		Цементит не допускается		100–120		
АЧВ–1	Г _ф 11–	Г _{раз} 15–	П96–П45	П _д 0,3–П _д 1,6	Ф _р 1, Ф _р 2	Не более 5 % цемента	210–260
АЧВ–2	Г _ф 13	Г _{раз} 180	П70–П45			167–197	
АЧК–1	Г _ф 8,	Г _{раз} 15–	П–П85			Цементит не допускается	187–229
АЧК–2	Г _ф 9	Г _{раз} 190	П70–П45			167–197	

– **легированные чугуны со специальными свойствами.** Это жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, коррозионно–стойкие, немагнитные чугуны.

Химический состав и механические свойства регламентирует ГОСТ 7769–82 (табл. 39–40).

В обозначении легированных чугунов на первом месте указывают букву «Ч» (чугун), далее стоит наименование элемента и его процентное содержание. Отсутствие цифры обозначает, что содержание этого элемента до 1,5 % (по верхнему пределу). В настоящее время приняты следующие обозначения легирующих элементов: Г – марганец; С – кремний; Н – никель; Х – хром; М – молибден; В – вольфрам; Ф – ванадий; Т – титан; Д – медь; Ю – алюминий; Б – ниобий; К – кобальт; Р – бор; П – фосфор; А – азот; Ц – цирконий; А – азот; Б – ниобий; Е – селен.

Буква «Ш» в конце наименования марки обозначает особовысококачественный чугун.

Таблица 39

Химический состав легированных чугунов (ГОСТ 7769–82)

Марка чугуна	Массовая доля элементов, % (остальное железо)						
	C	Si	Mn	P	S, не более	Cr	прочие
1	2	3	4	5	6	7	8
ЧХ1	3,0–3,8	1,5–2,0	≤ 1,0	≤ 0,30	0,12	0,40–1,00	–
ЧХ2	3,0–3,8	2,0–3,0	≤ 1,0	≤ 0,30	0,12	1,01–2,00	–
ЧХ3	3,0–3,8	2,8–3,8	≤ 1,0	≤ 0,30	0,12	2,01–3,00	–
ЧХ3Т	2,6–3,6	0,7–1,5	≤ 1,0	≤ 0,30	0,12	2,01–3,00	0,5–0,8 Cu 0,7–1,0 Ti
ЧХ9Н5	2,8–3,6	1,2–2,0	0,5–1,5	≤ 0,06	0,10	8,0–9,5	4,0–6,0 Ni 0,2–0,4 Mo
ЧХ16	1,6–2,4	1,5–2,2	≤ 1,0	≤ 0,10	0,05	13,0–19,0	–
ЧХ16М2	2,4–3,6	0,5–1,5	1,5–2,5	≤ 0,10	0,05	13,0–19,0	1,0–1,5 Cu 0,5–2,0 Mo
ЧХ22	2,4–3,6	0,2–1,0	1,5–2,5	≤ 0,10	0,08	19,0–25,0	0,15–0,35 V
ЧХ22С	0,6–1,0	3,0–4,0	≤ 1,0	≤ 0,10	0,08	19,0–25,0	–
ЧХ28	0,5–1,6	0,5–1,5	≤ 1,0	≤ 0,10	0,08	25,0–30,0	–
ЧХ28П	1,8–3,0	1,5–2,5	≤ 1,0	0,8–1,5	0,08	25,0–30,0	–
ЧХ28Д2	2,2–3,0	0,5–1,5	1,5–2,5	≤ 0,10	0,08	25,0–30,0	0,4–0,8 Ni 1,5–2,5 Cu
ЧХ32	1,6–3,2	1,5–2,5	≤ 1,0	≤ 0,10	0,08	30,0–34,0	0,1–0,3 Ti
ЧС5	2,5–3,2	4,5–6,0	0,8	0,3	0,12	0,5–1,0	–
ЧС5Ш	2,7–3,3	4,5–5,5	0,8	0,10	0,03	0,0–0,2	0,1–0,3 Al
ЧС13	0,6–1,4	12,0–14,0	0,8	0,10	0,07	–	–
ЧС15	0,3–0,8	14,1–16,0	0,8	0,10	0,07	–	–
ЧС15М4	0,5–0,9	14,0–16,0	,8	0,10	0,10	–	3,0–4,0 Mo
ЧС17	0,3–0,5	16,1–18,0	,8	0,10	0,07	–	–
ЧС17М3	0,3–0,6	16,0–18,0	1,0	0,3	0,10	–	2,0–3,0 Mo
ЧЮХШ	3,0–3,8	2,0–3,0	0,5	0,10	0,03	0,4–1,0	0,6–1,5 Al
ЧЮ6С5	1,8–2,4	4,5–6,0	0,8	0,30	0,12	–	5,5–7,0 Al
ЧЮ7Х2	2,5–3,0	1,5–3,0	1,0	0,30	0,12	1,5–3,0	5,0–9,0 Al
ЧЮ22Ш	1,6–2,5	1,0–2,0	0,8	0,20	0,03	–	19,0–25,0 Al
ЧЮ30	1,0–1,2	0,0–0,5	0,8	0,04	0,08	–	0,05–0,12 Ti 29,0–31,0 Al
ЧГ6С3Ш	2,2–3,0	2,0–3,5	4,0–7,0	0,06	0,03	0,0–0,15	0,5–1,0 Mo 0,5–1,5 Al
ЧГ7Х4	3,0–3,8	1,4–2,0	6,0–8,0	0,10	0,05	3,0–5,0	–
ЧГ8Д3	3,0–3,8	2,0–2,5	7,0–9,0	0,30	0,10	–	0,8–1,5 Ni 2,5–3,5 Cu 0,5–1,0 Al
ЧНХТ	2,7–3,4	1,4–2,0	0,8–1,6	0,3–0,6	0,15	0,2–0,6	0,3–0,7 Ni 0,05–0,12 Ti
ЧНХМД	2,8–3,2	1,6–2,0	0,8–1,2	0,15	0,15	0,2–0,7	0,7–1,6 Ni 0,2–0,5 Cu 0,2–0,7 Mo

Продолжение таблицы 39

1	2	3	4	5	6	7	8
ЧНМШ	2,8–3,8	1,7–3,2	0,8–1,2	0,10	0,03	0,0–0,1	0,8–1,5 Ni 0,3–0,7 Mo
ЧН2Х	3,0–3,6	1,2–2,0	0,6–1,0	0,25	0,12	0,4–0,6	1,5–2,0 Ni
ЧН4Х2	2,8–3,6	0,0–1,0	0,8–1,3	0,30	0,15	0,8–2,5	3,5–5,0 Ni
ЧН11Г7Ш	2,3–3,0	1,8–2,5	5,0–8,0	0,08	0,03	1,5–2,5	10,0–12,0 Ni
ЧН15Д7	2,2–3,0	2,0–2,5	0,5–1,6	0,30	0,10	1,5–3,0	14,0–16,0 Ni 5,0–8,0 Cu
ЧН15Д3Ш	2,5–3,0	1,4–3,0	1,3–1,8	0,08	0,03	0,6–1,0	14,0–16,0 Ni 3,0–3,5 Cu
ЧН19Х3Ш	2,3–3,0	1,8–2,5	1,0–1,6	0,10	0,03	1,5–3,0	18,0–20,0 Ni
ЧН20Д2Ш	1,8–2,5	3,0–3,5	1,5–2,0	0,03	0,01	0,5–1,0	19,0–21,0 Ni 1,5–2,0 Cu 0,1–0,3 Al

Примечание. При массовой доле Cr 13–16 % и 16–19 % рекомендуется массовая доля Mo соответственно 2,0–1,5 % и 1,5–0,5 %.

Таблица 40
Механические свойства легированных чугунов (ГОСТ 7769–82)

Вид чугуна	Марка чугуна	Механические свойства			Свойства отливок
		временное сопротивление разрыву, МПа	относительный предел текучести, МПа	твёрдость по Бринеллю, НВ	
1	2	3	4	5	6
Хромистый					
Низколегированный	ЧХ1	170	350	203–280	Жаростойкие
	ЧХ2	150	310	203–280	Жаростойкие
	ЧХ3	150	310	223–356	Жаростойкие и износостойкие
	ЧХ4	200	400	440–586	Износостойкие
Высоколегированные	ЧХ9Н5	350	700	490–607	Износостойкие
	ЧХ16	350	70	390–440	Жаростойкие и износостойкие
	ЧХ16М2	170	490	490–607	Износостойкие
	ЧХ22	290	540	333–607	Износостойкие

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4	5	6
	ЧХ22С	290	540	215–333	Коррозионно-стойкие и жаростойкие
	ЧХ28	370	560	215–264	То же
	ЧХ28П	200	40	245–390	Стойкие в цинковом расплаве
	ЧХ28Д2	390	690	390–635	Износостойкие и коррозионно-стойкие
	ЧХ32	390	690	245–333	Жаростойкие и износостойкие
Кремнистый					
Низколегированный	ЧС5	150	290	140–294	Жаростойкие
	ЧС5Ш	290	–	223–294	Жаростойкие
Высоколегированный	ЧС13	100	210	294–390	Коррозионно-стойкие в жидкой среде
	ЧС15	60	170	294–390	То же
	ЧС17	40	140	390–450	То же
	ЧС15М4	60	140	390–450	То же
	ЧС17М3	60	100	390–450	То же
Алюминиевый					
Низколегированный	ЧЮХШ	390	590	183–356	Жаростойкие
Высоколегированный	ЧЮ6С5	120	240	236–294	Жаростойкие и износостойкие
	ЧЮ7Х2	120	170	254–294	То же
	ЧЮ22Ш	290	490	235–356	Жаростойкие и износостойкие при высокой температуре
	ЧЮ30	200	350	356–536	То же
Марганцевый					
Высоколегированный	ЧГ6С3Ш	490	680	215–254	Износостойкие
	ЧГ7Х4	150	330	490–586	То же
	ЧГ8Д3	150	330	176–285	Маломагнитные и износостойкие

Продолжение таблицы 40

1	2	3	4	5	6
Никелевый					
Низколегированный	ЧНХТ	280	430	196–280	Коррозионно-стойкие в газовых средах двигателей
	ЧНХМД	290	690	196–280	То же
	ЧНМШ	490	–	183–280	То же
	ЧН12Х	290	490	215–280	Износостойкие
Высоколегированный	ЧН4Х2	200	400	460–645	Износостойкие
	ЧН11Г7Ш	390	–	120–250	Жаропрочные и маломагнитные
	ЧН15Д3Ш	340	–	120–250	То же
	ЧН15Д7	150	350	120–250	Жаропрочные и маломагнитные
	ЧН19Х3Ш	340	–	120–250	Жаропрочные и маломагнитные
	ЧН20Д2Ш	500	–	120–220	Жаропрочные, хладостойкие и маломагнитные

4. СТАЛЬ

Сталью называют сплав на основе железа с содержанием углерода до 2 %.

Важнейшим классификационным признаком сталей является их химический состав.

По химическому составу стали подразделяют на углеродистые (низкоуглеродистые с 0,09–0,20 % С, углеродистые с 0,20–0,45 % С, высокоуглеродистые с более 0,5 % С) и легированные (сумма легирующих элементов у низколегированных сталей до 2,5 %, у среднелегированных 2,5–10,0 %, у высоколегированных более 10,0 %).

При обозначении марок стали используют следующие обозначения химических элементов: Г – марганец, С – кремний, Н – никель, Х – хром, М – молибден, В – вольфрам, Ф – ванадий, Т – титан, Д – медь, Ю – алюминий, Б – ниобий, К – кобальт, Р – бор, П – фосфор, А – азот, Ц – цирконий; А – азот; Б – ниобий; Е – селен.

Первые цифры в марке стали указывают содержание углерода в сотых долях процента. Цифра после буквы указывает среднее, округленное до 1 % содержание легирующего элемента, при этом единица опускается. В отдельных случаях может быть указано более точно содержание легирующего элемента. Например, сталь 32Х06Л содержит в среднем 0,32 % С и 0,6 % Cr.

Последняя буква Л указывает, что сталь литейная.

Химический состав, механические свойства углеродистых литейных сталей (табл. 41), а также методы ее испытаний регламентирует ГОСТ 977–88.

Таблица 41

Содержание основных элементов и механические свойства углеродистых сталей (ГОСТ 977–88)

Марка стали	Массовая доля элементов, %		Предел текучести $\sigma_{0,2}$	Временное сопротивление σ_b	Относительное удлинение	Относительное сужение	Ударная вязкость КСУ, кДж/м ²
	С	Mn					
15Л	0,12–0,20	0,30–0,90	196	392	24	35	491
20Л	0,17–0,25	0,35–0,90	216	412	22	35	491
25Л	0,22–0,30	0,35–0,90	235	441	19	30	392
30Л	0,27–0,35	0,40–0,90	255	471	17	30	343
35Л	0,32–0,40	0,40–0,90	275	491	15	25	343
40Л	0,37–0,45	0,40–0,90	294	520	14	25	294
45Л	0,42–0,50	0,40–0,90	314	540	12	20	294
50Л	0,47–0,55	0,40–0,90	334	569	11	20	245

Примечания.

1. Массовая доля Si 0,2–0,52 %.
2. Механические свойства указаны после нормализации или после нормализации с отпуском

В ГОСТе 977–88 приведены химический состав, механические свойства и методы испытаний низколегированных сталей (табл. 42).

В связи с интенсивным развитием химической и пищевой промышленности, авиационной и космической техники расширяется производство отливок из высоколегированных сталей. Общие технические условия на отливки из высоколегированных сталей со специальными свойствами изложены в ГОСТ 2176–77 (табл. 43)

5. РАСЧЕТ ШИХТЫ

Основной задачей расчета шихтовых материалов является установление такого соотношения компонентов шихты, которое обеспечивает получение сплава требуемого химического состава при минимальной его стоимости.

Таблица 42

Химический состав низколегированных сталей (ГОСТ 977–88)

Марка стали	Массовая доля элементов, % (остальное железо)								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	прочие
				не более					
20ГЛ	0,15–0,25	1,2–1,6	0,2–0,40	0,04	0,04	до 0,3	до 0,3	до 0,3	–
35ГЛ	0,30–0,40	1,2–1,6	0,2–0,40	0,04	0,04	до 0,3	до 0,3	до 0,3	–
30ГСЛ	0,25–0,35	1,1–1,4	0,6–0,80	0,04	0,04	до 0,3	до 0,3	до 0,3	–
20Г1ФЛ	0,14–0,25	0,9–1,4	0,2–0,50	0,05	0,05	до 0,3	до 0,3	до 0,3	0,06–0,15 V до 0,03 Ti
20ФЛ	0,14–0,25	0,7–1,2	0,2–0,52	0,05	0,05	до 0,3	до 0,3	до 0,3	0,06–0,15 V
30ХГСФЛ	0,25–0,35	1,0–1,5	0,4–0,60	0,05	0,05	0,3–0,5	до 0,3	до 0,3	0,06–0,15 V
40ФЛ	0,42–0,50	0,4–0,9	0,2–0,52	0,05	0,05	0,3–0,5	до 0,3	до 0,3	0,06–0,15 V
32Х06Л	0,25–0,35	0,4–0,9	0,2–0,40	0,05	0,05	0,5–0,8	до 0,3	до 0,3	–
40ХЛ	0,35–0,45	0,4–0,9	0,2–0,40	0,04	0,04	0,8–1,1	до 0,3	до 0,3	–
35ХМЛ	0,30–0,40	0,4–0,9	0,2–0,40	0,04	0,04	0,8–1,1	до 0,3	до 0,3	0,2–0,3 Мо
30ХНМЛ	0,25–0,35	0,2–0,40	0,2–0,40	0,04	0,04	1,3–1,6	1,3–1,6	до 0,3	0,2–0,3 Мо
35ХГСЛ	0,30–0,40	1,0–1,3	0,6–0,80	0,04	0,04	0,6–0,9	до 0,33	до 0,3	–
35НГМЛ	0,32–0,42	0,8–1,2	0,2–0,40	0,04	0,04	до 0,3	0,8–1,2	до 0,3	0,15–0,25 Мо
20ДХЛ	0,15–0,25	0,5–0,8	0,2–0,4	0,04	0,04	0,8–1,1	до 0,3	1,4–1,5	–
20ХГСНДМЛ	0,18–0,24	0,9–1,3	0,9–1,2	0,05	0,045	0,6–0,9	1,1–1,5	0,4–0,6	0,1–0,15 Мо 0,03–0,07 Ti
08ГДНФЛ	до 0,10	0,6–1,0	0,15–0,4	0,035	0,035	до 0,3	1,15–1,55	0,8–1,2	0,06–0,15 V
13ХНДФТЛ	до 0,16	0,4–0,9	0,2–0,4	0,03	0,03	0,15–0,4	1,2–1,6	0,65–0,9	0,06–0,12 V 0,04–0,1 Ti
12ДН2ФЛ	0,08–0,16	0,4–0,9	0,2–0,4	0,035	0,035	до 0,3	1,8–2,2	1,2–1,5	0,08–0,15 V
12ДХН1МФЛ	0,10–0,18	0,3–0,55	0,2–0,4	0,03	0,03	1,2–1,7	1,4–1,8	0,4–0,65	0,2–0,3 Мо 0,08–0,15 V
23ХГС2МФЛ	0,18–0,24	0,5–0,8	1,8–2,0	0,025	0,025	0,6–0,9	–	до 0,3	0,25–0,3 Мо 0,1–0,15 V
25Х2Г2ФЛ	0,22–0,27	1,6–1,8	0,7–0,9	0,025	0,025	1,8–2,2	до 0,2	до 0,3	0,15–0,2 V

