

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»
Факультет «Материаловедения и металлургических технологий»
Кафедра «Литейное производство»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой,
д. т. н. профессор
/Б. А. Кулаков
«__»_____2019г.

Литейные технологии производства стальной отливки "Крышка"

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ-22.03.02.2019.437.00.00 ПЗ ВКР

Нормоконтролер
доцент, к.т.н.
А.В. Карпинский
«__»_____2019г.

Руководитель проекта
доцент, к.т.н.
О.М. Заславская
«__»_____2019г.

Автор проекта
студент группы
П-437
Г.И. Шагиева
«__»_____2019г.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Сравнение отечественных и зарубежных технологий и решений.....	6
2 Техпроцесс изготовления отливки	8
2.2 Разработка технологии изготовления литейной формы	9
2.2.1 Выбор положения отливки в форме.....	9
2.2.2 Определение поверхности разъема формы	10
2.2.3 Определение припусков на механическую обработку.....	11
2.2.4 Определение формовочных уклонов	12
2.2.5 Определение литейной усадки	13
2.2.7 Разработка конструкции и расчет прибылей	14
2.2.8 Разработка конструкции и расчет литниковой системы.....	15
2.2.9 Определение габаритов опок	18
2.3 Выбор состава формовочных смесей.....	19
2.4 Определение состава шихты и технологии плавки сплава	20
2.5 Разработка технологии сборки и заливки форм, охлаждения, выбивки, обрубки и очистки отливки	24
3 Проектирование плавильного и формовочного участков	26
3.1 Расчет фондов времени	26
3.2 Программы участков, расхода материалов	27
3.3 Выбор технологического оборудования с представлением параметров	29
3.4 Расчет количества и распределение оборудования на производственных площадках	37
3.6 Планировка плавильного и формовочного участков	45
4 Специальная часть	47
5 Безопасность жизнедеятельности.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	63

ВВЕДЕНИЕ

Металлургия является одной из самых важных отраслей в промышленности, которая началась развиваться еще в прошлых цивилизациях и до сих пор не потеряла свои позиции, а, наоборот, только улучшает свои технологии во всех направлениях.

Немало важным и распространенным направлением металлургии является литейное производство, выпускающее заготовки для деталей машин методом литья. Массовая доля литых заготовок в машиностроительных изделиях составляет 30...90 %. Процентное число выпуска отливок постоянно повышается. В настоящее время доля выпуска отливок для автомобильного сельскохозяйственного и тракторного машиностроения, а так же для авиации, ракетостроения и специальной техники составляет порядка 75...80 %.

Литейное производство имеет большие преимущества, в сравнении с другими способами производства, поэтому имеет широкое распространение в промышленности. Самое главное достоинство литья – это получение отливок любой сложности с минимальными припусками на механическую обработку, что обеспечивает высокую себестоимость изделий и низкий расход металла. Еще серьезным преимуществом является тот факт, что изготовление заготовок литьем дешевле, чем получение готового изделия другими процессами металлургии.

Литейное производство оказывает большое влияние на качественные показатели и надежность современных машин и оборудования.

Развитие техники предъявляет свои требования к качеству литых заготовок. Современные отливки должны иметь высокие и регламентированные механические свойства, физические и химические характеристики, а также высокую точность при минимальной толщине стенок и массе.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

1 Сравнение отечественных и зарубежных технологий и решений

На сегодняшний день, по усовершенствованию литейных технологий и научных исследований, зарубежные предприятия заметно лидируют, по сравнению оборудованием, которые применяются в литейных цехах

Применение новых технологий способствует улучшению условий труда, качества и снижению времени изготовления продукции. Из вышесказанных сравнений выходит, что для получения качественных отливок лучше выбирать зарубежное оборудование. Литейное производство России является основной заготовительной базой машиностроительного комплекса, поэтому его усовершенствование зависит от темпов развития машиностроения в целом. Литейное производство находится на первом месте внутри всего машиностроения, так как лишь литье может обеспечить получение сложных по конфигурации и геометрии литых заготовок со сложными поднутрениями и внутренними полостями, позволить литейному производству и в дальнейшем сохранить свое ведущее положение среди заготовительных производств.

С другой стороны, литейное производство является наиболее энерго- и материалоемким предприятием (таблица 1).

Таблица 1 – Потребление материалов для выпуска 1 тонны отливок

Материал	Количество
Металлические материалы, ферросплавы, флюсы	1,2...1,7 тонн
Формовочные пески	3...5 тонн
Связующие материалы и краски	3...4 кг

В себестоимости литья энергетические затраты и топливо составляют 50...60 %, стоимость материалов 30...35 %. В современных условиях, отдельным отраслям присущи неравномерные темпы развития [1].

С повышением производительности, автоматизации и механизации технологических процессов, экономических и экологических показателей, обязательно повышается качество литья. Поэтому при строительстве новых

и реконструкции старых литейных цехов и заводов выбор технологических процессов и оборудования производится на основе типа сплава, массы и номенклатуры отливок, объема производства, технологических требований к отливкам и технико-экономических и экологических показателей.

Рассмотрим современное состояние литейного производства России. В мире Россия занимает шестое место по производству литых заготовок (рисунок 1).

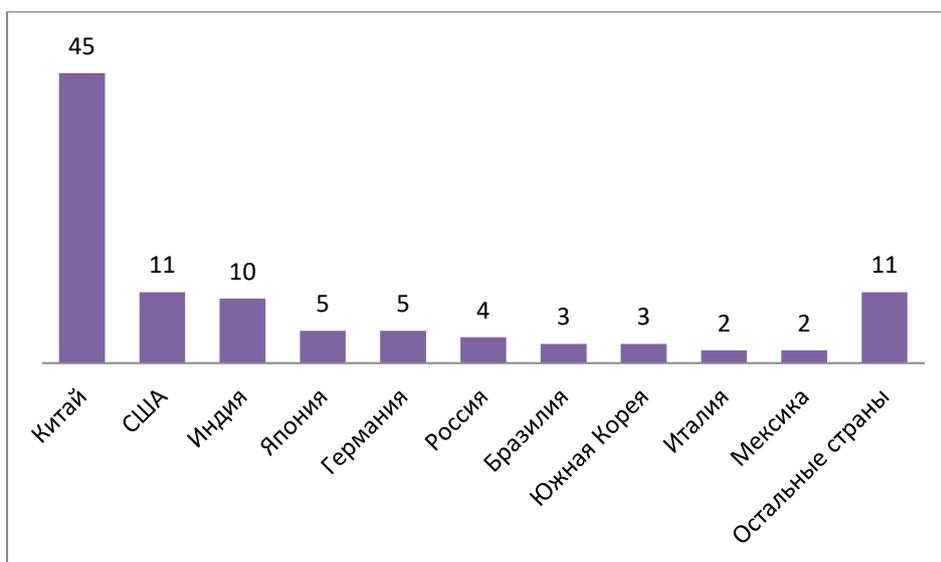


Рисунок 1 – Производство отливок из черных и цветных сплавов в 2015 г. в мире

В настоящее время в России насчитывается около 1100 действующих литейных предприятий, которые в 2016 году произвели 3,8 млн. тонн отливок и около 90 предприятий, которые производят оборудование и материалы для литейного производства.

Отечественное литейное оборудование не полностью удовлетворяет потребность литейных цехов и заводов. Исходя из этого, примерно 65 % литейного оборудования поставляется из Германии, Италии, Китая, Япония, Турции, Чехии и др.

Литые детали широко используются в различных отраслях промышленности (таблица 2).

Таблица 2 – Применение литых деталей в различных отраслях

Отрасли	Доли, %
Автомобильная	36
Сельхозтракторная	12
Тяжелое машиностроение	8
Энергетическое машиностроение	6
Железно-дорожная и коммунальная	8
Авиа-космическая и оборонная промышленность	6
Нефтегазовая промышленность	16
Станкостроение	2
Химическая промышленность	3
Электрическая промышленность и машиностроение	20
Дорожное и коммунальное хозяйство	12
Электротехника и др.	2

Плавка в электродуговых и индукционных печах является наиболее перспективной технологией, так как они обеспечивают стабильно заданные химический состав и температуру для проведения внепечной обработки методами модифицирования и рафинирования.

Важную роль в производстве качественных отливок играют методы получения литейных форм и стержней. Динамические методы уплотнения литейных форм из песчано-глинистых сырых смесей (ПГС) и изготовление стержней и форм из холоднотвердеющих смесей (ХТС) являются перспективными. В настоящее время изготовление форм из ПГС составляет 60 %, из ХТС – 40 %. За последнее 4 года производство изготовления форм из ХТС увеличилось на 8 %.

2 Техпроцесс изготовления отливки

2.1 Анализ технологичности изготовления отливки

Изготовление отливки с заданными литейными размерами, конфигурацией, физико-механическими свойствами (прочность, твердость, плотность, структура и т.д.), шероховатостью поверхности и другими требованиями может осуществляться различными методами.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

Деталь изготавливают из 35 Л ГОСТ 977-87. Такая сталь используется для изготовления деталей, работающих под воздействием средних динамических и статических нагрузок.

Анализ задания показывает, что ее конструкция достаточно технологична для изготовления литьем. Деталь не имеет резких переходов толщин стенок. Отверстия диаметром до 15 мм литьем не изготавливается.

При проектировании технологии отливки необходимо обеспечить получение плотного металла без усадочных и газовых раковин на поверхности.

Конфигурация внутренних полостей, отверстий, обрабатываемых поверхностей и расположение баз механической обработки удовлетворяют требованиям технологии литейного производства в разовые песчаные формы [2].

Технические требования:

неуказанные литейные уклоны	2 мм;
радиусы	5 мм;
литейная усадка	1 %;
преобладающая толщина стенки δ	15 мм;
масса отливки G	31 кг.

2.2 Разработка технологии изготовления литейной формы

2.2.1 Выбор положения отливки в форме

Основной задачей при выборе положения отливки в форме в период заливки, заключается в получении наиболее ответственных ее поверхностей без литейных дефектов.

При заливке металла важно знать: положение отливки в форме, потому что учитывается экономия металла и качество отливки. Этим же

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

определяют затраты труда на формовку, сборку формы, обрубку и обработку резанием.

Конструирования литейной формы начинается с выбора положения отливки в форме при заливке с определения плоскости разъема формы.

Оно так же включает в себя обоснование конструкции и размеров всех элементов формы, рассмотрение вопросов конструирования литейной оснастки, которые решаются после выбора технологии изготовления формы.

При выборе положения отливки в форме необходимо обеспечить соблюдение ряда условий, позволяющих получить высококачественную отливку при минимальных затратах ресурсов на ее изготовление. При выборе положения отливки в форме необходимо учитывать, что наиболее ответственные части нужно располагать в нижней полуформе из-за более высокой плотности металла. Положение отливки в форме при заливке и затвердевании определяет весь технологический процесс.

В данном случае отливка должна располагаться в форме горизонтально. В этом случае обеспечивается:

- направленное затвердевание и питание всех элементов отливки;
- наиболее простое оформление литниковой системы;
- использование стержней простой формы;
- расположению почти всех обрабатываемых поверхностей согласно рекомендациям.

2.2.2 Определение поверхности разъема формы

Поверхность соприкосновения верхней и нижней полуформ называется поверхностью разъема формы. Разъем формы необходим для извлечения модели, сборки формы и удаления полученных отливок. Поверхность разъема может быть плоской и фасонной. От выбранного разъема зависит

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		10

трудоемкость изготовления модельной оснастки и литейной формы, трудоемкость обрубных операций и точность размеров отливки.

