

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»  
НОВОТРОИЦКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра металлургических технологий и оборудования

**Е.В. Братковский, Н.Г. Куницина**

## **РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Методические указания  
для выполнения домашнего задания / контрольной работы  
по дисциплинам «Специальные стали»,  
«Теория и технология переплавных процессов»  
для бакалавров направления подготовки 22.03.02 Металлургия  
очной и заочной форм обучения

Новотроицк, 2020

УДК 669.187  
ББК 34.314  
Б 87

Рецензенты:

*И.о. зам. начальника ЭСПЦ по технологии,  
к.т.н. Кузнецов М.С.*

*Доцент кафедры МТнО Новотроицкого филиала  
ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»,  
к.т.н. Ганин Д.Р.*

Е.В. Братковский, Н.Г. Куницина. Расчет шихты для выплавки легированной стали: методические указания для выполнения домашнего задания / контрольной работы по дисциплинам «Специальные стали», «Теория и технология переплавных процессов» для бакалавров направления подготовки 22.03.02 Металлургия, очной и заочной форм обучения. – Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2020. 28 с.

Методические указания предназначены для закрепления материала лекционных и практических занятий, навыков расчета шихты для выплавки легированной стали в дуговой сталеплавильной печи.

Методические указания составлены в соответствии с требованиями образовательного стандарта высшего образования НИТУ «МИСиС» по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия.

*Рекомендовано Методическим советом НФ НИТУ «МИСиС»*

© Новотроицкий филиал  
ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский технологический  
университет «МИСиС», 2020.

## Содержание

Введение .....	4
1 Шихтовые материалы для выплавки стали .....	5
2 Особенности технологии выплавки легированных сталей в электродуговых печах .....	7
2.1. Особенности выплавки высокохромистых сталей в электродуговых печах .....	7
2.2. Особенности выплавки высокомарганцевых сталей в электродуговых печах .....	9
3 Методика расчета металлической части шихты .....	12
4 Пример расчета шихты для выплавки легированной стали в дуговой печи.....	17
Список использованных источников .....	23
Приложение А. Варианты заданий (химический состав сталей для отливок) .....	24
Приложение Б. Угар элементов при плавке стали в дуговых электропечах с основной футеровкой.....	25
Приложение В. Шихтовые материалы, применяемые при выплавке сталей для отливок .....	26

## Введение

Основной задачей сталеплавильного процесса является получение жидкой стали заданного химического состава с определенными физико-химическими и литейными свойствами, с минимальными затратами времени, материалов и энергоресурсов. В плавильном агрегате в строгой последовательности протекают сложные физико-химические процессы между металлом, шлаком и печной атмосферой. Эти процессы, обычно не достигающие равновесия, в значительной степени определяют основные направления реакций и технико-экономические показатели производства.

В последние годы непрерывно растет удельный вес электростали в балансе стальных отливок и составляет 97 %. Высокий уровень качественных отливок показателей отечественного сталелитейного производства в значительной степени объясняется преимуществом электрометаллургических процессов.

В пособии содержатся методические указания по расчету шихты для выплавки легированной стали в дуговой печи. Варианты заданий приведены в приложении.

При выполнении домашнего задания / контрольной работы формируются компетенции, предусмотренные учебным планом подготовки бакалавров направления 22.03.02 Metallurgia по дисциплинам «Специальные стали, «Теория и технология переплавных процессов» (ПСК-3, УК-11.1).

## 1 Шихтовые материалы для выплавки стали

При выплавке стали в электропечах основной металлической частью шихты является стальной лом. В соответствии с ГОСТ 2787-75 лом подразделяется на две категории (А – углеродистый и Б – легированный), на два класса (стальной и чугунный) и на несколько видов. Вид определяется физическим состоянием и показателями качества лома (кусковой, прессованный, габаритный и так далее). Легированный лом разделяют на 67 групп по химическому составу.

Для получения требуемого содержания углерода в шихту вводится перелдельный чугун марок П1 и П2 по ГОСТ 805-95, электродный бой, кокс и другие карбюризаторы. Введение чугуна в шихту увеличивает содержание фосфора, поэтому его следует применять в плавках с удалением фосфора. Предпочтительнее использовать чугуны с пониженным содержанием серы и фосфора.

На машиностроительных заводах обычно в состав шихты вводят стружку. Стружку сортируют по группам марок, обжигают для удаления масла и брикетируют. В состав шихты включают до 15 % таких брикетов.

Легирование и раскисление стали производят присадками ферросплавов, реже используют другие сплавы и чистые металлы. Из выпускаемых промышленностью сплавов кремния при производстве стальных отливок применяют преимущественно ферросилиций марок ФС75, ФС65, ФС45 по ГОСТ 1415-93. Для диффузионного раскисления под белыми шлаками в основных электропечах более предпочтителен 65 и 75%-ный ферросилиций, образующий при помолу более дисперсные порошки.

Ферромарганец по ГОСТ 4755-91 подразделяют на низкоуглеродистый (0,5 % углерода), среднеуглеродистый (1-2 % углерода) и высокоуглеродистый.

Низкоуглеродистый и среднеуглеродистый ферромарганец содержит 85 % марганца (кроме ФМн 2,0, в котором 75 % марганца). В низкоуглеродистом ферромарганце среднее содержание углерода показано в цифровом обозначении марки (ФМн 1,5 % углерода). В высокоуглеродистом ферромарганце в цифровом обозначении показано среднее содержание марганца (содержит 75 % марганца). В маркировке ферромарганца буква А означает пониженное содержание фосфора (менее 0,05 %), буква К – пониженное содержание кремния (до 1 %), С – повышенное содержание кремния (например, ФМн 75АС6 содержит 6 % кремния).

Для преобладающего числа марок сталей используют высокоуглеродистый ферромарганец. Низко- и среднеуглеродистый ферромарганец применяют при выплавке низкоуглеродистых сталей и для снижения количества углерода в высокоуглеродистой стали.

Широкое распространение в сталелитейном производстве получил силико-кальций – раскислитель, модификатор и глобулизатор включений. Лучший эффект дают сплавы СК25, СК30 по ГОСТ 4762-71.

Хром – легирующий компонент значительной части конструкционных сталей. Феррохром подразделяется: на низкоуглеродистый (ФХ010 - ФХ050), содержащий 0,01-0,50 % углерода; среднеуглеродистый (ФХ 100 - ФХ400), содержащий 1-4 % углерода; углеродистый (ФХ650 и ФХ800), содержащий 6,5-8,0 % углерода. Во всех марках феррохрома содержание хрома находится в пределах 60-68 %. При выплавке легированных сталей применяют ферровольфрам, ферромolibден, феррованадий, ферротитан, ферросиликохром и другие. Никель и медь используют в виде чистых металлов.