Таблица 43

Химический состав низколегированных сталей (ГОСТ 2176–77)

Марка стали	Массовая доля элементов, % (остальное железо)								
	С	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	прочие
						не более			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мартенситный класс									
20X5МЛ	0,15–0,25	0,35–0,70	0,40–0,60	4,0–6,5	до 0,50	0,040	0,040	до 0,3	0,40–0,65 Мо
02X5ТЛ	0,15–0,25	0,30–0,60	0,30–0,60	4,5–6,0	до 0,50	0,035	0,040	до 0,3	до 0,1 Ti
20X8ВЛ	0,15–0,25	0,30–0,60	0,30–0,50	7,5–9,0	до 0,50	0,035	0,040	до 0,3	1,25–1,75 W
20X13Л	0,16–0,25	0,20–0,80	0,30–0,80	12,0–14,0	до 0,50	0,025	0,030	до 0,3	–
10X14НДЛ	до 0,10	0,20–0,40	0,30–0,60	13,5–15,0	1,20–1,60	0,030	0,030	1,2–1,6	–
09X16Н4БЛ	0,05–0,13	0,20–0,60	0,30–0,60	15,0–17,0	3,5–4,5	0,025	0,300	до 0,3	0,05–0,20 Nb
09X17Н3СЛ	0,05–0,12	0,8–1,50	0,30–0,80	15,0–18,0	2,8–3,8	0,030	0,035	до 0,3	–
40X9С2Л	0,35–0,50	2,00–3,00	0,30–0,70	8,0–10,0	до 0,50	0,030	0,035	до 0,3	–
10X12НДЛ	до 0,10	0,17–0,40	0,20–0,60	11,5–13,0	1,0–1,5	0,025	0,025	0,8–1,1	–
20X12ВНМФЛ	0,17–0,23	0,20–0,60	0,50–0,90	10,5–12,5	0,5–0,9	0,025	0,030	до 0,3	0,05–0,7 Мо 0,15–0,30 V 0,7–1,1 W
Мартенситно–ферритный класс									
15X13Л	до 0,15	0,20–0,80	0,30–0,80	12,0–14,0	до 0,50	0,025	0,030	до 0,30	–
Ферритный класс									
15X25ТЛ	0,10–0,20	0,50–1,20	0,50–0,80	23,0–27,0	до 0,50	0,030	0,035	до 0,3	0,40–0,80 Ti
Аустенитно–мартенситный класс									
08X14Н7МЛ	до 0,08	0,20–0,75	0,30–0,90	13,0–15,0	6,0–8,5	0,030	0,030	до 0,3	0,5–1,0 Мо
14X18Н4Г4Л	до 0,14	0,20–1,00	4,00–5,00	16,0–20,0	4,0–5,0	0,030	0,035	до 0,3	–
Аустенитно–ферритный класс									
12X25Н5ТМФЛ	до 0,12	0,20–1,00	0,30–0,80	23,5–26,0	5,0–6,5	0,030	0,030	до 0,3	0,06–0,12 Мо 0,07–0,15 V 0,08–0,20 Ti 0,08–0,20 N

Продолжение таблицы 43

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
35X23H7СЛ	до 0,35	0,50–1,20	0,50–0,85	21,0–25,0	6,0–8,0	0,035	0,035	до 0,3	–
40X24H12СЛ	до 0,40	0,50–1,50	0,30–0,80	22,0–26,0	11,0–13,0	0,030	0,035	до 0,3	–
20X20H14С2Л	до 0,20	2,00–3,00	до 1,50	19,0–22,0	12,0–15,0	0,025	0,035	до 0,3	–
16X18H12С4ТЮЛ	0,13–0,19	3,80–4,50	0,50–1,00	17,0–19,0	11,0–13,0	0,030	0,030	до 0,3	0,4–0,7 Ti 0,13–0,35 Al
10X18H3Г3Д2Л	до 0,10	до 0,60	2,30–3,00	17,0–19,0	3,0–3,5	0,030	0,030	1,8–2,2	–
Аустенитный класс									
07X18H9Л	до 0,07	0,20–1,00	1,00–2,00	17,0–20,0	8,0–11,0	0,030	0,035	до 0,3	–
10X18H9Л	0,07–0,14	0,20–1,00	1,00–2,00	17,0–20,0	8,0–11,0	0,030	0,035	до 0,3	–
12X18H9ТЛ	до 0,12	0,20–1,00	1,00–2,00	17,0–20,0	8,0–11,0	0,030	0,035	до 0,3	0,8 Ti
10X18H11БЛ	до 0,10	0,20–1,00	1,00–2,00	17,0–20,0	8,0–12,0	0,030	0,035	до 0,3	0,45–0,90 Nb
12X18H12М3ТЛ	до 0,12	0,20–1,00	1,00–2,00	16,0–19,0	11,0–13,0	0,030	0,035	до 0,3	3–5 Mo; 0,8 Ti
55X18Г14С2ТЛ	0,45–0,65	1,50–2,50	12,0–16,0	16,0–19,0	до 0,50	0,030	0,040	до 0,3	0,1–0,3 Ti
15X23H18Л	0,10–0,20	0,20–1,00	1,00–2,00	22,0–25,0	17,0–20,0	0,030	0,030	до 0,3	–
20X25H19С2Л	до 0,20	2,00–3,00	0,50–1,50	23,0–27,0	18,0–20,0	0,030	0,035	до 0,3	–
18X25H19СЛ	до 0,18	0,80–2,00	0,70–1,50	22,0–26,0	17,0–21,0	0,030	0,035	до 0,3	≤ 0,20 Mo; ≤ 0,20 V 0,40 W; 0,2 Ti
45X17Г13H3ЮЛ	0,40–0,50	0,80–1,50	12,0–15,0	16,0–18,0	2,5–3,5	0,030	0,035	до 0,3	0,6–1,0 Al
15X18H22В6М2Л	0,10–0,20	0,20–0,60	0,30–0,60	16,0–18,0	20,0–24,0	0,030	0,035	до 0,3	2–3 Mo; 5–7 W 0,01 B
08X17H34В5Т3Ю2Л	до ,08	0,20–0,50	0,30–0,60	15,0–18,0	32,0–35,0	0,010	0,010	до 0,3	4,5–5,5 W; 0,05 B 2,6–3,2 Ti; 0,01 Ce 1,7–2,1 Al
20X21H46В8Л	0,10–0,25	0,20–0,80	0,30–0,80	19,0–22,0	43,0–48,0	0,035	0,040	до 0,3	7–9 W; 0,06 B
35X18H24С2Л	0,30–0,40	2,00–3,00	до 1,50	17,0–20,0	23,0–25,0	0,030	0,035	до 0,3	–
110Г13Л	0,90–1,40	0,30–1,00	11,5–15,0	до 1,0	до 1,0	0,050	0,120	до 0,3	–
120Г13Х2БЛ	1,00–1,40	0,30–1,00	11,5–14,5	1,5–2,5	до 1,0	0,050	0,100	до 0,3	0,08–0,10 Nb
10X17H10Г4МБЛ	до 0,12	до 0,060	3,50–4,50	16,0–18,0	9,5–11,0	0,025	0,025	до 0,3	0,7–1,0 Nb 0,9–1,2 Mo

Продолжение таблицы 43

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
130Г14ХМФАЛ	1,20–1,40	до 0,60	12,5–15,0	1,0–1,5	до 1,0	0,050	0,070	до 0,3	0,2–0,3 Мо 0,03–0,12 V 0,025–0,05 N
31Х19Н9МВБТЛ	0,26–0,35	до 0,80	0,80–1,50	18,0– 20,0	8,0–10,0	0,020	0,035	до 0,3	1,0–1,5 Мо 1,0–1,5 W 0,2–0,5 Ti 0,2–0,5 Nb
12Х18Н12БЛ	до 0,12	до 0,55	0,50–1,00	17,0– 19,0	11,0–13,0	0,025	0,020*	до 0,3	0,7–1,1 Nb

* S + P ≤ 0,40 %

Исходными данными для расчета шихты служат:

- требуемый химический состав сплава в отливке;
- состав, расход и коэффициент усвоения модификатора (в случае его применения);
- тип плавильного агрегата;
- характер футеровки печи.

Расчет шихты включается в себя три основных этапа.

Первый этап состоит в определении среднего химического состава шихты. Для этого определяют количество элементов, вносимых в расплав с модификатором. Полученную величину вычитают из концентрации данного элемента в металле отливки.

В связи с тем, что в процессе плавки происходит угар или пригар элементов, необходимо соответственно увеличить или снизить концентрацию элементов в шихте по сравнению с их концентрацией в жидком сплаве. В зависимости от вида сплава используется один из двух способов учета угара в процентах:

- от среднего содержания каждого из элементов во всех компонентах шихты;
- для каждого компонента шихты в отдельности по каждому из элементов.

Значения угара химических элементов при выплавке чугуна в различных плавильных агрегатах приведены в табл. 44.

Общая величина угара металлозавалки составляет при плавке: в вагранке – 2,0–5,0 %; в дуговой печи – 1,5–3,0 %, в индукционной печи – 1,0–2,0 %.

Зная величину угара элементов (Δ_3) можно определить допустимое содержание расчетного элемента в шихте \mathcal{E}_ψ , которое обеспечивает требуемый состав жидкого чугуна по данному элементу ($\mathcal{E}_ж$):

$$\mathcal{E}_\psi = \mathcal{E}_ж / (100 + \Delta_3) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где знак «–» – угар элемента, а знак «+» – пригар.

Второй этап состоит в составлении перечня компонентов шихты. В этот список следует внести:

- возврат собственного производства;
- лом соответствующих сплавов известного химического состава (желательно из отходов собственного производства);
- первичные металлы, количество которых должно быть тем больше, чем выше требования к выплавляемому сплаву;
- компоненты, содержащие каждый из контролируемых элементов в химическом составе сплава (предпочтительно по отдельности);
- компонент–разбавитель, содержащий минимальное количество каждого из элементов (например, при выплавке чугуна и стали малоуглеродистая

сталь).

Таблица 44

Угар химических элементов при выплавке чугуна

Плавильный агрегат	Футеровка	Угар элементов, % от содержания в шихте									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti
Вагранка с холодным дутьем	Кислая	8–(-8)	10–35	15–40	–	(-25)–(-100)	15–20	до 10	до 10	до 10	20–50
	Основная	10–(-15)	35–50	10–15	до 30	10–30	15–30	до 10	до 10	до 10	20–50
Вагранка с горячим дутьем	Кислая	10–(-8)	10–(-10)	10–30	–	(-10)–(-50)	10–15	до 5	до 5	до 5	30–60
	Основная	10–(-12)	20–25	10–20	до 10	20–50	10–20	до 5	до 5	до 5	30–60
Газовая вагранка	Высокоглиноземистая	(-10)–(-15)	(-25)	(-20)	–	(-20)–(-24)	(-25)	–	–	–	–
		–	–(-35)	–(-30)	–	–	–(-45)	–	–	–	–
Дуговая электропечь	Кислая	(-5)–(-10) 20–25*	– 5–10*	15–20 20–25*	–	до 30 25–50*	15–30	до 10	до 10	до 10	30–60
	Основная	(-3)–(-5) 25–30*	5–10 40–55*	10–15 25–30*	до 20	20–50 40–60*	15–30	до 10	до 10	до 10	30–60
Индукционная тигельная печь промышленной частоты	Кислая	5–15 10–15*	3–(-5) –*	10–25 10–20*	–	– 25–50*	–	0	0	–	–
	Основная	5–10 5–10*	5–10 5–10*	5–10 5–10*	–	– 30–60*	–	0	0	–	–
Индукционная тигельная печь высокой частоты	Кислая	15–20 15–25*	5–10 5–10*	10–15 15–25*	–	– 15–40*	–	0	0	–	–
	Основная	10–15 10–20*	10–15 5–15*	8–12 10–20*	–	– 20–45*	–	0	0	–	–

Примечания.

1. Знак «–» означает пригар элементов.
2. Угар фосфора при вводе в шихту феррофосфора составляет (при кислой футеровке) 10–15 %.
3. Знаком «*» показан угар элементов из вводимых добавок (например, из ферросплавов)

Использование компонентов первых двух видов способствует реализации принципа безотходности производства.

В перечне компонентов указывается химический состав данной партии каждого из компонентов шихты и его цена.

Третий этап – собственно расчет состава шихты, в современных условиях проводится с помощью ЭВМ.

Существуют три метода расчета шихты: метод подбора, аналитический и графический.

5.1. Пример расчета шихты для чугуна методом подбора

Условия задачи. Серый чугун, используемый для отливок автомобильных деталей, должен иметь следующий состав, %: 3,2–3,4 С; 2,0–2,2 Si; 0,6–0,8 Mn; < 0,15 P; < 0,12 S. Угар элементов при плавке в вагранке, %: 15 Si; 20 Mn и пригар 50 S. Химический состав шихтовых материалов–компонентов приведен в табл. 45. Масса металлической завалки 800 кг.

Таблица 45

Состав шихтовых компонентов

Компоненты	C	Si	Mn	P	S
Чушковый чугун					
Л1	3,5	3,3	0,5	0,11	0,02
Л2	3,6	3,0	0,5	0,12	0,03
Возврат собственного производства	3,3	2,1	0,7	0,1	0,09
Лом стальной	0,2	0,3	0,8	0,05	0,05
Брикетированная чугунная стружка	3,3	2,1	0,7	0,1	0,09

Расчет. Расчетное содержание кремния и марганца с учетом угара рассчитывают по формуле 1. В соответствии с заданным составом и учетом угара в шихту необходимо ввести:

$$\mathcal{E}_{Si} = 2,1 \cdot 100 / (100 - 15) = 2,47 \%,$$

$$\mathcal{E}_{Mn} = 0,7 \cdot 100 / (100 - 20) = 0,87 \%.$$

Определим процентное содержание компонентов в шихте. В соответствии с заданием (табл. 45) шихту необходимо составить из 5 сортов металла. С учетом имеющихся шихтовых материалов и химического состава подбираем массу отдельных компонентов колоши. Содержание элементов в колоше проверяем расчетом (табл. 46).

Расчет содержания элементов в колоше

Компоненты	Масса		Содержание элементов, %				
	кг	%	C	Si	Mn	P	S
Чугун Л1	200	25	$0,25 \cdot 3,5 = 0,875$	$0,25 \cdot 3,3 = 0,825$	$0,25 \cdot 0,5 = 0,125$	$0,25 \cdot 0,11 = 0,0275$	$0,25 \cdot 0,02 = 0,005$
	120	15	$0,15 \cdot 3,6 = 0,54$	$0,15 \cdot 3 = 0,45$	$0,15 \cdot 0,5 = 0,075$	$0,15 \cdot 0,12 = 0,018$	$0,15 \cdot 0,03 = 0,0045$
Возврат собственного производства	240	30	$0,3 \cdot 3,3 = 0,99$	$0,3 \cdot 2,1 = 0,63$	$0,3 \cdot 0,7 = 0,21$	$0,3 \cdot 0,1 = 0,03$	$0,3 \cdot 0,09 = 0,027$
Брикетированная стружка	120	15	$0,15 \cdot 3,3 = 0,495$	$0,15 \cdot 2,1 = 0,315$	$0,15 \cdot 0,7 = 0,105$	$0,15 \cdot 0,1 = 0,015$	$0,15 \cdot 0,09 = 0,0135$
Стальной лом	120	15	$0,15 \cdot 0,2 = 0,03$	$0,15 \cdot 0,3 = 0,045$	$0,15 \cdot 0,8 = 0,12$	$0,15 \cdot 0,05 = 0,0075$	$0,15 \cdot 0,05 = 0,0075$
ИТОГО	800	100	2,93	2,26	0,635	0,098	$0,0575 + 0,0287 = 0,0862$

Из табл. 43 видно, что в выплавленном чугуне углерод содержится в пределах заданного, а кремния не хватает на одну завалку:

$$2,47 - 2,26 = 0,21 \%$$

или

$$0,18 \cdot 800 / 100 = 1,44 \text{ кг.}$$

Недостаток кремния восполним введением ферросилиция. Например, 1 кг ферросилиция ФС45 содержит 45 % кремния. Следовательно, на одну завалку весом 800 кг необходимо ввести ферросилиция:

$$100 \cdot 1,44 / 45 = 3,2 \text{ кг.}$$

На 100 кг завалки

$$3,2 / 8 = 0,4 \text{ кг.}$$

Также не хватает марганца:

$$0,87 - 0,635 = 0,235 \%$$

или на одну колошу

$$0,235 \cdot 800 / 100 = 1,88 \text{ кг.}$$

Недостающее количество марганца восполняем ферромарганцем ФМн75 по расчету (на завалку 800 кг):

$$100 \cdot 1,88 / 75 = 2,5 \text{ кг}$$

или на 100 кг завалки

$$2,5 / 8 = 0,3 \text{ кг.}$$

Незначительное недостающее количество элемента можно компенсировать увеличением доли того вида шихты, которая содержит максимальное количество данного элемента.

