

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой,  
д. т. н. профессор  
/Б. А. Кулаков  
«\_\_»\_\_\_\_\_2020г.

Литейные технологии производства отливки  
«Аппарат направляющий» из стали 12Х18Н9ТЛ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ-22.03.02.2020.537.00.00 ПЗ ВКР

Нормоконтролер  
доцент, к.т.н.  
А.В. Карпинский  
«\_\_»\_\_\_\_\_2020г.

Руководитель проекта  
профессор, д.т.н.  
В.К. Дубровин  
«\_\_»\_\_\_\_\_2020г.

Автор проекта  
студент группы  
П-537  
Е.И. Щипанова  
«\_\_»\_\_\_\_\_2020г.

## АННОТАЦИЯ

Щипанова Е.И. Литейные технологии  
производства отливки «Аппарат направляющий» из  
стали 12Х18Н9ТЛ. – Челябинск: ЮУрГУ,  
ПЗ-537, 2020, 93 с., 16 ил., библиогр. список –  
21 наим., 6 листов чертежей ф. А1

В выпускной квалификационной работе разработана технология изготовления отливки «Аппарат направляющий» методом литья по выплавляемым моделям из стали марки 12Х18Н9ТЛ в соответствии с ГОСТ 977-88. После изучения технических требований на деталь и анализа соответствующей литературы изготовление данной детали считается целесообразным.

В проектной части разработано плавно-заливочное и модельно-формовочное отделения цеха литья по выплавляемым моделям на годовой выпуск 350 тонн. В соответствии с производственной программой выбрано и рассчитано оборудование модельного, изготовления оболочек форм, прокатно-заливочного и термообрубного отделений, с помощью которого можно достичь заданной производительности цеха.

В технологической части приведено описание технологических процессов выплавки стали 12Х18Н9ТЛ, описан технологический процесс метода литья по выплавляемым моделям.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Щипанова Е.И.</i>			<i>Литейные технологии производства отливки «Аппарат направляющий» из стали 12Х18Н9ТЛ</i>	<i>Лит.</i>	<i>Листов</i>	<i>Лист</i>
<i>Провер.</i>		<i>Дубровин В.К.</i>				Д	93	3
<i>Т.конт.</i>						<i>ЮУрГУ</i>		
<i>Н.конт.</i>		<i>Карпинский А.В.</i>				<i>Кафедра ЛП</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Кулаков Б.А.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	8
2 ТЕХПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ	
2.1 Анализ технологичности изготовления детали.....	17
2.2 Разработка технологии изготовления литейной формы (элементы литейной формы по ГОСТ 3.1125-88 с расчетами литниково-питающей системы).....	21
2.3 Разработка технологии сборки и заливки форм, охлаждения выбивки, обрубки и очистки отливки.....	25
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВИЛЬНОГО И ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКОВ	
3.1 Расчет фондов времени.....	41
3.2 Программы цеха, расхода материалов.....	43
3.3 Выбор технологического оборудования с предоставлением параметров.....	46
3.4 Расчет количества и распределение оборудования на производственных площадях.....	50
4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ «ОГНЕУПОРНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ».....	58
4.1 Диспергирование и активация кварцевого песка.....	62
4.2 Технология изготовления оболочковых форм на основе диспергированного диоксида кремния.....	66
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
5.1 Общая характеристика литейного цеха.....	75
5.2 Опасные и вредные производственные факторы.....	76
5.2.1 Запыленность воздуха рабочей зоны.....	77
5.2.2 Микроклимат на рабочих местах.....	78
5.2.3 Шум.....	80
5.2.4 Вибрация.....	81

5.2.5 Освещение.....	81
5.3 Безопасность производственных процессов и оборудования.....	82
5.3.1 Электробезопасность.....	87
5.3.2 Пожаровзрывобезопасность.....	88
5.4 Охрана природной среды.....	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	91
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	92

## ВВЕДЕНИЕ

Литье по выплавляемым моделям, широко применяемое в машиностроении при изготовлении тонкостенных сложных по конфигурации отливок, является наиболее распространенным методом получения мелких художественных отливок. Этот метод имеет долгую историю. Хорошо известны примеры литья пушек, колоколов, скульптуры с применением моделей, изготовленных из воска.

Технология литья по выплавляемым моделям имеет ряд специфических особенностей:

- модель служит для получения только одной отливки, потому что вытапливается в процессе изготовления формы;
- металл заливают в тонкостенные неразъемные формы, получаемые путем нанесения огнеупорного покрытия на модель, сушки покрытия, удаления (вытапливания) модели и последующего прокаливания формы;
- формовочная смесь представляет собой суспензию, состоящую из мелкозернистого огнеупорного материала и связующего раствора;
- применение мелкозернистых пылевидных огнеупорных материалов обеспечивает очень высокое качество поверхности отливки;
- высокая точность отпечатка модели достигается путем повышения температуры заливаемого металла, что требует использования высокоогнеупорных формовочных и связующих материалов.

Шероховатость поверхности отливок зависит от их толщины и некоторых особенностей технологии.

Модели отливок и литниково-питающей системы (ЛПС) изготавливают из воскообразных легкоплавких материалов (воск, стеарин, парафин), растворимых в воде солей (карбамид), смол и пластмасс (полистирол). Модели соединяют в блоки (спаиванием, склеиванием, механическим скреплением) и наносят на них слои суспензии из связующего раствора и пылевидного огнеупорного наполнителя. Каждый слой суспензии обсыпают зернистым огнеупорным материалом и сушат.

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

Из полученной многослойной неразъемной оболочковой формы модели удаляют выплавлением. Освобожденные от модельного состава оболочки отдельно или в опорном наполнителе прокаливают для удаления органических остатков модельных и связующих материалов, после чего горячие или охлажденные формы заливают расплавом.

Технический прогресс в производстве точных отливок по выплавляемым моделям в последние десятилетия связан в основном с максимальным использованием возможностей метода, созданием сплавов, наиболее технологичных для специфических условий формирования отливок в прокаленных огнеупорных формах, совершенствованием применяемых модельных и формовочных материалов, рационализацией и интенсификацией всех технологических операций от изготовления моделей до очистки отливок, обеспечением управляемости и стабильности технологических процессов, максимальной автоматизацией производства и созданием благоприятных, безопасных условий труда, сокращением отходов производства и обеспечением безопасности его для окружающей среды, совершенствованием методов контроля как моделей, форм и отливок в процессе изготовления, так и готовой продукции.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		7

# 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

От совершенства и качества литых заготовок напрямую зависит развитие машиностроения, совершенство и качество современных машин. Литые заготовки – базовые, ответственные, высоконагруженные, «скелет» машины: блоки и головки цилиндров двигателей, картеры, тормозные барабаны, рамы и балки тележек вагонов, станины, станков, энергетические отливки, трубопроводная арматура, траки гусеничных машин, специальные отливки ВПК, брони и др. Доля литых деталей составляют от 30 % до 70 % массы машин.

Основные преимущества литых заготовок:

- разнообразие сплавов, размеров, конфигурации, массы;
- близость к размерам готовых изделий;
- высокие эксплуатационные свойства и т.п.

Это гарантируют сохранение преобладающей роли литейного производства и в будущем, высокий и стабильный спрос на отливки и прочные рыночные позиции литейных производств. Революция в технологическом плане и автоматизация основных литейных производств (последняя четверть XX века) обеспечила:

- значительное повышение прочностных и эксплуатационных свойств литых деталей (высокопрочные чугуны, усовершенствованные стали и др.);
- повышение точности отливок, сокращение допусков и припусков (до 2 раз);
- снижение толщин стенок и массы отливок (до 20 %);
- возможности изготовления отливок более дешевыми методами, например, изготовление алюминиевых отливок в песчано-бентонитовых формах вместо кокиля.

Вследствие перехода к производству и применению в машиностроении точных тонкостенных отливок повышенной сложности: появились новые прогрессивные конструкции литых деталей, агрегатов и машин; например, компактные тонкостенные блоки и головки цилиндров, литые коленчатые и распределительные валы и двигатели повышенной мощности,

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

усовершенствованные конструкции рам, балок и др. железнодорожных отливок и вагоны с повышенными грузоподъемностью, скоростными характеристиками и ресурсом и др.; развились высокоинтенсивные, высокоскоростные методы обработки с применением станков с ЧПУ.

Повсеместный рост требований машиностроения к качеству и количеству отливок в сочетании с техническим прогрессом в их производстве явились стимулом и базой для постоянного развития литейного производства во всем мире, достигшего в 2014 г. объемов потребления отливок более 100 млн. т/год (в т.ч., в Западной Европе – до 10 млн. т, в США – 10 млн. т, остальное – Азия, Южная Америка и др.). Необходимо отметить тот факт, что страны БРИКС производят 65 млн. т, при ежегодном росте ~ в 5 %. Из них 46 млн. т (70 %) изготавливается в Китае, который от незначительных объемов в 80-х годах прошлого века перешёл к гигантской индустрии с более чем 30 тысячами предприятий литейной отрасли. Экспортируя до 10 % от общего объёма производимого литья (на сумму более 5 млрд. \$/год), Китай, в режиме самокупаемости, интенсивно проводит перевооружение литейных производств.

К сожалению противоположная картина наблюдается в Российской Федерации: с конца 80-х годов прошлого века значимого развития отечественных литейных производств не происходило, в результате, несмотря на существенно большие объёмы природных рудных ресурсов и наличие промышленнозначимых запасов металлического лома, выпуск отливок в РФ снизился более чем в 5 раз: с 18,5 млн. т в 1985 году – до 3,8 млн. т в 2014 году, число литейных цехов сократилось почти в три раза – с 3,3 тыс. до менее, чем 1,2 тыс. Физический и моральный износ основных фондов составляет от 65 % до 75 %. Количество работников упало приблизительно до 300 тыс. чел., а инженерно-технический кадровый потенциал литейной отрасли близок к исчезновению, снизившись с 8 % до 0,2 % от общей численности ученых-машиностроителей. Сложившаяся в результате глубокая технологическая отсталость большинства отечественных литейных производств, оснащенных устаревшим оборудованием начала и середины XX века, не позволяет изготавливать отливки, отвечающие современным

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

и возрастающим требованиям модернизируемого машиностроения и препятствует его развитию (например, локализации производства автокомпонентов, прогрессу в железнодорожном и др. видах транспорта, энергетическом машиностроении, эффективному применению станков с ЧПУ и высокопроизводительных технологий механообработки и т.д.), возрастает явный и скрытый импорт высокотехнологичных отливок (до 50 % и более), многократно сократился экспорт отливок (до 1 % от выпуска литья). Морально устаревшие отечественные литейные производства оказываются неконкурентоспособными.

В дальнейшем, «разрушение» отечественных литейных производств вполне может спровоцировать мультипликативный эффект глубочайшего кризиса промышленности в целом, сведет к нулю все усилия и вложения государства в развитие отечественного машиностроения и, особенно, станкостроения. Это в конечном итоге может привести к недопустимому увеличению зависимости от импорта отливок, деталей, агрегатов и машин, увеличит риски для национальной безопасности страны. Первостепенная задача – техническое перевооружение отечественных литейных производств. Необходимое глубокое переоснащение отечественной литейной промышленности для обеспечения ее конкурентоспособности возможно на базе:

- лучших зарубежных практик;
- материалов;
- технологий;
- оборудования;
- проектов;
- отечественной техники, материалов, проектов.