При неправильном выборе поверхности разъема возможно искажение конфигурации отливки, неоправданное усложнение формовки, сборки.

При изготовлении данной отливки песчаная форма имеет одну поверхность разъема. В данном случае, вся отливка располагается в верхней полуформе.

Выбранный разъем формы у отливки « Крышка» обеспечит:

- свободное извлечение отливки из формы;
- простую конструкцию модели;
- форма и модель имеют одну поверхность разъема -
- плоскую горизонтальную, удобную для изготовления и сборки формы.

Выбранное расположение отливки в форме и поверхность разъема указаны на чертеже.

2.2.3 Определение припусков на механическую обработку

Припуски на механическую обработку даются на всех обрабатываемых поверхностях отливки. Величина припуска зависит от положения поверхности при отливке, способа формовки и чистоты обработки поверхности, а также от величины отливки и самой обрабатываемой поверхности.

При машинной формовке ввиду большей точности литья припуски на обработку даются меньшие, чем при ручной формовке. Наибольшие припуски предусматриваются для поверхностей, которые при заливке обращены вверх, так как они больше всего засоряются неметаллическими включениями. Величины припусков определяют в зависимости от класса точности отливки, ее номинальных и габаритных размеров, положение при заливке, способа литья и вида сплава.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

Так же для отливки необходимо назначить механическую обработку для выполнения отверстий.

В отливке «Крышка» отверстия для крепежа сверлят т. к. отверстия с таким диаметром не целесообразно получать литьем.

Припуски на механическую обработку для отливок из черных и цветных металлов и сплавов, а также точность отливки назначаются по ГОСТ Р 53464-2009.

Точность отливки 9-11-14-7 по ГОСТ Р 26645-85

Припуски на механическую обработку представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Припуски на механическую обработку

Параметр	Размер, мм			
	90	190	220	505
Номинальный размер	90	190	220	505
Класс размерной точности	11			
Шероховатость (Rz)	Ra 6,3	Ra 2,5	Ra 6,3	Ra 6,3
Припуск на сторону	4,8	6,5	6,2	7,5

Выполнение внутренней полости будет выполняться стержнем. Горизонтальное положение отливки форме обеспечит надежное крепление стержня.

2.2.4 Определение формовочных уклонов

Формовочными называют уклоны, которые придаются рабочим поверхностям литейных моделей для обеспечения свободного извлечения их из форм или освобождения стержневых ящиков от стержней без разрушения в том случае, если конструкция детали не предусматривает конструктивные уклоны. Величина формовочных уклонов назначается по ГОСТ 3212-92.

В зависимости от требований, формовочные уклоны назначают: на обрабатываемых и необрабатываемых поверхностях, сверх припуска на

механическую обработку, при сопряжении по контуру с другими деталями и т.д. При наличии уклонов на наружных и внутренних поверхностях следует стремиться к равномерной толщине стенки.

Модели выполняются из алюминиевого сплава АК-12 (ГОСТ 1583-93). Формовочные уклоны, в соответствии с ГОСТ 3212-92, для отливки «Крышка», в зависимости от высоты формообразующей поверхности, составляют $1^\circ 10'$.

2.2.5 Определение литейной усадки

Процесс формирования структуры отливки зависит от многих факторов, определяющиеся свойствами каждого конкретного сплава. На затвердевание влияют теплофизические свойства сплава и формы, температура заливки сплава и формы перед заливкой, металлоемкость формы, средняя толщина стенки и т.д.

Под усадочными процессами принимают совокупность явлений сокращения размеров и объема металла, залитого в форму, при его затвердевании и охлаждении.

Усадочные процессы в отливках вызваны изменением объема жидкого затвердевающего и твердого металла. Следствием усадки является образование усадочных пустот, изменение наружных размеров, развитие деформаций и остаточных напряжений, появления трещин.

Литейная усадка для данной отливки составляет 2 % .

2.2.6 Определение конструкции и расположения стержней

Литейными стержнями называют элементы литейной формы, изготавливаемые отдельно от полуформ по специальной (как правило) оснастке и предназначенные для получения в отливке отверстий и полостей, которые не могут быть получены от модели.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

Предварительно необходимо определить возможность выполнения отверстий в процессе получения отливки и тех частей отливки, которые не могут быть получены с помощью модели. Число стержней, служащих для оформления полости отливки, её отдельных элементов и элементов литниковой системы, определяю с учетом серийности выпуска отливок.

Размеры стержневых знаков определяются по ГОСТ 3212-92. Для получения внутренних очертаний отливки необходим один горизонтальный стержень.

Определим размеры горизонтальных знаковых частей стержня и их конструкцию. Размеры знаков стержней для сырых песчаных форм:

- диаметр или половина периметра сечения стержня 181...250 мм;
- длина горизонтального знака / высота нижнего знака при длине стержня L 81... ..120 мм;
- размеры знаков стержней равны 35/35;
- формовочные уклоны знаковых частей моделей и стержневых ящиков 7 ° 00 ';
- значения зазоров S_1 и S_2 0,5 мм /0,6 мм.

2.2.7 Разработка конструкции и расчет прибылей

Основным технологическим средством устранения усадочной раковины из литой заготовки является прибыль. Процесс питания отливки должен быть организован таким образом, чтобы в каждом узле действовал принцип направленного затвердевания от тонких элементов к толстым и к прибыли.

Расчет прибылей осуществляется по методу И.Пржибыла:

$$V_{\pi} = \frac{\beta \cdot \varepsilon_V}{1 - \beta \cdot \varepsilon_V} V_y, \quad (1)$$

где β – отношение объема прибыли к объему усадочной раковины: $\beta=10$;

ε_v – часть объемной усадки сплава, принимающая участие в формировании усадочной раковины, $\varepsilon_v= 0,045$;

V_y – объем питаемого узла отливки, м³.

Объем питаемого узла рассчитывается по формуле:

$$V_y = \frac{\pi}{4} h (D^2 - d^2), \quad (2)$$

Подставим значения в формулу (2) и вычислим:

$$V_y = \frac{3,14}{4} 40 (280^2 - 187,3^2) = 0,00136 \text{ м}^3.$$

Подставим значения в формулу (1) и вычислим объем прибыли:

$$V_{\pi} = \frac{10 \cdot 0,045}{1 - 10 \cdot 0,045} 0,00136 = 0,00111 \text{ м}^3.$$

Масса прибылей составляет 8,65 кг.

2.2.8 Разработка конструкции и расчет литниковой системы

Литниковая система состоит из:

- литниковой воронки;
- стояка;
- шлакоуловителя;
- питателя.

Питатели непосредственно примыкают к полости формы, они выполнены так, чтобы литниковую систему можно было легче отделить, не повредив отливку. Для определения размеров каналов литниковой системы воспользуемся методикой расчета при заливке форм из поворотного ковша.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

Оптимальную продолжительность заливки формы определим по формуле:

$$\tau_{\text{опт}} = S_1 \sqrt[3]{\delta G}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{опт}}$ – оптимальная продолжительность заливки, с;

S_1 – коэффициент продолжительности заливки, зависящий от температуры заливки, рода сплава, места подвода, материала формы и ряд других факторов;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

G – масса жидкого металла, приходящегося на одну отливку в форме, кг.

Подставим в формулу (3) значения и вычислим:

$$\tau = 1,4 \cdot \sqrt[3]{15 \cdot 35} = 11,3 \text{ с.}$$

Суммарная площадь узкого сечения литниковой системы, обеспечивающей оптимальную продолжительность заливки формы, определим по формуле:

$$F_{\text{уз}} = \frac{G}{\mu \rho \tau \sqrt{2gH_{\text{ср}}}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{уз}}$ – суммарная площадь узкого сечения литниковой системы для одной отливки, м²;

G – масса жидкого металла приходящегося на одну отливку с литниками и прибылями, кг;

τ – оптимальная продолжительность заливки, с;

ρ – плотность заливаемого расплава, кг/м³;

μ – общий гидравлический коэффициент сопротивления формы;

$H_{\text{ср}}$ – средний металлостатический напор в форме, м;

$H_{\text{ср}} = H - (C/2)$;

При верхнем подводе металла $H_{\text{ср}} = H_{\text{ст}}$, т.к. $P = C$,

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		16

где P – высота отливки над питателем, мм;

C – высота отливки по положению форме, мм;

H – напор металла от уровня металла в воронке до питателей, мм;

$$H_{cp} = 250 - 60 = 0,19 \text{ м.} \quad (5)$$

Определим значение $F_{уз}$, подставляя полученные значения в формулу (4):

$$F_{уз} = \frac{35}{11,3 \cdot 7200 \cdot 0,32 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,19}} = 6,96 \text{ см}^2.$$

Для сужающихся литниковых систем $F_{уз}$ является суммарной площадью сечений питателей:

$$F_{уз} = \Sigma F_{п}; \quad (6)$$

$$\Sigma F_{п} = 6,96 \text{ см}^2.$$

Определим площади сечений остальных элементов сужающейся литниковой системы, обеспечивающих τ :

$$\Sigma F_{п} : \Sigma F_{шл} : \Sigma F_{ст} = 1:1,1:1,2, \quad (7)$$

где $\Sigma F_{п}$ – суммарная площадь сечений питателей;

$\Sigma F_{шл}$ – суммарная площадь сечения шлакоуловителей;

$\Sigma F_{ст}$ – площадь сечения стояка.

Металл к отливке будем подводить через один стояк один шлакоуловитель и один питатель.

$$\Sigma F_{шл} = 7,65 \text{ см}^2; \quad (8)$$

$$\Sigma F_{ст} = 16,5 \text{ см}^2. \quad (9)$$

Для лучшего приема жидкого металла, поступающего из ковша, вверху стояка предусмотрим изготовление воронки ($D = 74$ мм).

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

2.2.9 Определение габаритов опок

Габариты опок определяются габаритами формируемых отливок, числом отливок в форме, расположением прибылей и литниковой системы, размерами стержневых знаков.

При выборе размеров опок следует учитывать, что использование слишком больших опок увеличивает затраты труда на уплотнение формовочной смеси, нецелесообразный расход смеси, а использование слишком маленьких опок может вызвать брак отливок, вследствие продавливания металлом низа формы, уход металла через разъем формы и т.д.

Рекомендуемые толщины слоев формовочной смеси на различных участках формы зависят от массы отливки. После этого определяют минимально допустимые размеры опок с учетом изготовления 2 отливок в форме. После выбора опок в свету подбирают размер по высоте. Высота опок определяется высотой отливки, выбором места разъема, наличием прибылей и литейной воронки.

Размеры используемых опок назначаются, исходя из габаритных размеров детали и рекомендаций по толщине формовочной смеси на различных участках форм. Расстояние от верха модели до верха опоки 50 мм, от низа модели до низа опоки 50 мм, от модели до стенки опоки 50 мм, между моделями 90 мм, между моделью и шлакоуловителем 40 мм. Окончательные габариты опок 2000x1500x250. Модель линии EFA-SD8 фирмы HWS.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		18

2.3 Выбор состава формовочных смесей

Изготовление отливок происходит в песчано-глинистой форме.