На основании расчета шихты методом подбора можно записать состав шихты металлической завалки массой 800 кг (табл. 47):

Таблица 47

Состав шихты на 100 кг металлической завалки

Наименование составляющих	Содержание, кг
Чушковый чугун	
Л1	200
Л2	120
Возврат собственного производства	240
Лом стальной	120
Брикетированная чугунная стружка	120
Ферросилиций ФС45	3,2
Ферромарганец ФМн75	2,5
Итого	805,7

Рассчитывать шихту этим методом очень удобно, используя программу Excel любой версии.

Например, необходимо рассчитать шихту для чугуна СЧ10. Шихта: чугун литейный марок Л1 и Л2, возврат собственного производства в количестве 30 %, стружка и стальной лом. Плавка в вагранке.

Расчет. На рис. 1 показано окно расчета. Для расчета вначале вводим исходные данные (марка чугуна, масса металлической завалки, процентное содержание компонентов шихты) через кнопку «Ввод». Сразу же после ввода всех данных, будет выведен результат расчета шихты, нехватки элементов вследствие их угара и состав металлической завалки, в котором будут указаны дополнительные компоненты (ФМн75, ФС45 и др.)

Данный расчет выполнен для вагранки с холодным дутьем и уже с заданным пригаром (10 % для С) и угаром элементов (для Si – 15 %, Mn – 20 %) и составом шихтовых элементов. Он позволяет определить необходимый состав шихты для выплавки той или иной марки чугуна методом подбора.

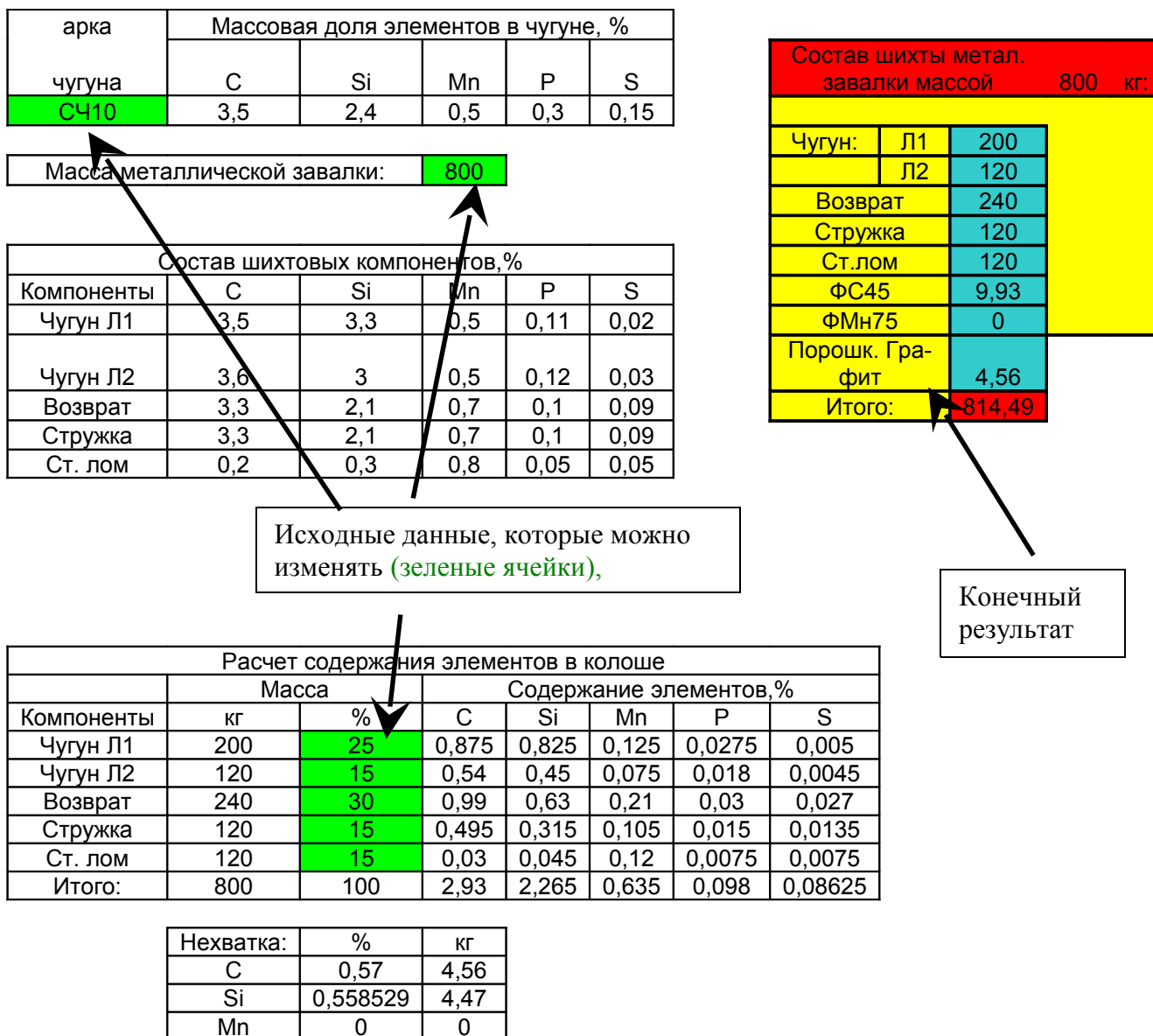


Рис. 1. Пример расчета шихты для чугуна SCh10 с использованием программы Excel

На рис. 2 приведен расчет шихты для высокопрочного чугуна ВЧ35, на рис. 3 – для ковкого чугуна КЧ30–6 методом подбора с помощью программы Excel. Результаты расчетов, показанные на рис. 2–3 выполнены для дуговой печи и уже с заданным угаром элементов (15 % Si и 12 % Mn) и составом шихтовых элементов.

При изменении типа плавильного агрегата или шихтовых материалов необходимо внести изменения в соответствующие колонки.

Задачи для практического решения

Задача 1. Рассчитать шихту методом подбора для получения в отливках 2 % Si и 0,7 % Mn из составляющих, приведенных в табл. 48.

Угар кремния равен 10 %, марганца 20 %.

Задача 2. Рассчитать шихту для чугуна следующего состав, %: C = 3,0–3,2; Si = 1,8–2,0; Mn = 0,6–0,8; S < 0,12; P < 0,6.

Состав шихты приведен в табл. 49.

Угар элементов, %: Si – 14; Mn – 19. Расчет произвести на 10 т завалки.

Марка чугуна	Массовая доля элементов в чугуне, %				
	C	Si	Mn	P	S
ВЧ35	3,3	1,9	0,2	0,1	0,02

Масса металлической завалки:	1000
------------------------------	------

Состав шихтовых компонентов, %					
Компоненты	C	Si	Mn	P	S
Чугун Л1	3,5	3,3	0,5	0,11	0,02
Чугун Л2	3,6	3	0,5	0,12	0,03
Возврат	3,3	2,1	0,7	0,1	0,09
Стружка	3,3	2,1	0,7	0,1	0,09
Ст. лом	0,2	0,3	0,8	0,05	0,05

Состав шихты метал. завалки массой 1000		
Чугун:	Л1	250
	Л2	150
	Возврат	300
	Стружка	150
	Ст.лом	150
	ФС45	0
	ФМн75	0
	Порошк. Графит	9,5
	Итого:	1009,5

Исходные данные, которые можно изменять (зеленые ячейки),

Конечный результат

Расчет содержания элементов							
Компоненты	Масса		Содержание элементов, %				
	кг	%	C	Si	Mn	P	S
Чугун Л1	250	25	0,875	0,825	0,125	0,0275	0,005
Чугун Л2	150	15	0,54	0,45	0,075	0,018	0,0045
Возврат	300	30	0,99	0,63	0,21	0,03	0,027
Стружка	150	15	0,495	0,315	0,105	0,015	0,0135
Ст. лом	150	15	0,03	0,045	0,12	0,0075	0,0075
Итого:	1000	100	2,93	2,265	0,635	0,098	0,0575

Нехватка:	%	кг
C	0,95	9,5
Si	0	0
Mn	0	0

Рис. 2. Пример расчета шихты для чугуна ВЧ35 с использованием программы Excel

Марка чугуна	Массовая доля элементов в чугуне, %				
	C	Si	Mn	P	S

Состав шихты метал. завалки массой 1000	
---	--

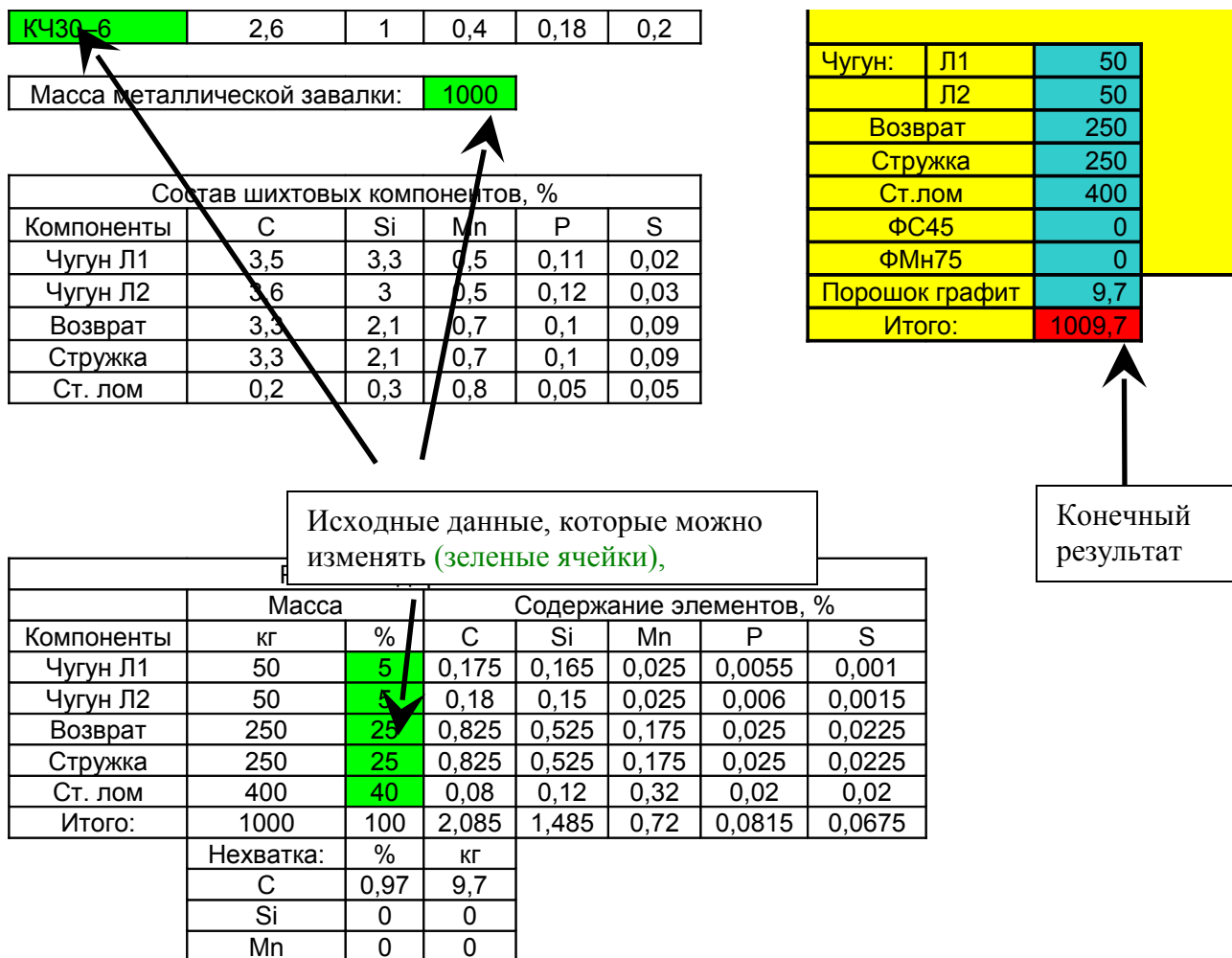


Рис. 3. Пример расчета шихты для чугуна КЧ30-6 с использованием программы Excel

Таблица 48

Исходные данные для расчета задачи 1

Вариант	Металл	Si, %	Mn, %
1	Чугун Л1	3,50	1,0
	Чугун Л2	3,00	1,0
	Литники и брак	2,00	0,7
	Стальной лом	0,17	0,5
2	Чугун Л2	3,00	1,0
	Чугун Л3	2,60	1,0
	Чугун ПЛ1	1,00	0,5
	Литники и брак	2,00	0,7
	Стальной лом	0,17	0,5
3	Чугун Л1	3,50	0,8
	Чугун Л3	2,60	1,0
	Литники и брак	2,00	0,7
	Стальной лом	0,17	0,5

Таблица 49

Состав шихты

Компоненты	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
Чугун					
Л1	3,5	3,5	0,5	0,02	0,30
Л3	3,8	2,6	0,5	0,03	0,15
Отходы собственного производства	3,1	1,9	0,7	0,08	0,18
Лом чушковый	3,0	1,6	0,8	0,10	0,20
Лом стальной	0,3	0,2	0,8	0,05	0,05

Задача 3. Необходимо рассчитать шихту для чугуна СЧ25 (C = 3,2–3,4 %; Si = 1,4–2,2 %; Mn = 0,7–1,0 %; S = 0,15 %; P = 0,2 %).

Шихта состоит из компонентов, химический состав которых приведен в табл. 50.

Угар элементов следующий, %: Si – 15, Mn – 20. Пригар серы равен 50 %. Вес завалки 20 т.

Задача 4. Из имеющихся в распоряжении цеха чушкового чугуна, содержащего, %: 3,1 C; 3 Si; 0,9 Mn; 0,03 S и 0,8 P; машинного лома, содержащего, %: 0,88 C; 1,9 Si; 0,5 Mn; 0,1 S и 0,6 P, требуется составить шихту предназначенную для получения жидкого чугуна в вагранке для отливки деталей сельхозмашиностроения следующего состава, %: 3,4 C; 2,1 Si; 0,55 Mn; 0,1 S и 0,7 P.

Таблица 50

Химический состав шихтовых материалов

Наименование компонента	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
Чугун					
Л1	3,7	3,5	0,6	0,02	0,12
Л2	3,8	3,0	0,5	0,03	0,12
Отходы собственного производства	3,2	2,0	0,8	0,15	0,18
Лом покупной чушковый	3,1	1,5	0,8	0,10	0,20
Стальной лом	0,3	0,3	0,8	0,05	0,05

Угар элементов 15 % Si, 20 % Mn и пригар серы 70 %.

Расчет вести на 20 т.

Задача 5. Необходимо составить шихту состава, %: 2,0–3,0 C; 1,9–2,1 Si; 0,6–0,8 Mn; до 0,12 S и до 0,2 P. Состав шихты приведен в табл. 51.

Количество возврата собственного производства составляет 20 %.

Угар элементов, %: 15 Si; 20 Mn. Расчет вести на 1 т.

Таблица 51

Состав шихтовых материалов для задачи 5

Наименование компонента	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
-------------------------	------	-------	-------	------	------

Чугун					
Л2	3,8	3,0	0,9	0,02	0,3
Л3	3,9	2,6	1,2	0,03	0,3
Отходы собственного производства	3,0	2,0	0,6	0,08	0,15
Лом чушковый	3,1	1,5	0,8	0,10	0,20
Стальной лом	0,3	0,3	0,8	0,05	0,05

Задача 6. Необходимо рассчитать шихту для чугуна ВЧ45 следующего химического состава, %: 3,4 С; 2,6 Si; 0,6 Mn; $\approx 0,02$ S и $\approx 0,1$ P. Расчет вести на 1 т. Состав шихтовых материалов приведен в табл. 52.

Таблица 52

Состав шихтовых материалов для задачи 6

Наименование компонента	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
Чугун					
Л4	4,0	2,2	0,5	0,04	0,2
Л5	4,2	1,8	0,5	0,04	0,4
Ферросилиций ФС45	0,2	45,0	0,6	0,02	0,05
Возврат собственного производства	2,6	2,0	0,6	0,1	0,18

Количество возврата собственного производства составляет 30 %.

Угар элементов, %: 10 Si; 20 Mn.

Задача 7. Произвести расчет шихты для отливки деталей из чугуна СЧ20, среднее содержание кремния должно составлять 2 %, а марганца – 0,7 %. Химический состав шихтовых материалов приведен в табл. 53.

Таблица 53

Химический состав шихтовых материалов для задачи 7

Наименование материала	Si, %	Mn, %	Наименование материала	Si, %	Mn, %
Чушковый чугун			Лом стальной	0,3	0,5
ЛК2	3,0	0,8	Возврат собственного производства	2,1	0,7
ЛК3	2,6	0,75			
ЛК5	1,3	0,6			
Передельный чугун П1	0,75	0,8	Ферросилиций ФС45	45	0,6
Природно–легированный чугун	2,5	0,6	Зеркальный чугун	2	17

Угар элементов, %: 12 Si; 15 Mn. Вес завалки 1 т.