Литье в сырые разовые формы – основной способ изготовления отливок. Но, к сожалению, для этих процессов в настоящее время современные автоматические литейные линии (АЛЛ) в России не производятся, в связи с чем практика вынужденно идет по первому пути. Для примера, закупки российскими предприятиями импортного литейного оборудования (в основном, в Германии, Италии и США), запасных частей, расходных и технологических материалов

составляли в последние годы до 1 млрд. \$/год. Однако, как показывает практика, обеспечить при этом реальную конкурентоспособность создаваемых литейных производств в абсолютном большинстве случаев не удастся (качество отливок ниже, а себестоимость – выше зарубежных аналогов). Анализ показывает, что сложившееся положение является следствием фундаментальных закономерностей и особенностей технического развития литейной техники и производств.

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: одной из главных причин фактической неконкурентоспособности абсолютного большинства отечественных автоматизированных литейных производств является «отторжение» в отечественной практике современных зарубежных «жестких» автоматических литейных линий (линий II поколения); задача – создание гибких автоматических литейных линий и производств нового третьего поколения, сочетающих особенности автоматических (малолюдность, производительность, качество отливок) и механизированных линий (гибкость, помехоустойчивость, приспособленность к отечественным условиям эксплуатации, высокая системная надежность); дальнейшее повышение точности и качества отливок должны обеспечиваться гибкостью техпроцессов – оптимизацией технологических режимов изготовления каждой отдельной отливки с учетом ее индивидуальных особенностей. Переход к гибким системам от жестких – мировая тенденция развития техники. Переход литейных производств на новый технологический уклад – гибкие производства – следующая ступень их естественного развития. Решение этой задачи – необходимое условие обеспечения конкурентоспособности отечественных литейных производств. Будущее за гибкими литейными системами, однако, создать их на существующей технологической основе (уплотнение форм прессованием под высоким давлением с возможным дополнительным воздушным воздействием) невозможно.

Накопленный в РФ научно-технический задел (Литаформ, ЦНИИТМАШ, МВТУ, ЭКТА, КОМТЕРМ, РЭЛТЕК, Сиблитмаш, Амурлитмаш, и др.) позволяет разработать и организовать в РФ серийное производство гибких адаптивных литейных машин и линий нового поколения с существенным опережением

зарубежного литейного машиностроения и на их основе создать конкурентоспособные гибкие литейные производства. Современные и перспективные технические решения по гибким литейным технологиям и оборудованию основаны на развитии более чем 50-летнего опыта и достижений отечественной научно-технической школы, на результатах обширных и углубленных теоретических, модельных и экспериментальных исследований, на положительном опыте применения в промышленности опытно-экспериментальных образцов-прототипов создаваемых гибких машин и линий, с использованием которых изготовлено более 1 млн. т отливок. Новые базовые гибкие техпроцессы, материалы, конструкции и системы автоматического оборудования и гибкие комплексные литейные линии третьего поколения: – новые интеллектуально управляемые регулируемые процессы изготовления разовых форм из песчано-бентонитовых смесей – импульсно-нижнепрессовый процесс (ИНП) и мультивиброударный процесс (МВУ), существенно опережающие лучшие современные зарубежные образцы; гибкие автоматические формовочные машины и линии на их основе; – новый турбовихревой монопроцесс приготовления смесей (ТМП) с автоматическим контролем и регулированием в процессе приготовления состава, температуры, влажности и свойств смесей; смесители и смесеприготовительные линии на их основе; – новые синтетические формовочные материалы со специальным комплексом оптимальных технологических свойств, обеспечиваемых за счет применения новых, в том числе нанотехнологических, методов и материалов (модификаторы бентонитовых связующих, многофункциональные композиции, разделительные антифрикционные и антиадгезионные, упрочняющие, противопригарные покрытия, краски и др.); новые методы получения литейных сплавов, обладающих повышенными и специальными свойствами, основанных на применении специальных материалов, вводимых в расплав, в том числе наноструктурированных модификаторов и микролегирующих присадок, в сочетании с современным и новым плавильным оборудованием и специальным оборудованием для внепечной (ковшевой) обработки расплавов, в т.ч. дуговые печи постоянного тока, индукционные печи

22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ

Лист

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

12

средней частоты и др.; новые регулируемые методы термической обработки, в том числе с использованием технологии закаливания в быстродвижущемся потоке воды; современные методы и оборудование гибкой интенсивной финишной обработки отливок; новые методы контроля отливок в т.ч. неразрушающего, бесконтактного и др.; новые целостные автоматизированные технологические комплексы изготовления отливок со специальной гибкой пластичной структурой, обеспечивающих повышенную надежность и помехозащищенность производственных процессов; комплексные интегрированные системы интеллектуального и информационного обеспечения и управления (проектирование, мониторинг, диагностика и управление параметрами техпроцессов и оборудования); Новые методы построения и проектирования комплексных литейных линий и на их основе целостных сложных человеко-машинных технологических систем изготовления отливок, обладающих специальной гибкой пластичной структурой, обеспечивающей повышенную надежность, помехоустойчивость и эффективность производственного процесса. Подобный переход от жестких систем к гибким получают и технологии, машины и линии для специальных методов литья: по выплавляемым и выжигаемым моделям, под высоким и низким давлением и др. Создаваемые гибкие литейные линии (ГЛЛ) оснащаются средствами автоматической смены номенклатуры изготавливаемых отливок (смена оснастки и технологических режимов) и рассчитаны на разносерийный характер производства, что особенно важно для литейных цехов ВПК.

Первостепенной неотъемлемой частью гибких литейных производств, обеспечивающих их рыночную мобильность, являются гибкие системы подготовки производства отливок, включающих комплекс систем и оборудования по оперативному проектированию и изготовлению модельно-стержневой оснастки на базе САПР «Отливка», систем компьютерного моделирования процессов литья, информационных и аддитивных технологий и средств прототипирования (3D-принтеров) и станков с ЧПУ. Планируется создание гибких автоматических

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		13

литейных линий для крупных цехов и гибких компактных автоматических машин и линий для мелких цехов (для малого и среднего бизнеса).

Создаваемое гибкое литейное оборудование нового 3-го поколения дешевле и существенно превосходит импортные аналоги 2-го поколения по техническим характеристикам и эффективности. Значительно выше эффективность при производстве сложных ответственных высокотехнологичных отливок и деталей. Значительная дополнительная экономия возникает в процессах механической обработки точных отливок с уменьшенными допусками. Перспективные (программа 2020 г.) потребности Российского машиностроения в высококачественных отливках (по перспективным требованиям промышленности) составят 4...5 млн. тонн в год; в т.ч. чугуновых для автомобиле- и двигателестроения 2,5...3,0 млн. тонн, стальных для железнодорожного машиностроения, трубопроводов, металлургического и др. отраслей промышленности ~ 1,5...2,0 млн. тонн и др. Для обеспечения их производства следует модернизировать и развить соответствующие литейные производства, для этого потребуются инвестиции в объеме ~ 600...800 млрд. руб., в том числе до двух третей составят вложения в новое технологическое оборудование. Только литейных автоматических линий и плавильных комплексов потребуется внедрить около 200...250 единиц, кроме того множество стержневых машин и другого разнообразного технологического и транспортного оборудования. К тому же трудоемкость литья будет снижена в ~ 2 раза и создано 80...100 тыс. высокотехнологичных рабочих мест, сэкономлено до 25 % материальных ресурсов (более 1,0 млн. т металлошихты и др.) и до 50 % энергоресурсов (5,0...6,0 млрд. кВт час). Переход отечественных литейных производств на новый технологический уклад гибкие производства создаст необходимые предпосылки и условия для успешной и эффективной реализации программы развития отечественного станкостроения – основы промышленного потенциала и промышленной независимости нашей страны. Важность и перспективность решения задач по возрождению и опережающему развитию отечественного литейного станкостроения и литейных производств отмечалась в Протоколах

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		14

совещаний в Минпромторге РФ, в решениях экспертного совещания в РВК (26.02.2015 г.), съездов литейщиков в г. Казань (2011 г.), Екатеринбург (2013 г.) и Нижний Новгород (2015 г.), поддерживается российскими ассоциациями литейщиков и станкостроителей, представителями промышленности и др.

Уже представлены предложения по инновационному возрождению и развитию отечественных литейного станкостроения и литейных производств. Ими предусматривается: продолжение и развитие НИОТКР по созданию гибких литейных технологий и оборудования; развитие подотрасли литейного станкостроения и организация производства гибких литейных машин и линий нового поколения; создание сети инжиниринговых литейных центров – головного (ИЦ «РосИнЛит») в Москве на базе научно–технических и кадровых потенциалов и заделов ЗАО «Литаформ» и АО «НПО «ЦНИИТМАШ» и региональных филиалов в Твери, Татарстане, Екатеринбурге и др.; создание в регионах в целях максимальной отработки, снижения рисков, и преодоления барьеров «недоверия» и успешного продвижения оборудования и линий нового поколения на отечественные и зарубежные рынки, центров компетенции – гибких коммерческих конкурентоспособных базовых производств по выпуску прогрессивных литых заготовок и деталей; продвижение гибкого литейного оборудования нового поколения на внутренний и внешний (высокотехнологичный экспорт) рынки; сопровождение применения и эксплуатации поставленного оборудования на всех стадиях его жизненного цикла; совершенствование и развитие гибких литейных технологий, оборудования и систем на базе накапливаемого опыта. В настоящее время в Тверской области принято решение о создании опытно–экспериментального гибкого литейно-механического завода с объемом инвестирования ~ 6,5 млрд. руб. (в ценах на 01.07.14 г.) и решение о первоначальном финансировании с 2015 г. в объеме 1,0 млрд. руб. (ООО «Промтехлит»). Переход к новому технологическому укладу – гибким литейным технологиям, оборудованию и производствам позволит сделать следующий шаг в повышении качества, эксплуатационных свойств, точности и сложности отливок, увеличить реальный выпуск отливок, снизить себестоимость

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		15

отливок и литых деталей и обеспечить импортозамещение, импортнезависимость и реальную конкурентоспособность отечественных литейных производств. Тем самым будут также создаваться предпосылки и решаться задачи развития отечественного литейного станкостроения и высокотехнологичного экспорта гибкого литейного оборудования и высококачественных точных отливок. Следует организовать регулярную совместную работу по анализу и рассмотрению проблемы, формированию целенаправленной технической политики, разработке и осуществлению программы (дорожной карты) инновационного развития отечественных литейного станкостроения и литейных производств с определением необходимых мер господдержки на всех стадиях инновационного цикла: НИОТКР, возрождение и развитие подотрасли литейного станкостроения и организация производства гибких литейных машин и линий, создание центров компетенции – конкурентных гибких производств отливок и литых деталей, продвижение продукции на внутренний и внешний (высокотехнологичный экспорт) рынки, сопровождение (сервис) на всех стадиях жизненного цикла [1].