Состав формовочной смеси представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Состав формовочной смеси

Компоненты смеси	Количество
Оборотная смесь	92 ... 95 %
Кварцевый песок $2K_2O_2O_3$ ГОСТ 2138-9	5,0 ... 8,0 %
Бентонитовая глина $П_1T_2$ ГОСТ 28177-89	1,2 ... 2,0 %
Добавки крахмалистые	0,02 ... 0,04 %

Свойства формовочной смеси

- прочность при сжатии: 0,16 ... 0,21 МПа;
- влагосодержание: 3,1...3,4 %;
- газопроницаемость: более 100 ед.;
- содержание активного бентонита 7,0...8,0 %.

Для изготовления стержней выбран ВЕТА-SET процесс. Процесс, включающий в себя: заполнение стержневого ящика пескодунным, и пескострельным способом, с последующим отверждением газообразным отвердителем [3].

Состав стержневой смеси приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Состав стержневой смеси по ВЕТА-SET процессу

Компоненты смеси	Количество
Кварцевый песок $2K_2O_2O_3$ ГОСТ 2138-91	100 масс. %
Щелочная фенолформальдегидная смола $[-C_6H_3(OH)-CH_2-]_n$ ГОСТ 20907-2016	1,5...2,0 масс. % сверх 100 масс. % песка
Отвердитель метилформиат $C_2H_4O_2$ ГОСТ 2222-95	20...30 масс. % от массы связующего

2.4 Определение состава шихты и технологии плавки сплава

Расчет шихты производится исходя из требуемого химического состава сплава.

В применяемом плавильном агрегате шихта может состоять из стального лома и возврата, некоторого количества передельного чугуна и ферросплавов. Химический состав стали 35Л определен ГОСТ 977-88 и представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Химический состав содержания элементов в сплаве 35Л ГОСТ 977-88

Наименование сплава	Содержание химических элементов, %			Содержание примесей, % не более	
	С	Si	Mn	S	P
35Л ГОСТ 977-88	0,320...0,400	0,200...0,520	0,400...0,900	0,045	0,040
Среднее значение для сплава	0,360	0,360	0,650	0,023	0,020

Рассчитываем массу углерода в сплаве:

$$m_C = C_{\text{сп}} + 0,1...0,25\% , \quad (10)$$

где m_C – расчетная масса углерода, кг;

$C_{\text{сп}}$ – верхний предел содержания углерода в стали по ГОСТ 977-88, %.

Для упрощения расчета, а именно для численного совпадения массы компонентов в кг и их процентного соотношения, вычисления ведутся на 100 кг металлической части шихты.

Подставляем значения в формулу (10) и находим массу углерода:

$$m_c = 0,36 + 0,21 = 0,57 \text{ кг (0,57 \%)}.$$

Рассчитаем массу ферромарганца (m_4) и ферросилиция (m_5) по формуле:

$$m_n = \frac{MC_{i_{ст}}(1+Y_i)}{C_{i_{к}}}, \quad (11)$$

где $C_{i_{ст}}$ – содержание i -го элемента в стали, %;

Y_i – угар элементов в долях;

$C_{i_{к}}$ – содержание i -го элемента в компоненте.

$$m_4 = \frac{100 \cdot 0,65(1+0,1)}{78} = 0,916 \text{ кг (91,6 \%)},$$

$$m_5 = \frac{100 \cdot 0,36(1+0,15)}{78} = 0,530 \text{ кг (53\%)}.$$

Рассчитаем массу стального лома и передельного чугуна.

В балансе выплавляемой стали возврат (m_3) 43,94 % или 43,94 кг на 100 кг стали. Массы лома и чугуна рассчитываются из уравнений, составленных на основе баланса металла и углерода.

$$\begin{cases} m_1 + m_3 = 100 - \sum_{n=1}^k m_n \\ C_1 \cdot m_1 + C_3 \cdot m_3 = 100m_c - \sum_{n=1}^k C_{c_k} \cdot m_n \end{cases}, \quad (12)$$

где m_1 и m_2 – массовые доли лома и чугуна соответственно;

C_1 и C_2 – массовые доли углерода в компоненте.

Подставим числа и вычислим массы:

$$m_1 + m_3 = 100 - 43,94 - 0,53 - 0,916;$$

$$0,25m_1 + 4,05m_3 = 100 \cdot 0,57 - 0,916 \cdot 7 - 0,53 \cdot 0,1 - 43,94 \cdot 0,35.$$

$$m_1 + m_3 = 54,61$$

$$0,25m_1 + 4,05m_3 = 35,15$$

$$m_1 = 54,61 - m_3$$

$$0,25(54,61 - m_3) + 4,05m_3 = 35,15$$

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		21

$$13,65 - 0,25m_3 + 4,05m_3 = 35,15$$

$$3,8m_3 = 21,5$$

$$m_3 = \frac{21,5}{3,8} = 5,65$$

$$m_1 = 54,61 - 5,65 = 48,96.$$

Из уравнения следует, $m_1 = 48,96$ кг (48,96 %) и $m_3 = 5,651$ кг (5,65 %).

Рассчитываем содержание фосфора и серы и сравниваем с требованиями ГОСТ.

$$S\% = \frac{\sum_{n=1}^k m_n \cdot C_s}{M} \leq [S\%], \quad (13)$$

$$P\% = \frac{\sum_{n=1}^k m_n \cdot C_p}{M} \leq [P\%].$$

$$S\% = \frac{48,96 \cdot 0,03 + 43,94 \cdot 0,05 + 5,65 \cdot 0,03 + 0,916 \cdot 0,02 + 0,53 \cdot 0,02}{100} = 0,038 \leq [0,05],$$

$$P\% = \frac{48,96 \cdot 0,04 + 43,94 \cdot 0,05 + 5,65 \cdot 0,10 + 0,916 \cdot 0,035 + 0,530 \cdot 0,04}{100} = 0,047 \leq [0,05].$$

Полученные данные занесем в таблицу 7.

Таблица 7 – Ведомость расхода шихтовых материалов на 100 кг металлозавалки

Компонент	Обозначение массы m_n	Массовая доля элементов, %					Масса, кг
		C	Mn	Si	S	P	
Лом стальной 2А ГОСТ 2787-86	m_1	0,25	0,40	0,20	0,03	0,04	48,960
Возврат	m_2	0,35	0,65	0,35	0,05	0,05	43,940
Чугун передельный ПЛ1 кл А кат.2 ГОСТ 805-80	m_3	4,05	0,30	0,35	0,03	0,10	5,651
ФерромарганецФ Мп 78А ГОСТ 4755-91	m_4	7,00	78,00	5,60	0,02	0,03	0,916
Ферросилиций ФС75 А2,5 ГОСТ 1415-78	m_5	0,10	0,40	78,00	0,02	0,04	0,530

Из расчетов следует, что состав шихты вписывается в интервал значений, соответствующих требованиям ГОСТ 977– 88.

Проведем перерасчет шихтовых материалов на 30153,5 т металлозавалки и занесем данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Ведомость расхода шихтовых материалов на 30153,5 кг металлозавалки

Наименование материалов	Расход материалов по маркам сплава	
	%	т
1.Металлическая шихта:		
а) возврат	43,94	13249,4479
б) лом стальной 2А ГОСТ 2787-86	48,96	14763,1536
в) чугун передельный ПЛ1 кл. А кат.2 ГОСТ 805-80	5,651	1703,97428
г) ферромарганец ФМн 78 А ГОСТ 4755-9	0,916	276,20606
д) ферросилиций ФС 75 А2,5 ГОСТ 1415-78	0,530	159,81355
Итого	100	30153,5
2.Окислители	$5 \text{ м}^3/\text{т}$	
3. Шлакообразующие	3	904,605
4.Раскислители и модификаторы (известь)	2	603,07

Плавка стали производится в рабочем пространстве печи, которое ограничено сверху куполообразным сводом, снизу и с боков, соответственно, сферическим подом и стенками, кожух которых изнутри выложен огнеупорным материалом. Съёмный свод может быть набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо, или, как и стенки печи, может быть сделан из водоохлаждаемых панелей. Через три отверстия, симметрично расположенных в своде, в рабочее пространство введены токопроводящие графитовые электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз.

Современная мощная дуговая печь используется преимущественно как агрегат для плавки шихты и получения жидкого полупродукта, который дальнейшей обработкой доводят до требуемого химического состава.

Плавка начинается с завалки шихты, при помощи загрузочной бадьи.

Для предохранения подины от ударов крупными кусками шихты на дно бадьи загружают мелкий лом.

Для раннего шлакообразования в завалку вводят известь 2...3 % от массы металлической шихты. После окончания завалки в печь опускают электроды, включают высоковольтный выключатель и начинают период плавления. После периода расплавления в печи образуется слой металла и шлака. Шлак скачивают через шлаковую летку (рабочее окно), постоянно присаживая шлакообразующие, в течение всего периода плавления, с целью удаления фосфора из расплава. Шлак вспенивают углеродсодержащими материалами для закрытия дуг, для лучшей его скачиваемости и уменьшения угара металла.

Выпуск готовой стали и шлака в ковш осуществляется через сталевыпускное отверстие и жёлоб, путем наклона рабочего пространства. Перед выпуском и во время выпуска в ковш добавляются легирующие и раскислители, а при отсекании печного шлака еще и шлакообразующие материалы.

2.5 Разработка технологии сборки и заливки форм, охлаждения, выбивки, обрубки и очистки отливки

Отливки изготавливают на автоматической формовочной опочной линии EFA-SD8 фирмы HWS производительностью 25 форм в час. Форма изготавливается в двух опоках 2000×1500×250 мм. Все основные операции на данном агрегате (очистка и смазка модельной плиты, формообразование, съем полуформы, сборка форм) автоматизированы.

Стержни изготавливаются по «BETA-SET» – процессу.

Конструкции опок, используемых в линиях HWS, обеспечивает их надежное скрепление, дает возможность отказаться от использования груза.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		24

Выход воздуха и газов из полости формы, при заливке металла и при прогреве формы, идет, в основном, путем фильтрации газа через формовочную смесь и вентиляционные наклоны.

Для плавки стали 35Л ГОСТ 977-88 применяем дуговую печь постоянного тока (ДППТУ-1,5) со следующими характеристиками:

- вместимость 1,5 т
- установленная мощность по трансформатору 1600 кВА
- производительность 2,6 т/ч

Для плавки стали в дуговой печи применяем кислую футеровку.

Состав футеровки приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Состав футеровки

Компоненты	Количество, %
Глина огнеупорная $3Al_2O_3 \cdot SiO_2$ ГОСТ 390-83	12
Пылевидный кварц SiO_2 ГОСТ 9077-82	10
Песок кварцевый $2K_2O_2O_3$ ГОСТ 2138-9	76
Борная кислота H_3BO_3 ГОСТ 18704-78	2
Вода(более 100 %) H_2O ГОСТ Р 58144-2018	2

Для получения стали 35Л в электропечи, рекомендуется следующая технология выплавки. При появлении расплавленного металла, в случае необходимости, дается сухой кварцевый песок для наведения шлака на поверхность металла, для предохранения металла от окисления. После полного расплавления шихты шлак снимается, наводится новый шлак, металл нагревается в соответствии с предусмотренной с технологической картой отливки. Затем шлак снимается, производится раскисление ферромарганцем. За 1...2 мин до выпуска металла, его окончательно раскисляют алюминием, очищается образовавшийся шлак. Температура плавления стали примерно равно 1420...1520 ° С, температура расплава при выпуске из печи 1550 ° С. Разливка осуществляется при температуре 1450 ° С.