Для раскисления сталей применяют первичный алюминий с содержанием примесей менее 2 %.

Все металлургические процессы проводят с участием шлаковой фазы. Количество шлака при выплавке стали в дуговых электропечах обычно составляет 3-7 % массы металлической садки. Для шлакообразования в электропечах применяют свежееобожженную известь, плавиковый шпат, шамотный бой, кварцевый песок, известняк металлургический. Для восстановительных шлаков применяют порошки кокса, молотого ферросилиция и в отдельных случаях алюминия.

Для окислительных процессов используют железную руду, окалину от термообработки, газообразный кислород.

## **2 Особенности технологии выплавки легированных сталей в электродуговых печах**

### **2.1. Особенности выплавки высокохромистых сталей в электродуговых печах**

Высоколегированные хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые, хромоникельвольфрамовые и другие нержавеющие, кислотостойкие и жаропрочные стали ферритного, феррито-мартенситного и аустенитного классов характеризует высокое содержание хрома, которое достигает в некоторых марках 26 %. Наиболее сложными по технологии плавки являются стали с низкой концентрацией углерода (менее 0,12 %) и высоким содержанием легирующих элементов. Присутствие относительно большого количества титана и алюминия также усложняет процессы плавки.

Наибольшее количество отливок производится из аустенитной хромоникелевой стали марки 12X18H9ТЛ, которая является одновременно нержавеющей, кислотостойкой и жаропрочной. Она содержит до 0,12 % С, 0,2-1,0 % Si, 1-2 % Mn, 17-20 % Cr, 8-11 % Ni, до 0,8 % Ti, до 0,03 % S и 0,035 % P. Указанную сталь выплавляют в дуговых и индукционных печах с основной футеровкой. В дуговых печах плавка проводится на свежей шихте с окислением и методом переплава; в индукционных – только переплавом.

Для плавки с окислением в дуговых печах шихта состоит из низкоуглеродистого лома. В завалку задают руду и известь. По расплавлению фосфористый шлак частично или полностью удаляют и наводят свежий.

В хорошо нагретый металл вводят руду или газообразный кислород и осуществляют кратковременный интенсивный кип до нужного уровня содержания углерода (до 0,03-0,04 % С). Длительность операции обычно не превышает 30 мин. После скачивания окислительного шлака проводят осадочное раскисление алюминием (0,1 %), ферросилицием или силикохромом (до 0,2 % Si), добавляют восстановительный шлак и нагретый докрасна низкоуглеродистый феррохром (в 2-4 приема). В процессе и по окончании расплавления феррохрома шлак раскисляют смесями порошков 75%-ного ферросилиция (до 5 кг/т), алюминия (до 2 кг/т) и силикокальция (до 3 кг/т). После корректировки состава и температуры при белом шлаке плавку выпускают в ковш. В сталь, содержащую титан, за 5 мин до выпуска вводят ферротитан (угар до 50 %). Если используют металлические отходы или брикеты губки титана, то их частично или полностью присаживают в ковш. Длительность восстановительного периода до 1,5 ч.

Метод плавки на свежей шихте с окислением из-за невозможности упот-

ребления отходов применяют редко и только для ограниченного сортамента марок.

В современной электрометаллургии наиболее распространены методы переплава, ставшие возможными благодаря использованию кислорода. Обезуглероживание высокохромистой ванны основано на процессе избирательного окисления углерода в присутствии хрома при высоких температурах. Химическое сродство углерода к кислороду непрерывно возрастает с увеличением температуры и при определенном критическом ее значении превышает сродство хрома к кислороду. Чем больше в стали хрома и меньше углерода, тем выше должна быть критическая температура процесса.

При вдувании кислорода температура металла в локальных объемах ванны быстро возрастает до 1800-1900 °С. Если остаточное содержание хрома составляет 10-12 %, то обезуглероживание протекает до 0,06-0,08 % углерода. Обычно в начале продувки хром окисляется на 3-5 %. Термохимические расчеты показывают, что при окислении кислородом 1 % хрома температура ванны повышается примерно на 100 °С. Этому способствуют и экзотермические реакции окисления железа и кремния. Локальный нагрев металла внутри ванны обеспечивает более низкие температуры шлака и лучшую стойкость подины и футеровки. Ввод кислорода непосредственно в металл вызывает активный барботаж ванны, существенно снижающий содержание водорода и азота в стали (до 30 %).

После продувки отбирают пробу на химический анализ, проводят осадочное раскисление силикохромом и ферросилицием, затем присаживают прокаленный феррохром, никель и другие ферросплавы. В процессе плавления феррохрома проводят раскисление шлака порошками 75%-ного ферросилиция и алюминия. За счет перегрева ванны присадки феррохрома быстро расплавляются, снижая температуру стали до нормальной. В конце операции шлак частично скачивают.

Восстановительный процесс осуществляют под белым шлаком, как и при плавке с окислением на свежей шихте. Для повышения жидкотекучести и пластичности стали, а также уменьшения склонности отливок к трещинам применяют дополнительное модифицирование кальцием и редкоземельные металлы (РЗМ) (по 0,1-0,15 % каждого).

Нержавеющие и кислотостойкие стали, содержащие легкоокисляющиеся элементы, особенно склонны к пленообразованию и дефектам макроструктуры и поверхности. Заливка форм должна проводиться с большой скоростью и в оптимальном интервале температур. Присадки поверхностно-активных металлов, создание защитной атмосферы и особенно разливка в среде нейтральных газов или вакууме существенно улучшают качество отливок.



## 2.2. Особенности выплавки высокомарганцевых сталей в электродуговых печах

Высокомарганцевая аустенитная сталь, сочетающая высокую вязкость и способность к наклепу с отличной износостойкостью, широко применяется для изготовления отливок, используемых в машиностроении, горной, металлургической, химической и строительной промышленности.

Содержание элементов в стали 110Г13Л колеблется в широких пределах: 0,9-1,4 % С, 11,5-15,0 % Мn, до 1 % Si, до 1 % Cr, до 0,3 % Cu, до 0,05 % S; до 0,12 % P. Соотношение Мn/С рекомендуется более десяти, однако технические условия отдельных заводов допускают его равным до шести.

Высокомарганцевая сталь отличается высоким содержанием фосфора (до 0,12 %), который вносится при легировании ферромарганцем, что отрицательно сказывается на свойствах стали. Содержание серы в промышленных плавках, вследствие обессеривающей способности марганца, не превышает 0,02 %.