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		16

## 2 ТЕХПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ

### 2.1 Анализ технологичности изготовления детали

Изготовление отливки «Аппарат направляющий» с заданными линейными размерами, конфигурацией, физико-механическими свойствами (прочность, твердость, плотность, структура и т.п.), шероховатостью поверхности и другими требованиями может осуществляться различными методами. При этом могут быть использованы различные типы и конструкции форм, конструктивные и технологические решения по отдельным элементам формы (стержням, литниковой системе, прибылям и т.п.), разнообразные технологические процессы на всех этапах изготовления отливки (приготовление формовочных и стержневых смесей, плавка и разливка металла, изготовление форм, обрубка, очистка и термообработка отливок и т.п.). Поэтому в конкретных условиях производства разрабатывается оптимальный технологический процесс, обеспечивающий стабильное выполнение требований чертежа и технических условий на деталь и отливку при минимальных затратах труда и материальных средств.

Анализ чертежа детали «Аппарат направляющий» показывает, что ее конструкция достаточно технологична для изготовления литьем. Масса детали – 54 кг. Минимальная толщина стенки – 4 мм, габаритные размеры детали Ø356x82,5 мм. Минимальные литейные радиусы 2 мм.

Выбор наиболее эффективного способа изготовления определяется на основе комплексного анализа технической, организационной и экономической целесообразности.

Выбор способа изготовления отливок зависит от ряда факторов (серийности выпуска, конструкции отливки, вида металла, требований к готовой детали и т.д.) и часто требует проведения специальных расчетов. Конфигурация детали не позволяет получить заготовку традиционным методом литья в песчаные формы. Кроме того, литьем в песчаные формы трудно получить заданную точность

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		17

отливки 8-8-6-6 ГОСТ Р53464-2009. Наиболее целесообразным методом для получения необходимого качества и геометрических размеров является литье по выплавляемым моделям [2].

На рисунке 2.1 представлен эскиз детали «Аппарат направляющий», на рисунке 2.2 показана 3D-модель детали «Аппарат направляющий».

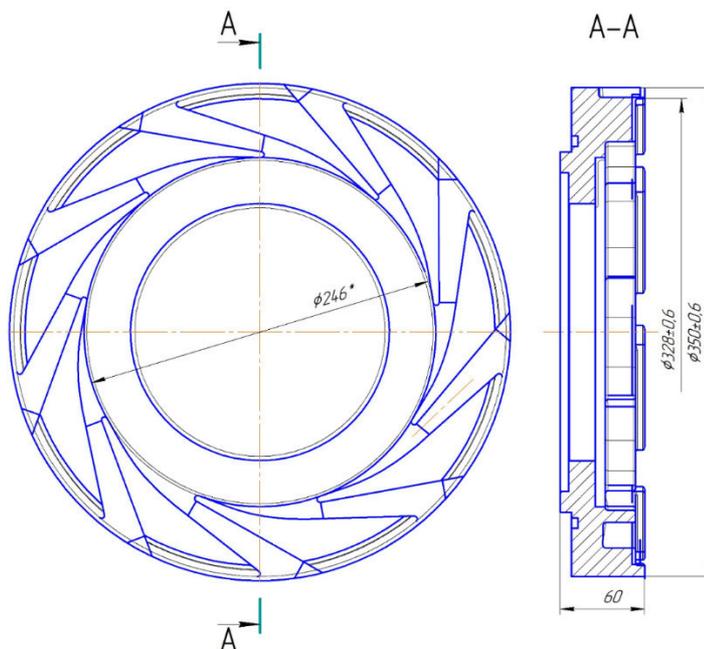


Рисунок 2.1 – Эскиз детали «Аппарат направляющий»

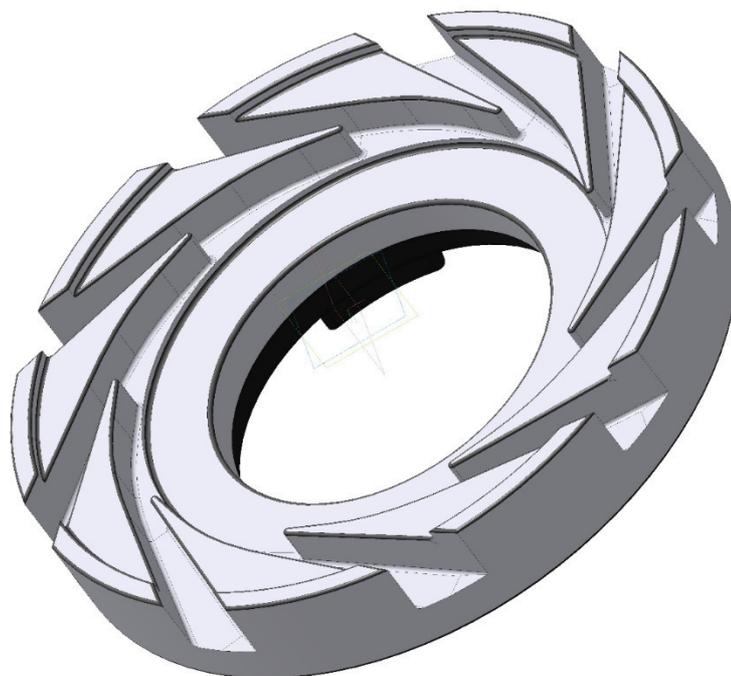


Рисунок 2.2 – 3D-модель детали «Аппарат направляющий»

Отливка «Аппарат направляющий» изготавливается из стали марки 12Х18Н9ТЛ и имеет следующие характеристики:

- предел текучести  $\sigma_T=245$  МПа;
- временное сопротивление разрыву  $\sigma_B=510$  МПа;
- относительное удлинение  $\delta=49$  %;
- свариваемость – ограниченно свариваемая;
- флокеночувствительность – не чувствительна;
- склонность к отпускной хрупкости – не склонна;
- линейная усадка – 2,7 %.

Отливка «Аппарат направляющий» подвергается термообработке:

- закалка 1060...1070 °С, вода.

Сталь марки 12Х18Н9ТЛ соответствует ГОСТ 977-88. Использование в промышленности: различные детали машиностроения, работающие при температуре не выше 700 °С. Сталь жаростойкая до 750 °С, жаропрочная при температуре до 600 °С, аустенитного класса.

Химический состав стали следующий: С – до 0,12 %; Si – 0,2...1,0 %; Mn – 1,0...2,0 %; Ni – 8,0...11,0 %; S – до 0,03 %; P – до 0,035 %; Cr – 17,0...20 %; Ti – до 0,6 %; Cu – до 0,3 % [3].

Положение отливки в форме при заливке и затвердевании определяет весь технологический процесс. Можно предложить три варианта расположения отливки в форме в период заливки и затвердевания. Разъем формы необходим для извлечения модели, сборки формы и удаления полученных отливок. От выбранного разъема зависит трудоемкость изготовления модельной оснастки и литейной формы, трудоемкость обрубных операций и точность размеров отливки.

Варианты расположения отливки в форме в период заливки и затвердевания представлены на рисунке 2.3.

Вариант №1 – отливка располагается в форме вертикально, наименее целесообразный вариант, т.к. он не обеспечивает направленного затвердевания и возможности установки прибыли на плоскую поверхность.

Вариант №2 – отливка располагается в форме горизонтально, ось симметрии перпендикулярна плоскости разреза, тепловой узел вниз.

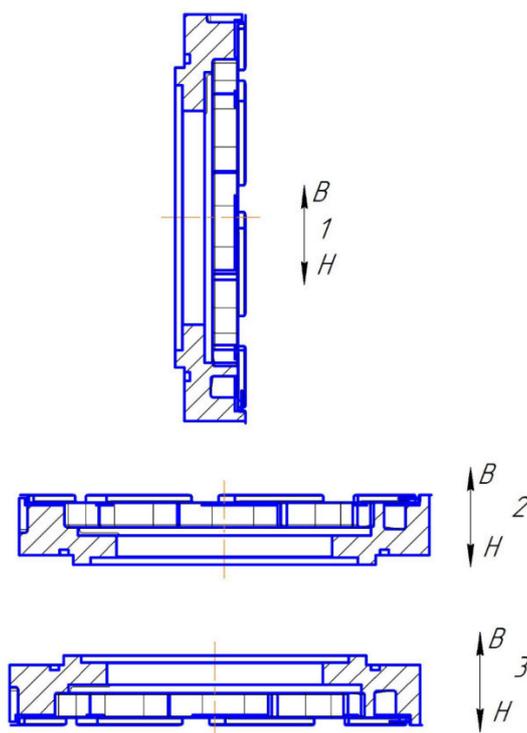


Рисунок 2.3 – Варианты расположения отливки в форме в период заливки и затвердевания

Вариант №3 – отливка располагается в форме горизонтально, ось симметрии перпендикулярна плоскости разреза, тепловой узел вверх.

Проанализировав возможные варианты расположения отливки в форме приходим к выводу о наибольшей целесообразности варианта №3 (рисунок 2.4). При таком расположении возможно установка прибулей на тепловых узлах и обеспечивается направленное затвердевание.

При литье по выплавляемым моделям применяется корковая форма, которая не имеет разреза, однако необходимо выбрать разъем пресс-формы, которая применяется при изготовлении выплавляемой модели. Сложная геометрия отливки приводит к необходимости применения сложной пресс-формы с большим количеством отъемных частей [4].

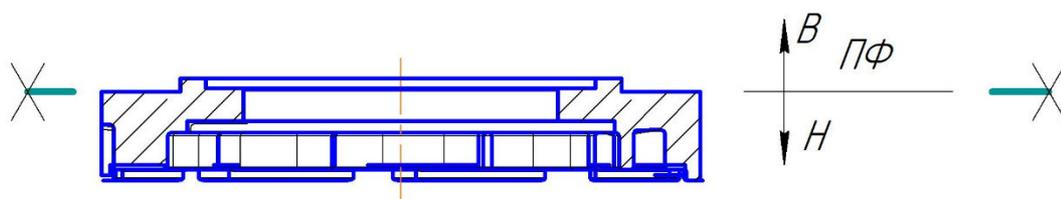


Рисунок 2.4 – Линия разъема пресс-формы

Точность отливки назначается в соответствии с ГОСТ Р 53464-2009 [5].

Точность отливки 8-8-6-6 ГОСТ Р 53464-2009.

Таблица 2.1 – Допуски и припуски отливки «Аппарат направляющий»

Размер	Допуск литейных размеров	Допуск формы поверхности отливки	Допуск неровности поверхности отливки	Допуск массы отливки	Общий допуск элементов отливки	Обработка	Припуск
Ø356	2,4	0,64	0,84	6 %	3,0	Чистовая	3
Ø260	2,2	0,64			2,8	Чистовая	3
Ø175	2,0	0,64			2,6	Чистовая	3
60	1,8	0,64			2,2	Чистовая	3

Масса отливки с учетом припусков составляет 69,8 кг.