После заливки формы охлаждаются на охлаждающей ветви формовочной линии, далее отливки вбиваются из форм на вибрационной

решетке. После выбивки отливки проходят обрубку от литниково-питающей системы в ручную кувалдой или огневой резкой, контроль дефектов или термообработку. Желательно, чтобы на отливке перед термообработкой оставался небольшой слой формовочной смеси. Так, она будет частично препятствовать окислительному действию атмосферы термической печи на поверхность отливки. Далее проводят очистку отливок от пригара, остатков формовочной и стержневой смеси с наружных и внутренних поверхностей отливок в дробеметном барабане.

Окончательной операцией является зачистка, ее выполняют шлифовальными машинками. Используют подвесные обдирочно-шлифовальные станки. Зачистку поверхности проводят для проведения визуального определения дефектов отливки.

3 Проектирование плавильного и формовочного участков

3.1 Расчет фондов времени

В литейных цехах массового и крупносерийного производства отливок применяется параллельный режим работы, заключающийся в выполнении всех технологических операций одновременно на разных производственных площадях и участках литейного цеха разными рабочими и машинами [4].

Проектируемый участок цеха работает по двухсменному графику работы.

Продолжительность рабочей недели составляет 40 часов.

Календарный фонд времени для оборудования составляет $\Phi_k = 356 \cdot 24 = 8760$ ч/год.

Номинальный фонд времени (Φ_n) – это время, в течении которого по принятому режиму должно работать оборудование без учета потерь времени. При двухсменном режиме работы $\Phi_n = 4036$ ч/год.

Действительный фонд времени определяется путем исключения из номинального фонда неизбежных потерь, связанных с возможными ремонтами оборудования и плановым обслуживанием его. Действительный

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		26

фонд времени автоматизированных формовочных и стержневых линий $\Phi_{д}=3645$ ч/год, дуговых печей для плавки стали $\Phi_{д}=3890$ ч/год.

3.2 Программы участков, расхода материалов

В соответствии с уточнённой номенклатурой отливок произведём расчёт точной производственной программы для проектирования плавильного и формовочного участков стального литья производительностью 16000 тонн в год (таблица 10).

Таблица 10 – Точная производственная программа

Наименование отливки	Масса отливки, кг	Марка сплава	Годовая программа, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5
1. Крышка	31,0	35Л ГОСТ 977-88	161290	5000
2. Опора	12,0		83333	1000
3. Ползун	46,0		32609	1500
4. Коромысло	43,3		23095	1000
5. Крышка	18,3		54645	1000
6. Корпус	15,0		66667	1000
7. Кронштейн	52,0		38462	2000
8. Щиток	22,0		68182	1500
9. Щиток	12,2		81967	1000
10. Серьга	22,1		45249	1000
Итого				16000

Точная программа предусматривает разработку технологических данных для каждой отливки и применяется при проектировании цехов с устойчивой номенклатурой отливок.

Основой для расчета плавильного отделения является ведомость расхода металла на залитые формы (таблица 11), которая составляется на основе программы цеха (таблица 10) и данных техпроцессов.

Таблица 11 – Ведомость расхода металла на залитые формы

Наименование отливки	Масса отливки и, кг	Годовая программа		Брак по вине литейного цеха		Отливается в год		Масса на одну отливку, кг		Расход Ме в год		Т В Г, %	
		Т	шт.	шт.	%	шт.	Т	литников и прибылей	отливки с литниками, прибылями	на литники прибыли	всего		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.Крышка	31,0	161290	5000		197,0	92,0	167487,0	5192,0	22,0	53,0	3760,0	8952,0	58,0
2.Опора	12,0	83333	1000		3202,0	38,0	86535,0	1038,0	11,0	23,0	958,5	1997,0	52,0
3.Ползун	46,0	32609	1500		1253,0	58,0	33862,0	1558,0	26,0	72,0	876,2	2434,0	64,0
4.Коромысло	43,3	23095	1000	3,7	887,0	38,0	23982,0	1038,0	25,0	69,0	609,9	1648,0	63,0
5.Крышка	18,3	54645	1000		2100,0	38,0	56744,0	1038,0	14,0	33,0	815,9	1854,0	56,0
6.Корпус	15,0	66667	1000		2561,0	38,0	69228,0	1038,0	12,0	27,0	815,9	1854,0	56,0
7.Кронштейн	52,0	38462	2000		1478,0	77,0	39939,0	2077,0	28,0	80,0	1118,0	3195,0	65,0
8.Щиток	22,0	68182	1500		2620,0	58,0	70801,0	1558,0	18,0	40,0	1274,0	2832,0	55,0
9.Щиток	12,2	81967	1000		3149,0	38,0	85117,0	1038,0	11,0	23,0	958,5	1997,0	52,0
10.Серьга	22,1	45249	1000		1391,0	38,0	46640,0	1038,0	18,0	40,0	843,3	1874,0	55,0
Всего			16000			615,0		16615,0			12031,0	28638,0	

Количество отливок в год с учетом брака определяется по формуле:

$$A = \frac{\Gamma}{100-B} \cdot 100, \quad (14)$$

где Γ – годовая программа, шт.;

B – планируемый процент брака отливок

3.3 Выбор технологического оборудования с представлением параметров

В качестве плавильных агрегатов для приготовления стали выбрана дуговая печь постоянного тока (ДПШТУ) с кислой футеровкой [5]. Такая печь является незаменимым агрегатом при производстве стального литья.

Преимущества кислой печи, по сравнению с основной:

- стоимость кислой футеровки на тонну стали в 2,5 раза ниже, чем основной;
- удельный расход электроэнергии в кислой печи на 13 % ниже;
- кислый шлак менее проницаем для водорода и азота, чем основной;
- жидкотекучесть кислой стали несколько выше, чем в основной, при низких температурах и такая же при температурах выше 1600 °С;
- кислый шлак более вязкий; при таком шлаке удобнее разливать сталь из малых ковшей.

Кислые печи допускают периодичность в работе, что соответствует технологическому процессу многих литейных. Основная футеровка, как известно, при частом охлаждении быстро изнашивается.

Расход огнеупоров на тонну кислой стали ниже, чем на тонну основной стали. Динасовый кирпич и кварцевый песок дешевле магнезитового кирпича и порошка. Стойкость кислой футеровки в несколько раз выше, чем основной.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		29

Печь с кислой футеровкой позволяет быстро разогреть металл до температуры, соответствующей сложности заливаемых форм. Это связано с более высоким электрическим сопротивлением кислого шлака.

В ДППТУ электрическая дуга горит между вводимым в рабочее пространство электродом и жидким металлом или твёрдой шихтой, к которым напряжение подводят с помощью располагаемых в подине специальных токопроводящих устройств (подовых электродов). К верхнему графитированному электроду от источника электропитания подводят отрицательный, а к металлической ванне – положительный электрический потенциал, т.е. графитированный электрод постоянно является катодом, а металлическая ванна – анодом электрической цепи, поэтому качество шихты практически не влияет на стабильность технологического процесса переплавки (рисунок 2).

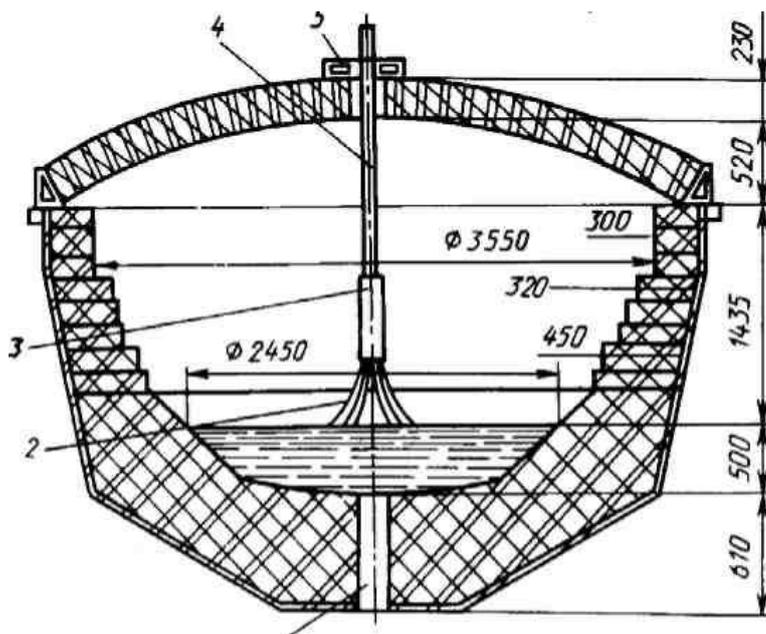


Рисунок 2 – Дуговая печь постоянного тока

Сводный электрод 3 может вводиться в печь на водоохлаждаемом держателе 4 через экономайзер 5, расположенный в центре свода. Подовый электрод 1 представляет собой систему металлических стержней, расположенных в набивной магнезитовой подине.

Верхним концом стержни контактируют с расплавленным металлом в печи, а противоположные концы стержней заделаны в общую охлаждаемую водой или воздухом плиту, к которой присоединен токоподвод. Для нормальной эксплуатации электрода 1 в печи при выпуске оставляют немного жидкого металла, закрывающего электрод при последующей загрузке шихты. Электрическая дуга 2 между электродом 3 и металлом в печи имеет форму спирали, радиус витков которой увеличивается по направлению от электрода 3 к расплавляемому металлу.

Взаимодействие тока дуги с собственным магнитным полем приводит к интенсивному вращению столба дуги вокруг центральной оси спирали, так что дуга визуально воспринимается в виде усеченного конуса.

ДППТУ работает практически бесшумно, и только в начале расплавления металла возникает шум, генерируемый электрической дугой в процессе ее возникновения и погасания.

Практически все дуговые печи постоянного тока являются одноэлектродными и отличаются между собой количеством и конструктивным исполнением подового электрода:

- «токопроводящая подина», охлаждение воздушное;
- многостержневой металлический подовый электрод, охлаждение воздушное;
- многопластичный металлический подовый электрод, охлаждение воздушное;
- одностержневые металлические электроды, охлаждение водяное.

Особых преимуществ у какого-либо из приведенных типов подовых электродов не выявлено; гарантируемая стойкость их, как правило, не превышает 1000 плавов.

Печи постоянного тока имеют следующие преимущества, по сравнению с печами переменного тока:

- меньший удельный расход электродов на 50...60 %;
- снижение уровня фликера на 50 %;
- возможность подводить большую мощность;
- более высокую надежность электрооборудования;
- работа с длинными дугами;
- перемешивание ванны под воздействием электродинамических сил;
- упрощение технического обслуживания и сокращение трудозатрат;
- равномерная тепловая нагрузка на футеровку печи;
- снижение уровня шума на 15 дБ;
- стабилизация технологии;
- лучшее формирование колодцев при проплавлении шихты;
- снижение угара легирующих элементов;
- снижение содержания азота в стали:
- уменьшение газовой выделений и пылеобразования;
- снижение расхода огнеупоров;
- повышение производительности.

Недостатки дуговых печей постоянного тока:

- работа на длинных дугах приводит к повышенным тепловым потерям;
- в дуговой печи постоянного тока требуются специальные меры по предотвращению отклонения дуги из-за явления магнитного дутья;
- ввод в электрическую цепь полупроводникового источника снижает надежность установок и повышает их стоимость.

Как правило, дуговые электрические печи имеют индивидуальное электроснабжение через, так называемый, «печной» трансформатор, подключенный к высоковольтной линии электропередач. Мощность трансформатора может достигать 300 МВА.