Задача 8. Рассчитать ваграночную шихту для чугуна состава, %: 3,1 С; 2,36 Si; 0,85 Mn; 0,10 S и 0,16 P. Химический состав шихтовых материалов приведен в табл. 54. Расчет вести на 100 кг.

Таблица 54

Химический состав шихтовых материалов для задачи 8

Наименование компонента	Содержание,	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
-------------------------	-------------	------	-------	-------	------	------

	%					
Чугун						
Л1	–	3,5	3,4	0,4	0,03	0,15
Л2	–	3,8	3,0	0,5	0,03	0,15
Л3	–	3,9	2,6	0,6	0,03	0,15
Возврат собственного производства	36	3,2	2,06	0,85	0,18	0,13
Стальной лом	–	0,3	0,3	0,50	0,04	0,03
Ферросилиций ФС45	–	0,2	45	1,0	0,02	0,05
Зеркальный чугун	–	4,0	2,0	14,00	0,18	0,03
Угар (–) и пригар (+), %	–	–10	–12	–20	–	+50

Задача 9. Подобрать шихту для корпуса редуктора, отливаемого из чугуна состава. %: 3,2 С; 2,2 Si; 0,7 Mn; 0,3 P и серы не более 0,12.

В состав шихты, входят возврат собственного производства (в количестве 40 %); чугун литейный; чугунный и стальной лом.

Угар при плавке металла в вагранке, %: кремния 10; марганца 15. Марки шихтовых материалов выбрать по справочнику.

Задача 10. Процентное содержание серы в жидком чугуне может быть приближенно подсчитано по формуле:

$$S_{ж.м} = 0,75S_{т.м} + \alpha k S_k,$$

где $S_{ж.м}$ – содержание серы в жидком металле, %; $S_{т.м}$ – содержание серы в твердом металле, %; α – коэффициент, равный для кокса и термоантрацита 0,35, для антрацита 0,215; k – расход топлива в долях от металлической шихты; S_k – содержание серы в коксе, %.

Какое содержание серы может быть в жидком металле при следующих условиях:

– шихта состоит из 20 % стального скрапа, содержащего 0,055 % S и 80 % чугуна и собственных отходов, содержащих 0,1 % S;

– расход кокса составляет 10 % металлической шихты. Кокс содержит 0,02 % S.

Задача 11. 1. Сколько кремния и марганца должно быть в шихте для вагранки, чтобы получить в отливках 2,0 % Si и 1 % Mn? Угар кремния равен 15 %, марганца – 20 %.

2. Чему равен угар кремния и марганца в вагранке, если в шихте было 2,1 % Si и 0,8 % Mn, а в отливках получилось 1,85 % Si и 0,6 % Mn.

3. Сколько нужно добавить в шихту для вагранки зеркального чугуна с содержанием 75 % Mn, чтобы компенсировать недостающий в шихте марганец в количестве 0,15 %? Расчет вести на 100 кг.

Задача 12. Выполнить расчет шихты для плавки чугуна СЧ30 с содержанием 1,6 % Si, 0,9 % Mn и 0,3 % Cr. Для уменьшения содержания углерода в шихту вводится 40 % стального лома (0,3 % кремния и 0,5 % марганца), воз-

врат собственного производства составляет 20 % (2,1 % кремния, 0,7 % марганца), чугун ЛХЧ1 (2,9 % кремния и 0,5 % марганца), чугун чушковый ЛКЗ (2,9 % кремния и 0,5 % марганца).

Угар элементов, %: 12 Si, 15 Mn и 10 Cr. Завалка 4,5 т.

Задача 13. Рассчитать шихту для ответственной отливки из чугуна СЧ30 со средним содержанием кремния 1,4 %, марганца 0,9 % и хрома 0,3 %.

Шихтовые материалы:

- чушковый чугун ЛЗ (2,6 % кремния и 0,75 % марганца);
- передельный чугун П2 (0,5 % кремния и 0,8 % марганца);
- природно–легированный чугун (2,5 % кремния и 0,6 % марганца);
- стальной лом (0,3 % кремния и 0,5 % марганца);
- возврат собственного производства в количестве 15 % (2,2 % кремния и 0,7 % марганца).

Угар элементов, %: 12 Si, 15 Mn и 10 Cr. Завалка 20 т.

Задача 14 Произвести расчет шихты для отливки малоответственной детали текстильной машины из чугуна СЧ10, содержащий 2,2–2,6 % кремния и 0,5–0,8 % марганца. Шихтовые материалы приведены в табл. 55.

Количество возврата собственного производства составляет 30 %. Угар элементов, %: кремния – 15 марганца – 20. Завалка 15 т.

Таблица 55

Состав шихтовых материалов для задачи 13

Шихтовой материал	Содержание кремния, %	Содержание марганца, %
Чугун чушковый Л1	3,5	0,7
Чугунный лом	2,0	0,7
Возврат собственного производства	2,1	0,7

5.2. Пример расчета шихты для чугуна аналитическим методом

Аналитический метод расчета шихты заключается в составлении системы уравнений, в которых неизвестными являются содержания шихтовых компонентов. Для упрощения расчета задают значения двух или трех неизвестных.

Условия задачи. В отливках необходимо получить 1,9 % кремния и 0,65 % марганца. При плавке чугуна в вагранке примем угар кремния 10 % и марганца 20 %.

Шихту можно приготовить из четырех сортов чугуна, химический состав которых по кремнию и марганцу приведен в табл. 56. В шихте возврат собственного производства составляет 40 %, металлическая шихта из трех сортов доменных чугунов 60 %.

Таблица 56

Состав шихты, %

Компоненты	Содержание, %	Si	Mn
Литейный чушковый чугун			
А	x	2,1	0,9
Б	y	2,3	0,95
С	z	2,2	0,8
Возврат собственного производства	40	2,0	0,7

Решение. С учетом угара в шихту необходимо ввести кремния и марганца:

$$\mathcal{E}_{\text{Si}} = 1,9 \cdot 100 / (100 - 10) = 2,1 \%,$$

$$\mathcal{E}_{\text{Mn}} = 0,65 \cdot 100 / (100 - 20) = 0,81 \%.$$

Для того чтобы убедиться, что можно составить шихту из компонентов, приведенных в табл. 53, предварительно выясним возможность получения требуемых содержаний кремния и марганца

Среднее содержание кремния в доменных чугунах:

$$\text{Si} = (2,1 + 2,3 + 2,2) / 3 = 2,2 \%,$$

а в ломе 2 %, откуда среднее содержание в 100 кг шихты

$$\text{Si} = 60 \cdot 2,2 / 100 + 40 \cdot 2 / 100 \text{ кг.}$$

Аналогично определяем содержание марганца:

$$\text{Mn} = 60 \cdot ((0,9 + 0,95 + 0,8) / 3) / 100 + 40 \cdot 0,7 / 100 = 0,81 \text{ кг.}$$

Для нахождения неизвестных величин x , y , z составляем три уравнения, причем массу шихты при расчете принимаем равной 100 кг. Тогда содержание компонентов будет равно их массе в килограммах.

Первое уравнение:

$$x + y + z + 40 = 100$$

или

$$x + y + z = 100 - 40 = 60.$$

Второе уравнение для кремния:

$$2,1 \cdot x + 2,3 \cdot y + 2,2 \cdot z + 40 \cdot 2,0 = 100 \cdot 2,1$$

или

$$2,1 \cdot x + 2,3 \cdot y + 2,2 \cdot z = 210 - 80 = 130.$$

Третье уравнение для марганца:

$$0,9 \cdot x + 0,95 \cdot y + 0,8 \cdot z + 40 \cdot 0,7 = 100 \cdot 0,8$$

или

$$0,9 \cdot x + 0,95 \cdot y + 0,8 \cdot z = 80 - 28 = 52.$$

Выразив x через y и z , после преобразования получим два уравнения с двумя неизвестными:

$$0,2 \cdot y + 0,1 \cdot z = 4 \quad \text{и} \quad 0,05 \cdot y - 0,1 \cdot z = -2.$$

После сложения обоих уравнений находим y :

$$0,25 \cdot y = 2$$

откуда $y = 8$.

Подставив в одно из уравнений значение y , получим $z = 24$.

Величину x найдем из уравнения:

$$x + 8 + 24 + 40 = 100,$$

откуда $x = 28$.

На основании проведенного аналитическим методом расчета можно написать состав шихты на 100 кг металлической завалки (табл. 57).

Таблица 57

Состав шихты на 100 кг металлической завалки

Наименование составляющих	Содержание, кг
Чушковый чугун	
А	28
Б	8
С	24
Возврат собственного производства	40
Итого	100

Для оценки точности расчета необходимо производить проверку: сколько вводится каждого элемента с вычисленным количеством шихтовых компонентов.

Задачи для практического решения

Задача 1. Из чугуна состава, %: 3,0 Si; 0,9 Mn; 0,8 P; 0,03 S, и машинного лома состава, %: 1,9 Si; 0,5 Mn; 0,6 P; 0,1 S, требуется составить шихту для получения жидкого чугуна из вагранки химического состава, %: 3,4 C; 2,1 Si; 0,55 Mn; 0,7 P; до 0,1 S. Решить задачу с 35 % оборотного металла. Угар элементов, %: Si – 15; Mn – 25. Пригар серы 70 %. Завалка 0,2 т.

Задача 2. Произвести расчет шихты для отливки ответственного назначения из чугуна СЧ30 со средним содержанием, %: 1,5 Si; 0,9 Mn. Состав шихтовых материалов приведен в табл. 58.

Расчет вести на 100 кг завалки.

Таблица 58

Состав шихтовых материалов для задачи 2

Наименование	Количество шихтовых материалов, %	Si, %	Mn, %
Чушковый чугун Л2	–	3,8	3,0
Стальной лом	–	0,3	0,5
Возврат собственного производства	25	1,5	0,9
Fe–Mn	–	2,0	75
Угар элементов, %	–	12	15

Задача 3. В отливке должно быть, %: 2,2 Si и 0,8 Mn. Угар при плавке в вагранке составляет 10 % Si и 15 % Mn. В состав шихты входят литейный чугун Л1, группы II (состав, %: 3,0 Si и 0,4 Mn); машинный лом (состав, %: 3,0 Si и 0,5 Mn); литейный чугун Л6 (состав, %: 1,4 Si и 1,5 Mn) и возврат собственного производства в количестве 35 % (состав, %: 2,2 Si и 0,8 Mn). Завалка 1 т.

Задача 4. Чугун должен содержать 2,2 % Si и 0,8 % Mn. Угар компонентов, %: 10 Si и 15 Mn. Шихтовые материалы приведены в табл. 59.

Таблица 59

Состав шихтовых материалов для задачи 4

Наименование	Количество шихтовых материалов, %	Si, %	Mn, %
Литейный чугун Л2	x	3,0	0,5
Машинный лом	y	3,0	0,5
Литейный чугун Л6	z	1,4	1,5
Возврат собственного производства	40	2,2	0,8

Задача 5. Рассчитать шихту для получения в отливках 1,25 % Si и 0,8 % Mn. Угар при плавке Si – 10 %, Mn – 20 %. Состав шихты приведен в табл. 60.

Таблица 60

Состав шихтовых материалов для задачи 5

Наименование	Количество шихтовых материалов, %	Si, %	Mn, %
Чугун Л3	x	2,60	0,9
Чугун Л4	y	2,20	1,2
Литники	30–35	1,25	0,8
Стальной лом	z	0,20	0,5

Задача 6. Рассчитать шихту для получения в отливках 1,9 % Si и 0,65 % Mn. Угар при плавке Si – 10 %, Mn – 20 %.

Шихта:

- чугун Л1, содержащий, %: 3,4 Si и 0,8 Mn;
- чугун Л2, содержащий, %: 3,0 Si и 0,6 Mn;
- чугун П1, содержащий, %: 0,7 Si и 1,5 Mn;
- литники и брак в количестве 40 %, содержащие, %: 1,9 Si и 0,65 Mn.

Расчет вести на 100 кг завалки.

Задача 7. Чугун должен содержать 2,2 % Si и 0,8 % Mn. Угар 10 % Si и 15 % Mn.

Шихта:

- чугун Л1, содержащий, %: 3,4 Si и 0,8 Mn;
- машинный лом, содержащий, %: 3,0 Si и 0,5 Mn;
- чугун Л6, содержащий, %: 1,4 Si и 1,5 Mn;
- возврат собственного производства в количестве 35 %, содержащий, %: 2,2 Si и 0,8 Mn.

Задача 8. Требуется получить серый чугун, содержащий, %: 2 Si и 0,6 % Mn. Угар элементов 15 % Si и 20 % Mn.

Шихта:

- чугун Л1, содержащий, %: 3,4 Si и 0,5 Mn;
- чугун Л6, содержащий, %: 1,4 Si и 1,2 Mn;
- возврат собственного производства в количестве 50 %.

Задача 9. Шихтовые материалы:

- лом химического состава, %: 2,1 Si; 0,6 Mn; 0,7 P и 0,2 S;
- чугун химического состава, %: 2,7 Si; 0,8 Mn; 0,5 P и 0,06 S.

Требуется приготовить чугун состава, %: 2,0 Si; 0,45 Mn; 0,6 P и 0,1 S. Возврат собственного производства составляет 47 %.

Угар элементов, %: Si – 15, Mn – 20. Завалка 400 кг.

Задача 10. Необходимо получить чугун состава, %: 3,4 C; 2,1 Si; 0,55 Mn; 0,2 P и менее 0,1 S. Плавильный агрегат – вагранка. Угар элементов, %: Si – 22, Mn – 23; привар серы – 60 %.

Шихта:

- чушковый чугун, содержащий, %: 3,5 Si; 0,7 Mn; 0,03 P и 0,3 S;
- металлический лом, содержащий, %: 2,0 Si; 0,65 Mn; $\leq 0,5$ P и $\leq 0,01$ S.

Задача 11. Чугун состава, %: 2,0 Si; 0,6 Mn; 0,7 P и 0,2 S. Количество возврата составляет 15 %.

Требуется получить чугун химического состава, %: 3,5 С; 2,25 Si; 0,65 Mn; 0,7 Р и менее 0,09 S. Угар элементов, %: Si – 20, Mn – 25.

Задача 12. Необходимо рассчитать шихту для чугуна следующего состава, %: Si – 2,55 и Mn – 0,65.

Шихта:

- возврат собственного производства – 45 %;
- лом машинный, содержащий, %: 3,3 Si; 0,56 Mn;
- чугун Л6, содержащий, %: 1,4 Si; 1,5 Mn.

Угар элементов, %: Si – 15, Mn – 20.

Задачи 13–15. Рассчитать шихту аналитическим методом для получения в отливках 1,8 % Si и 0,7 % Mn из составляющих, приведенных в табл. 61.

Угар элементов, %: Si – 15, Mn – 20.

Задача 16. Рассчитать шихту для чугуна следующего состава, %: 3,0–3,2 С; 1,8–2,0 Si; 0,6–0,8 Mn; $\leq 0,6$ Р и $\leq 0,12$ S. Угар элементов, %: Si – 14, Mn – 19. Состав шихтовых материалов приведен в табл. 62.

Задача 17. Из чушкового чугуна состава, %: 3 Si; 0,9 Mn; 0,8 Р и 0,03 S; машинного лома состава, %: 1,9 Si; 0,5 Mn; 0,6 Р и 0,1 S составить шихту для получения отливок состава 2,1 Si; 0,55 Mn; 0,7 Р и 0,1 S. Угар кремния составляет 15 %, марганца – 20 %; привар серы – 70 %.

Таблица 61

Шихтовые материалы для задач 13–15

Номер задачи	Наименование	Количество шихтовых материалов, %	Si, %	Mn, %
13	Чугун Л2	50	3,00	1,0
	Чугун Л4		2,20	0,7
	Чугун П1		0,70	2,0
	Литники и брак		1,80	0,7
14	Чугун Л2	55	3,0	1,0
	Чугун Л6		1,4	1,0
	Чугун П1		0,7	2,0
	Литники и брак		1,8	0,7
15	Чугун Л2	20	3,0	0,75
	Чугун Л3		2,6	1,30
	Литники и брак		1,8	0,70
	Стальной лом		0,2	0,60

Задачи 18–20. Рассчитать шихту для получения в отливках 2,0 % Si и 0,7 % Mn из составляющих, приведенных в табл. 63. Угар кремния принимаем 10 %, марганца – 20 %.

Задачи 21–22. Расчет шихты для отливки ответственного назначения из чугуна СЧ30 со средним содержанием Si – 1,5 %; Mn – 0,9 %. Состав шихтовых материалов приведен в табл. 64. Угар кремния принимаем 12 %, марганца – 12 %.

Таблица 62

Состав шихтовых материалов для задачи 16

Компоненты	Химический состав, %					Весовое содержание, %
	С	Si	Mn	S	P	
Чугун Л1	3,5	3,4	0,5	0,03	0,15	<i>x</i>
Отходы собственного производства	3,1	1,9	0,7	0,08	0,18	25
Лом чушковый	3,0	1,6	0,8	0,10	0,20	<i>y</i>
Лом стальной	0,3	2,0	0,8	0,05	0,05	<i>z</i>

Задача 23. Рассчитать шихту для вагранки чугуна состава, %: 3,1 С; 2,36 Si; 0,7 Mn; 0,16 P и 0,1 S. Состав шихтовых элементов приведен в табл. 65.