2.2 Разработка технологии изготовления литейной формы (элементы литейной формы по ГОСТ 3.1125-88 с расчетами литниково-питающей системы)

Прибыль необходима для получения плотного металла без усадочных пороков. Прибыль необходима для компенсации объемной усадки в период затвердевания. Поскольку отливка имеет компактную форму, то весь ее объем можно принять за тепловой узел. Объем отливки находим исходя из ее массы и плотности металла. За тепловой узел принимаем всю отливку. При литье по выплавляемым моделям применяем схему заливки через прибыль (рисунок 2.5).

На рисунке 2.6 представлена трехмерная модель отливки с прибылью и литниковой системой.

Объем теплового узла [6].

$$V_{\text{ТУ1}} = 0,0098 \text{ м}^3.$$

Определяется объем прибыли по формуле:

$$V_{\text{ПР1}} = \frac{\beta \cdot \varepsilon_V}{1 - \beta \cdot \varepsilon_V} \cdot V_{\text{ПУ1}}, \quad (2.1)$$

где  $V_{\text{ПР1}}$  – объем прибыли,  $\text{м}^3$ ;

$\beta$  – отношение объема прибыли к объему усадочной раковины,  $\beta=10$ ;

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

$V_{\text{ПУ1}}$  – объем питаемого узла,  $\text{м}^3$ .

$$V_{\text{ПР1}} = \frac{10 \cdot 0,045}{1 - 10 \cdot 0,045} \cdot 0,0098 = 0,0073 \text{ м}^3.$$

Пресс-формы должны отвечать следующим основным требованиям:

- обеспечивать получение моделей с заданной точностью и чистотой поверхности;
- иметь минимальное число разъемов при обеспечении удобного и быстрого извлечения моделей;
- иметь устройства для удаления воздуха из рабочих полостей;
- быть технологичными в изготовлении, долговечными и удобными в работе.

Выбор типа пресс-формы обусловлен в основном характером производства (опытное, серийное, массовое), а также требованиями, предъявляемыми к отливкам по точности размеров и чистоте поверхности. При крупносерийном, а особенно при массовом производстве следует применять стальные пресс-формы, изготовленные механической обработкой. Для отливки «Аппарат направляющий» применяют пресс-форму из стали 45Х ГОСТ 4543-71. Формообразующие поверхности пресс-форм, изготовляемых на металлорежущих станках, необходимо полировать. Сопрягаемые поверхности пресс-форм (стыковые), поверхность

штырей, втулок, колодок и других подвижных частей следует выполнять с шероховатостью  $Ra = 1,25 \dots 0,63$  мкм; поверхности, образующие литниковую систему, – с  $Ra = 2,5 \dots 1,6$  мкм; остальные нерабочие части пресс-форм можно выполнять с  $Rz = 40 \dots 10$  мкм.

Из-за непостоянной усадки модельной композиции и металла, а также расширения оболочки формы при нагреве невозможно точно рассчитать размеры полостей пресс-форм. Так как суммарная усадка модельной композиции и металла больше расширения оболочки при нагреве, то для предварительных расчетов можно принять среднюю усадку для легированных сталей 1,35 %. С учетом обязательной последующей доводки элементы пресс-формы, оформляющие наружные части отливки, должны иметь уменьшенные размеры, а оформляющие внутренние части – увеличенные.

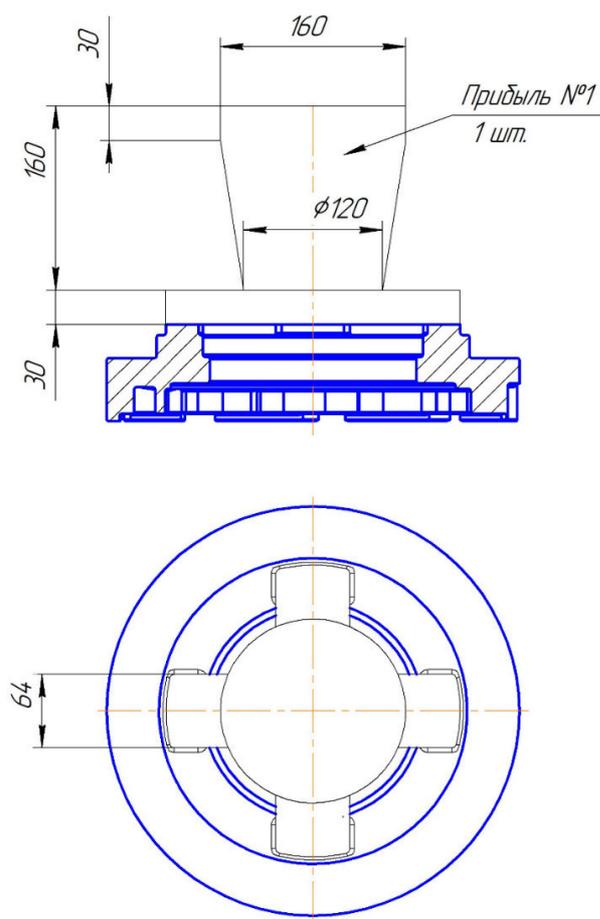


Рисунок 2.5 – Эскиз отливки с прибылью и литниковой системой

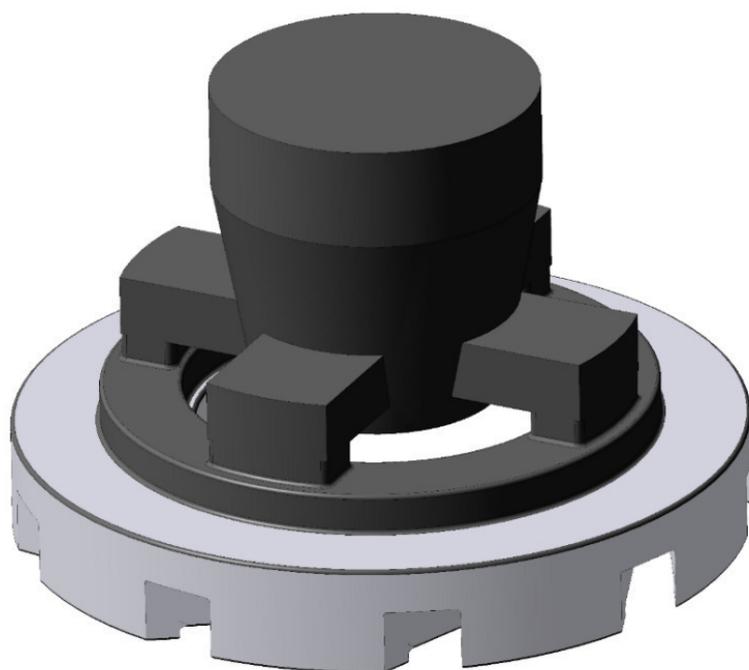


Рисунок 2.6 – Трехмерная модель отливки с прибылью и литниковой системой

Исполнительные размеры полости пресс-форм подсчитывают по приближенным формулам.

Для наружных (охватываемых) размеров отливки:

$$D_{\text{П}} = D_{\text{О}} + D_{\text{О}} \cdot y_{\text{Общ}} / 100 - 0,5\delta_{\text{О}} = D_{\text{О}}(1 + y_{\text{Общ}}/100) - 0,5\delta_{\text{О}}, \quad (2.2)$$

Для внутренних (охватывающих) размеров отливки:

$$D_{\text{П}} = D_{\text{О}}(1 + y_{\text{Общ}} / 100) + 0,5\delta_{\text{О}}, \quad (2.3)$$

где  $D_{\text{П}}$  – номинальный размер формообразующей полости пресс формы, мм;

$D_{\text{О}}$  – номинальный размер отливки, мм;

$\delta_{\text{О}}$  – допуск на размер отливки, мм;

$y_{\text{Общ}}$  – суммарная линейная усадка, %.

$$y_{\text{Общ}} = y_{\text{М}} + y_{\text{О}} - y_{\text{Ф}}, \quad (2.4)$$

где  $y_{\text{М}}$  – свободная линейная усадка модели, %;

$y_{\text{Ф}}$  – относительное расширение формы при нагреве перед заливкой, %;

$y_{\text{О}}$  – свободная линейная усадка металла, %.

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

Выбор плавильного оборудования обуславливается металлургическими возможностями обеспечения заданного качества выплавляемого сплава, наличием необходимых шихтовых материалов и энергетических ресурсов, условиями труда обслуживающего персонала, защиты окружающей среды от газовыделений и отходов плавки, а также эффективностью производства.

Для плавки стали 12Х18Н9ТЛ в цехе используется индукционную тигельную печь ИСТ-0,16 [7].

Индукционные печи серии ИСТ позволяют:

- плавить сталь, чугун, а применяя специальные тигли цветные металлы (алюминий, медь);
- сливать металл в одну точку, благодаря смещенного центра поворота плавильного узла;
- поднимать плавильный узел гидравликой или тельфером;
- контролировать процесс плавки используя цифровую систему управления с подачей максимальной мощности на различных этапах плавки;
- контролировать состояние и толщину футеровки;
- контролировать проток и температуру охлаждающей воды через каждый узел установки как визуально, так и встроенной автоматикой. Что позволит предотвратить выход из строя дорогостоящего оборудования;
- защитить БКК и преобразователь от некачественной воды, благодаря теплообменной станции (вода-вода);
- вести трехсменный режим плавки;
- управлять и отслеживать работу всего комплекса на едином пульте управления.

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		25

Плавильные индукционные печи ИСТ работают по принципу трансформатора, у которого первичной обмоткой является водоохлаждаемый индуктор, вторичной и одновременно нагрузкой – находящийся в тигле металл.

Нагревается и расплавляется металл за счет протекающих в нем токов, которые возникают под действием электромагнитного поля, создаваемого индуктором.

Индукционная печь состоит из собственно из индукционной электропечи (плавильного узла) и комплекта оборудования, необходимого для ее работы. Индукционная печь (плавильный узел) конструктивно выполнена в виде опорной рамы, состоящей из двух стоек сварной конструкции, узла «установка индуктора» и двух гидравлических плунжеров. Каркас узла «установка индуктора» изготовлен из алюминиевого проката.

Индуктор представляет собой многовитковую водоохлаждаемую катушку, выполненную из медной прямоугольной трубки. Электроэнергия и вода к индуктору подводятся по гибким водоохлаждаемым кабелям, соединенным последовательно с индуктором.

Гидравлические плунжеры обеспечивают наклон печи для слива металла на угол до 95 ° за 20 с. Управляют наклоном печи при помощи ручного гидрораспределителя, смонтированного на боковой стойке печи.

Правила работы с воском:

- котел релаксации №1 – дегидратация в спокойном состоянии;
- котел для удаления влаги – выпаривание воды в процессе перемешивания;
- котел релаксации №2 – удаление загрязнений в спокойном состоянии.

Параметры котла релаксации №1:

- температура 85...90 °С;
- время релаксации 6...8 ч.

Параметры котла для удаления влаги:

- температура перемешивания 110...120 °С;
- время для удаления влаги 10...12 ч.