Плавка стали производится в рабочем пространстве печи, которое ограничено сверху куполообразным сводом, снизу и с боков,

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		32

соответственно, сферическим подом и стенками, кожух которых изнутри выложен огнеупорным материалом. Съёмный свод может быть набран из огнеупорных кирпичей, опирающихся на опорное кольцо, или, как и стенки печи, может быть сделан из водоохлаждаемых панелей. Через три отверстия, симметрично расположенных в своде, в рабочее пространство введены токопроводящие графитовые электроды, которые с помощью специальных механизмов могут перемещаться вверх и вниз.

Современная мощная дуговая печь используется преимущественно как агрегат для плавки шихты и получения жидкого полупродукта, который дальнейшей обработкой доводят до требуемого химического состава.

Техническая характеристика печи ДППТУ-1,5:

– вместимость	1,5 т
– установленная мощность по трансформатору	1600 кВА
– производительность	2,6 т/ч

Для разливки сплава из печи берем раздаточные ковши, равные по металлоемкости емкости печи.

Вместимость заливочного ковша определяется максимальной металлоемкостью формы и может быть равна или кратна ей.

Формы заливаем с помощью поворотного ковша, емкостью 1 т.

Изготовление форм происходит по SEATSU-процессу.

Заполнение формовочной смеси в опоку происходит равномерно по всей плоскости формы. Воздушный поток проходит формовочную смесь от контрлада в сторону модели и выходит через венты в держатели подмодельной плиты. Поток воздуха толкает частицы смеси в сторону модели, что позволяет добиться наибольшего уплотнения формовочной смеси вблизи самой модели. Во избежание превышения уровня смеси в составе формовочного автомата, посередине бункера-дозатора находятся склизы (облицованные тефлоновыми плитами) для сбрасывания смеси от транспортной ленты в углы бункера. Угол склизов регулируется. Дозировка формовочной смеси от ленточного транспортера регулируется по выбору:

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		33

по весу или по времени. При этом формовочные автоматы для стального литья имеют два автоматическидвигающихся бункера-дозатора для модельной и наполнительной смеси, каждая из которых может дозироваться по весу. Бункер-дозатор, облицованный антифрикционными тефлоновыми плитами, имеет специальный рычажный механизм открытия, который обеспечивает одновременное открытие жалюзи для подачи песка.

Передвижной бункер-дозатор с устройством взвешивания позволяет равномерно распределять формовочную смесь.

Транспорт опок, через участки заливки и охлаждения, производится с помощью транспортных тележек с электроприводом.

Такие операции, как удаление излишков смеси, фрезерования литниковой воронки или накальвание выпоров, проводятся на формовочной линии полностью автоматически. Очень удобным является то, что в компьютер, установленный на линии, могут быть введены необходимые параметры формы, например вид и количество литниковых воронок и выпоров.

Операции по изготовлению форм и их выбивка является наиболее трудоемкими, но их, возможно, автоматизировать и механизировать.

Достоинства SEATSU-процесса:

- равномерная твердость формы;
- меньше стержней;
- лучшее использование плоскости разъема отливками;
- уменьшение затрат на очистку отливок;
- гуманная технология (уплотнение воздушным потоком);
- гидравлическое уплотнение.

Отливки изготавливаем на автоматической линии EFA-SD8 фирмы HWS (рисунок 3).



Рисунок 3 – Автоматическая формовочная опочная линия EFA-SD8
фирмы HWS

Опока и наполнительная рама на модельной плите наполняются формовочной смесью и с помощью повторного стола продвигаются под устройство уплотнения смеси. Стол машины поднимает наполненную смесь опоку с наполнительной рамой и модельной плитой и придавливает их к прессовой головке таким образом, что пространство формы становится герметично закрытым.

Далее на короткое время открывается воздушный клапан «SEATSU», воздушный поток проходит формовочную смесь от контрлада в сторону модели и выходит через венты в держатели подмодельной плиты. Поток воздуха толкает частицы смеси в сторону модели, что позволяет добиться наибольшего уплотнения формовочной смеси вблизи самой модели. При использовании моделей сложной конфигурации, например с глубокими карманами, могут устанавливаться дополнительные венты, благодаря чему достигается повышенная уплотненность высоких формовочных болванов. Во время краткосрочного прохождения потока воздуха через смесь в то же время происходит и «омывание» модели воздухом по минимального пути сопротивления, эффект «псевдосмазки», что в дальнейшем облегчает протяжку модели из формы.

Для извлечения простых моделей на производствах часто обходятся без предварительного уплотнения воздушным потоком.

Дополнительное прессование на формовочной линии EFA-SD8 происходит с помощью гидравлического пресса с мембраной.

Процесс уплотнения отличает минимальный износ модели. Даже для относительно крупных серий отливок на практике используются модели из дерева и пластмассы.

Использование поворотного стола для смены моделей нижних и верхних полуформ позволяет поддерживать чистоту модельной оснастки, прямо на модели перед формовкой удобно устанавливать экзотермические питатели, холодильники.

Для изготовления стержней используется «BETA-SET» – процесс.

После уплотнения, смесь продувается смесью воздуха и парами жидкого сложного эфира – метилформиата.

Достоинства «BETA-SET» – процесса:

- хорошее качество литых поверхностей;
- отсутствие N и S в связующем;
- незначительное термическое расширение смеси;
- относительная влагоустойчивость.

Приемлемо любое качественное уплотнение смеси – ручное, пескострельное, пескодудное, вибрационное. Условия и длительность перемешивания не должны приводить к существенной потере влаги. Потеря влаги снижает текучесть.

Недостатки:

- низкая прочность;
- используется только при простой конфигурации стержней.

Свойства стержневой смеси:

- прочность при растяжении через 1 час 1,7...2,2МПа;
- прочность при растяжении через 24 час 7,0...8,0 МПа;
- газотворность менее 15 см³/г;
- живучесть 5...10 минут.

3.4 Расчет количества и распределение оборудования на производственных площадках

Расчет плавильных агрегатов проводим по жидкому металлу. Количество печей на годовую программу рассчитываем по формуле:

$$n = \frac{Q \cdot k_n}{\Phi_d \cdot q}, \quad (15)$$

где n – количество печей;

Q – потребное количество жидкого металла, т/г

k_n – коэффициент неравномерности потребления жидкого металла, равный для крупносерийного и массового производства; 1,0...1,2;

Φ_d – действительный годовой фонд работы печи, ч;

q – производительность печи, т/ч.

Подставим значения производительности печи, с учетом времени на загрузку и выгрузку печи, проведения всех необходимых операций в формулу (15):

$$n = \frac{29248,87 \cdot 1,2}{3890 \cdot 3,9} = 2,31 \text{ шт.}$$

Принимаем для плавки стали 35Л ГОСТ 977-88 3 печи ДППТУ-1,5.

Коэффициент загрузки плавильного оборудования обеспечивает нормальную работу плавильного отделения:

$$K_3 = \frac{n_1}{n_2}, \quad (16)$$

где n_1 – количество оборудования, полученное расчетным путем, шт.;

n_2 – количество оборудования, принятого в проекте, шт.

$$K_3 = \frac{2,31}{3} = 0,77.$$

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		37

Рассчитываем потребность в металле, т/ч:

$$g'_{Me} = \frac{V_{жг}}{\Phi_d}, \quad (17)$$

где $V_{жг}$ – годовое количество потребляемого жидкого металла;

Φ_d – действительный годовой фонд печи, ч.

Подставляем значения в формулу (17):

$$g'_{Me} = \frac{29248,87}{3890} = 7,51 \text{ т/ч.}$$

Время оборота ковша складывается из времени заполнения ковша металлом, транспортировки его до места заливки, времени разливки металла, возвращения ковша под новое заполнение, слива остатка и ожидания заполнения ковша. Принимаем $\tau_{ц.к.} = 0,2$ ч.

Коэффициент неравномерности потребления металла ковшом будет больше, чем при расчете количества плавильных печей, и его можно брать в пределах 1,3...1,7. Принимаем $K_H^k = 1,4$.

Число ковшей необходимых для обеспечения металлом данного потока определяется по формуле:

$$n_k = \frac{g'_{Me} \cdot \tau_{ц.к.} \cdot K_H^k}{g_k}, \quad (18)$$

где n_k – число ковшей определенной металлоемкости, находящихся одновременно в работе, шт;

g_{Me} – потребность в металле для заполнения готовых форм из такого ковша, т/ч;

$\tau_{ц.к.}$ – время оборота работающего ковша, ч;

g_k – металлоемкость ковша, используемая для заполнения литейных форм, т;

K_H^k – коэффициент неравномерности потребления металла ковшом.

Подставляем значения в формулу (18):

$$n_k = \frac{7,51 \cdot 0,2 \cdot 1,4}{1} = 2,10 \text{ шт.} \approx 3 \text{ шт.}$$

Работающий ковш постепенно выходит из строя из-за механического разрушения футеровки носка, краев, а также разъедания внутренней футеровки металлом и шлаком. Поэтому периодически ковш возвращается на перефутеровку или ремонт.

Число ковшей, постоянно находящихся в ремонте в течение года, устанавливается формулой:

$$n_{к.р.} = \frac{n'_k \cdot \tau_{рем.к} \cdot n_p \cdot K_H}{\Phi_{р.р.}}, \quad (19)$$

где $n_{к.р.}$ – число ковшей, находящихся в ремонте в течение года, шт.;

n'_k – число ковшей, находящихся одновременно в работе, шт.;

$\tau_{рем.к.}$ – длительность ремонтного цикла ковша, ч;

n_p – число ремонтов ковша в год, шт.;

$K_H^{к.рем}$ – коэффициент неравномерности поступления ковшей в ремонт;

$\Phi_{р.р.}$ – фонд рабочего времени ремонтных рабочих, ч.

Длительность ремонтного цикла ковша невелика и связана с вместимостью, методом восстановления футеровки, длительностью сушки и разогрева ковша, а также зависит от вида заливаемого сплава. Принимаем $\tau_{рем.к.} = 16$ ч.

Рабочий цикл ковша от ремонта до ремонта складывается из оборота ковша и числа наливов, которые выдерживает его футеровка. Стойкость ковшей для разливки углеродистой стали составляет 0,5 месяца или 24 ремонта в год. Принимаем $n_p = 24$.

$$n_{к.р.} = \frac{3 \cdot 16 \cdot 12 \cdot 1,4}{1610} = 0,50 \approx 1 \text{ шт.}$$

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		39

Для работы в цехе принимаем 3 ковша металлоемкостью 1 т.
Постоянно в ремонте в течение года находится 1 ковш.

Для определения годового числа форм, а также объема стержней и формовочной смеси, составляется ведомость изготовления и сборки форм (таблица 12).

Внутренний размер опок – 2000×1500×250 мм.

Расчетное число автоматических формовочных линий $P_{\phi 1}$ определяется по формуле:

$$P_{\phi.л} = \frac{n}{K_3 \Phi_d^\phi N_{расч}^\phi}, \quad (20)$$

где n – годовое число форм, изготавливаемых на линии, шт.

Φ_d^ϕ – действительный фонд времени формовочного оборудования, ч;

$N_{расч}^\phi$ – расчетная производительность формовочного оборудования, шт/ч;

$K_3=0,94\dots 0,96$ – коэффициент, учитывающий потери из-за брака форм и отливок.

Принимаем $K_3=0,8$.