Задача 24. Рассчитать шихту для выплавки чугуна состава, %: 2,36 Si; 0,85 Mn.

Шихта:

- чугун Л1, содержащий, %: 3,4 Si; 1,0 Mn;
- стальной лом, содержащий, %: 0,3 Si; 0,5 Mn;
- чугун Л5, содержащий, %: 1,8 Si; 0,8 Mn.

Таблица 63

Шихтовые материалы для задач 18–20

Номер задачи	Наименование	Количество шихтовых материалов, %	Si, %	Mn, %
18	Чугун Л1	<i>x</i>	3,40	1,0
	Чугун Л3	<i>y</i>	2,60	1,0
	Стальной лом	<i>z</i>	0,17	0,5
	Литники и брак	30	2,00	0,7
19	Чугун Л3	<i>x</i>	2,6	1,0
	Чугун Л4	<i>y</i>	2,2	1,0
	Чугун П1	<i>z</i>	0,7	2,0
	Литники	40	2,0	0,7
20	Чугун ЛК0	<i>x</i>	3,50	0,8
	Чугун ЛК3	<i>y</i>	2,00	1,0
	Стальной лом	<i>z</i>	0,17	0,5
	Литники и брак	35	2,00	0,7

Таблица 64

Шихтовые материалы для задач 21–22

Наименование	Шихтовые материалы для задач, %		Si, %	Mn, %
	21	22		
Чугун Л3	<i>x</i>	<i>x</i>	2,6	0,6
Стальной лом	<i>y</i>	<i>y</i>	0,3	0,5
Возврат собственного производства	25	25	1,5	0,9

Таблица 65

Состав шихтовых материалов для задачи 23

Компоненты	Химический состав, %					Весовое содержание, %
	С	Si	Mn	S	P	

Чугун						
Л1	3,5	3,4	1,0	0,05	0,03	x
Л4	4,0	2,2	0,8	0,05	0,03	y
Возврат собственного производства	3,2	2,36	0,7	0,18	0,13	36
Стальной лом	0,3	0,3	0,5	0,04	0,03	z
Угар (-), пригар (+), %	-8	-12	-15	-	+50	100

Возврат собственного производства – 36 %. Угар кремния принимаем 12 %, марганца – 20 %.

5.3. Пример расчета для чугуна шихты графическим методом

Условия задачи. Из имеющихся на складе шихтовых материалов: чушкового чугуна, содержащего 3 % Si, 0,8 % Mn, 0,03 % S; машинного лома, содержащего 1,9 % Si, 0,5 % Mn, 0,1 % S, 0,6 % P – требуется составить шихту, предназначенную для получения жидкого чугуна из вагранки следующего состава: 3,4 % C; 2,1 % Si; 0,5 % Mn; 0,7 % P; < 0,1 % S.

Решение. По опытным данным цеха угар элементов, %: 15 Si; 20 Mn, пригар 40 S из топлива. На прямой приняв за единицу масштаба 1 см = 0,2 % Si, наносим точки A, B, C (рис. 4, a), соответствующие содержанию кремния в машинном ломе, чушковом чугуне и жидком металле. Отложим на прямой DM (рис. 4, b) отрезок DB , равный BC (рис. 4, a) и на прямой EN отрезок $AE = AC$. Соединив прямой точки B и A , найдем $x = 48$ %, $y = 100 - 48 = 52$ %, или $x = 48$ кг и $y = 100 - 48 = 52$ кг.

Аналогично можно определить и содержание других элементов в шихте. Если при проверочном расчете обнаружится несоответствие расчетного и требуемого содержания элементов в шихте, то состав шихты следует откорректировать по марганцу и сере, подобрав чушковый чугун других марок, и если чугун выбранных марок не обеспечивает заданный химический состав чугуна, то используют ферросплавы.

Задачи для практического решения

Задачи 1–13. Необходимо рассчитать шихту для чугуна, состав которого для задач 1–13 приведен в табл. 66. Там же приведены шихтовые материалы и угар элементов.

Задача 14. В цехе имеется: лом, содержащий, %: 2,1 Si; 0,6 Mn; 0,2 S и 0,7 P, и чугун, содержащий, %: 2,7 Si; 0,8 Mn; 0,6 S и 0,5 P.

Требуется приготовить чугун состава, %: 2,0 Si; 0,45 Mn; 0,1 S и 0,6 P.

Возврат собственного производства составляет 47 %; угар кремния – 15 %, марганца – 20 %.

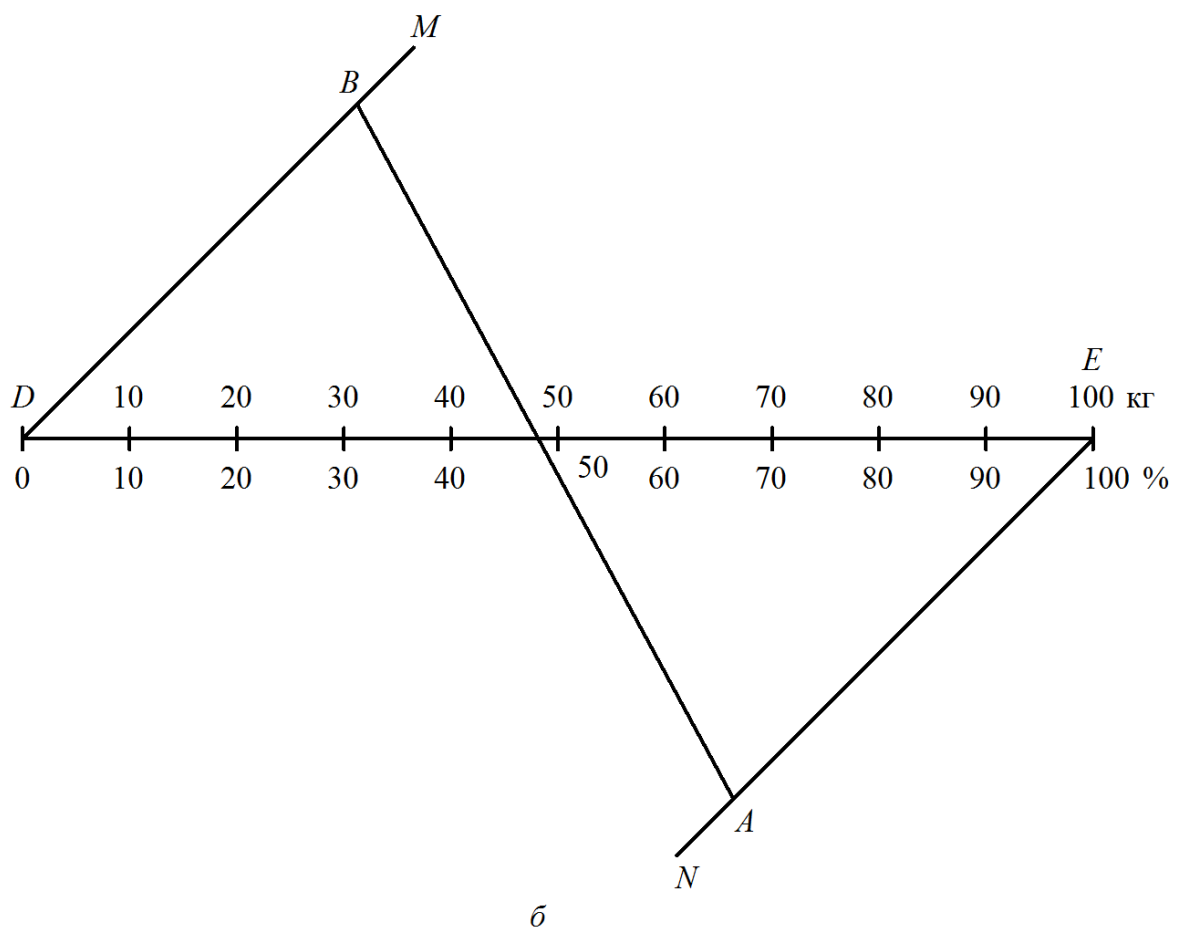
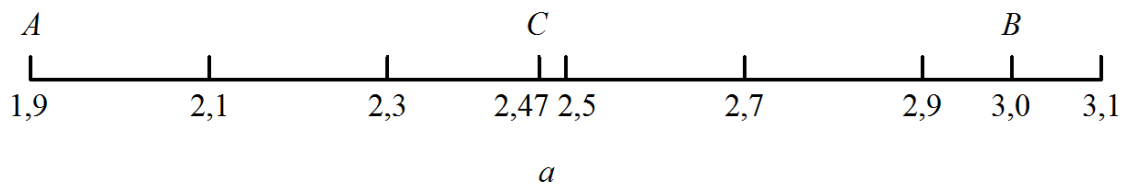


Рис. 4. Пример расчета шихты графическим методом

Таблица 66

Состав шихты для расчета задач 1–13 графическим методом

Номер задачи	Состав получаемого чугуна, %		Состав шихтовых материалов				Масса за-валки, кг
	Si	Mn	наименование составляющих	количество составляющих, %	содержание кремния, %	содержание марганца, %	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,6	0,8	Чушковый чугун Стальной лом Возврат собственного производства Угар элементов	25	2,4 0,6 14	0,6 0,8 18	–
2	2,2	0,8	Чугун Л1 Машинный лом Чугун Л6 Возврат собственного производства Угар элементов	35	3,4 2,8 1,4 – 10	0,8 0,8 1,5 – 15	–
3	1,25	0,8	Чугун Л4 Чугун Л6 Стальной лом Литники Угар элементов	30–35	2,2 1,4 0,2 1,25 10	0,9 1,2 0,5 0,8 20	2000
4	1,9	0,65	Чугун Л2 Чугун Л3 Чугун П2 Литники и брак Угар элементов	45	3,0 2,6 0,2 1,9 10	0,8 0,6 0,5 0,65 20	500

Продолжение таблицы 66

1	2	3	4	5	6	7	8
5	2,2	0,8	Чугун Л1 Чугун Л6 Лом Возврат собственного производства Угар элементов	30	3,4 1,4 3,0 2,2 10	0,8 1,5 0,5 0,8 15	5000
6	2,0	0,6	Чугун Л2 Чугун Л6 Возврат собственного производства Угар элементов	50	3,0 1,4 – 15	0,7 1,5 – 20	100
7	2,25	0,65	Чугун Лом Возврат собственного производства Угар элементов	15	2,9 2,0 – 10	0,6 0,6 – 20	500
8	2,55	0,85	Чугун Л5 Лом машинный Возврат собственного производства Угар элементов	45	1,8 3,3 – 10	1,5 0,56 – 20	440
9	1,8	0,7	Чугун Л2 Чугун Л5 Литники и брак Стальной скрап Угар элементов	20	3,0 1,8 1,8 0,2 15	0,75 1,30 0,7 0,6 20	500
10	1,8	0,7	Чугун Л2 Чугун Л6 Литники и брак Передельный чугун П1 Угар элементов	55	3,0 1,4 1,8 0,9 12	1,0 1,0 0,7 1,5 15	1500

Продолжение таблицы 66

1	2	3	4	5	6	7	8
11	2,0	0,7	Чугун Л1 Чугун Л3 Литники и брак Стальной лом Угар элементов	30	3,4 2,6 2,0 0,17 13	1,0 1,0 0,7 0,5 15	1000
12	2,0	0,7	Чугун Л1 Чугун Л5 Литники и брак Стальной лом Угар элементов	35	3,4 1,8 2,1 0,2 10	1,0 1,0 0,7 0,5 15	1000
13	2,0	0,7	Чугун Л3 Чугун Л5 Литники и брак Передельный чугун П1 Угар элементов	40	2,6 1,8 2,0 0,9 14	1,0 1,0 0,7 1,5 15	1000

Сделать проверку полученных результатов методом подбора.

Задача 15. Необходимо получить состав чугуна, %: 2,1 Si; 0,55 Mn; ≤ 0,1 S и 0,2 P. Угар кремния составляет 22 %, марганца – 23 %, привар серы – 60 %.

Шихта:

– чушковый чугун, содержащий, %: 3,5 Si; 1,0 Mn; 0,03 S и 0,03 P;

– металлический лом, содержащий, %: 1,0 Si; 0,65 Mn; ≤ 0,01 S и ≤ 0,5

P.

Расчет вести на 500 кг чугуна.

Задача 16. Чугун, содержащий, %: 3,0 Si; 0,9 Mn; 0,03 S и 0,8 P, и машинный лом, содержащий, %: 1,9 Si; 0,5 Mn; 0,1 S и 0,6 P.

Требуется составить шихту, предназначенную для получения чугуна химического состава, %: 2,1 Si; 0,55 Mn; 0,1 S и 0,7 P.

Решить задачу графическим методом с 55 % оборотного металла. Угар кремния составляет 15 %, марганца – 25 %; пригар серы – 70 %. Завалка – 50 кг.

Задача 17. Лом (химический состав, %: 2,1 Si; 0,6 Mn; 0,2 S и 0,7 P); чугун (химический состав, %: 2,7 Si; 0,8 Mn; 0,06 S и 0,5 P).

Требуется приготовить металла состава, %: 3,5 C; 2,0 Si; 0,45 Mn; 0,1 S и 0,6 P.

Возврат собственного производства составляет 40 %, угар кремния – 15 %, марганца – 20 %. Завалка – 400 кг.

Задача 18. Рассчитать ваграночную шихту для чугуна состава, %: 2,36 Si; 0,85 Mn; 0,10 S и 0,16 P. Химический состав шихтовых материалов приведен в табл. 64.

Таблица 64

Химический состав шихтовых материалов для задачи 18

Наименование компонента	Содержание, %	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
Чугун						
Л1	–	3,5	3,4	0,4	0,03	0,15
Л2	–	3,8	3,0	0,5	0,03	0,15
Л3	–	3,9	2,6	0,6	0,03	0,15
Возврат собственного производства	36	3,2	2,06	0,85	0,18	0,13
Стальной лом	–	0,3	0,3	0,50	0,04	0,03
Угар (–) и пригар (+), %	–	–10	–12	–20	–	+50

Расчет вести графическим методом.

Задача 19. Требуется составить металл состава, %: 2,0 Si; 0,4 Mn; 0,1 S и 0,6 P.

Шихта: лом (химический состав, %: 2,1 Si; 0,6 Mn; 0,2 S и 0,7 P); чугун (химический состав, %: 2,0 Si; 0,8 Mn; 0,06 S и 0,6 P). Возврат собственного

производства составляет 33 %, угар кремния – 15 %, марганца – 20 %. Завалка – 400 кг.

Сделать проверку методом подбора.

5.4. Пример расчета шихты для выплавки кислой электростали методом подбора

Условия задачи. Необходимо рассчитать шихту для стали 35Л (химический состав, %: 0,32–0,40 С; 0,40–0,90 Мн; 0,20–0,52 Si; до 0,05 Р и до 0,06 S), выплавляемой в печи ИСТ–6 с кислой футеровкой.

Цех располагает необходимым набором передельных чугунов и лома стали. Количество возврата собственного производства составляет 42 %.

Угар элементов при плавке: из металлозавалки С – 5 %, Мн – 20 %; из ферросплавов С – 5 %, Мн – 10 %.

Решение. Для расчетов примем следующий состав стали, %: 0,35 С; 0,65 Мн; 0,35 Si; 0,05 Р и 0,06 S.

В шихте необходимо использовать 42 % возврата собственного производства, имеющего средний состав данной стали.

Определяем количество возврата собственного производства на завалку:

$$6000 \cdot 42 / 100 = 2520 \text{ кг.}$$

Определяем количество элементов, вносимых этим компонентом шихты (первая строка табл. 67).

Рассчитываем ориентировочно необходимое количество передельного чугуна:

$$X_{\text{эл.б.}} = (Z - X_{\text{воз}}) \cdot ([C]_{\text{зав}} - [C]_{\text{лом}}) / ([C]_{\text{эл.б.}} - [C]_{\text{лом}}),$$

где Z – завалка, кг; $X_{\text{воз}}$ – количество возврата, кг; $[C]_{\text{зав}}$ – содержание углерода в завалке, %; $[C]_{\text{лом}}$ – содержание углерода в ломе, %; $[C]_{\text{эл.б.}}$ – содержание углерода в передельном чугуне, %.