Параметры котла релаксации №2:

- температура 80...85 °С;
- время удаления загрязнений > 12 ч.

Термокамера:

- температура 54±2 °С;
- время > 24 ч.

Необходимо проверить оборудование, верно ли работают термоконтроллеры.

Профильтровать использованный воск, которые поступает из котла для удаления воска в фильтрующий бак для дальнейшей регенерации. Снова поместить воск в котел релаксации, продержать там в спокойном состоянии 6...8 часов при температуре 90 градусов.

После выпадения осадка, поместить воск в котел удаления влаги. В котле для удаления влаги перемешивать при температуре 110...120 °С, добиться испарения воды, убедиться, что на поверхности нет пузырей. После удаления влаги, воск нужно профильтровать через сито с размером зерна менее 60 и поместить в котел релаксации №2 при температуре < 90 °С, держать там более 12 часов.

Из котлов релаксации и испарения воды должны своевременно удаляться осадок и загрязнения. После котла релаксации №2 регенерированный воск можно поместить в термопенал станка для штамповки восковых моделей, для производства формы детали или сливных каналов. В зависимости от характеристик и расхода воска, в котел релаксации добавляют новый воск, примерно 3...5 %.

Когда происходит помещение воска в термокамеру, для уменьшения газов в воске, сначала выдерживают его при температуре 80 °С/2 ч, затем понижают до 54 °С, при 54±2 °С выдерживают 24 часа, затем можно из него делать формы.

Из котлов релаксации №1 и №2 необходимо вовремя удалять воду и загрязнения. При проверке оборудования, уделить внимания термоконтроллерам, так как при сверхвысоких температурах воск может утратить свои свойства.

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

Каждый месяц нужно проверять оборудование по работе с воском, смазывать маслом, масло должно отстоять от верхней части станка на расстояние 200 мм во избежание его переливания, избегайте протечек масла.

Требования к процессу изготовления модели из воска:

- температура  $24 \pm 3$  °С;
- температура в восковом цилиндре  $54 \pm 2$  °С (для крупных деталей требуется дополнительная настройка);
- температура в аппарате для впрыскивания воска 57...64 °С;
- давление впрыскивания 4,2 МПа (42 кгс/см<sup>2</sup>) ;
- время впрыскивания 5...15 с;
- охлаждение  $< 10$  °С.

Перед началом работу требуется проверить давление масла, температуру в станке для штамповки восковых моделей, работают ли кнопки. Отрегулировать давление впрыскивания воска, температуру, время впрыскивания, время охлаждения.

При переключении воска из термокамеры в восковый цилиндр станка для штамповки моделей. Нужно удалить верхний слой воска, смешанного с воздухом.

Когда форма помещается на рабочее место станка для штамповки моделей, нужно проверить, совпадает ли высота отверстия формы для воска и аппарата для впрыскивания воска, проверить на месте ли сердечник формы, нормально ли она смыкается.

Раскрыть форму, распылить тонким слоем разделяющий реагент, сомкнуть форму, впрыснуть воск. Двумя руками нажать на кнопки, сжать форму. Извлечь сердечник, раскрыть формы, аккуратно достать восковую форму, поместить в холодную воду и оставить на плоской поверхности охлаждаться. Проверить форму по следующим признаком, если эти признаки есть, то она непригодна для использования:

- есть большие пузыри воздуха;

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28

- грани формы нечеткие;
- видоизменения, которые нельзя устранить;
- размеры не соответствуют требованиям.

Очистить остатки воска с формы, продуть матрицу сжатым воздухом, очистить крошки воздуха с сердечника, смазать. Нельзя применять металлические режущие инструменты для отскабливания.

Нужно вовремя достать восковую модель из холодной воды, очистить волной сжатого воздуха, проверить, положить остывать. Каждый день в конце дня, мягкой тряпочкой протирать форму, при обнаружении повреждения форма сдается в ремонт. Нужно очищать станок для штамповки воска, инструменты, рабочее место.

При штамповке восковых моделей, сначала нужно проверить основные детали, готовы ли они к работе. При работе нельзя резко менять параметры давления.

При использовании новой формы, необходимо правильно собрать матрицу, правильно разобрать, извлечь воск. При хранения восковой формы, важно бережно ее хранить, избегать деформации. Важно правильно подобрать зажимное приспособление.

Требования к процессу очистки восковой модели:

Температура в помещении должна быть  $24 \pm 3$  °С. Перед чисткой формы необходимо проверить четкость граней на поверхности формы, является ли поверхность гладкой и блестящей, без изъянов, соответствуют ли параметры требованиям, не изменилась ли форма.

При помощи лезвия вдоль поверхности формы аккуратно соскоблить выступы и пересекающие форму линии, не повредить форму. Мелкие повреждения можно убрать тряпочкой. Во впадины можно добавить регенерирующий воск, чтобы поверхность была ровной. Пузыри воздуха на поверхности необходимо проколоть, впадины заделать регенерирующим воском. Высокие отливки и складки

необходимо выровнять. Остатки сдуть струей сжатого воздуха, положить на ровную поверхность.

Проверить модель: завершен ли процесс очитки, не изменилась ли форма, соответствует ли модель стандартам.

Требования к процессу пайки модели:

- температура в помещении должна быть  $24 \pm 3$  °С. После пайки, между поверхностью модели и чашей восковых каналов должно быть расстояние не менее 60 мм. После пайки зазоры в восковой модели должны быть 6...8 мм (минимальный 4 мм), расстояние между желобами должно быть не менее 10...12 мм, длина внутренних каналов 8...12 мм;
- выбрать вид литникового канала в зависимости от типа изделия. Проверить восковые каналы на соответствие требованиям. На литниковую чашу канала положить чистую заслонку, чтобы была ровная поверхность без швов. Если есть швы, их нужно устранить термопаяльником, чтобы туда не попала клеевая масса при производстве оболочки. Используя спекшийся воск или термопаяльник осуществить пайку. Соединить литниковый канал с формой, надежно склеить.

При помощи сжатого воздуха удалить остатки воска, подвесить полученную форму для дальнейшей очистки. Закончить работу, убрать рабочее место.

Пайка модели и литниковых каналов должна быть прочной, бесшовной. Должен использоваться один и тот же материал. Если воск накапал, то его необходимо убрать [8].

Требования к процессу очистки формы с литниковыми каналами:

- моющее средство ZF-301 и т.д.;
- температура в помещении должна быть  $24 \pm 3$  °С.

Согласно пропорциям, смешать моющее средство. После пайки форму оставить в покое более чем на 45 минут. Погрузить ее в моющее средство, трижды поводить взад-вперед примерно 5 секунд, достать, убрать жидкость.

Очистить сжатым воздухом. Подвесить на конвейер.

Из одной партии очищенных форм выбрать два сектора и погрузить их в силиказоль с добавлением 0,5 % увлажнителя. Осторожно извлечь, проверить вся

ли поверхность увлажнилась. Если модель полностью увлажнилась, смыть силиказоль, просушить сжатым воздухом, повесить на конвейер. Если поверхность не увлажнилась полностью, то нужно повторить процесс очистки.

Если уровень жидкости понизился, его нужно своевременно восполнить. Если появились белые хлопья, то нужно выждать 24 часа, удалить 2/3 раствора загрязненного раствора, добавить новую жидкость. Обычно один раствор можно использовать 40 дней, 6000...8000 раз). Из очищающего раствора нужно своевременно доставать форму. После использования удалять посторонние предметы, плотно закрывать крышкой.

При очистке должен идти воздухообмен, движение воздуха.

Оборудование, которое используется при создании оболочки:

- миксер: 380V-2,2kw-50Hz ZJ – Ø600 (Ø800) 1400×1000×1100 (мм);
- станок для орошения песком: LS—X) 380V-1.5kw-50Hz;
- аппарат для нанесения песка: FS—X) 380V-4kw-60Hz.

Пропорции для создания внешнего слоя представлены в таблице 2.2.

Чтобы сделать высокие детали (глубокие отверстия, глубокие пазы, маленькие отверстия, много отверстий, несквозные отверстия), можно использовать двойной слой циркониевого порошка с клеевой массой ; если деталь обычная, то как правило используют один верхний слой и один переходный слой. Для небольших деталей (менее 50 кг) достаточно 4-х с половиной слоев.

Вязкость клеевой массы измеряется вискозиметром.

Температура в помещении: для первого слоя  $24 \pm 2$  °С; для заднего слоя:  $24 \pm 3$  °С. Скорость перемешивания клеевого слоя 22...30 г/мин.

Время перемешивания:

- для первого слоя, для полностью нового сырья время перемешивания  $\geq 24$  ч, если частично новое сырье, то  $\geq 12$  ч;
- для переходного и заднего слоя, для полностью нового сырья  $\geq 10$  ч, для частично нового сырья  $\geq 5$  ч.

Технология перемешивания представлена в таблице 2.3.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		31

При перемешивании важно загружать все материалы в правильной последовательности, сначала силиказоль, потом увлажнитель, циркониевый песок, антивспениватель, в такой последовательности.

При перемешивании обязательно соблюдать чистоту, не позволять попасть восковым крошкам, также нельзя, чтобы было слишком много пузырьков воздуха. Вязкость необходимо измерять каждый день в начале и конце смены, вести записи. Сырье для первого слоя полностью менять необходимо раз в месяц.

Таблица 2.2 – Пропорции и характеристики покрытия

Пропорции и характеристики		Верхний слой	Переходный слой	Укрепляющий слой	Влагостойкий слой
Виды материалов					
Пропорции	Силиказоль/кг	10	10	10	10
	Циркониевый порошок/кг	30...36	–	–	8...10
	Песок кальцинированного каолина /кг	–	16...17	14...15	–
	Увлажнитель/мл	20...30	–	–	–
	Антивспениватель/мл	15...20	–	–	10
Хар-ки	Вязкость/с	50±5 с	20±2 (предварительно увлажненный)	предварительно увлажненный 25±2 не увлажненный 13±1	6...8
	Удельный вес, г/мл	2,70...2,80	1,82...1,85	1,81...1,83	–

Таблица 2.3 – Технология перемешивания

№	Содержание
1	Проверить нормально ли работает оборудование
2	Загрузить силиказоль в бак
3	Включить миксер
4	При смешении первого слоя, на каждый кг силиказоля пропорционально добавить 2,5 мл увлажнителя (JFC) , равномерно перемешать
5	По пропорции медленно добавить порошок кальцинированного каолина, избегать слипания порошка.
6	При смешении первого слоя, на каждый кг силиказоля добавить 1,8 мл антивспенивающего реагента, равномерно перемешать.
7	После смешения измерить вязкость, если высокая, то добавить силиказоль, если низкая, то добавить порошок
8	После смешения, закрыть миксер, чтобы избежать испарения, но если вязкость слишком высокая, то если испарится немного воды, это может решить проблему.

Чтобы повысить воздухопроницаемость оболочки, уменьшить окисление внешней стороны при литье детали, необходимо в сырье для изготовления заднего слоя добавить графитовый порошок.