Плавку высокомарганцевой стали ведут в электропечах с основной футеровкой. Наиболее удобными агрегатами являются 6-12-тонные дуговые печи, которые обеспечивают производство относительно крупных отливок и быструю (до 30 мин) разливку металла из ковшей.

Применяют три метода плавки: 1) с окислением на свежей шихте, 2) переплавом и 3) сплавлением. В первом случае используют шихту из лома или отходов углеродистой стали. Для интенсификации процессов плавки желательно после расплавления получить не более 0,3 % углерода.

Дефосфорация будет более успешной, если в завалку добавить руду и известь (до 3 % каждого). Окисление проводят форсированно (до 30 мин.) и заканчивают при содержании углерода около 0,1 % и фосфора не более 0,02 %. После скачивания окислительного шлака наводят второй восстановительный шлак. В нагретый металл в два – три приема вводят ферромарганец. Одновременно осуществляют диффузионное раскисление шлака порошками кокса и ферросилиция. Содержание закиси железа в шлаке перед выпуском не должно превышать 1 %. Шлак должен рассыпаться в белый порошок. Конечное раскисление производится присадкой 0,03-0,05 % Al. Длительность восстановительного периода около 1 ч.

В целях экономии ферромарганца и использования собственных отходов и покупного лома высокомарганцевой стали широко применяют метод переплава. Шихта может включать возврат собственных отходов, лом траков и низкоуглеродистый стальной лом. Соотношение этих составляющих шихты не ограничивается: в ней может быть до 100 % отходов. На углеродистую часть шихты в за-

валку подается ферромарганец. Технология плавки существенно упрощается. По расплавлении ванны шлак раскисляют порошками кокса и ферросилиция (для восстановления окислов марганца) и, если его много, частично скачивают, после чего продолжают раскисление и доводку плавки по составу. Длительность восстановительного периода сокращается до 30 мин.

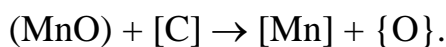
Метод чистого сплавления применяют сравнительно реже из-за его нерациональности. Шихта составляется из низкоуглеродистого стального лома и ферромарганца. Плавка ведется форсированно, как и при переплаве отходов, однако расход ферромарганца остается на том же уровне, что и в плавке с окислением. При одинаковом содержании фосфора в стали все три метода дают практически равноценные показатели.

На Криворожском центральном рудоремонтном заводе горнообогатительного оборудования получены следующие коэффициенты для плавов (массой 8 т), выполненных с окислением (числитель) и методом переплава (знаменатель): удельная производительность, т/ч – 2,3/3,2; расход электроэнергии, кВт·ч/т – 720/620; расход электродов, кг/т стали – 7,5/6; длительность плавки, ч – 3,5/2,5.

Среднегодовой состав шихты на тракторных заводах примерно следующий: 30 % низкоуглеродистого лома, 30 % собственного возврата, 30 % лома траков и 8-10 % ферромарганца (в том числе 2 % малоуглеродистого). Длительность плавки 2,5 ч; расход электроэнергии 620 кВт·ч/т.

Применение кислорода при выплавке высокомарганцевой стали на свежей шихте для подрезки и окисления (взамен руды) позволило сократить плавку на 10 мин, снизить расход энергии, увеличить на 5 % производительность печей.

Избирательное окисление углерода газообразным кислородом в присутствии марганца в значительной степени определяется равновесием эндотермической реакции:



С увеличением содержания марганца для окисления углерода требуется более высокая температура. Так, в период продувки кислородом расплава, включающего 7 % Mn, содержание углерода при 1600 °С и 1700 °С может быть снижено соответственно до 1,1 % и 0,85 %. В печь кислород вводится по металлическим трубкам (18 мм), футерованным огнеупорной массой. В конце процесса плавления осуществляют подрезку кислородом оставшейся на откосах части не расплавленной шихты. После полного расплавления металл перегревают до температуры свыше 1600 °С и в течение 10-15 мин. продувают кислородом. За счет экзотермических реакций окисления кремния, железа и марганца через 3-6 мин.

температура ванны поднимается до 1700-1750 °С и начинается окисление углерода, сопровождающееся энергичным кипением ванны. Общая длительность продувки 10-15 мин. По окончании продувки ванна продолжает кипеть и успокаивается только после раскисления шлака порошками ферросилиция и кокса. Средний удельный расход кислорода составляет около 12 м<sup>3</sup>/т стали, расход трубок – до 1,5 м/т стали.

После продувки ванны для ее доводки по составу и охлаждения присаживают необходимый по расчету ферромарганец и габаритный лом высокомарганцевой стали. При этом для легирования применяют доменный ферромарганец и силикомарганец. По окончании легирования и получения белого шлака при температуре 1500-20 °С плавку выпускают и разливают по формам.

### 3 Методика расчета металлической части шихты

Особенность расчета шихты для плавки стали связана с большой универсальностью сталеплавильных агрегатов, многообразием методов плавки и широким диапазоном изменения физико-химических процессов во время плавки. Подавляющее большинство элементов, входящих в состав стали, неодинаково окисляются по периодам плавки. В периоды плавления и окисления эти элементы выгорают сильнее, чем в процессе доводки и раскисления. Интенсивность угара элементов резко возрастает в окислительный период при введении в ванну печи кислорода или железной руды. Кроме того, продолжительность отдельных периодов плавки, особенно начальных, может значительно колебаться в зависимости от качества шихтовых материалов и от технологии плавки. Большое значение имеет и абсолютное содержание элементов в стали. Таким образом, даже при плавке стали в одной и той же печи могут быть различные технологические варианты, и угар элементов может изменяться в широких пределах.

В этих условиях среднее значение угара элементов является трудноустановимой и приближенной характеристикой поведения элементов в процессе плавки. Рассчитывать ее по коэффициенту усвоения элементов из шихтовых материалов, строго говоря, нельзя, так как не известны относительные количества составляющих шихты (это является целью расчета).

При плавке стали, как правило, в завалку дают лишь вторичные металлы и карбюризаторы (иногда медь, никель). Все остальные ферросплавы и легирующие присадки вводят в жидкий металл в конце плавки. Поэтому представляется целесообразным все шихтовые материалы, применяемые для плавки стали, условно разделить на две группы.

Первая группа – отходы, к которым относятся все материалы, вводимые в завалку. Это обычно возврат собственного производства, лом углеродистой и легированной сталей, карбюризаторы. Они подвергаются большому окислению, и поэтому элементы из отходов усваиваются в меньшей степени.