Тогда:

$$X_{\text{эл.б.}} = (6000 - 2520) \cdot (0,35 - 0,25) / (4,05 - 0,25) = 92 \text{ кг.}$$

Количество стального лома рассчитывается по формуле:

$$X_{\text{лом}} = 6000 - 2520 - 92 = 3388 \text{ кг.}$$

Таблица 67

Подбор шихты для кислой индукционной плавки стали 35Л

Компоненты	Марка	Масса, кг	Содержание элементов									
			C		Mn		Si		P		S	
			%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
Возврат собственного производства	35Л	2520	0,35	8,82	0,65	16,38	0,35	8,82	0,05	1,260	0,05	1,260
Чугун передельный	П2	92	4,05	3,73	0,30	0,28	0,35	0,32	0,10	0,092	0,03	0,028
Стальной лом	2А	3388	0,25	8,47	0,40	13,55	0,20	6,78	0,04	1,355	0,03	1,016
Итого в завалке		6000		21,02		30,21		15,92		2,707		2,304
Угар из завалки			5,00	1,05	20,00	6,04						
Перешло в сталь			0,33	19,97	0,40	24,17	0,27	15,92	0,05	2,707	0,04	2,304
Ферромарганец	ФМн78	21,15	7,00	1,48	78,00	16,50	2,00	0,42	0,35	0,074	0,03	0,006
Ферросилиций	ФС75	6,77	0,10	0,03	0,40	0,03	75,00	5,08	0,05	0,003	0,03	0,002
Итого ферросплавов				1,51		16,53		5,50		0,077		0,008
Угар из ферросплавов			5,00	0,08	10,00	1,65						
Перешло в металл				1,43		14,88		5,50		0,077		0,008
Перешло в сталь		6000	0,36	21,4	0,65	39,05	0,36	21,42	0,05	2,784	0,04	2,312

Проведем проверку правильности подбора компонентов по фосфору и сере с учетом запаса на их содержание в раскислителях. Проведенная проверка по фосфору, сере и углероду удовлетворительная. В стали не хватает марганца и кремния.

Рассчитаем необходимо количество ферромарганца и ферросилиция. В шести тоннах стали должно содержаться марганца:

$$6000 \cdot 0,65 / 100 = 39 \text{ кг.}$$

Из завалки с учетом угара перешло в металл 24,15 кг. Требуется добавить:

$$39 - 24,15 = 14,85 \text{ кг.}$$

При усвоении марганца из ферросплава 90 % и содержания в нем 78 % требуемое количество ферромарганца составит:

$$14,85 / (0,78 \cdot 0,90) = 21,15 \text{ кг.}$$

Аналогично для кремния. В стали должно содержаться кремния:

$$6000 \cdot 0,35 / 100 = 21 \text{ кг.}$$

Введено 15,92 кг. Следовательно, необходимо ввести

$$21 - 15,92 = 5,08 \text{ кг.}$$

В ферромарганце ФС75 содержится 75 % кремния при его усвоении 100 %:

$$5,08 / 0,75 = 6,77 \text{ кг.}$$

Количество алюминия для раскисления рассчитывается вне табл. 67 из расчета 1,0–1,2 кг/т:

$$6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ кг.}$$

Таким образом, для раскисления стали 35Л в печи ИСТ–6 потребуется использовать 7,2 кг алюминия на одну плавку.

Задачи для практического решения

Задача 1. Рассчитать состав шихты для стали 35ХМЛ состава, %: 0,3–0,4 С; 0,5–0,8 Мн; 0,17–0,37 Si; $\leq 0,3$ Ni; 0,2–0,3 Мо; 0,8–1,0 Cr; S и P $\leq 0,04$. Плавка ведется в кислой индукционной печи.

Состав шихты приведен в табл. 68.

Таблица 68

Состав шихты для задачи 1

Составляющие	Содержание, %	Содержание элементов, %						
		C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S
Отходы собственного производства	50–60	0,35	0,60	0,17	0,80	0,20	0,02	0,015
Стальной лом	35–40	0,45	0,35	0,17	–	–	0,04	0,045
Чугун передельный	2–5	3,6	1,0	0,36	–	–	0,02	0,015
Fe–Si		–	0,7	75	–	–	0,05	0,04
Fe–Mn		1,0	80	2	–	–	0,30	0,03
Fe–Cr		0,16–0,25	–	2	60	–	0,06	0,004
Fe–Mo		0,1	–	1	–	55	0,1	0,1

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата. Расчет вести на 1 т завалки.

Задача 2. Необходимо рассчитать шихту при выплавке стали в кислой дуговой печи. Заданный состав стали, %: 0,17–0,25 С; 0,4 Si; 0,25–0,60 Мн; не более 0,03 Р и S; 0,5–0,95 Cr; 2,65–3,25 Ni. Вес завалки 15 т. Характеристика шихтовых материалов приведена в табл. 69.

Таблица 69

Состав шихты для задачи 2

Составляющие	Содержание для варианта, %			Содержание элементов, %					
	I	II	III	C	Mn	Cr	Si	Ni	P
Мелкий стальной лом	25	10	15	0,15	0,45	–	0,20	0,12	0,040
Рельсы (отходы)	10	10	4,5	0,25	0,57	–	0,40	0,05	0,050
Хромоникелевые отходы	60	30	80	0,10	0,50	0,80	0,15	3,0	0,025
Чугун	5	10	0,5	2,60	1,60	–	1,0	–	–

Недостающее количество марганца добавить ферромарганцем ФМн75; кремния – ферросилицием ФС45.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 3. Рассчитать шихту для стали 25Л следующего химического состава, %: 0,25 С; 0,30 Si; 0,5 Mn; 0,045 S и 0,04 P. Плавку вести в кислой индукционной печи.

Состав шихты:

- отходы собственного производства в количестве 20 %;
- лом стальной (0,20 С; 0,20 Si; 0,35 Mn);
- чугун передельный (4,05 С; 0,91–1,2 Si; 0,51–1,00 Mn; 0,03 S и 0,2 P).

Расчет вести на 0,5 т.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 4. Рассчитать шихту для стали 35Л следующего химического состава, %: 0,35 С; 0,30 Si; 0,45 Mn; не более 0,03 S и P. Плавку вести в дуговой электропечи с кислой футеровкой.

Состав шихтовых материалов приведен в табл. 70.

Таблица 70

Состав шихтовых материалов для задачи 4

Составляющие	Содержание элементов, %				
	С	Si	Mn	S	P
Отходы собственного производства	0,35	0,30	0,45	0,300	0,02
Лом стальной	0,45	0,20	0,50	0,015	0,01
Чугун	3,60	1,00	1,60	0,020	0,02

Использовать для расчета шихты следующие ферросплавы: феррокремний ФС20 и ферромарганец ФМн1,5. Расчет вести на 550 кг.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 5. Рассчитать шихту для выплавки 12 т стали в дуговой печи с кислой футеровкой следующего состава, %: 0,14–0,20 С; 0,6 Si; 0,3–0,5 Mn; до 0,02 S и до 0,03 P.

Шихтовые материалы приведены в табл. 71.

Таблица 71

Состав шихтовых материалов для задачи 5

Составляющие	Содержание элементов, %				
	С	Si	Mn	S	P
Чугун	3,00	1,50	0,80	0,05	0,02
Скрап	0,15	0,35	0,26	0,02	0,02

Ферросплавы выбрать из справочных таблиц.

Задача 6. Рассчитать шихту для стали 25Л следующего состава, %: 0,22–0,30 С; 0,17–0,37 Si; 0,5–0,8 Mn; до 0,03 S и до 0,03 P.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Шихта состоит из отходов собственного производства; стального лом (0,25 С; 0,20 Si; 0,50 Mn; 0,03 S и 0,03 P); чугуна Л1 (3,5 С; 3,4 Si; 1,5 Mn; 0,03 S и 0,02 P). Использовать следующие ферроматериалы: ферромарганец ФМн0,5 и ферросилиций ФС45. Расчет произвести на 1 т.

Задача 7. Рассчитать шихту для легированной стали следующего состава, %: 0,17–0,25 С; 0,40 Si; 0,25–0,60 Mn; 0,5–0,95 Cr; 2,65–3,25 Ni; не более 0,03 P и не более 0,03 S. Плавку вести в основной индукционной печи.

Завалка 25 т. Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Состав шихтовых материалов приведен в табл. 72.

Таблица 72

Состав шихтовых материалов для задачи 7

Составляющие	Содержание элементов, %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Стальной лом	0,25	0,45	0,25	–	0,12	0,040	0,03
Отходы (рельсы)	0,45	0,57	0,35	–	0,05	0,050	0,04
Хромоникелевые отходы	0,20	0,50	0,25	0,80	3,00	0,025	0,02
Чугун	3,6	1,60	1,00	–	–	–	–

Недостающее количество элементов добавить ферросплавами.

Задача 8. Рассчитать шихту для стали, выплавляемой в кислой дуговой печи следующего состава, %: 0,3 С; 0,88 Si; 1,0–1,2 Mn; 0,82 Cr; 0,54 Ni; 0,012 P и 0,04 S. Расчет вести на 20 т.

Состав шихтовых материалов приведен в табл. 73.

Таблица 73

Состав шихтовых материалов для задачи 8

Материалы	Химический состав, %						
	Mn	C	Si	P	S	Ni	Cr
Чугун	2,00	4,00	1,00	0,020	0,030	0,02	–
Заготовки	0,20	0,10	0,25	0,005	0,008	0,65	0,2
Ферромарганец ФМн75	75,00	1,00	2,00	0,004	0,030	–	–
Феррохром ФХ004Б	–	1,00	1,80	0,010	0,050	–	68,0
Ферросилиций ФС45	1,00	1,00	45,00	0,080	0,002	–	–

Задача 9. Рассчитать шихту для стали 25Л следующего химического состава, %: 0,25 С; 0,30 Si; 0,5 Mn; 0,0045 S и 0,0 P.

Состав шихтовых материалов:

- отходы собственного производства от стали 25Л;
- лом стальной, содержащий, %: 0,16 С; 0,2 Si; 0,35 Mn;
- чугун передельный П1, содержащий, %: 4,00–4,50 С; 0,5–0,9 Si; 1,0–1,5 Mn; $\leq 0,08$ P и $\leq 0,03$ S;

- ферромарганец ФМн0,5, содержащий 85 % марганца;
- ферросилиций ФС75, содержащий 75 % кремния.

Расчет произвести методом подбора на 0,2 т шихты.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 10. Рассчитать шихту для стали состава, %: 0,5–0,8 С; 0,19 Si; 1,0–1,4 Mn; 0,1 S; $\leq 0,06$ P; 1 Ni; 0,60 Mo; 1,7 Cr. Плавку вести в основной индукционной печи.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата. Расчет вести на 200 кг шихты. Состав шихты приведен в табл. 74.

Таблица 74

Состав шихтовых материалов для задачи 10

Материалы	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Чугун	4,0	1,20	2,00	0,025	0,015	–	–	–
Заготовка твердая	0,05	0,15	0,19	0,005	0,008	0,50	0,12	–
Ферромарганец	7,00	2,00	78,00	0,035	0,030	–	–	–
Феррохром	2,00	2,00	–	0,050	0,040	–	65,00	–
Ферромolibден	0,50	3,00	–	0,100	0,500	–	–	50
Ферросилиций	0,20	45,00	0,60	0,050	0,020	–	0,50	–

Задача 11. Рассчитать шихту для легированной стали 25Л химического состава, %: 0,22–0,30 С; 0,2–0,52 Si; 0,35–0,90 Mn; $\leq 0,05$ S; $\leq 0,05$ P; $\leq 0,30$ Ni; $\leq 0,6$ Cr.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Шихта состоит из 30 % возврата, 68 % стального лома и 2 % чугуна, алюминия для раскисления, который вводится из расчета 1,2 кг на 1 т стали. Состав шихты приведен в табл. 75.

Таблица 75

Состав шихтовых материалов для задачи 11

Материалы	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	
Возврат собственного производства	0,22–0,30	0,20–0,92	0,35–0,90	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	
Стальной лом	0,14–0,22	0,12–0,30	0,40–0,65	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 0,04$	$\leq 0,05$	
Чугун П1	4,00–4,50	0,5–0,9	1,0–1,5	–	–	$\leq 0,08$	$\leq 0,03$	
Силикомарганец Mn-С17	2,50	15,0–20,0	65	–	–	0,10	0,02	
Марганец металлический МрН6А	0,8	2,3	88,5	–	0,03	0,05	0,7	
Ферросилиций ФС45	0,20	45,00	0,60	0,500	–	0,050	0,20	

Задача 12. Рассчитать шихту для стали 20ГСЛ состава, %: 0,16–0,22 С; 0,6–0,8 Si; 1,0–1,3 Mn; не более 0,03 S и не более 0,03 P; $\leq 0,30$ Ni; $\leq 0,03$ Cr. Плавку вести в основной индукционной печи. Шихта состоит из 30 % возврата собственного производства; 68 % стального лома и 2 % передельного чугуна П1, алюминия для раскисления в количестве 2 кг. Состав шихтовых материалов приведен в табл. 76.

Таблица 76

Состав шихтовых материалов для задачи 12

Материалы	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
Возврат собственного производства	0,6–0,8	0,6–0,8	1,0–1,3	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 0,03$	$\leq 0,03$
Стальной лом	0,14–0,22	0,12–0,30	0,40–0,65	$\leq 0,30$	$\leq 0,30$	$\leq 0,04$	$\leq 0,05$
Чугун П1	4,00–4,50	0,5–0,9	1,0–1,5	–	–	$\leq 0,08$	$\leq 0,03$
Силикомарганец Mn-С17	2,50	15,0–20,0	65	–	–	0,10	0,02
Марганец металлический МрН6А	0,8	2,3	88,5	–	0,03	0,05	0,7
Ферросилиций ФС45	0,20	45,00	0,60	0,500	–	0,050	0,20

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 13. Рассчитать шихту для стали 35ХМЛ.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Шихтовые материалы:

– стальной лом состава, %: 0,18 С; 0,21 Si; 0,5 Mn; не более 0,05 S; не более 0,05 P; Cr и Ni не более 0,03 %;

– феррохром марки ФХ001А состава, %: не менее 68 Cr; 0,01 С; 0,8 Si; 0,02 P и 0,02 S;

– ферромолибден ФМо

– ферромарганец ФМн78 состава, %: 78,0–82,0 Mn; 7 С; 2 Si; 0,35 P и 0,03 S;

– силикокальций СК30 (из расчета 8 кг на 1 т стали для раскисления) состава, %: 30 Ca; 50 Si; 2,0 Al; 0,5 С и 0,2 P;

– ферросилиций ФС45 состава, %: 41–47 Si; 0,2 С; 1,0 Al; 1,0 Mn; 0,02 S и 0,1 P;

– алюминий чистый, содержащий %: 99,9 % Al.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 14. Рассчитать шихту для стали 110Г13Л. Плавку вести в основной дуговой печи.

Шихта:

– отходы собственного производства в количестве 40 %;

– стальной лом состава, %: 0,1 С; 0,25 Si; 0,45 Mn; не более 0,06 S и не более 0,06 P;

– ферросплавы.

Расчет вести на 250 кг.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 15. Рассчитать шихту для стали 30Л.

В качестве шихтовых материалов использовать 100 % отходов собственного производства, остальное ферросплавы.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата. Расчет произвести на 1 т завалки.

Задача 16. Рассчитать шихту для стали 50Г2 следующего состава, %: 0,6–0,55 С; 0,17–0,37 Si; 1,40–1,80 Mn.

Плавку вести в основной дуговой печи.

В качестве шихтовых материалов использовать следующие материалы:

– 40 % отходов собственного производства;

– стальной лом состава, %: 0,15 С; 0,25 Si; 0,3 Mn; не более 0,06 S и не более 0,06 P;

– ферроматериалы.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Расчет вести на 1 т.

Задача 17. Рассчитать шихту для стали 38ХМЛ состава, %: 0,35–0,42 С; 0,17–0,37 Si; 0,35–0,65 Mn; 0,90–1,3 Cr; 0,20–0,30 Mo.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Шихта состоит из возврата собственного производства (40–50 %); стали Ст3 (состав, %: 30 С; 0,25–0,55 Mn; 0,10–0,35 Si; 0,065 S и 0,085 P). Недостающее количество элементов ввести с ферросплавами. Расчет вести на 450 кг.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 18. Рассчитать шихту для легированной стали 30Х24Н12СЛ состава, %: 0,30 С; 0,24 Cr; 0,12 Ni; 1–1,5 Si.

Плавку вести в основной индукционной печи.

Шихта состоит из возврата собственного производства (25 %); стали Ст3 (состав, %: 30 С; 0,35 Mn; 0,25 Si; 0,07 S и 0,07 P) и ферросплавы.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата. Масса завалки 1 т.

Задача 19. Рассчитать шихту для стали 55Л.

Плавку вести в кислой дуговой печи.

Состав шихты: отходы собственного производства в количестве 40 %, ферроматериалы и стальной лом.

Расчет вести на 3000 кг завалки.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 20. Рассчитать шихту для стали 1Х13Л, %: 0,15 С; 0,7 Si; 0,6 Mn; 12–13 Cr; 0,6 Ni; не более 0,03 S и не более 0,03 P.

Плавку вести в основной дуговой печи. Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Шихта состоит из возврата собственного производства (не более 40–50 %); стальной лом (состав, %: 30 С; 0,30 Mn; 0,25 Si; 0,065 S и 0,085 P) и ферросплавы.

Расчет вести на 100 кг завалки.

Задача 21. Требуется вычислить содержание закиси железа в шлаке, отвечающее равновесию с металлом:

а) при содержании марганца в металле [Mn], равном 1 %; оксида марганца в шлаке (MnO) 6 %. Для основного шлака $K_{Mn}^0 \approx 0,4$:

$$K_{Mn}^0 = ((FeO) [Mn]) / (Mn).$$

б) при содержании марганца [Mn] в металле, равном 1,5 % и оксида марганца (MnO) в шлаке 7 %.

в) при содержании марганца в металле [Mn], равном 3 % и оксида марганца в шлаке (MnO) 8 %.