В таблице 2.4 представлены требования к изготовлению оболочек.

Процесс создания оболочки:

- проверить соответствует ли форма стандартам, очищена, высушена. Соответствует ли нормам контроля качества. Если обнаружены проблемы, то еще раз очистить форму, чтобы избежать отрицательного результата. Проверить, верно ли работают миксеры и вискозиметр. Температура, влажность в помещении должны соответствовать требованиям;
- предварительно увлажнение первого слоя, снять формы с кронштейна, при температуре примерно 30 °С медленно погрузить ее в смачивающий компонент, повернуть, затем быстро достать. Просушить сжатым воздухом, чтобы форма равномерно покрылась слоем раствора;
- нанести первый слой: предварительно увлажненную форму при температуре примерно 30 °С медленно поместить в клеевую массу, повернуть, проследить, чтобы клеевым слоем покрылись все канавки, углы, коды, отверстия, пазы, все в соответствии с чертежом, потом быстро достать. Обдуть сжатым воздухом все пузыри воздуха, безостановочно поворачивая форму, удалить излишки клея. Поверхность должна быть равномерно покрыта клеевой массой;
- нанесение песка на первый слой: поместить форму, равномерно покрытую клеевой массой, в аппарат для нанесения песка, многократно ее поворачивать, для равномерного нанесения одного слоя циркониевого песка;
- извлечь форму, проверить полностью ли она покрыта песком, стряхнуть, чтобы убрать излишки песка. После нанесения песка форму подвешивают на кронштейн для высушивания;
- первый слой сохнет примерно 6 часов, затем проверить высох ли слой, если то, то приступать ко второму слою. Сдуть остатки песка, поместить форму в увлажнитель, достать, и сразу же покрыть еще одним слоем клея.

Таблица 2.4 – Требования к изготовлению оболочек

Параметры Кол-во слоев	1-ый слой	2-й слой	3,4-й слой	пол слоя (завершающий слой)
Вид слоя	первый	переходный	укрепляющий	укрепляющий
Скорость перемешивания (s)	45...55	20±2	без предварительного увлажнения 13...15 с предварительным увлажнением 25±2	7...8
Размер зерна песка (b)	80...120 циркониевый песок	50...100 циркониевый песок 40...70 кальцинированный каолин	16...30 кальцинированный каолин	-
Температура (°C)	21...27			
Влажность (HR %)	50...70		40...60	
Сила ветра	нет	небольшая	сильная	сильная
Время высыхания (h)	6	> 8	> 12	> 10
Смачивающий реагент	смешать с циркониевым порошком и силиказолем низкой вязкости	силиказоль	обычно 4-й слой не требует смачивания	-

Нанесения песка на второй слой: наносят циркониевый песок, по принципу первого. Если требования к детали невысокие, то при создании второй слоя используется песок кальцинированного каолина, также форма помещается в аппарат для нанесения песка, затем удаляются излишки песка.

Затем форма помещается на кронштейна для высушивания. Второй слой сохнет примерно 8 часов, если слой высох, можно приступать к созданию укрепляющего слоя. Удаляются излишки песка, форма помещается в увлажнитель, затем наносится клеевая масса, как описано ранее. Наносится песок, помещается на кронштейн.

Затем делают 4, 5 й слои (обычно для мелких деталей достаточно 4х слоев), не требуется предварительно смачивания.

Финальный слой: чтобы укрепить оболочку, избежать деформации, делают еще один слой, окунают в форму в клеевую массу, но не добавляют песок. Затем помещают на кронштейн сушится в течение более 6 часов.

Очень важны при сушке влажность, температура в помещении, сила ветра и вязкость. Нужно очень серьезно отнестись к созданию первого и переходного слоев, к смешению клеевой массы, нанесению песка, сушки.

После нанесения первого слоя, после нанесения песка форма не должна подтекать. При нанесении следующего слоя обязательно нужно сдуть слой излишнего песка.

При сушке первого и второго слоев не нужно торопиться, но не стоит и передерживать, чтобы избежать возникновения трещин и др. дефектов. При работе обязательно защищайте глаза и соблюдайте правила работы с оборудованием, соблюдайте технику безопасности. Ведите записи процесса, записывайте также температуру, влажность при сушке.

Удаление воска происходит полностью автоматически.

Параметры полностью автоматического парогенератора:

- макс. объем выпускаемого пара: 0,75 т/ч (750 кг/ч) ;
- расчетное давление: 0,8 МПа;
- рабочее давление: 0,7 МПа;
- площадь теплопередачи: 9,9 м<sup>2</sup>;
- температура пара: 169,9 °С.

Параметры котла для удаления воска:

- расчетное давление: 1,0 МПа;
- рабочее давление: 0,75 МПа;
- расчетная температура: 183 °С;
- рабочая температура: 135...160 °С;
- сырье: водяной пар.

Удаление воска паром высокого давления:

- давление пара для удаления воска: 0,6...0,75 МПа;
- время удаления воска : 6...8 мин (зависит от размера и сложности деталей).

Перед выплавкой воска оболочка должна содержаться при постоянной температуре. При удалении воска давление должно быстро понижаться, но медленно падать. После удаления воска оболочку нужно очистить от остатков воска.

Сначала нужно проверить давление в котле для удаления воска, прогреть его 1...2 раза. Снять уже высушенную форму, очистить ее. Форму быстро положить в котел для удаления воска, закрыть дверь, открыть паровой клапан, давление должно достигнуть 0,6 МПа, работать 2...3 минуты, но время зависит от размеров детали и толщины оболочки. Затем перекрыть паровой клапан, сбросить давление, скорость сброса давления более 1 мин. Когда давление достигнет нулевой отметки, открыть котел для удаления воска, достать оболочку. Проверить качество воска и качество оболочки. Соответствует ли оболочка чертежу. Оставить ее ожидать обжига. Если на поверхности оболочки есть мелкие трещины, то можно закрыть их клеевой массой.

Выпаренный воск поместить в котел релаксации при температуре  $< 90$  °С, оставить в спокойном состоянии при постоянной температуре. После окончания работы очистить оборудование и рабочее место. Перекрыть бойлер.

Термическая обработка металлов – совокупность строго последовательных операций нагрева, выдержки и последующего охлаждения заготовок или готовых изделий по определенным режимам для изменения их структуры и предоставления им необходимых механических, физических, химических и прочих свойств. Основой термообработки являются превращения во внутренней структуре материалов при нагреве и последующем охлаждении.

Термическая обработка этой стали заключается в закалке в воде с 1050...1100 °С. Нагрев до этих температур вызывает растворение карбидов хрома

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		36

( $M_{23}C_6$ ), а быстрое охлаждение фиксирует аустенитное состояние.

Радикальный способ упрочнения аустенитных сталей – холодный наклеп; при деформации 80...90 % предел текучести достигает 980...1170 МПа, а предел прочности 1170...1370 МПа при сохранении достаточно высокой пластичности. Очевидно, что этот способ упрочнения применим лишь для таких видов изделий, как тонкий лист или лента, проволока и т.п. [9].

После закалки структура стали 12Х18Н9Т состоит из аустенита и небольшого количества карбида титана, включения которого располагаются внутри аустенитных зерен. Микроструктура стали, подвергнутой закалке, приведена на рисунке 2.7.

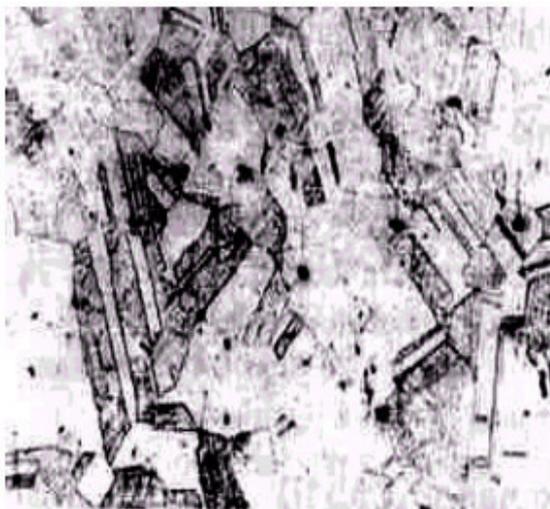


Рисунок 2.7 – Микроструктура стали 10Х18Н9Т после закалки

На модельном участке проверяют модельный состав, модели, блоки моделей, на участке формовки контролируют связующий раствор, суспензию, соблюдение режимов сушки после каждого нанесенного слоя, состояние оболочки после выплавления моделей, на плавильно-заливочном участке проверяют режим прокаливания форм, качество и количество шихты, состояние форм перед заливкой, температуру металла перед заливкой, производят экспресс-анализ его химического состава. Операции выбивки отливок, очистки и обрубки их совмещают со 100 %-ной визуальной проверкой залитых блоков и отделенных от ЛПС отливок.

Оснастку проверяют периодически в измерительной лаборатории или цеховых контрольно-проверочных пунктах. Пресс-формы следует проверять периодически обмером и разметкой партий отливок.

Химический состав отливок определяют методами химического или спектрального анализа. Пробой на химический и спектральный анализ служит обычно прилитый к отливкам образец.

Геометрические размеры отливок контролируют с помощью шаблонов, специальных приспособлений и по плите. Отклонения размеров не должны превосходить допускаемых.

Структуру металла отливок устанавливают макро- или микроанализом при рассмотрении излома специально изготовленных образцов или шлифа.

Дефекты отливок можно разделить на поверхностные, внутренние, отклонения размеров и конфигурации, несоответствия по химическому составу, структуре и механическим свойствам металла.

Повышенная шероховатость отливок является следствием недостаточной подготовки поверхности пресс-формы, плохого качества поверхности модели, плохого смачивания поверхности моделей суспензией, пробивания первого слоя суспензии песком при обсыпке, образования в полости формы налета кремнезема.

Рабочая поверхность пресс-формы должна быть тщательно очищена от остатков модельного состава, воды, лишнего смазочного материала. Суспензия плохо смачивает модели, если на их поверхности остаются следы смазочного материала пресс-формы. Для устранения этого явления в суспензию вводят поверхностно-активные вещества, улучшающие смачивание модели суспензией. Налет кремнезема в формах появляется при неполном гидролизе этилсиликата. Обычно это наблюдается при гидролизе малым количеством воды.

Заливы и наплывы на поверхности отливок образуются из-за проникания расплава в трещины оболочковой формы. Трещины в форме могут образоваться как следствие ее недостаточной прочности. Низкая прочность оболочковой формы вызывается использованием некачественных исходных материалов, плохим качеством гидролизованного раствора ЭТС, нарушениями режимов нанесения

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>38</i>

суспензии на модель и режимов сушки и прокаливания

К внутренним дефектам отливок относятся:

- засоры – обычно образуются из-за попадания песчинок в форму при формовке в сыпучий наполнитель, а также смывания расплавом «заусенцев» на форме, образующихся между моделью и литниковой системой при небрежной пайке;
- усадочные раковины и пористость – возникают из-за недостаточного питания отливки при затвердевании, при чрезмерно высокой температуре расплава и формы, из-за нарушений химического состава расплава;
- газовые раковины – образуются как следствие недостаточной газопроницаемости оболочковой формы и образования «воздушных мешков» при неправильной конструкции литниково-питающей системы;
- горячие трещины – являются результатом нетехнологичности конструкции отливки (сочетание тонких и массивных стенок, наличие острых углов, недостаточных размеров галтелей и переходов и т.д.), а также высокой температуры заливки и недостаточной податливости формы.