Вторая группа – ферросплавы, к которым относятся собственно ферросплавы и другие присадки, применяемые для корректировки химического состава, легирования, раскисления. Их вводят в печь в конце плавки, и они усваиваются значительно лучше.

При расчете шихты рекомендуется брать средние значения химических элементов, входящих в состав стали.

В качестве основных компонентов шихты принимают возврат собственного производства (химический состав возврата идентичен по составу рассчитываемой стали), стальной лом и передельный чугун. Специальные легирующие

присадки вводятся в шихту или в жидкий металл при необходимости дополнительного легирования стали.

Ферромарганец, ферросилиций и алюминий применяются для раскисления и доводки расплава по марганцу и кремнию, а также для легирования, когда их содержание в стали должно быть более 0,8 % каждого. Легирующие элементы такие, как Ni, Mo, V, W, Ti, Nb, Cu, Al, даже при низких содержаниях (до 0,1%) требуют дополнительного ввода ферросплавов и легирующих.

Количество возврата зависит от массы отливки, количества прибылей, конструкции литниковой системы и др. При получении стальных отливок в разовых песчаных формах максимальное количество возврата достигает 45 %.

Количество возврата в шихте в зависимости от выхода годного литья из рассчитываемой марки стали составляет 15-45 % и определяется по формуле

$$B = 100 - B_{\Gamma}, \quad (1)$$

где  $B$  – количество возврата в шихте, %;

$B_{\Gamma}$  - выход годного литья, %.

Содержание легирующих элементов, вносимых возвратом в жидкий металл к концу окислительного периода

$$\mathcal{E}_{\text{ло}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{лв}} \cdot (100 - Y)}{100}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ло}}$  – содержание легирующего элемента в стали к концу окислительного периода, %;

$\mathcal{E}_{\text{лв}}$  – содержание легирующего элемента в возврате, %;

$Y$  – угар элемента из компонентов шихты в процессе выплавки стали, %.

Содержание углерода в стали перед раскислением определяется, как разность между требуемым его содержанием и количеством углерода, вносимым в сталь легирующими присадками

$$C_{\text{м}} = C_{\text{о}} - \sum \frac{C_{\text{ф}} \cdot \Phi}{100}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{м}}$  – содержание углерода в стали перед раскислением, %;

$C_{\text{о}}$  – требуемое содержание углерода в стали %;

$C_{\text{ф}}$  – содержание углерода в легирующей присадке, вводимой в сталь после ее раскисления, %;

$\Phi$  – содержание легирующих присадок, вводимых в сталь после ее раскисления, %.

Содержание углерода в шихте должно быть больше, чем в готовой стали для осуществления процесса кипения стали. Это количество углерода определяется по формуле

$$C_{ш} = \frac{C_{ш} \cdot Y_c}{100} + V_k \cdot t_k + C_m, \quad (4)$$

где  $C_{ш}$  – содержание углерода в шихте, %;

$Y_c$  – угар углерода при расплавлении шихты;

$V_k$  – скорость выгорания углерода в период кипения, (0,004-0,008 %/мин.);

$T_k$  – продолжительность периода кипения, мин (50-90 мин.).

Содержание стального лома и чугуна в металлозавалке определяется решением системы уравнений (неизвестными являются содержание стального лома и чугуна)

$$\begin{cases} B+L+Ч+\sum\Phi=100, \\ C_B \cdot B/100+C_L \cdot L/100+C_{ч} \cdot Ч/100+\sum C_{\Phi} \cdot \Phi/100=C_{ш}, \end{cases} \quad (5)$$

где  $B, L, Ч$  – содержание в шихте соответственно возврата, стального лома и чугуна, %;

$C_B, C_L, C_{ч}, C_{\Phi}$  – содержание углерода в соответствующих компонентах шихты, %.

Масса жидкого компонента шихты определяется по формуле

$$Q_k = \frac{Q \cdot \Phi}{100}, \quad (6)$$

где  $Q_k$  – масса жидкого компонента шихты, кг;

$Q$  – масса садки печи, кг.

Содержание нелегирующих элементов в шихте рассчитывают по формуле

$$\mathcal{E}_н = \sum \frac{\mathcal{E}_{\Phi} \cdot \Phi}{100}, \quad (7)$$

где  $\mathcal{E}_н$  – содержание нелегирующих элементов в шихте, %;

$\mathcal{E}_\phi$  – содержание нелегирующего элемента в компоненте.

Среднее содержание нелегирующих элементов в жидкой стали определяют по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{нж}} = \frac{\mathcal{E}_n \cdot (100 - Y)}{100}, \quad (8)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{нж}}$  – среднее содержание нелегирующих элементов в жидкой стали, %.

Расход раскислителей с учетом максимально допустимого содержания раскисляющего элемента в готовом металле определяют по формуле

$$\Phi_p = \frac{(\mathcal{E}_o - \mathcal{E}_{\text{др}} - \mathcal{E}_{\text{пр}}) \cdot 10000}{\mathcal{E}_p \cdot (100 - Y_p)}, \quad (9)$$

где  $\Phi_p$  – расход раскислителей, %;

$\mathcal{E}_a$  – содержание раскисляющего элемента в металле отливки, %;

$\mathcal{E}_p$  – содержание раскисляющего элемента в стали до раскисления, %;

$\mathcal{E}_{\text{пр}}$  – количество раскисляющего элемента, вносимое другими присадками в сталь после ее раскисления, %;

$\mathcal{E}_p$  – содержание раскисляющего элемента в раскислителе (ферросплаве), %;

$Y_p$  – угар раскисляющего элемента в процессе раскисления стали.

Для алюминия практически полностью выгорающего в ходе плавки, расчет количества необходимого для раскисления можно выполнить по формуле

$$\Phi_{\text{pAl}} = \frac{0,05 \cdot 10000}{\mathcal{E}_p \cdot (100 - Y_p)}, \quad (10)$$

где 0,05 – остаточное содержание алюминия, %.

Содержание фосфора и серы в металле перед выпуском определяются из выражений

$$\begin{aligned} P_M &= P + P'; \\ S_M &= S + S', \end{aligned} \quad (11)$$

где  $P_M, S_M$  – содержание фосфора и серы в металле перед выпуском, %;

$P, S$  – содержание соответственно фосфора и серы после дефосфорации и десульфурации стали, %;

$P'$  и  $S'$  - количество соответственно фосфора и серы, вносимое в сталь компонентами в восстановительный период, %.

Если содержание фосфора и серы перед выпуском металла превышает предельно допустимые значения выплавляемой стали (определяют экспресс-анализом по ходу плавки), необходимо проводить, более глубокую дефосфорацию и десульфурацию ванны печи, т.е. удлинять период окисления примесей.