Задача 22. Рассчитать шихту для стали состава, %: 0,17–0,25 С; 0,4 Si; 0,2–0,6 Mn; не более 0,03 S; не более 0,03 P; 0,5–0,95 Cr; 2,65–3,25 Ni.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Вес завалки 15 т. Характеристика и вес шихтовых составляющих приведен в табл. 77.

Таблица 77

Шихтовые материалы для задачи 22

Составляющие шихты	Вес, %	Химический состав, %					
		С	Mn	Cr	Si	Ni	P
Металлический лом	x	0,15	0,45	–	0,20	0,12	0,040
Рельсы	y	0,25	0,57	–	0,40	0,05	0,050
Хромоникелевые отходы	z	0,10	0,50	0,8	0,15	3,00	0,025
Возврат собственного производства	25	0,20	0,40	0,7	0,40	2,95	0,030

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 23. Рассчитать шихту для стали 25Л следующего химического состава, %: 0,25 С; 0,3 Si; 0,2–0,8 Mn; 0,045 S; 0,04 P.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Состав шихтовых материалов:

– отходы собственного производства в количестве 40 %;

– стальной лом состава, %: 0,16 С; 0,91–1,3 Si; 0,5–1,0 Mn;

– чугуны передельного состава, %: 4,00–4,50 С; 0,5–0,9 Si; 1,0–1,5 Mn; $\leq 0,08$ Р и $\leq 0,03$ S.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

Задача 24. Рассчитать шихту для стали 35ХМЛ состава, %: 0,35 С; 0,3 Si; 0,65 Mn; не более 0,04 S; не более 0,04 Р; 0,95 Cr; 0,25 Mo.

Плавку вести в кислой индукционной печи.

Состав шихтовых материалов:

– отходы собственного производства в количестве 50 %;

– стальной лом состава, %: 0,45 С; 0,17 Si; 0,35 Mn;

– чугуны передельного состава, %: 4,00–4,50 С; 0,5–0,9 Si; 1,0–1,5 Mn; $\leq 0,08$ Р и $\leq 0,03$ S.

Угар выбрать из справочных данных в соответствии и с типом и футеровкой плавильного агрегата.

5.5. Пример расчета шихты методом подбора для выплавки высоколегированной стали методом переплава шихты

Условия задачи. Необходимо рассчитать шихту для стали 15Х23Н18Л, выплавляемой в печи ДСП–6 с основной футеровкой. Количество возврата собственного производства в балансе металла 56 %. Метод получения стали – метод переплава.

Согласно ГОСТ 2176–87 сталь имеет следующий химический состав, %: 0,1–0,2 С; 1,0–2,0 Mn; 0,2–1,00 Si; 22–25 Cr; 17–20 Ni; 0,03 S и 0,03 Р.

Решение. Для расчета принято, %: 0,15 С; 1,4 Mn; 0,6 Si; 23 Cr; 18 Ni; 0,03 S и 0,03 Р.

Угар элементов при плавке составит, %:

– из металлозавалки: 20 Mn; 30 Si; 5 Cr;

– из ферросплавов: 5 Mn; 5 Si.

Так как сталь высоколегированная, в шихту не вводим передельный чугун; используем прокатную обрезь с содержанием углерода до 0,12 %.

Расчет начинаем с определения необходимого количества никеля и феррохрома. При этом для получения низкого содержания углерода выбираем низкоуглеродистый феррохром.

Количество возврата собственного производства составит:

$$6000 \cdot 56 / 100 = 3360 \text{ кг.}$$

В первой строке табл. 78 подсчитано количество элементов, вносимых возвратом. Всего в плавке должно быть никеля

$$6000 \cdot 18 / 100 = 1080 \text{ кг.}$$

Подбор шихты для кислой индукционной плавки стали 35Л

Компоненты	Масса, кг	Содержание элементов													
		C		Mn		Si		Cr		Ni		P		S	
		%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
Возврат собственного производства	3360	0,15	5,04	1,5	50,40	0,6	20,16	23,0	772,80	18	604,80	0,028	0,94	0,025	0,84
Никель гранулированный	360	–	–	–	–	–	–	–	–	99,5	358,20	0,020	0,07	0,020	0,07
Отходы никеля	174,63	0,05	0,09	0,5	0,87	0,6	1,05	8,2	14,32	67,0	117,00	0,020	0,03	0,020	0,03
Феррохром	1023,86	0,10	1,02	–	–	1,5	15,36	65,0	665,51	–	–	0,030	0,31	0,030	0,31
Лом стали	1081,51	0,12	1,30	0,20	2,16	–	–	–	–	–	–	0,025	0,27	0,025	0,27
Итого	6000,00		7,45		53,43		36,57		1452,63		1080,00		1,62		1,52
Угар из завалки				20,00	10,69	30	10,97	5,0	72,63						
Перешло в сталь			7,45		42,74		25,60		1380,00		1080,00		1,62		1,52
Ферромарганец	55,68	7,00	3,90	78,00	43,43	2,0	1,11	–	–	–	–	0,05	0,03	0,03	0,02
Ферросилиций	14,60	0,10	0,01	0,40	0,06	75,0	10,95	–	–	–	–	0,05	0,01	0,05	0,01
Итого в ферросплавах			3,91		43,49		12,06		–		–		0,04		0,03
Угар из ферросплавов				5	2,17	5	0,60								
Перешло в сталь			3,91		41,32		11,46		–		–		0,04		0,03
Всего в стали		0,19	11,36	1,40	84,06	0,62	37,06	23,0	1380,00	18,0	1080,00	0,028	1,66	0,026	1,55

Из них 604,8 кг вносится возвратом собственного производства. Недостающее количество никеля (475,2 кг) должно быть внесено либо никельсодержащими отходами, либо в виде никеля марок Н1–Н3. Предположим, что цех может использовать не более 60 кг свежего никеля на 1 т стали, а остальной никель вводится в виде отходов.

Количество используемого гранулированного никеля составит:

$$60 \cdot 6 = 360 \text{ кг.}$$

С учетом того, что в составе гранулированного никеля присутствует 0,5 % примесей, количество вводимого никеля составит

$$99,5 \cdot 360 = 358,2 \text{ кг}$$

Количество вводимых отходов составит

$$1080 - 604,8 - 358,2 = 117 \text{ кг.}$$

В отходах содержится 67 % никеля, необходимое количество этих отходов составит

$$117 / 0,67 = 174,63 \text{ кг.}$$

Определим количество хрома:

$$(23 \cdot 6000) / (0,95 \cdot 100) = 1452,63 \text{ кг.}$$

Необходимо ввести количество феррохрома

$$1452,63 - 772,8 - 14,32 = 665,51 \text{ кг.}$$

В пересчете на 65 % феррохрома

$$665,51 / 0,65 = 1023,86 \text{ кг.}$$

После этого дополняем количество шихты до 6000 кг ломом стали и производим проверочный расчет по углероду, фосфору и сере (8-я строка табл. 78). Проверка дает удовлетворительные результаты.

Остается рассчитать необходимую для получения окончательного химического состава присадку ферромарганца и ферросилиция. Так как ситуация с углеродом благополучная, используем высокоуглеродистый ферромарганец ФМн78А, как более дешевый. Его количество составит

$$\frac{(6000 \cdot 41,4) / 100 - 42,74}{0,95 \cdot 40,78} = 55,68 \text{ кг.}$$

Рассчитаем количество ферросилиция

$$\frac{(6000 \cdot 40,6) / 100 - 25,60}{0,95 \cdot 40,75} = 14,60 \text{ кг.}$$

Количество алюминия для раскисления рассчитывается вне табл. 78 из расчета 1,0–1,2 кг/т:

$$6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ кг.}$$

Таким образом, для раскисления стали потребуется 7,2 кг алюминия на одну плавку.

Задачи для практического решения

Исходные данные задач, предназначенных для самостоятельного решения, приведены в табл. 79.

Таблица 79

Исходные данные задач

Номер варианта	Печь		Обязательные компоненты шихты, %		Марка стали
	тип	футеровка	возврат собственного производства	стружка	
1	Дуговая	Кислая	52	5	20ГЛ
2	Индукционная	Кислая	54	–	20ГСЛ
3	Дуговая	Кислая	50	5	35ГСЛ
4	Индукционная	Основная	60	–	30ХНМЛ
5	Индукционная	Кислая	50	–	25Х2Г2ФЛ
6	Дуговая	Кислая	55	8	23ХГС2МФЛ
7	Индукционная	Кислая	62	–	12ДХН1МФЛ
8	Дуговая	Основная	62	3	20Х8ВЛ
9	Индукционная	Основная	60	–	20Х12ВНМФЛ
10	Дуговая	Основная	55	5	14Х18Н4Г4Л
11	Индукционная	Основная	50	–	07Х18Н9Л
12	Дуговая	Основная	50	–	55Х18Г14С2ГЛ
13	Индукционная	Основная	55	–	20Х21Н46В8Л
14	Дуговая	Основная	53	10	110Г13Л
15	Индукционная	Основная	60	–	12Х25ГЛ

Состав сталей взять из справочных данных.

5.6. Пример расчета шихты методом подбора для выплавки стали с окислением

Условия задачи. Необходимо рассчитать шихту для стали 35ХГСЛ, выплаваемой в печи ДСП–6 с основной футеровкой. Расчет проводим на 100 кг металлозавалки.

Содержание элементов по ГОСТ 977–88, %: 0,3–0,4 С; 1,0–1,3 Мн; 0,6–0,8 Si; 0,6–0,9 Cr; до 0,04 S и до 0,04 P.

Состав исходных материалов приведен в табл. 80.

Таблица 80

Состав исходных материалов

Материал	Марка	Расчетное содержание элементов, %					
		С	Мн	Si	P	S	Cr
Лом стали	2А	0,30	0,60	0,25	0,05	0,04	0,30
Лом стали	4А	0,30	0,60	0,25	0,05	0,04	0,30
Передельный чугун	ПЛ1 гр. III кл. Б кат. 4	4,05	0,75	0,70	0,12	0,04	0,10
Ферромарганец	ФМн78	7,0	78,00	2,00	0,30	0,03	–
Ферросилиций	ФС75	0,1	0,4	75	0,05	0,02	0,40
Феррохром	ФХ015А	0,15	–	1,5	0,03	0,03	65,00

Решение. Принято для расчета, %: 0,3 С; 1,15 Мн; 0,7 Si; 0,8 Cr; 0,01 S и 0,01 P.

Длительность периодов плавки:

- заправка печи – 10–12 мин;
- завалка – 6–8 мин;
- плавление – 45–55 мин;
- скачивание первичного шлака и наводка вторичного – 13–17 мин;
- кипение ванны – 50–55 мин;
- чистый кип – 10–15 мин;
- раскисление – 10–15 мин;
- выпуск – 6–7 мин.

1-й период плавки (плавление и окисление). Задачей этого периода является расплавление шихты и окисление фосфора. Попутно протекают реакции окисления кремния (до следов), марганца, хрома и осуществляются необходимые операции (скачивание первичного шлака и наведение нового; кипение ванны).

Определение состава завалки по углероду. Содержание углерода в завалке $/C/_{зав}$:

- должно учитывать угар при плавлении $/\Delta C/_{пл} = 0,1–0,15$ % для конструкционных марок стали;
- обеспечивать угар при кипении $/\Delta C/_{к}$, не менее 0,25 %;
- в конце кипа $/\Delta C/_{к.п}$ содержание углерода должно быть на 0,03–0,1 % ниже нижнего предела заданной марки:

$$/C/_{зав} = /C/_{к.п} - (0,03-0,1) + /\Delta C/_{пл} + /\Delta C/_{к},$$

$$/C/_{зав} = 0,3 - 0,05 + 0,12 + 0,25 = 0,62 \text{ \%}.$$

Если содержание углерода в ломе стали $/C/_{лом} = 0,3 \text{ \%}$, а в передельном чугуна $/C/_{чуг} = 4,05 \text{ \%}$, то баланс углерода в завалке

$$/C/_{зав} \cdot 100 = /C/_{чуг} \cdot x + /C/_{лом} \cdot (100 - x),$$

где x – количество чугуна в шихте, кг.

$$x = 100 \cdot (/C/_{зав} - /C/_{лом}) / (/C/_{чуг} - /C/_{лом})$$

$$x = 100 \cdot (0,62 - 0,30) / (4,05 - 0,30) = 8,5 \text{ кг}.$$

Количество лома стали принимаем

$$100 - 8,5 = 91,5 \text{ кг}.$$

Примем соотношение лома А2 и А4 40 % и 60 %, соответственно.

Передельный чугун и стальной лом вносят в завалку следующее количество элементов (табл.)

Химический состав завалки

Таблица

Материал	Масса, кг	Расчетное содержание элементов, %					
		C	Mn	Si	P	S	Cr
Лом стали	91,5	0,275	0,549	0,229	0,046	0,037	0,275
Передельный чугун	8,5	0,344	0,064	0,060	0,010	0,003	0,009
Всего	100	0,619	0,613	0,289	0,056	0,040	0,284

Дефосфорация металла в 1-й период плавки. Дефосфорация требует:

– высокой основности шлака:

$$B = CaO\% / SiO_2\% \geq 3;$$

– скачивания первичного фосфористого шлака (практически можно удалить до 70 % этого шлака);

– содержание в шлаке по расплавлению 10–20 % SiO_2 и около 12 % FeO .

Окисляясь до следов, кремний образует кремнезем:

$$(SiO_2)_{по\ расп} = 60 \cdot 0,289 / 28 = 0,619 \text{ кг}.$$

Задаем основность шлака $B = 3$ и содержание SiO_2 в шлаке 15 %, тогда количество шлака I_1 составит

$$I_1 = \frac{(\text{SiO}_2) \text{ ч } 100}{15} = \frac{0,619 \text{ ч } 100}{15} = 4,1 \text{ \% от веса металла.}$$

При расчетах по дефосфорации металла можно принять приближенно следующую зависимость коэффициента распределения L_p фосфора между шлаком и металлом от основности шлака B :

B	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
L_p	20	40	60	80	100

Так как основность шлака равна трем, то L_p будет равно 80.

Поэтому после расплавления количество фосфора, которое остается в металле ($|P_1|$), будет равно

$$|P_1| = \frac{\frac{2P}{62} + \frac{5O}{80} \cdot \frac{P_2O_5}{142}}{1 + \frac{\frac{62}{142} \text{ ч } \frac{4,1}{100} L_p}}{1 + \frac{0,056}{0,437 \text{ ч } 0,041 \cdot 80}} = 0,023 \text{ \%}.$$

Количество фосфора в металле выше требуемого, поэтому следует увеличить количество первичного шлака путем добавок шлакообразующих.

Для этого определим количество фосфора, которое необходимо удалить в шлак.

$$0,023 - 0,010 = 0,013 \text{ \%},$$

где 0,010 – количество фосфора, принятое в металле, ($|P_2|$).

Рассчитаем количество шлака, которое необходимо добавки (основность та же, $B = 3$):

$$I_2 = \frac{(|P_1| - |P_2|) \text{ ч } 100}{\frac{62}{142} \text{ ч } |P_2| L_p} = \frac{0,013 \text{ ч } 100}{0,437 \text{ ч } 0,01 \cdot 80} = 3,7 \text{ \%}.$$

Общее количество шлака в первом периоде составит

$$И = 4,1 + 3,7 = 7,8 \%$$

В нем содержится фосфора

$$0,056 - 0,010 = 0,046 \%$$

При скачивании 70 % шлака удалится

$$0,046 \cdot 0,7 = 0,0322 \%$$

В шлаке останется

$$0,046 \cdot 0,3 = 0,0138 \%$$

Угар марганца в 1-м периоде. Содержание марганца в стали конце плавления $[Mn]_1$ и в конце кипа $[Mn]_2$ определим по формуле

$$[Mn]_1 = \frac{[Mn]_{зав} \cdot K_{Mn}}{K_{Mn} + \frac{55}{71} \cdot \frac{И_1}{100} \cdot (FeO)_1},$$

$$[Mn]_2 = \frac{[Mn]_{зав} \cdot K_{Mn}}{K_{Mn} + \frac{55}{71} \cdot \frac{И_2}{100} \cdot (FeO)_2}.$$

где $(FeO)_1$ и $(FeO)_2$ – содержание оксида железа в стали в конце периода плавления и в конце кипа, соответственно, %; K_{Mn} – константа равновесия.

При нормальном ходе процесса $(FeO)_1 = 12 \%$ и $(FeO)_2 = 10 \%$.