Производительность линии EFA-SD8 25 форм/ч.

$$N_{расч}^\phi = 25 \cdot 0,8 = 20 \text{ форм/ч.}$$

Подставляя в формулу (20) полученные значения, находим:

$$P_{\phi.л} = \frac{153779}{0,95 \cdot 3645 \cdot 20} = 2,22 \text{ шт.} \approx 3 \text{ шт.}$$

При расчете конвейера необходимо произвести расчет его скорости и длины каждой зоны.

Скорость литейного конвейера рассчитываем по формуле:

$$V_k = \frac{N_{расч}^\phi \cdot l}{60}, \quad (21)$$

где $N_{расч}^\phi$ – годовое количество форм, шт;

l – внешние габариты опок по ходу движения конвейера, м;

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

Подставим значения в формулу (21):

$$V_K = \frac{20 \cdot 2,24}{60} = 0,74 \text{ м/мин.}$$

Длина участка охлаждения находим по формуле:

$$L_{\text{охл}} = V_K \cdot \tau_{\text{охл}}, \quad (22)$$

где $\tau_{\text{охл}}$ – время охлаждения, мин;

$$\tau_{\text{охл}} = 2,1 \text{ ч.}$$

Вычислим, подставляя значения:

$$L_{\text{охл}} = 0,74 \cdot 2,1 \cdot 60 = 93,24 \text{ м.}$$

Принимаем к установке 3 печи ДППТУ-1,5 с $K_3 = 0,77$, 3 ковша металлоемкостью 1 тонн, 3 автоматические формовочные линии.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

Таблица 12 – Ведомость изготовления и сборки форм

Наименование отливки	Изготавливается в год отливок, шт	Количество отливок в форме, шт	Изготавливается форм в год, шт	Объем для одной формы, м ³				Объем уплотненной формовочной смеси на годовую программу, м ³
				опок	залитого металла	стержней	уплотненной формовочной смеси	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.Крышка	167487	2	83743	1500	0,0136	1,86	1498,1	125457600
2.Опора	86535	10	8653	1500	0,0118	-	1500,0	12979245
3.Ползун	33862	4	8465	1500	0,0092	0,93	1499,1	12689315
4.Коромысло	23982	6	3997	1500	0,0177	-	1498,0	5987293,9
5.Крышка	56744	8	7093	1500	0,0085	2,12	1497,9	10624223
6.Корпус	69228	8	8653	1500	0,0138	1,61	1498,4	12965329
7.Кронштейн	39939	4	9984	1500	0,0103	0,37	1499,6	14971876
8.Щиток	70801	8	8850	1500	0,0103	-	1500,0	13274637
9.Щиток	85117	10	8511	1500	0,0118	-	1500,0	12766249
10.Серьга	46640	8	5830	1500	0,0205	-	1500,0	8744760,8
Всего			153779					230460529

3.5 Определение складов шихтовых и формовочных материалов, лабораторий, подъемно-транспортных средств

Склады литейного цеха предназначены для приемки, разгрузки, складирования, подготовки шихтовых и формовочных материалов, огнеупорных изделий и флюсов.

При определении площади закромов, необходимых для хранения материалов, используются данные расчетов плавильного и смесеприготовительного отделений, являющихся основными потребителями исходных материалов. Расход вспомогательных материалов принимается по данным базового предприятия или литературы.

Количество материалов, проходящих через склад, в 2,5-3 раза превышает производительность цеха по годным отливкам.

Минимальные размеры закромов должны быть не меньше 4×4 м, а бункеров – 3×3 м.

При определении площади складов учитываются также площади, эстакадами, приемными устройствами для подачи материалов в цех, оборудованием для подготовки материалов, а также проходами и проездами.

Нормы запасов материалов на складе определяются в зависимости от климатического пояса расположения литейного цеха и условий поставки.

Вся территория России разделена на 4 климатических пояса: 1-й – самый южный, 4-й самый северный.

Запас шихтовых материалов (за исключением оборотных) должен составлять 20 – 45 суток, песка – от 30 (1-й пояс) до 90 (4-й пояс) суток, кокса – 20 – 45 суток и т.п. Склады формовочных материалов должны размещаться в отапливаемых зданиях с обеспечением положительных температур в зимнее время; для хранения шихтовых материалов допускаются неотапливаемые крытые помещения.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		43

Для проведения химического анализа металла во время плавки и текущего контроля качества формовочных и стержневых смесей в литейном цехе имеются экспресс-лаборатории.

При анализе формовочных смесей определяют прочность «по-сырому», влажность и газопроницаемость. При анализе стержневых смесей дополнительно определяют прочность «по-сухому».

Общая площадь лабораторий примерно равна 15...60 м².

Лаборатории размещают ближе к рабочей площадке печей и к помещению смесеприготовительного отделения с удобным выходом на площадку обслуживающего оборудования.

Литейные цехи характерны большим количеством грузопотоков, связанных с доставкой исходных шихтовых и формовочных материалов, транспортированием литейных форм, стержней, литейных расплавов в ковшах, отливок, которые осуществляются с использованием разнообразных видов подъемно-транспортного оборудования.

Существуют следующие типы подъемно-транспортных устройств:

- периодического действия (краны различных типов, электрические тележки);
- непрерывного действия (различные конвейеры);
- трубопроводный транспорт;
- вспомогательные устройства (питатели, бункеры, затворы).

В формовочно-сборочных отделениях литейных цехов в качестве основного подъемно-транспортного оборудования применяют мостовые и консольные электрические грузоподъемные краны, горизонтально-замкнутые и другие литейные конвейеры, карусели, подвесные цепные конвейеры, ленточные транспортеры, пневматические подъемники, электротельферы, а также такие вспомогательные подъемно-транспортные средства, как рольганги, электро- и автокары.

3.6 Планировка плавильного и формовочного участков

Заданные плавильный и формовочные участки располагаются в одноэтажном здании, состоящем из пролетов.

В цехе используются передаточные тележки и мостовые краны для транспортировки формовочных и шихтовых материалов.

В качестве шихтовых материалов для получения стали 35Л ГОСТ 977-88 применяют: стальной лом, возврат собственного производства, передельный чугун, ферромарганец и ферросилиций.

Для получения жидкого металла, применяют 3 электродуговые печи постоянного тока (ДПШТУ-1,5) емкостью 1,5 тонн. Применение такой печи обеспечивает высокое качество сплава и меньший угар компонентов.

Плавка начинается с завалки шихты, при помощи загрузочной бадьи. Для предохранения подины от ударов крупными кусками шихты на дно бадьи загружают мелкий лом.

Температура нагрева сплава 1510 °С.

Для раннего шлакообразования в завалку вводят известь 2...3 % от массы металлической шихты. После окончания завалки, в печь опускают электроды, включают высоковольтный выключатель и начинают период плавления. После периода расплавления, в печи образуется слой металла и шлака. Шлак скачивают через шлаковую летку (рабочее окно), постоянно присаживая шлакообразующие, в течение всего периода плавления, с целью удаления фосфора из расплава. Шлак вспенивают углеродсодержащими материалами для закрытия дуг, для лучшей его скачиваемости и уменьшения угара металла. После этого снимают шлак, берут пробу на экспресс анализ по химическому составу, доводят температуру металла до 1560...1590 °С и проводят выпуск его в ковши, предварительно подогретые до температуры 600...800 °С, во избежание охлаждения металла. Ковш с готовым металлом транспортируется с помощью передаточной тележки на участок заливки.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		45

После разливки, ковш проверяют на целостность футеровки. При изнашивании футеровки, ковш переправляют на ремонт. Ремонт ковшей начинают с выбивания кувалдой старой футеровки и осмотром ковша после выбивки. Он не должен иметь трещин по сварке, отверстий от прогара по стенкам и дну. После этого футеруют дно ковша толщиной от 20 до 25 мм и обмазывают стенки ковша толщина от 15 до 20 мм. Перед тем как футеровать носок ковша от края на глубину от 80 до 120 мм по всей его ширине нужно проложить листовой асбест. Зафутерованный ковш обмазывают с помощью щетки жидким стеклом. Готовый ковш сушат в печи при температуре от 190 до 210 ° С в течение 3-х часов. Высушенные ковши хранят на складе сухих ковшей.

Для изготовления форм в проектируемом участке выбирается автоматическая формовочная опочная линия EFA-SD8 фирмы HWS, с уплотнением формовочной смеси воздушно-импульсным потоком. Формовочная линия состоит из участка формовки и проставления стержней, из участка заливки и охлаждения с выбивной решеткой.

Стержни отливок изготавливаются на основе ХТС, с использованием «BETA-SET» – процесса.

Заданные участки цеха разработаны с учетом требований охраны труда и техники безопасности, в том числе предусмотрена теплоизоляция, местная и общая вентиляция, применяются индивидуальные средства защиты.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		46

4 Специальная часть

Модифицирование стали

Модифицирование — это процесс направленного изменения структуры литого металла или сплава под воздействием малых количеств (~ до 0,1%) специально вводимых добавок или физических методов обработки жидкого и кристаллизующегося расплава.

С развитием технологии внепечной обработки стали, модифицирование получило значительное распространение в «большой» металлургии.

Различают две группы модификаторов.

Первая группа включает вещества, образующие в расплаве высокодисперсную суспензию. Частицы этой суспензии являются зародышами кристаллизации, вокруг которых образуются и растут кристаллы. Такими модификаторами могут быть тугоплавкие металлы или их соединения, частицы которых находятся во взвешенном состоянии в предкристаллизационный период. К этим модификаторам предъявляются следующие требования:

- температура плавления модификаторов, должна быть выше температуры заливки стали;
- кристаллографическая решетка основного элемента модификатора или соединения с элементами входящих в состав стали, должна обладать структурным соответствием к решетке железа;
- плотность модификатора должна быть близкой к плотности расплава, чтобы предотвратить его всплывание;
- модификаторы должны хорошо смачиваться расплавом.

Вторая группа включает поверхностно-активные вещества, способные адсорбироваться на поверхности растущих кристаллов тормозить их рост. Адсорбция происходит на гранях неравномерно. В результате, задерживается развитие отдельных граней кристалла, что приводит к изменению его формы.

Кроме того, замедление скорости роста кристаллов сопровождается увеличением количества центров кристаллизации, что также способствует измельчению структуры. К этим модификаторам предъявляются следующие требования:

- неограниченная растворимость в расплавах железа;
- нерастворимость (или чрезвычайно малая растворимость) в твердой фазе, коэффициент растворимости близок к нулю;
- высокая вязкостная активность;
- способность образовывать тугоплавкие соединения с элементами и примесями, входящими в состав стали, которые отвечали бы принципу структурного соответствия;

В этом случае снижается величина работы на образование трехмерного зародыша и уменьшается величина его критического радиуса.

По методу влияния на структуру стали модифицирование можно разделить на три вида:

- образование в жидкой стали дополнительных центров кристаллизации, путем введения в расплав готовых тугоплавких зародышей или путем их образования в расплаве, например TiN, ZrN, TiCN и др.
- ограничение роста кристаллов, при введении в жидкую сталь поверхностно-активных элементов, таких как В, Mg, Са, Се. В большинстве случаев, их вводят в виде ферросплавов и лигатур: ферробор, ферроцерий, силикокальций, алюмосиликобарий; соединений: железо – кремний – магний – кальций – редкоземельные и др. После заливки металла, в результате переохлаждения, образуются твердые частицы-зародыши, вокруг которых начинают расти кристаллы. Отсутствие или незначительная растворимость модификатора в твердой фазе приводит к тому, что вокруг нее формируется оболочка жидкости, обогащенная элементами модификатора.