Расход неметаллических присадок определяется сверх суммарной массы шихты по формуле (8).

Для наведения шлака при плавке стали в дуговой электропечи с основной футеровкой расходуется 4-7 % известняка (в том числе на под печи 2-3 %) и 0,15-0,25 % плавикового шпата. Расход железной руды на окисление избыточного углерода в процессе кипения ванны при увеличении содержания углерода в выплавляемой марке стали от 0,15 до 0,55 % понижается от 7 до 3 %.



#### 4 Пример расчета шихты для выплавки легированной стали в дуговой печи

**Задание.** Рассчитать шихту для выплавки стали 45X17Г13Н3ЮЛ в дуговой электропечи ДСП-10 с основной футеровкой. Выход годного литья составляет 60 %.

Для расчета принимаем средние значения химических элементов, входящих в состав стали 45X17Г13Н3ЮЛ (таблица 1).

Таблица 1 – Усредненный химический состав стали марки 45X17Г13Н3ЮЛ

Марка стали	Массовая доля элемента, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb	Другие элементы	S	P
	Не более												
45X17Г13Н3ЮЛ	0,45	1,1	0,5	13	0,2	0,5	-	-	-	0,4	0,80, Al	0,02	0,03

Емкость печи составляет 10 т. Вид переплава – без окисления.

Сталь выплавляется на основе возврата собственного производства стального лома и передельного чугуна, химический состав которых представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав железосодержащих компонентов

Компонент	Марка	C	Si	Mn	S	P	Другие элементы
Возврат	45X17Г13Н3ЮЛ	0,45	1,1	0,5	0,02	0,03	Mn, Cr, Mo
Стальные лом и отходы	1А...4А 2Б...5Б	0,30	0,30	0,50	0,06	0,06	-
Чугун передельный	ПЛ1 ПЛ2	3,80	0,80	0,70	0,30	0,05	-

Для введения легирующих элементов используются феррохром, ферромарганец, никель, ферромolibден, ферросилиций и алюминий, химический состав которых представлен в таблице 3. Для раскисления применяют ферромарганец, ферросилиций и алюминий.

Таблица 3 – Химический состав легирующих компонентов

Компонент	Марка	Основной	C	Si	Mn	S	P	Другие элементы
Феррохром	ФХ050Б	65,00	0,50	2,00	-	0,05	0,03	-
Никель	Н1, Н2	99,50	0,02	0,01	-	-	0,001	-
Алюминий	АВ 88	88,00	-	4,00	-	-	-	3,5 Cu 3,0 Mg
Ферромolibден	ФМо 58	58	0,08	1	-	0,05	0,12	0,12 W 0,8 Cu
Феррониобий	ФН2	60	0,25	2	-	0,15	0,05	6,0 Al
Ферросилиций	ФС45	45	0,5	45	0,6	0,05	0,02	-

Сталь выплавляется по полному технологическому процессу с окислением.

Последовательность ввода компонентов шихты в печь такова:

- возврат, стальной лом, чугун и никель - в металлозавалку;
- ферромolibден - в ванну в период кипения;
- ферромарганец и ферросилиций - в начале восстановительного периода;
- феррохром - после предварительного раскисления;
- алюминий - в ковш перед выпуском стали.

В таблице 4 представлен угар химических элементов, который принимается в соответствии с данными приложения Б для элементов в процессе расплавления/окисления расплава из компонентов металлозавалки и в процессе непосредственного ввода легирующих в жидкую сталь в восстановительном периоде.

Таблица 4 – Угар элементов легирующих компонентов для перепада без окисления

Элемент	В процессе расплавления и окисления расплава из компонентов металлозавалки, угар %	В процессе раскисления и легирования стали ввод в жидкую сталь, угар %
Углерод	20	30
Кремний	50	7
Марганец	40	7
Фосфор	35	23
Сера	27	30
Хром	13	6,5
Никель	1	0
Молибден	4	1,5
Алюминий	100	55
Ниобий	27	14

Количество возврата в шихте согласно формуле (1) с учетом выхода литья 60 % равно

$$B = 100 - 60 = 40 \text{ \%}.$$

Содержание легирующих элементов, вносимых возвратом в шихту определим по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ЛВ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{В}} \cdot B}{100}, \quad (12)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{В}}$  – содержание элемента в возврате, %,

$$Si = 1,1 \cdot 40/100 = 0,44 \text{ \%};$$

$$Ni_{\text{ЛВ}} = 0,20 \cdot 40/100 = 0,08 \text{ \%};$$

$$Mo_{\text{ЛВ}} = 0,50 \cdot 40/100 = 0,2 \text{ \%};$$

$$Cr_{\text{ЛВ}} = 13 \cdot 40/100 = 5,2 \text{ \%};$$

$$Nb_{\text{ЛВ}} = 0,40 \cdot 40/100 = 0,16 \text{ \%}.$$

В виду того, что титан и алюминий, имеющиеся в возврате, практически полностью выгорают в процессе выплавки стали, расчет шихты в этом случае будем вести без учета их содержания в возврате.

Содержание легирующих элементов, вносимых возвратом в жидкий металл к концу окислительного периода определим по выражению (2)

$$Si_{\text{ЛО}} = 0,44 \cdot (100-50)/100 = 0,22 \text{ \%};$$

$$Cr_{\text{ЛО}} = 5,2 \cdot (100-13)/100 = 4,524 \text{ \%};$$

$$Ni_{\text{ЛО}} = 0,08 \cdot (100-1)/100 = 0,079 \text{ \%};$$

$$Mo_{\text{ЛО}} = 0,2 \cdot (100-4)/100 = 0,192 \text{ \%};$$

$$Nb_{\text{ЛО}} = 0,16 \cdot (100-27)/100 = 0,117 \text{ \%}.$$

Расход ферросплавов

$$\Phi = \frac{(\mathcal{E}_{\text{о}} - \mathcal{E}_{\text{ло}}) \cdot 10000}{\mathcal{E}_{\text{ф}} \cdot (100 - Y_{\text{лр}})}, \quad (13)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{о}}$  – требуемое содержание легирующего элемента в выплавляемой стали, %;

$\mathcal{E}_{\text{ф}}$  – содержание легирующего элемента в составе ферросплава, %;