Численное значение константы равновесия K_{Mn} находим по уравнению

$$\lg K_{Mn} = \lg \frac{(FeO)[Mn]}{(Mn)} - \frac{6600}{T} \quad 3,16.$$

Нормальное протекание процессов в печи обеспечивается при перегреве около $100 \text{ }^\circ\text{C}$ над линией ликвидус, т.е.

$$T = 1539 + 275 + 10 - 81/C/, \text{ }^\circ\text{K}.$$

В конце плавления

$$T = 1912 - 81 \cdot 0,50 = 1871 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$K_{Mn} = 0,429.$$

В конце кипа

$$T = 1912 - 81 \cdot 0,25 = 1892 \text{ }^\circ\text{C}; \quad K_{\text{Mn}} = 0,466.$$

Определим количество марганца
– в конце плавления

$$[\text{Mn}]_1 = \frac{0,613 \cdot 40,429}{0,429 + \frac{55}{71} \cdot \frac{4,1}{100}} \cdot 12 \text{ } \text{ч} \quad 0,325 \text{ } \%;$$

где 0,613 – содержание марганца в завалке, %; 55 – атомная масса марганца; 71 – масса оксида марганца; 12 – коэффициент распределения марганца;

– в конце кипа

$$[\text{Mn}]_1 = \frac{0,325 \cdot 40,466}{0,466 + \frac{55}{71} \cdot \frac{5,2}{100}} \cdot 10 \text{ } \text{ч} \quad 0,174 \text{ } \%;$$

где 5,2 – количество шлака, после скачивания:

$$4,0 + 4,0 \cdot 0,3 = 5,2 \text{ } \%.$$

Окислилось марганца в первом периоде

$$0,613 - 0,174 = 0,439 \text{ } \%.$$

Окисление хрома. По данным А.Д. Крамарова, соотношение содержания хрома в шлаке (Cr) и в металле [Cr] в конце кипа выражается уравнением

$$(\text{Cr}) / [\text{Cr}] = 0,5(\text{FeO}).$$

Решив это уравнение относительно [Cr], получим

$$[\text{Cr}] = \frac{100 \cdot [\text{Cr}]_{\text{зав}}}{100 + 0,5I(\text{FeO})} = \frac{100 \cdot 40,284}{100 + 0,5 \cdot 47,8} \cdot 10 \text{ } \text{ч} \quad 0,204 \text{ } \%;$$

Окисление хрома составит

$$0,284 - 0,204 = 0,080 \%$$

Расчет необходимого количества кислорода и руды для окисления примесей. При окислении углерода на основании практических данных принимаем отношение CO / CO_2 в газовой фазе электропечи равным 4 – для высокоуглеродистых; 2–3 – для среднеуглеродистых и 1–2 – для низкоуглеродистых сталей.

Для стали 35ХГСЛ принимаем $\text{CO} / \text{CO}_2 = 3$.

Количество углерода, окислившегося до CO

$$C_{\text{CO}} = \frac{3}{4} \Delta[\text{C}] = \frac{3}{4} \cdot 0,30 = 0,225 \%$$

Окислилось до CO_2

$$C_{\text{CO}_2} = \frac{1}{4} \Delta[\text{C}] = \frac{1}{4} \cdot 0,30 = 0,075 \%$$

Количество углерода определяем по табл. 81.

Количество кислорода, необходимое для образования FeO и Fe_2O_3 в шлаке:

$$(\text{FeO}) = \frac{I_1 \cdot \psi(\text{FeO})_1}{100} + \frac{I_2 \cdot (\text{FeO})_2}{100} = \frac{4,1412}{100} + \frac{3,710}{100} = 0,862 \%$$

На образование 0,862 % FeO необходимо кислорода

$$(\text{O})_{\text{FeO}} = 0,862 \cdot 16 / 72 = 0,192 \%$$

В этом количестве FeO содержится железа

$$(\text{Fe})_{\text{FeO}} = 0,862 - 0,192 = 0,670 \%$$

Для основных окислительных шлаков принимаем отношение

$$(\text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO}) = 0,2.$$

Тогда

$$(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0,2(\text{FeO}) = 0,2 \cdot 0,862 = 0,172 \%,$$

$$(\text{O})_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,172 \cdot 48 / 160 = 0,052 \%,$$

$$(\text{Fe})_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,172 - 0,052 = 0,120 \%,$$

$$\Sigma O = 0,192 + 0,052 = 0,244 \%,$$

$$\Sigma Fe = 0,670 + 0,120 = 0,790 \%.$$

Таблица 81

Количество кислорода, необходимое для окисления примесей в 1-м периоде плавки

Элемент	Выгорело, кг	Реакция	Необходимо O ₂ , кг	Количество продуктов реакции, кг	Перешло, кг
C	До 0,225	C + 0,5O ₂ = CO	0,225 · 16 / 12 = 0,300	0,225 · 28 / 12 = 0,525	В газ 0,525 + 0,275 = 0,800
	До 0,075	C + O ₂ = CO ₂	0,075 · 32 / 12 = 0,200	0,075 · 44 / 12 = 0,275	
Si	0,289	Si + O ₂ = SiO ₂	0,289 · 32 / 28 = 0,330	0,289 · 60 / 28 = 0,619	В шлак 0,619 + 0,567 + 0,105 + 0,117 = 1,408
Mn	0,439	Mn + 0,5O ₂ = MnO	0,439 · 16 / 55 = 0,128	0,439 · 71 / 55 = 0,567	
P	0,046	2P + 2,5O ₂ = P ₂ O ₅	0,046 · 80 / 62 = 0,059	0,046 · 142 / 62 = 0,105	
Cr	0,080	2Cr + 1,5O ₂ = Cr ₂ O ₃	0,080 · 48 / 104 = 0,040	0,080 · 152 / 104 = 0,117	
	1,154		1,057		

Количество кислорода в металле в конце окислительного периода определяем по уравнению

$$\%[C]\%[O] = 0,0028 + 0,003 \% [C].$$

Откуда

$$\%[O] = 0,0028 / \%[C]_{\text{к}} + 0,003.$$

При $\%[C]_{\text{к}} = 0,25 \%$

$$\%[O] = 0,0028 / 0,25 + 0,003 = 0,014 \%.$$

Всего необходимо кислорода

$$\Sigma O = \Sigma(O)_{\text{прим}} + \Sigma(O) + [O]_{\text{к}},$$

где $\Sigma(O)_{\text{прим}}$ – содержание кислорода, необходимое для окисления примесей, %; $\Sigma(O)$ – содержание кислорода, необходимое для образования FeO и Fe₂O₃, %; $[O]_{\text{к}}$ – количество кислорода в конце кипа, %.

$$\Sigma O = 1,057 + 0,244 + 0,014 = 1,315 \%$$

Принимаем, что из воздуха поступает 20 %, за счет технического кислорода – 30 % и из железной руды – 50 % кислорода.

Технического кислорода для продувки потребуется

$$O_{2 \text{ тех}} = 1,315 \cdot 0,3 = 0,395 \text{ кг} / 100 \text{ кг}$$

или

$$O_{2 \text{ тех}} = 0,395 \cdot 1000 \cdot 22,4 / (32 \cdot 100) = 2,765 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Количество Fe_2O_3 , необходимое для окисления примесей

$$\Sigma Fe_2O_3 = 0,5 \Sigma O_2 \cdot 158 / 48 = 0,5 \cdot 1,315 \cdot 158 / 48 = 2,164 \text{ кг}.$$

Для этого необходимо руды (93 % Fe_2O_3)

$$y = \frac{\Sigma (Fe_2O_3) \cdot 100}{\% (Fe_2O_3)} = \frac{2,164 \cdot 100}{93} = 2,327 \text{ кг}.$$

Расход извести

$$z = \frac{I(CaO)}{(CaO)_{\text{изв}}} = \frac{7,8445}{90} = 3,9 \text{ кг/т}.$$

Выход металла в конце I-периода:

$$x_1 = 100 - \Sigma \text{выгор.пр} - \Sigma(Fe) - Fe_{\text{угар}} + Fe_{\text{руды}},$$

где $\Sigma \text{выгор.пр}$ – суммарное количество примесей, которое выгорело, кг; $\Sigma(Fe)$ – количество железа, перешло в шлак, кг; $Fe_{\text{угар}}$ – угар и испарение железа, 2–4 %; $Fe_{\text{руды}}$ – количество железа, поступающее с рудой, %.

В Fe_2O_3 содержится железа

$$2,164 \cdot 112 / 100 = 2,424 \%$$

$$Fe_{\text{руды}} = 2,424 \cdot 100 / 93 = 2,606 \%$$

$$x_1 = 100 - 1,154 - 0,790 - 2,0 + 2,606 = 98,662 \%$$

Окислительный период заканчивается скачиванием шлака.
В табл. 82 приведен состав металла в конце кипа.

Таблица 82

Состав металла в конце кипа

Материал	Расчетное содержание элементов, %						Всего, кг
	C	Mn	Si	P	S	Cr	
Завалка	0,619	0,613	0,289	0,056	0,040	0,284	100,0
Угорело	0,270	0,439	0,289	0,046	0,140	0,080	1,338
В конце кипа	0,250	0,174	0,000	0,010	0,026	0,204	98,662
Готовый металл	0,300	1,150	0,700	0,010	0,010	0,800	

Полученные в табл. данные позволяют уточнить состав шлака в конце окислительного периода.

2-й период плавки. Основные задачи этого периода: доведение металла до заданного состава, раскисление металла, удаление серы.

Расчет необходимого количества ферросплавов и выход металла. Выход металла (x_2) находим по формуле

$$x_2 = x_1 + \Sigma P_{\text{ферросплавов}},$$

где $\Sigma P_{\text{ферросплавов}}$ – суммарный расход ферросплавов.

При работе под белыми раскислительными или белыми известково–шамотными шлаками принимаем угар элементов из ферросплавов:

$$Cr = 0; Mn = 0; W = 0; V = 0.$$

При выплавке сталей, легированных кремнием, раскисление шлака порошком ферросилиция ведется до получения в металле 0,20–0,25 % Si (степень усвоения кремния из порошка ферросилиция 50–60 %). Остальное количество кремния вводится посредством присадки кускового ферросилиция за 10–20 мин до выпуска или в ковш, степень усвоения кремния при этом составляет до 100 %.

Расход ферросплавов

$$P_{\text{FeCr}} = \frac{x_2 [\%Cr]_{\text{кон}} - x_1 [\%Cr]_{\text{нач}}}{[\%Cr] \text{ FeCr}} = \frac{x_2 40,800 - 98,662 \cdot 0,204}{65} = 0,012x_2 - 0,310,$$

$$P_{\text{FeMn}} = \frac{x_2 [\%Mn]_{\text{кон}} - x_1 [\%Mn]_{\text{нач}}}{[\%Mn] \text{ FeMn}} = \frac{x_2 41,15 - 98,662 \cdot 0,174}{78} = 0,015x_2 - 0,220,$$

$$P_{\text{FeSi}} = \frac{x_2 [\% \text{Si}]_{\text{кон}} - x_1 [\% \text{Si}]_{\text{нач}}}{[\% \text{Si}]_{\text{FeSi}} \cdot \%_{\text{уствоен. Si}}} \cdot \frac{x_2 \left([\% \text{Si}]_{\text{к.1-й периода}} - [\% \text{Si}]_{\text{кон}} \right)}{[\% \text{Si}]_{\text{FeSi}} \cdot \%_{\text{уствоен. Si}}},$$

$$P_{\text{FeSi}} = \frac{x_2 \cdot 40,25 - 98,662 \cdot 0,0}{75 \cdot 40,5} = \frac{x_2 \cdot (40,70 - 0,25)}{75 \cdot 0,9} = \frac{0,007x_2}{0,007x_2 + 0,014x_2}$$

Тогда

$$x_2 = 98,662 + [(0,012x_2 - 0,310) + (0,015x_2 - 0,220) + 0,014x_2]$$

$$x_2 = 102,327 \text{ кг.}$$

Полученные значение округляем до 100 кг.

Тогда

$$P_{\text{FeCr}} = 0,012 \cdot 100 - 0,310 = 0,89 \text{ кг,}$$

$$P_{\text{FeMn}} = 0,015 \cdot 100 - 0,220 = 1,28 \text{ кг,}$$

$$P_{\text{FeSi}} = 0,014 \cdot 100 = 1,400 \text{ кг.}$$

Определим количество шлака I_3 , исходя из условий десульфурации при заданном количестве шлака.

Состав шлака, %: 50–55 CaO; 18–20 SiO₂; 10–20 Al₂O₃; 10–18 MgO; 0,4–0,6 FeO; 2,8–8,2 CaF; 0,05 S.

На основании практических данных для конструкционных сталей

$$(\text{FeO}) \cdot h_3 = 20-30,$$

примем 25. Тогда

$$h_3 = 25 / (\text{FeO}) = 25 / 0,5 = 50.$$

Для заданной серы $/S/_{\text{кон}} = 0,006$.

$$I_3 = \frac{\Delta / \% S /}{\Delta (\% S)} \cdot 100 = \frac{/S/_{\text{нач}} - /S/_{\text{кон}}}{/S/_{\text{кон}} \cdot h_3} \cdot 100, \quad (S)_{\text{нач}}$$

$$I_3 = \frac{0,026 - 0,006}{0,006 \cdot 50 - 0,05} \cdot 100 = 8 \%$$

По количеству шлака I_3 , зная состав извести, плавикового шпата, шамотного боя, можно определить величину присадки.

Известь

$$z = 0,52 \cdot I_3 / 0,90 = 0,58 \cdot 8 / 0,9 = 5,16 \text{ кг.}$$

Таким образом, на одну плавку потребуется 5,16 кг извести.

Задачи для практического решения

Исходные данные задач 1–8, предназначенных для самостоятельного решения, приведены в табл. 83. Плавка стали осуществляется в дуговой печи с основной футеровкой.

Таблица 83

Исходные данные задач

Номер варианта	Обязательные компоненты шихты, %		Марка стали
	возврат собственного производства	стружка	
1	48	7	35ХМЛ
2	54	3	20ХГСНДМЛ
3	60	8	35ХГСЛ
4	62	5	12ДН2ФЛ
5	65	–	20Х5МЛ
6	50	3	08Х14Н7МЛ
7	55	3	15Х23Н18Л
8	50	10	15Х13Л

Состав сталей взять из справочных данных.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Зависит ли угар химического элемента от типа плавильного агрегата?
2. Как определить допустимое содержание расчетного элемента в шихте?
3. Перечислите компоненты шихты при плавке в вагранке, конвертере, мартене и дуговой электропечи.
4. Какой материал восполняет недостаток кремния в сплаве?
5. Как составляется баланс металла?
6. Какова методика расчета шихты аналитическим методом?
7. Какие величины являются неизвестными при составлении системы уравнений для аналитического метода расчета шихты?
8. Сколько марок чугуна можно использовать при составлении шихты для аналитического метода?
9. Какие данные необходимы для составления первого уравнения при расчете шихты аналитическим методом?
10. Как произвести проверку точности шихты аналитическим способом?
11. Какие виды шихтовых материалов используют при расчете шихты графическим методом?
12. Каковы особенности расчета шихты графическим методом?
13. Как осуществить проверочный расчет?
14. Как скорректировать состав шихты, если выбранные материалы не обеспечивают заданный химический состав сплава?
15. Включают ли возврат собственного производства при расчете шихты графическим методом?
16. Как рассчитать необходимое количество передельного чугуна для выплавки кислой электростали?
17. Особенности расчета шихты методом подбора для выплавки кислой электростали.
18. Каковы требования к содержанию вредных примесей в шихте при кислой плавке?
19. Как провести проверку правильности подбора компонентов по фосфору и сере?
20. Какое количество алюминия вводится для раскисления стали?
21. Каковы особенности расчета шихты методом подбора для переплавной выплавки стали?
22. Используется ли передельный чугун при выплавке высоколегированной стали?
23. Почему содержание в шихте гранулированного никеля ограничено до 60 кг на 1 тонну стали?

24. Почему при плавке стали 15Х23Н18Л выбирают низкоуглеродистый феррохром?
25. Как рассчитать необходимую присадку ферросплавов?
26. Каковы особенности расчета шихты методом подбора для выплавки стали с окислением?
27. Какова длительность периодов плавки стали в окислением в ДСП–6?
28. Каковы задачи окислительного периода плавки?
29. Какие условия необходимы для дефосфорации стали?
30. Как осуществить десульфурацию стали в дуговых электропечах?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Могилев, В. К. Справочник литейщика : справ. для профессионального обучения рабочих на производстве / В. К. Могилев, О. И. Лев. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Трухов, А. П. Литейные сплавы и плавка : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / А. П. Трухов, А. И. Маляров. – М. : Академия, 2005. – 336 с.
3. Справочник по чугунному литью / под ред. Н. Г. Гиршовича. – М.–Л. : Машиностроение, 1978. – 758 с.
4. Леви, Л. И. Основы теории металлургических процессов и технология плавки литейных сплавов / Л. И. Леви, Л. М. Мариенбах. – М. : Машиностроение, 1970, – 495 с.
5. Производство отливок из чугуна и стали : метод. указания к практическим занятиям для студентов по специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов» / Р. А. Меркер, В. Н. Непомнящий [и др.]; ГАЦМиЗ. – Красноярск, 1999. – 48 с.
6. Меркер, Р.А. Производство отливок из чугуна и стали (ч. III «Шихтовые материалы и условия задач») : метод. указания к практическим занятиям для студентов по специальности 110400 «Литейное производство черных и цветных металлов» / Р. А. Меркер, Л. Е. Черноярова; КИЦМ. – Красноярск, 1984. – 54 с.
7. Гильманшина, Т. Р. Производство отливок из чугуна и стали : метод. указ. к практ. работам для студ. спец. 150104.65 [Текст] / Сиб. федер. Ун-т ; сост. Т. Р. Гильманшина, А. И. Булгакова [и др.]. – Красноярск : СФУ, 2011. – 52 с.