При этом, вязкость расплава оболочки существенно возрастает, что снижает скорость диффузии атомов железа к зародышу.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		48

Температура расплава оболочки снижается из-за повышения концентрации элемента модификатора. Рост кристаллов приостанавливается, поэтому, для продолжения кристаллизации, необходимо дополнительное переохлаждение. В жидкой фазе возникают новые зародыши. В результате такого поэтапного процесса структура металла в отливке измельчается.

– модифицирование неметаллических включений. Введение в жидкую сталь таких модификаторов позволяет одновременно воздействовать на природу оксидов, сульфидов, нитридов и более сложных включений.

В углеродистых, легированных литых сталях и отливках из них наблюдается изменение пластических и прочностных свойств под влиянием модификаторов на состав, форму, размеры, количество и распределение сульфидных, оксидных, оксисульфидных, нитридных, фосфидных и других неметаллических включений. Устранение пленочных включений, их округление и устранение локальных скоплений приводит к повышению пластичности, ударной вязкости и ряда других свойств отливок. Наиболее широко применяют Ca, Mg, Ba, Ce, Ti, La, Y.

Наилучшие результаты по благоприятному изменению структуры достигаются при обработке стального расплава модифицирующими комплексами, например: Ti-B-Ca, Ti-Ce-B, Mg-Zr-Ce, Ti-V-Ca и др. При этом, влияние модификаторов проявляется одновременно в уменьшении размера зерна, измельчении дендритов и фазовых составляющих сплава, модифицировании неметаллических включений.

Термодинамически активные модификаторы (Ca, B, Ti, Ce, La, Y, Zr, Mg, Ba и др.) и их комплексы вводят перед выпуском стали из печи или при сливе ее в ковш. Выбор способа ввода зависит от условий производства.

К физическим методам модифицирования относится обработка кристаллизующегося расплава ультразвуком, вибрацией, электромагнитным полем.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		49

Модифицирование ультразвуком способствует получению зерен меньшего размера и однородной структуры, устранению дендритную структуру, снижению химической неоднородности, а также измельчает и перераспределяет неметаллические включения. Использование этого метода в промышленности не получило широкого распространения из-за сложного аппаратного оформления.

Вторым способом физического модифицирования, а именно вибрацией (частота от 1 колебания в секунду и выше с переменной амплитудой), возможно добиться удаления газов из расплава и получения однородной структуры, также разрушить крупные дендриты в процессе затвердевания отливки, снизить химическую неоднородность. Для разработки стабильной технологии, этот метод нуждается в дальнейших исследованиях.

При увеличении концентраций модификаторов сверх оптимальных, снижаются свойства стали. Это связано с процессами вторичного окисления и загрязнения стали продуктами реакций взаимодействия активных элементов. В частности, повышенное содержание бора приводит к образованию боридов железа по границам зерен, резко охрупчивающих сплав. Титан образует сульфонитриды, сульфиды, оксинитриды неблагоприятной формы. Церий, кальций, магний загрязняют сталь крупными облакоподобными включениями оксидов, сульфидов, оксисульфидов.

Самое важное достоинство модифицирования – это повышение жидкотекучести стали, что предотвращает «закозления» днища и стенок ковшей, что способствует успешной разливке даже при пониженных температурах выпускаемой стали.

Вследствие повышения жидкотекучести, улучшается заполнение формы, повышается качество поверхности отливок, что особенно важно при производстве точного литья.

Одним из технологических следствий повышения жидкотекучести модифицированного металла является возможность снизить температуру разливаемой стали, что, в свою очередь, позволяет реализовать новые

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		50

положительные стороны этой технологии. Понижение температуры разливаемой стали, за счет уменьшения газонасыщенности жидкого металла и величины усадки, позволяет ослабить развитие горячих термических трещин и других дефектов газоусадочного характера [6].

Разработка технологии модифицирования стали включает в себя обоснованный выбор состава модификатора и способа его ввода, обеспечивающий решение поставленной задачи в пределах используемой технологии.

К наиболее часто возникающим проблемам, относятся:

- устранение дефектов газоусадочного характера;
- улучшение механических свойств отливок;
- снижение загрязнённости их неметаллическими включениями;
- повышение хладо - и жаростойкости литья и др.

Содержание в металле активных элементов (кальция, магния, редкоземельных, титана и др.), является главным техническим показателем модифицирования.

В настоящее время существует три основных способа ввода модификаторов в сталь:

- в ковш при выпуске плавки;
- в процессе внепечной обработки стали;
- во время разливки стали.

Выбираемая технология процесса должна решать две задачи:

- максимальное и стабильное усвоение активных элементов жидким расплавом;
- оптимальные концентрации активных элементов, т.е. оптимизация удельного расхода модификатора.

Для успешного результата модифицирования необходимо учитывать следующие требования:

– модификаторы должны присаживаться в предварительно раскисленный металл, чтобы исключить непосредственное взаимодействие активных элементов (Са, РЗМ и др.) с кислородом расплава и сохранить их для модифицирования неметаллических включений и формирования необходимой структуры металлической матрицы.

Причем, при длительном нахождении раскисленного алюминием металла в печи или в раздаточном ковше, особенно с кислой футеровкой, при наличии окислительного шлака, химический состав металла, к концу разливки, может заметно измениться, по сравнению с её началом. А именно происходит увеличение концентрации азота, существенное снижение содержания алюминия и марганца, может происходить также уменьшение концентрации активных элементов, в результате чего эффект модифицирования становится не стабильным или может даже снижаться.

Поэтому необходимо предварительно оценить изменение химического состава металла.

– связано с выбором оптимального гранулометрического состава применяемых модификаторов.

Максимальный размер используемого модификатора определяется степенью его усвоения, которая, в свою очередь, зависит от температуры заливаемого сплава, мощности струи, от ёмкости ковша и продолжительности его наполнения. При слишком крупном размере присаживаемых материалов, они не успевают раствориться в металле и сгорают на его поверхности в ковше.

– связано с определением регламента времени присадки модификаторов.

Для предотвращения преждевременного взаимодействия модификаторов с окружающей средой, их угара и окисления не допускается предварительная засыпка материалов в горячий ковш.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		52

Самый простой метод модифицирования в использовании – введение материалов в ковш во время слива металла из печи, который, к сожалению, не самый эффективный и экономный. При использовании ковшей небольшой емкости (до 1...1,5 тонн) и быстром сливе металла модификаторы задают в самом начале выпуска плавки или даже засыпают предварительно на дно ковшей, если они холодные или теплые. На более крупных ковшах модификаторы присаживают, начиная с наполнения ковша примерно на 1/3 и заканчивая к 2/3 высоты ковша.

Особенности процесса:

- необходимость выбора оптимального фракционного состава используемых лигатур, определяющего эффективность модифицирования и через удельный расход его – экономические показатели.
- необходимость уменьшения попадания печного шлака в ковш, особенно в начале выпуска, так как этот шлак окисляет активные элементы модификатора, способствует запутыванию в нем мелких фракций модификаторов и, вследствие чего, снижает эффективность и стабильность процесса модифицирования.

Второй способ, способ внепечной обработки жидкого металла, стал обязательной особенностью современного сталеварения. Эта обработка проводится на установке "печь-ковш" со следующими основными технологическими преимуществами:

- наведение высококачественного рафинировочного шлака, обеспечивающего получение сверхнизких содержаний серы в готовом металле;
- стабильное получение оптимального химического состава стали в суженных пределах;
- донная продувка металла аргоном, обеспечивающая однородный состав стали в объеме ковша после ее модифицирования;

- использование для футеровки ковша основных или высокоглиноземистых огнеупоров, исключая взаимодействие с микроэлементами стали и обеспечивающих стабильность эффекта модифицирования в процессе разливки металла;
- минимальные затраты на модифицирование, т.к. удельный расход модификаторов в 2-3 раза меньше в сравнении с ковшевым модифицированием в процессе выпуска плавки.
- присадка модификаторов в виде порошковой проволоки с использованием "трайб-аппаратов";

Сейчас для модифицирования различных сталей на установках "печь-ковш" используется только силикокальций. Попытка применить дополнительно редкоземельных металлов (РЗМ) не дала положительного результата из-за затягивания шибберных разливочных стаканов.

Недостатками метода ковшевого модифицирования, даже при использовании установки "печь-ковш", являются:

- затягивание шибберного стакана в процессе разливки модифицированного металла, особенно при применении для этой цели РЗМ;
- низкая и недостаточно стабильная степень усвоения модификаторов (кальция, РЗМ), связанная с окислением струи разливаемого металла кислородом воздуха.

Указанные недостатки устраняются при модифицировании стали во время разливки. Разливка бывает двух видов:

- сифоном, где модификатор содержащий РЗМ задается равномерно в центровую, с использованием специальных дозаторов или засыпается в воронку шнековым питателем или просто черпаками;
- сверху – дробленые и фракционированные модификаторы засыпаются с помощью простейшего устройства (воронка и трубка) на струю металла, вытекающую из промежуточного устройства, установленного на прибыльную надставку.

В обоих случаях, удельный расход модификаторов не превышает 1 кг/т стали. Нужно отметить, что модифицирование при разливке металла по изложницам, в принципе, является единственно возможным способом, при необходимости модифицирования стали, разливаемой на слитки из крупных ковшей, футерованных шамотом и имеющих в них значительный слой окислительного печного шлака.

Модифицирование металла осуществляется вводом в жидкий металл некоторых химических элементов и знание их физико-химических характеристик позволяет изменить качество металла в нужном направлении. Рассмотрим некоторые из них.

Алюминий в металлургической практике всё чаще используется и как раскислитель металла, и как микролегирующий элемент для карбонитридного упрочнения, получения мелкого зерна, повышения пластичности, ударной вязкости и хладостойкости.

Барий практически не участвует в образовании включений при обработке большинства марок стали, за исключением высокоуглеродистой (шарикоподшипниковой, стали для металлокорда, рельсовой) и с высоким содержанием никеля. По причине малой растворимости бария в железе, невысокого давления его паров в зоне растворения лигатур и низкой температуры плавления, происходит эффективное реагирование бария с кислородом, что приводит к последующему спонтанному удалению продуктов реакции. Из-за быстрого испарения продуктов взаимодействия бария и магния, целесообразно и эффективно их использование (а также и кальция) для обработки жидкого расплава перед самым его затвердеванием, снижая их потери за счёт окисления.

Несмотря на высокое сродство щелочноземельных элементов к кислороду, они быстро испаряются, не успевая, в большинстве случаев, полностью прореагировать с металлом.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		55

При использовании комплексных сплавов, подчиняющихся закону Генри (для разбавленных растворов), потери с испарением должны уменьшаться. С другой стороны, согласно закону Рауля (для совершенных растворов), температура кипения раствора повышается обратно пропорционально молекулярному весу. Если этот закон справедлив для комплексных сплавов, то для элементов с низкой температурой кипения использование неординарных сплавов особенно целесообразно. Применение нескольких элементов одновременно приводит к более глубокому раскислению стали, чем в случае использования одного, пусть даже наиболее сильного из применяемых элементов.

Совместное применение кальция и бария, обладающих полной взаимной растворимостью в жидком состоянии, приводит к более медленному испарению элементов и увеличению периода взаимодействия с кислородом и серой и, как следствие, более эффективному протеканию процесса модифицирования.