$Y_{\text{лр}}$  – угар в процессе раскисления и легирования стали (таблица 4),

$$\Phi_{\text{С45}} = \frac{10000 \cdot (1,1 - 0,22)}{45 \cdot (100 - 7)} = 2,103;$$

$$\Phi_{\text{ХО15Б}} = \frac{10000 \cdot (13 - 4,524)}{65 \cdot (100 - 6,5)} = 13,947;$$

$$H1 = \frac{10000 \cdot (0,2 - 0,079)}{99,5 \cdot (100 - 0)} = 0,121;$$

$$\Phi_{Mo58} = \frac{10000 \cdot (0,5 - 0,192)}{58 \cdot (100 - 1,5)} = 0,539;$$

$$\Phi_{H2} = \frac{10000 \cdot (0,4 - 0,117)}{60,0 \cdot (100 - 14)} = 0,549.$$

Содержание углерода в стали перед раскислением по формуле (3)

$$C_m = 0,45 - (0,5 \cdot 2,103/100) - (0,5 \cdot 13,947/100) - (0,02 \cdot 0,121/100) - (0,08 \times \\ \times 0,539/100) - (0,25 \cdot 0,549/100) = 0,37 \%$$

Требуемое содержание углерода в шихте по формуле (4)

$$C_{ш} = 20/100 \cdot C_{ст} + 0,006 \cdot 70 + 0,368.$$

Решая уравнение с одной неизвестной получаем  $C_{ш} = 0,98$ .

Содержание стального лома и чугуна в шихте определим, решая систему уравнений (5)

$$\begin{cases} 40 + Л + Ч + 2,103 + 13,947 + 0,121 + 0,539 + 0,549 = 100 \\ 0,45 \cdot 40/100 + 0,3 \cdot Л/100 + 3,8 \cdot Ч/100 + 0,5 \cdot 2,103/100 + 0,5 \cdot 13,947/100 + 0,08 \times \\ \times 0,549/100 + 0,02 \cdot 0,121/100 + 0,25 \cdot 0,549/100 = 0,98 \end{cases}$$

$$\begin{cases} Л + Ч = 42,741 & Л = 20,61 \\ 0,003 \cdot Л + 0,038 \cdot Ч = 0,903 & Ч = 22,13 \end{cases}$$

Материальный баланс основных компонентов шихты для выплавки стали 45Х17Г13НЗЮЛ в дуговой электропечи ДСП-10 номинальной вместимостью 10т составляем, используя уравнение (6)

Материальный баланс основных компонентов шихты =  $10000 \cdot 40/100 = 4000$  кг;

$$Q_L = 10000 \cdot 20,61/100 = 2060,967 \text{ кг};$$

$$Q_{ч} = 10000 \cdot 22,132/100 = 2213,17 \text{ кг};$$

$$Q_{Фс45} = 10000 \cdot 2,103/100 = 210,275 \text{ кг};$$

$$Q_{ФХО50Б} = 10000 \cdot 13,95/100 = 1394,65 \text{ кг};$$

$$Q_{H1} = 10000 \cdot 0,121/100 = 12,141 \text{ кг};$$

$$Q_{ФMo58} = 10000 \cdot 0,539/100 = 53,912 \text{ кг};$$

$$Q_{ФH2} = 10000 \cdot 0,549/100 = 54,884 \text{ кг};$$

Всего: 6000 кг.

Содержание нелегирующих элементов определяем по уравнению (7)

• в компонентах, вводимых до раскисления стали:

$$Si_{ш} = 1,1 \cdot 40/100 + 0,30 \cdot 20,61/100 + 0,80 \cdot 22,13/100 + 0,01 \cdot 0,121/100 = \\ = 0,68 \%$$

$$M_{\text{пш}} = 0,5 \cdot 40/100 + 0,50 \cdot 20,61/100 + 0,70 \cdot 22,13/100 = 0,46 \%;$$

$$P_{\text{ш}} = 0,030 \cdot 40/100 + 0,06 \cdot 20,61/100 + 0,05 \cdot 22,13/100 = 0,035 \%;$$

$$S_{\text{ш}} = 0,02 \cdot 40/100 + 0,06 \cdot 0,61/100 + 0,05 \cdot 22,13/100 + 0,001 \cdot 0,121/100 = 0,087 \%$$

В данном случае помимо основных компонентов шихты (возврат, чугуны и лом) в начале периода плавления вводится ФН2, как легирующая добавка.

Для раскисления стали вводятся раскислители, химический состав которых представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Химический состав раскислителей

Компонент	Марка	Основной	C	Si	Mn	S	P	Другие элементы
Алюминий	АВ 88	88,00	-	4,00	-	-	-	3,5 Cu 3,0 Mg
Ферросилиций	ФС45	45	0,5	45	0,6	0,05	0,02	-
Ферромарганец	ФМн 0,5	85	0,5	2	85	0,3	0,03	-

Количество раскислителя, вносимого другими присадками

$$\mathcal{E}_{\text{пр Si (без угара)}} = (45 \cdot 2,103/100) + (2 \cdot 13,947/100) + (0,01 \cdot 0,121/100) + (1 \times 0,539/100) = 1,242 \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр Mn(без угара)}} = (0,6 \cdot 2,103/100) = 0,013 \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр Si}} = \mathcal{E}_{\text{пр Si (без угара)}} \cdot Y_{\text{р}}/100$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр Si}} = (1,242 \cdot 50)/100 = 0,621 \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{пр Mn}} = (0,013 \cdot 40)/100 = 0,005 \%$$

Отсюда определяем расход раскислителей по формуле (9).

$$\Phi_{\text{Si}} = (10000 \cdot (1,1 - 0,679 - 0,621))/(45 \cdot (100 - 7)) = -0,477 \%$$

$$\Phi_{\text{Mn}} = (10000 \cdot (0,5 - 0,458 - 0,005))/(85 \cdot (100 - 7)) = 0,047 \%$$

Ввиду избытка содержания кремния, раскисление будем проводить только ферромарганцем и алюминием.

Для расчета количества необходимого для раскисления алюминия используем формулу (10)

$$\Phi_{\text{Al}} = 500 / (88 \cdot (100 - 55)) = 0,126 \%$$

В компонентах, вводимых ферросплавами после раскисления стали содержится

$$S_{\text{п}} = 4 \cdot 0,126/100 + 2 \cdot 0,047/100 = 0,0060 \%$$

$$M_{\text{п}} = 0 + 85 \cdot 0,047/100 = 0,04 \%$$

$$P_{\text{п}} = 0 + 0,03 \cdot 0,047/100 = 0,00001 \%$$

$$S_{\text{п}} = 0 + 0,3 \cdot 0,047/100 = 0,0001 \%$$

Материальный баланс раскислителей, кг:

$$Q_{\text{ФМн05}} = 10000 \cdot 0,047/100 = 4,68;$$

$$Q_{\text{АВ88}} = 10000 \cdot 0,126/100 = 12,63.$$

Расход вспомогательных присадок, кг:

$$Q_{\text{И}} = 10000 \cdot 5,5/100 = 550;$$

$$Q_{\text{ПШ}} = 10000 \cdot 0,2/100 = 20;$$

$$Q_{\text{ЖР}} = 10000 \cdot 7,0/100 = 700,$$

где 5,5; 0,2; 7,0 - расход компонентов (известняк, плавиковый шпат и железная руда), равный расходу при дуговой плавке с основной футеровкой.