Отклонения размеров и конфигурации отливки от заданных могут быть вызваны разными причинами. Главными из них являются нестабильность усадки модельного состава и деформация оболочковой формы в процессе прокаливания, а также нестабильность усадки металла отливки. На точность размеров и конфигурации отливки влияют также режимы сушки и прокаливания оболочковой формы.

На нестабильность усадки пастообразных модельных составов в большой степени влияет, например, воздух, содержащийся в них. Воздух уменьшает объемную усадку модели, но вследствие непостоянства его содержания в разных моделях в партии вызывает существенную нестабильность размеров моделей при усадке.

На деформацию оболочковой формы наибольшее влияние оказывают полиморфные превращения ее материала при нагреве и вызванные ими изменения размеров рабочей полости. Поэтому перспективными для получения точных форм

и соответственно отливок являются материалы, не имеющие полиморфных превращений при нагреве и охлаждении и обладающие малым ТКЛР (плавленый кварц, высокоглиноземистый шамот и т.д.).

Несоответствия химического состава и структуры отливок заданным могут быть вызваны отклонениями в составе шихтовых материалов, нарушениями режимов плавки сплава и режимов охлаждения отливки в форме.

Несоответствие механических свойств отливки заданным обычно вызывается несоответствием химического состава и структуры требуемым, а также наличием усадочных дефектов (раковин и пористости) в отливке, повышенным содержанием газов в металле. Кроме использования известных металлургических средств для устранения этих дефектов внимание следует обращать также на технологичность конструкции отливки, конструкцию литниково-питающей системы, которая должна обеспечить питание усадки отливки, и на взаимное расположение отливок в блоке и отливок относительно элементов литниково-питающей системы. При неправильном расположении отдельные части отливок, расположенные близко одна к другой, могут создавать тепловой узел, приводящий к замедленному затвердеванию этих частей и образованию в них дефектов [10].

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		40

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛАВИЛЬНОГО И ФОРМОВОЧНОГО УЧАСТКОВ

#### 3.1 Расчет фондов времени

Режим работы литейных цехов определяется организацией производства и количеством рабочего времени трудящихся и оборудования.

Проектируемый цех относится к категории литейных цехов крупносерийного производства, в котором выполнение большинства трудоемких операций механизировано и автоматизировано.

На основании небольшого объема выпуска выбираем односменный параллельный режим работы, при пятидневной рабочей неделе и восьмичасовом рабочем дне. При этом режиме работы все основные технологические процессы изготовления отливок производятся в одну смену.

Различается три основных фонда рабочего времени:

- календарный ( $\Phi_K$ ), учитывающий полное годовое календарное время;
- номинальный ( $\Phi_H$ ), учитывающий полное годовое рабочее время без потерь;
- действительный ( $\Phi_D$ ), учитывающий полное годовое рабочее время с неизбежными потерями.

Для определения действительного фонда времени работы оборудования из номинального фонда времени условно исключается время пребывания его в плановых ремонтах, установленное нормами системы планово-предупредительных ремонтов. Календарный фонд времени составляет 8760 часов.

Для определения действительного фонда времени работы рабочих из номинального фонда времени вычитается время пребывания рабочего в отпуске.

В случае пятидневной рабочей недели, восьмичасовой смены номинальный фонд времени составляет для рабочих  $\Phi_H=2070$  часов и для оборудования  $\Phi_H=2070$  часов.

Действительный фонд времени составляет [11]:

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		41

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{\Phi_{\text{н}} \cdot (100 - \alpha)}{100}, \quad (3.1)$$

где  $\Phi_{\text{н}}$  – номинальный фонд времени, ч;

$\alpha$  – потери времени, %.

Расчет действительного фонда времени для оборудования представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Действительный годовой фонд времени работы оборудования

Оборудование	Число смен в сутки	Номинальный фонд времени, ч	Потери времени, %	Действительный фонд времени, ч
Формовочное оборудование	1	2070	8	1904
Плавильное оборудование	1	2070	3	2008

Цехи литья по выплавляемым моделям различают по роду сплава, массе отливок, объему производства, серийности, степени механизации.

Проектируемый цех литья по выплавляемым моделям относится к цехам:

- по виду литейного сплава: стального литья;
- по массе отливок: мелкого литья (до 100 кг);
- по объему производства: со средним выпуском;
- по серийности производства: мелкосерийного производства;
- по степени механизации: механизированный.

В состав цеха входят производственные, вспомогательные отделения (участки) и склады.

К производственным отделениям, где выполняется собственно технологический процесс изготовления отливок, относятся следующие:

- модельное;
- изготовления оболочковых форм;
- плавильно-прокалочное-заливочное;
- термообрубное.

К вспомогательным относят следующие отделения:

- подготовки формовочных материалов и шихты;

- ремонта пресс-форм и другой технологической оснастки;
- мастерские механика и энергетика;
- цеховая лаборатория.

К складам относят закрытые склады шихтовых, формовочных, горючих материалов, готовых отливок и т.д.

В цехе предусматривают также помещения санитарно-бытового назначения, общественного питания, здравоохранения, а также административные помещения [12].

### 3.2 Программы цеха, расхода материалов

Точная программа предусматривает разработку технологических данных для каждой отливки и применяется при проектировании цехов крупносерийного и массового производства с устойчивой номенклатурой, представленной в таблице 3.2. Отливки изготавливаются из стали 12Х18Н9ТЛ ГОСТ 977-88.

Таблица 3.2 – Точная производственная программа

Название отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Годовой выпуск, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5
1. Аппарат направляющий 1	12Х18Н9ТЛ	21,30	822	17,50
2. Аппарат направляющий 2	12Х18Н9ТЛ	19,80	884	17,50
3. Аппарат направляющий 3	12Х18Н9ТЛ	25,40	1033	26,25
4. Колесо рабочее 1	12Х18Н9ТЛ	38,60	680	26,25
5. Колесо рабочее 2	12Х18Н9ТЛ	34,50	1268	43,75
6. Колесо рабочее 3	12Х18Н9ТЛ	28,90	1514	43,75
7. Колесо рабочее 4	12Х18Н9ТЛ	24,60	2134	52,50
8. Колесо рабочее 5	12Х18Н9ТЛ	19,50	2692	52,50
9. Колесо рабочее 6	12Х18Н9ТЛ	17,40	2011	35,00
10. Колесо рабочее 7	12Х18Н9ТЛ	15,20	2303	35,00
Итого			15341	350,00

Основой для расчета плавильного отделения является ведомость расхода металла на залитые формы, представленная в таблице 3.3, которая составляется на основе точной производственной программы цеха.

Таблица 3.3 – Ведомость расхода металла на залитые формы

Название отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Годовой выпуск, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5
1. Аппарат направляющий 1	12Х18Н9ТЛ	21,30	822	17,50
2. Аппарат направляющий 2	12Х18Н9ТЛ	19,80	884	17,50
3. Аппарат направляющий 3	12Х18Н9ТЛ	25,40	1033	26,25
4. Колесо рабочее 1	12Х18Н9ТЛ	38,60	680	26,25
5. Колесо рабочее 2	12Х18Н9ТЛ	34,50	1268	43,75
6. Колесо рабочее 3	12Х18Н9ТЛ	28,90	1514	43,75
7. Колесо рабочее 4	12Х18Н9ТЛ	24,60	2134	52,50
8. Колесо рабочее 5	12Х18Н9ТЛ	19,50	2692	52,50
9. Колесо рабочее 6	12Х18Н9ТЛ	17,40	2011	35,00
10. Колесо рабочее 7	12Х18Н9ТЛ	15,20	2303	35,00
Всего			15341	350,00

Продолжение таблицы 3.3

Название отливки	Брак по вине литейного цеха			Отливается в год с учетом брака	
	%	шт	т	шт	т
1	6	7	8	9	10
1. Аппарат направляющий 1	4,00	34	0,72	855	18,22
2. Аппарат направляющий 2	3,50	32	0,63	916	18,13
3. Аппарат направляющий 3	3,00	32	0,81	1065	27,06

Продолжение таблицы 3.3

Название отливки	Брак по вине литейного цеха			Отливается в год с учетом брака	
	%	шт	т	шт	т
1	6	7	8	9	10
4. Колесо рабочее 1	3,20	22	0,87	702	27,12
5. Колесо рабочее 2	3,10	41	1,40	1309	45,15
6. Колесо рабочее 3	3,50	55	1,58	1568	45,33
7. Колесо рабочее 4	4,20	92	2,27	2227	54,77
8. Колесо рабочее 5	2,80	78	1,52	2770	54,02
9. Колесо рабочее 6	3,30	68	1,19	2080	36,19
10. Колесо рабочее 7	3,10	74	1,12	2376	36,12
		527	12,11	15869	362,11

Продолжение таблицы 3.3

Название отливки	Литниковая система			Всего, т
	литниковая система на одну отливку, кг	отливка с литниками, кг	литников на годовую программу, т	
1	11	12	13	14
1. Аппарат направляющий 1	19,17	40,47	16,40	34,62
2. Аппарат направляющий 2	17,82	37,62	16,32	34,45
3. Аппарат направляющий 3	22,86	48,26	24,36	51,42
4. Колесо рабочее 1	34,74	73,34	24,40	51,52
5. Колесо рабочее 2	31,05	65,55	40,63	85,78
6. Колесо рабочее 3	26,01	54,91	40,80	86,12
7. Колесо рабочее 4	22,14	46,74	49,30	104,07
8. Колесо рабочее 5	17,55	37,05	48,61	102,63
9. Колесо рабочее 6	15,66	33,06	32,57	68,76
10. Колесо рабочее 7	13,68	28,88	32,51	68,63
			325,90	688,00

### 3.3 Выбор технологического оборудования с предоставлением параметров

Для плавки стали 12Х18Н9ТЛ в цехе используется индукционную тигельную печь ИСТ-0,16 (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Индукционная тигельная печь ИСТ-0,16

Индукционные печи серии ИСТ позволяют:

- плавить сталь, чугун, а применяя специальные тигли цветные металлы (алюминий, медь);
- сливать металл в одну точку, благодаря смещенного центра поворота плавильного узла;
- поднимать плавильный узел гидравликой или тельфером;
- контролировать процесс плавки используя цифровую систему управления с подачей максимальной мощности на различных этапах плавки;
- контролировать состояние и толщину футеровки;
- контролировать проток и температуру охлаждающей воды через каждый узел установки как визуально, так и встроенной автоматикой. Что позволит предотвратить выход из строя дорогостоящего оборудования;

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ

лист

46

- защитить БКК и преобразователь от некачественной воды, благодаря теплообменной станции (вода-вода);
- вести трехсменный режим плавки;
- управлять и отслеживать работу всего комплекса на едином пульте управления.