Барий служит протектором - защитником кальция, предотвращая его угар при вводе лигатуры в расплав, и, тем самым, повышает эффективность воздействия его на металл. Присутствие бария в сплаве резко замедляет скорость снижения содержания кальция во включениях.

Таким образом, применение бария для обработки стали существенным образом улучшает качество стали.

Редкоземельные металлы (РЗМ) цериевой группы применяют для повышения пластичности, ударной вязкости, хладостойкости, снижения флокено-чувствительности, обеспечения изотропности свойств и улучшения свариваемости спокойной стали. По химическому сродству к кислороду и сере РЗМ сравнимы с щелочноземельными металлами (ЩЗМ). Однако, в отличие от кальция, эти металлы при относительно низкой температуре плавления (800...1000 ° С) имеют высокую тем-

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

пературу кипения ($\sim 3000 \text{ }^\circ \text{C}$), повышенную плотность ($6...7 \text{ г/см}^3$) и вполне хорошую растворимость в железе.

РЗМ обладают высоким химическим сродством к азоту, водороду, цветным металлам, фосфору, также переводят вредные примеси из активных в пассивные формы и, тем самым, очищают границы зёрен. С помощью микрорентгеноспектрального анализа установлено, что РЗМ не растворяются в твёрдом растворе, не обогащают границы зёрен. Оксиды, сульфиды и нитриды РЗМ оказывают модифицирующее влияние на структуру стали.

Ввод в металл редкоземельных металлов приводит к возникновению дополнительных центров кристаллизации. Особенно заметно по осевой зоне, что может быть объяснено расширением твёрдого жидкого состояния и улучшением условий образования центров кристаллизации в этой зоне, приводящими к объёмной кристаллизации.

Редкоземельные металлы представлены в промышленных сплавах в основном церием и лантаном. Температура их плавления ниже температуры плавления железа и находится на уровне с этой характеристикой для ЩЗМ.

По сродству к кислороду ЩЗМ и РЗМ находятся на одном уровне. Но при совместном введении в жидкий металл, в связи с низкой температурой кипения щелочноземельных, они расходуются в большей степени, сохраняя значительную часть РЗМ для последующего взаимодействия с примесями, при охлаждении и кристаллизации металла.

При введении РЗМ в сталь, возможно образование их соединений с цветными примесями. Вероятность связывания фосфора, мышьяка, олова и других вредных примесей возрастает с ростом концентрации РЗМ до 0,4%, что приводит к снижению опасности охрупчивания стали при понижении температуры, уменьшению и склонности стали к обратимой отпускной хрупкости. Добавление редкоземельных металлов способно

преодолеть вредное влияние свинца на пластичность среднеуглеродистой низколегированной стали.

Редкоземельные металлы на качество стали влияют как микролегирующие компоненты, повышающие прочностные и пластические свойства металла при высоких температурах, также проявляют модифицирующее действие, связанное с увеличением дисперсности дендритов и уменьшением величины зерна.

По способу влияния на свойства стали РЗМ и ЩЗМ также аналогичны: повышение пластичности и вязкости происходит за счёт изменения рельефа включений относительно границ литого зерна (внутри осей дендритов находится около 50% включений), снижения концентрации серы в растворе (до 40%), а также приобретения округлой формы оксисульфидных образований.

Сложность обработки стали высокорреакционными элементами и их сплавами заключается в ограниченности времени действия эффекта модифицирования, вследствие взаимодействия химически активных элементов со шлаком и футеровкой ковша. В связи с этим, весьма актуальным является разработка эффективных методов введения химически активных элементов и их сплавов, связанных с обработкой металла в момент максимально приближенный к затвердеванию металла.

Титан – один из самых распространённых в металлургической практике элементов, применяемых для повышения коррозионной стойкости и механических свойств готовой продукции. По сравнению с другими карбидообразующими – ванадием и ниобием, титан относительно не дорог и широко применяется при производстве стали.

Титан вводят в расплав для повышения качества металла, так как он, связывая азот и серу в тугоплавкие частицы, выполняет роль измельчителя аустенитного зерна в процессах термической обработки и сварки.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		58

Ввод готовых карбидов сопровождается их неоднородностью из-за плохой смачиваемости, всплыванием части зёрен, в том числе за счёт образования газовых пузырей (титан сильно поглощает водород и другие газы) и явления флотации. При кристаллизации стали такие частицы оттесняются фронтом роста твёрдой фазы и усиливают микроликвационные явления.

Для достижения одного и того же эффекта модифицирования для низколегированных марок стали используются распространенные в сталеплавильной практике модификаторы (силикокальций, силикобарий), а для высоколегированного сортамента – комплексные сплавы, содержащие, помимо кальция, магний, редкоземельные элементы и др.

Введение в металл комплексных и комбинированных лигатур дает более высокий эффект повышения качества металла, чем при использовании традиционных одинарных кальциевых или бариевых сплавов.

Для модифицирования стали, в нашем случае, выбран процесс присадки порошковой проволоки, заданной скорости и расхода металла, с использованием трайб-аппарата. Усовершенствованные установки могут подавать проволоку со скоростью 0,1...10 м / с, также можно регулировать плавность скорости подачи.

Размеры трайб-аппаратов не большие, что позволяет устанавливать их в действующих цехах.

Сама проволока состоит из стальной оболочки и порошкового наполнителя, который может быть металлическим или неметаллическим и однокомпонентным или многокомпонентным. Качество проволок высокое по всей длине и по наполнителям, и по химическому составу.

Модификаторы серии ENSTEEL, содержащие в своем составе кальций, стронций, барий, РЗМ, титан, цирконий, селен, лантан и другие, выпускающиеся по необычной технологии «чипс-процесс», имеют плотную дисперсную структуру и газонасыщенность.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		59

Каждая марка серии носит определяющий характер химического состава модификатора. Например, модификатор ESTEEL4, кроме основных кальция, бария и редкоземельных металлов, содержит еще титан (таблица 13).

Таблица 13 – Состав модификатора ESTEEL4

Элементы	Количество, %
Кремний (Si)	30...50
Кальций (Ca)	8...15
Алюминий (Al)	1...12
Барий (Ba)	7...12
Титан (Ti)	10...20
Железо (Fe)	остальное

5 Безопасность жизнедеятельности

Литейный цех оборудован автоматической формовочной линией, что позволяет уменьшить объем ручных работ. Для изготовления стержней предусмотрена стержневая линия.

В цехе предусмотрены предохранительные защитные средства автоматического отключения оборудования, которые срабатывают при малейших сбоях системы, предотвращая аварийные режимы работы. Для безопасного ведения технологического процесса пульты управления оборудуют пускорегулирующей аппаратурой и приборами КИП.

Работы по разборке и удалению футеровки печей механизированы.

Проектируемые участки цеха автоматизированы, служит опасностью травмирования рабочих движущими частями машин и механизмов. Самыми опасными являются краны, вращающиеся механизмы, подъемники, транспорт.

Для защиты от механических травм, делаются ограждения опасной зоны или установки устройств, блокирующие попадание человека или его органов в опасную зону во время работы машины. Движущиеся части

механизмов закрывают кожухом. Опасная зона работы кранов обозначена знаками безопасности, краны обеспечены сигналами и тормозными устройствами.

Конвейеры оборудованы сигнализацией пуска и остановки, ограждены вращающиеся узлы конвейера, через каждые 15 м установлены кнопки аварийной остановки.

Плавильный участок производственного помещения относится по удельному тепловыделению к горячим.

Опасным фактором при работе с печью является нагретая поверхность печи. Во избежание ожогов, рабочая зона печи изолируется экраном из шамотного кирпича.

Защита от теплового воздействия при транспортировке и разливке металла – тепловая изоляция нагревательных печей.

Источником пыли- и газовыделения в цехе является: плавильная печь, оборудование для приготовления смесей и стержней, участки формовки, выбивке и очистки отливок. Пыль содержит более 10 % диоксида кремния SiO_2 . Применение для изготовления стержней жидкоподвижных самотвердеющих смесей сопровождается выделением кварцевой пыли.

Методы защиты от вредных выделений:

- автоматизация процесса изготовления стержней и форм, смесеприготовления;
- механизация процесса загрузки печи, дозирования материалов;
- применение средств индивидуальной защиты, предохраняющей от пыли и загрязняющих веществ.

В настоящее время резко возрастает роль промышленной экологии, которая ориентирована на оценку степени вреда приносимого природе техническим развитием. Разработка и совершенствование средств защиты окружающей среды – вот основные задачи современной охраны окружающей среды.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан технологический процесс изготовления отливки «Крышка» из стали марки 35Л ГОСТ 977-88 в соответствии с техническими требованиями на литую деталь.

В конечном результате формируется отливка, которая в дальнейшем выбивается из формы, проходит очистку, обрубку и зачистку поверхности. Данный процесс позволяет изготовить заданную деталь требуемого качества. Готовые отливки проходят обязательный контроль. Отработанная смесь проходит соответствующую обработку и возвращается в технологический процесс.

В работе также разработана система работы литейного цеха, а именно плавильного и формовочного участков.

Для плавки выбрана дуговая печь постоянного тока (ДПШТУ-1,5) с кислой футеровкой, вместимость которой 1,5 т и производительность 2,6 т/ч в количестве 3 штук. Печи постоянного тока имеют следующие достоинства: меньший удельный расход электродов на 50...60 %, высокая надежность электрооборудования, повышенная производительность.

Отливки изготавливаются из песчано-глинистой смеси по SEATSU-процессу на автоматической формовочной линии EFA-SD8 фирмы HWS.

Достоинства SEATSU-процесса: равномерная твердость формы, меньше стержней, лучшее использование плоскости разъема отливками.

Для изготовления стержней выбран «BETA-SET» – процесс.

Достоинства «BETA-SET» – процесса: хорошее качество литых поверхностей, отсутствие N и S в связующем, незначительное термическое расширение смеси, относительная влагуустойчивость.

В качестве модификатора выбран комплекс серии ENSTEEL4.

Спроектированы плавильный и формовочные участки литейного цеха.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Дибров И.А. Труды XII съезда литейщиков России, 18–22 сентября 2017 г. / Российская ассоц. литейщиков, Правительство Челябинской обл. / И.А. Дибров, Р.К. Мысик, А.В. Суцилин, С.В. Брусницын. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – С. 3–10.

2 Технология литейного производства: учебник / Б.С.Чуркин [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. – 662 с.

3 Дубровин, В.К. Технологические процессы литья: учебное пособие / В.К. Дубровин, А.В. Карпинский, О.М. Заславская. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 194 с.

4 Кулаков, Б.А. Проектирование и реконструкция литейных цехов: учебное пособие к выполнению дипломного проекта / Б.А. Кулаков, Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 142 с.

5 Семин, А.Е. Производство стали в электропечах: дуговая печь постоянного тока [Электронный ресурс] / Семин, А.Е. – М.: МИСиС, 2014. – 61 с. – ISBN 978-5-87623-776-7. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237767.html>.

6 Гольдштейн, Я.Е. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали / Я.Е. Гольдштейн, В.Г. Мизин. – М.: Metallurgia, 1986. – 271 с.

7 Ковалев, Ю.Г. Проектирование литейных цехов: Методическое пособие по выполнению курсового проекта для студентов / Ю.Г.Ковалев. – Пермь: Издательский центр Пермский государственный технический университет, 1993. – 215 с.

8 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

					22.03.02.2019.182.000.00. ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		63