Состав шихты для выплавки стали марки 45Х17Г13НЗЮЛ представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Состав шихты для выплавки заданной стали

Компонент	Марка	Содержание	
		%	кг
Возврат	45Х17Г13НЗЮЛ	40	4000
Стальной лом	2Б	20,610	2060,97
Чугун	ПЛ2	22,132	2213,17
Ферросилиций	ФС45	2,103	210,27
Феррохром	ФХ050Б	13,947	1394,65
Никель	Н1,Н2	0,121	12,14
Ферромolibден	ФМо 58	0,539	53,91
Феррониобий	ФН2	0,549	54,88
Всего		100,000	10000,00
Расход раскислителей			
Ферромарганец	АВ 88	0,126	12,63
Алюминий	ФМн 0,5	0,047	4,68
Итого:		-	17,3
Расход вспомогательных добавок			
Известняк			550
Плавиковый шпат			20
Железная руда			700

## Список использованных источников

- 1 Каблуковский А.Ф. Производство стали и ферросплавов в электропечах. – М.: Metallurgy, 2011.
- 2 Metallurgy стали / под ред. Явойского В.И. – М.: Metallurgy, 2010.
- 3 Крамаров А.Д. Производство стали в электропечах. – М.: Metallurgy, 1969.
- 4 Кудрин В.А. Теория и технология производства стали. – М.: Мир, ООО Изд-во «АСТ», 2003.

**Приложение А**  
**Варианты заданий (химический состав сталей для отливок)**

Вариант	Марка стали	Массовая доля элемента, %														Емкость печи, т	Вид переплава		Выход годного, %
		С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Ti	Nb	ДРУГИЕ элементы	S	P	С окисл.		Без окисл.		
													Не более						
1	12ДХН1МФЛ	0,10-0,18	0,20-0,40	0,30-0,55	1,20-1,70	1,40-1,80	0,20-0,30	0,08-0,15	-	-	-	0,40-0,65 Cu	0,030	0,030	3	1	-	60	
2	20Х13ТЮЛ	0,16-0,25	0,20-0,80	0,30-0,80	12,0-14,0	0,30-0,50	-	-	-	0,25-0,40	-	0,12-0,20 Al	0,025	0,030	5	-	1	55	
3	110Г14МЛС	0,90-1,20	0,40-0,90	11,5-14,5	0,25-0,40	0,30-0,50	0,10-0,20	-	-	-	-	-	0,020	0,020	15	1	-	60	
4	15Х13МБЛ	0,10-0,15	0,20-0,80	0,30-0,80	12,0-14,0	0,15-0,25	0,40-0,65	-	-	-	0,35-0,55	0,030 Cu	0,025	0,030	5	-	1	65	
5	40Х24Н12СЛ	0,30-0,40	0,50-1,50	0,30-0,80	22,0-26,0	11,0-13,0	-	-	-	-	-	-	0,030	0,035	12	1	-	70	
6	30ХНМЛ	0,25-0,35	0,20-0,40	0,40-0,90	1,30-1,60	1,30-1,60	0,20-0,30	-	-	-	-	0,30 Cu	0,040	0,040	3	-	1	75	
7	08Х14Н7МЛ	До 0,08	0,20-0,75	0,30-0,90	13,0-15,0	6,00-8,50	0,50-1,00	-	-	-	-	-	0,03	0,03	3	1	-	80	
8	10Х14НДЛ	0,08-0,10	0,20-0,40	0,30-0,60	13,5-15,0	1,20-1,60	-	-	-	-	-	1,20-1,60 Cu	0,030	0,03	12	1	-	85	
9	20Х12ВНМФЛ	0,17-0,23	0,20-0,60	0,50-0,90	10,5-12,5	0,50-0,90	0,50-0,70	0,15-0,30	0,70-1,10	-	-	-	0,025	0,03	10	1	-	60	
10	18Х25Н19СЛ	До 0,18	0,80-2,00	0,70-1,50	22,0-26,0	17,0-21,0	0,20	0,20	0,40	0,20	-	-	0,030	0,035	10	-	1	55	
11	35Х23Н7СЛ	0,30-0,40	0,50-1,20	0,50-0,85	21,0-25,0	6,00-8,00	-	-	-	-	-	0,30 Cu	0,035	0,035	5	-	1	55	
12	20Х18Н19МЗТЛ	0,15-0,25	0,20-1,00	1,00-2,00	16,0-19,0	18,0-20,0	3,00-4,00	-	-	0,60-0,80	-	-	0,030	0,035	3	-	1	55	
13	08ГДНФЛ	0,08-0,10	0,15-0,40	0,60-1,00	0,20-0,30	1,15-1,55	-	0,06-0,15	-	-	-	0,80-1,20 Cu	0,035	0,035	5	1	-	60	
14	25Х2Г2ФЛ	0,22-0,27	0,70-0,90	1,60-1,80	1,80-2,20	0,20 0,30	-	0,15-0,20	-	-	-	-	0,025	0,025	5	-	1	70	
15	35Х19Н9МВБТЛ	0,25-0,35	0,60-0,80	0,90-1,50	18,0-20,0	8,00-10,0	1,00-1,50	-	1,00-1,50	0,20-0,50	0,20-0,50	-	0,020	0,035	10	1	-	75	
16	110Г13Л	0,90-1,40	0,30-1,00	11,5-15,0	0,50-1,00	0,50-1,00	-	-	-	-	-	0,030 Cu	0,050	0,120	10	-	1	80	
17	35Х25Ю5ТЛ	0,30-0,40	0,60-1,00	0,40-0,60	24, 0-26,0	0,20-0,50	-	-	-	0,20-0,40	-	4,50-5,50 Al	0,025	0,025	5	1	-	75	
18	20Х23ВДТЛ	0,15-0,25	0,40-0,60	0,55-0,75	21,0-24,0	-	-	-	0,35-0,55	0,40-0,55	-	0,25-0,40 Cu	0,025	0,030	5	-	1	55	
19	12Х25Н3ЮЗЛ	0,08-0,15	0,45-0,60	0,50-0,80	24,0-26,0	2,50-3,50	-	-	-	-	-	2,50-3,50 Al	0,020	0,030	10	1	-	55	
20	15Х18Н3МДЛ	0,12-0,20	0,35-0,55	0,60-0,80	17,0-19,0	2,50-3,50	0,55-0,80	-	-	-	-	0,35-0,50 Си	0,020	0,030	3	-	1	65	
21	40Х24Н12СЛ	до 0,4	0,5-1,5	0,3-0,8	22,0-26,0	11-13	-	-	-	-	-	-	0,03	0,035	5	1	-	75	
22	40ХНМЛ	0,35-0,45	0,20-0,40	0,40-0,90	1,30-1,60	1,30-1,60	0,20-0,30	-	-	-	-	0,30 Cu	0,040	0,040	10	-	1	70	
23	35Х3Г2ФЛ	0,22-0,27	0,70-0,90	1,60-1,80	2,80-3,20	0,20-0,30	-	0,15-0,20	-	-	-	-	0,025	0,025	3	-	1	80	
24	15Х13МБЛ	0,10-0,15	0,20-0,80	0,30-0,80	12,0-14,0	0,15-0,25	0,40-0,65	-	-	-	0,35 0,55	0,030 Cu	0,025	0,030	10	1	-	75	
25	45Х17Г13Н3ЮЛ	0,4-0,5	0,8-1,5	12,0-15,0	16,0-18,0	2,5-3,5	-	-	-	-	-	0,6-1 Al	0,03	0,035	10	-	1	60	



**Приложение Б**  
**Угар элементов при плавке стали в дуговых электропечах с основной футеровкой, %**

Элемент	Из компонентов металлозавалки		Из присадок, вводимых в жидкую сталь	Вид вводимого элемента	Период ввода присадки
	переплав без окисления	переплав с окислением			
Углерод	10-25	25-35	25-35	Электронный бой	В конце окислительного периода
Кремний	40-60	90-100	5-10	Ферросилиций	В период раскисления
Марганец	25-50	70-80	5-10	Ферромарганец	В период раскисления
Хром	10-15	20-30	3-8	Феррохром	После предварительного раскисления
Никель	0-2	0-3	0	Никель	В шихту
Молибден	3-5	3-6	0-3	Ферромolibден	В начале кипения
Вольфрам	5-10	10-15	2-8	Ферровольфрам	После предварительного кипения
Ванадий	15-30	60-70	7-10	Феррованадий	После полного раскисления
Титан	80-90	95-100	30-50	Ферротитан	То же
Алюминий	100	100	50-60	Алюминий	В период раскисления в ковш
Ниобий	25-30	30-35	12-15	Феррониобий	После предварительного раскисления
Медь	0-2	0-3	0-3	Медь	То же
Фосфор	30-40	50-60	20-25	Примесь в присадках	-
Сера	25-30	35-45	35-45	То же	-

**Приложение В**  
**Шихтовые материалы, применяемые при выплавке сталей для отливок**

№ п/п	Компонент	ГОСТ	Марка	основной	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	другие элементы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Стальные лом и отходы	2787-75	1А...4А 2Б...5Б	-	0,30	0,30	0,50	0,06	0,06	-
2	Чугун передельный	805-80	ПЛ1 ПЛ2	-	3,80	0,80	0,70	0,30	0,05	-
3	Ферросилиций	1415-78	ФС45	45,0	0,50	45,00	0,60	0,05	0,02	-
			ФС75	75,0	0,10	75,00	0,40	0,05	0,02	-
4	Ферромарганец	4755-91	ФМн 0,5	85,00	0,50	2,00	85,00	0,30	0,03	-
			ФМн 1,5	85,00	1,50	2,50	85,00	0,30	0,03	-
			ФМн 75	75,00	7,00	1,00	75,00	0,45	0,30	-
5	Феррохром	4757-89	ФХ015Б	65,00	0,15	1,50	-	0,05	0,03	0,3 Al
			ФХ050Б	65,00	0,50	2,00	-	0,05	0,03	-
			ФХ020Б	67,00	2,00	2,00	-	0,05	0,04	-
6	Никель	849-70	Н1,Н2	99,50	0,02	0,01	-	-	0,001	-
7	Медь	859-78	М1к	99,50	-	-	-	0,001	0,004	-
8	Ферромolibден	4759-79	ФМо 58	58,00	0,08	1,00	-	0,05	0,12	0,12 W 0,8 Cu
9	Ферровольфрам	17293-82	ФВ 70	70,00	0,30	0,50	0,40	0,04	0,08	1,5 Мо
10	Феррованадий	27130-86	FeV35В	35,00	0,75	3,00	2,00	0,20	0,10	-
11	Ферротитан	4761-80	ФТи35	35,00	0,10	5,00	-	0,07	0,05	8,0 Al
12	Феррониобий	16773-85	ФН2	60,00	0,25	2,00	-	0,15	0,05	6,0 Al
13	Алюминий	295-79	АВ 88	88,00	-	4,00	-	-	-	3,5 Си 3,0 Mg
14	Марганец	6008-90	Мр 1	96,50	0,10	0,80	96,50	0,05	0,05	-

**Продолжение приложения В**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Мр2	95,00	0,20	1,80	95,00	0,07	0,05	-
15	Силикомарганец	4756-77	СМн 17	-	1,00	23,00	65,00	0,10	0,03	-
			СМн20	-	1,70	18,00	65,00	0,10	0,03	-
16	Ферросилико- хром	11861-77	ФСХ40	-	0,20	40,00	-	0,03	0,02	35,0 Cr
17	Ферробор	14848-69	ФБ6	6,00	-	12,00	-	-	-	10,0 Al
18	Электродный бой	-	-	-	86,00	-	-	-	-	-

БРАТКОВСКИЙ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

КУНИЦИНА НАТАЛЬЯ ГЕННАДЬЕВНА

## РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Методические указания

для выполнения домашнего задания / контрольной работы

по дисциплинам «Специальные стали»,

«Теория и технология переплавных процессов»

для бакалавров направления подготовки 22.03.02 Metallurgy,

очной и заочной форм обучения

Подписано в печать 18.11.2020 г.		
Формат 60x90 <sub>1/16</sub> Рег. № 173	Печать цифровая Тираж 10 экз.	Уч.-изд.л. 1,75

ФГАОУ ВО

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Новотроицкий филиал

462359, Оренбургская обл., г. Новотроицк, ул. Фрунзе, 8.

E-mail: nf@misis.ru

Контактный тел. 8 (3537) 679729.