Плавильные индукционные печи ИСТ работают по принципу трансформатора, у которого первичной обмоткой является водоохлаждаемый индуктор, вторичной и одновременно нагрузкой – находящийся в тигле металл.

Нагревается и расплавляется металл за счет протекающих в нем токов, которые возникают под действием электромагнитного поля, создаваемого индуктором.

Индукционная печь состоит из собственно из индукционной электропечи (плавильного узла) и комплекта оборудования, необходимого для ее работы. Индукционная печь (плавильный узел) конструктивно выполнена в виде опорной рамы, состоящей из двух стоек сварной конструкции, узла «установка индуктора» и двух гидравлических плунжеров. Каркас узла «установка индуктора» изготовлен из алюминиевого проката.

Индуктор представляет собой многовитковую водоохлаждаемую катушку, выполненную из медной прямоугольной трубки. Электроэнергия и вода к индуктору подводятся по гибким водоохлаждаемым кабелям, соединенным последовательно с индуктором.

Гидравлические плунжеры обеспечивают наклон печи для слива металла на угол до 95 ° за 20 с. Управляют наклоном печи при помощи ручного гидрораспределителя, смонтированного на боковой стойке печи.

На основании ведомости расхода металла на залитые формы составляем баланс металла, представленный в таблице 3.4.

Металлозавалка рассчитывается по формуле [3]:

$$M = \frac{\Gamma + Л + Б}{100 - П} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где М – годовая металлозавалка по выплавляемой марке, т.;

Г – масса годных отливок, т.;

Б – масса бракованных и опытных, отливок, технологических проб, т.;

Л – масса литников и прибылей, т.;

П – безвозвратные потери металла, %.

После расчета металлозавалки определяются остальные значения статей.

$$M = \frac{350 + 12,11 + 325,9}{(100 - 0,1 - 0,5 - 3)} \cdot 100 = 713,69 \text{ т.}$$

Таблица 3.4 – Баланс металла

Наименование статей	12X18H9TЛ	
	%	т
1. Годные отливки	49,04	350,00
2. Брак отливок	1,70	12,11
3. Литники и прибыли	45,66	325,90
4. Пробы технологические	0,10	0,71
5. Сливы и сплески	0,50	3,57
Итого жидкого металла	97,00	692,28
6. Угар и безвозвратные потери	3,00	21,41
Металлозавалка	100,00	713,69

После выбора типа агрегата необходимо установить его вместимость.

Вместимость печи лимитируется временем заливки полученного сплава, определим вместимость печей по формуле [13]:

$$G = \frac{V_{\Gamma} K_{\text{H}} \tau}{\Phi_{\text{д}}}, \quad (3.3)$$

где G – расчетная вместимость печи, т;

$V_{\Gamma}$  – годовое количество потребляемого жидкого металла (с учетом брака);

$K_{\text{H}}$  – коэффициент неравномерности потребления и производства;

$\tau$  – длительность разливки одной плавки, ч

$\Phi_{\text{д}}$  – годовой действительный фонд времени рассчитываемого оборудования.

$$G = \frac{692,28 \cdot 1,1 \cdot 0,3}{2008} = 0,12 \text{ т.}$$

Из стандартного ряда печей выбираем печь емкостью 160 кг.

Для выплавки стали в цехе применяют индукционную тигельную печь ИСТ-0,16 [4]:

Технические характеристики печи ИСТ-0,16:

- мощность плавления, кВА 200;
- производительность max, т/ч 0,16;
- номинальная емкость, т 0,16.

В цехе материалом для отливок служит сталь марки 12Х18Н9ТЛ ГОСТ 5632-72. Химический состав стали представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Химический состав стали 12Х18Н9ТЛ по ГОСТ 5632-72 [14]

Массовая доля элементов, %										Примеси не более, %		
C		Mn		Si		Cr		Ni		S	P	Cu
min	max	min	max	min	max	min	max	min	max			
0,070	0,120	1,000	2,000	0,200	1,000	12,000	14,000	8,000	11,000	0,030	0,035	0,300

Целесообразно вести расчёт на 100 кг шихты, тогда масса компонентов в килограммах и их процентные соотношения численно совпадут, что упрощает расчёт. Расчет шихты проведем на компьютере в программе Excel. Ведомость расхода шихтовых материалов приведена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Ведомость расхода шихтовых материалов

Наименование материала	Расход материалов для	
	%	т
Возврат	45,66	325,90
Лом стальной ГОСТ 2787-86	36,67	261,68
Никель Н2 ГОСТ 849-2008	4,99	35,59
Ферросилиций ФС75 ГОСТ 1415-93	0,26	1,84
Ферромарганец ФМн75 ГОСТ 4755-91	0,85	6,05
Феррохром ФХ001 ГОСТ 4757-91	11,58	82,63
Итого	100,00	713,69
Шлакообразующие	3,00	21,41
Раскислитель	2,00	14,27

Итого	105,00	749,38
-------	--------	--------

### 3.4 Расчет количества и распределение оборудования на производственных площадях

Расчетное количество плавильных агрегатов  $P_1$  определяется по формуле [11]:

$$P_1' = \frac{V_{\Gamma} \cdot K_{\text{Н}}}{\Phi_{\text{Д}}' \cdot N_{\text{расч}}'} \quad (3.4)$$

где  $V_{\Gamma}$  – годовое количество потребляемого жидкого металла (с учетом брака);

$\Phi_{\text{Д}}$  – годовой действительный фонд времени рассчитываемого оборудования;

$N_{\text{расч}}'$  – производительность оборудования (расчетная), принятая исходя из прогрессивного опыта его эксплуатации;

$K_{\text{Н}}$  – коэффициент неравномерности потребления и производства.

В условиях массового и крупносерийного производства  $K_{\text{Н}} = 1,0 \dots 1,2$ .

$$P_1' = \frac{692,28 \cdot 1,2}{2008 \cdot 0,15} = 2,76.$$

Число единиц оборудования ( $P_2'$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле [11]:

$$P_2' = \frac{P_1'}{K_3} \quad (3.5)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки ( $K_3 = 0,7 \dots 0,9$ ).

$$P_2' = \frac{2,76}{0,8} = 3,31.$$

Принимаем  $P_2' = 4$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле [11]:

$$K_{3\text{Ф}} = \frac{P_1'}{P_2'} \quad (3.6)$$

$$K_{3\text{Ф}} = \frac{2,76}{4} = 0,7.$$

Для выплавки стали принимаем к установке четыре индукционных тигельных печи средней частоты ИСТ-0,16.

В отделении предусмотрено приготовление модельного состава, изготовление модельных звеньев и сборка их в блоки.

Ведомость годовой потребности в модельных звеньях и блоках приведена в таблице 3.7.

Для изготовления моделей применяется следующее оборудование:

- аппарат для подготовки модельного состава, в который входят:
  - котел релаксации №1 – дегидратация в спокойном состоянии;
  - котел для удаления влаги – выпаривание воды в процессе перемешивания;
  - котел релаксации №2 – удаление загрязнений в спокойном состоянии;
- инжектор.

Таблица 3.7 – Ведомость годовой потребности в модельных звеньях и блоках

Название отливки	Марка сплава	Масса отливки, кг	Отливка с литниками, кг	Годовой выпуск с учетом брака, шт	Масса отливок на годовую программу, т
1	2	3	4	5	6
1. Аппарат направляющий 1	12X18H9TЛ	21,3	40,47	855	17,50
2. Аппарат направляющий 2	12X18H9TЛ	19,8	37,62	916	17,50
3. Аппарат направляющий 3	12X18H9TЛ	25,4	48,26	1065	26,25
4. Колесо рабочее 1	12X18H9TЛ	38,6	73,34	702	26,25
5. Колесо рабочее 2	12X18H9TЛ	34,5	65,55	1309	43,75
6. Колесо рабочее 3	12X18H9TЛ	28,9	54,91	1568	43,75
7. Колесо рабочее 4	12X18H9TЛ	24,6	46,74	2227	52,50
8. Колесо рабочее 5	12X18H9TЛ	19,5	37,05	2770	52,50
9. Колесо рабочее 6	12X18H9TЛ	17,4	33,06	2080	35,00
10. Колесо рабочее 7	12X18H9TЛ	15,2	28,88	2376	35,00
Итого					350,00

Продолжение таблицы 3.7

Название отливки	Количество моделей в звене, шт.	Количество звеньев в блоке, шт.	Количество моделей на блоке, шт.	Требуемое количество блоков, шт.	Потери блоков при обмазке	
					%	шт.
1	7	8	9	10	11	12
1. Аппарат направляющий 1	1	1	1	855	5,00	43
2. Аппарат направляющий 2	1	1	1	916	5,00	46
3. Аппарат направляющий 3	1	1	1	1065	5,00	53
4. Колесо рабочее 1	1	1	1	702	5,00	35
5. Колесо рабочее 2	1	1	1	1309	5,00	65
6. Колесо рабочее 3	1	1	1	1568	5,00	78
7. Колесо рабочее 4	1	1	1	2227	5,00	111
8. Колесо рабочее 5	1	1	1	2770	5,00	139
9. Колесо рабочее 6	1	1	1	2080	5,00	104
10. Колесо рабочее 7	1	1	1	2376	5,00	119
Итого				15869		793

Продолжение таблицы 3.7

Название отливки	Потери блоков при вытопке		Потери блоков при прокатке и заливке форм	
	%	шт.	%	шт.
1	13	14	15	16
1. Аппарат направляющий 1	6	51	4	34
2. Аппарат направляющий 2	6	55	4	37
3. Аппарат направляющий 3	6	64	4	43
4. Колесо рабочее 1	6	42	4	28
5. Колесо рабочее 2	6	79	4	52
6. Колесо рабочее 3	6	94	4	63
7. Колесо рабочее 4	6	134	4	89
8. Колесо рабочее 5	6	166	4	111
9. Колесо рабочее 6	6	125	4	83
10. Колесо рабочее 7	6	143	4	95
Итого			4	635

Продолжение таблицы 3.7

Название отливки	Требуемое количество звеньев, шт.	Потери звеньев при запрессовке и сборке		Количество модельных звеньев на годовую программу, шт.
		%	шт.	
1	17	18	19	20
1. Аппарат направляющий 1	984	12	118	1102
2. Аппарат направляющий 2	1053	12	126	1179
3. Аппарат направляющий 3	1225	12	147	1372
4. Колесо рабочее 1	808	12	97	905
5. Колесо рабочее 2	1505	12	181	1686
6. Колесо рабочее 3	1804	12	216	2020
7. Колесо рабочее 4	2561	12	307	2868
8. Колесо рабочее 5	3186	12	382	3568
9. Колесо рабочее 6	2392	12	287	2679
10. Колесо рабочее 7	2733	12	328	3061
Итого	18249		2190	20439

Количество модельного состава на годовую программу определяется по формуле [15]:

$$Q = \frac{M \cdot \rho}{\rho_1 \cdot K}, \quad (3.7)$$

где  $M$  – годовая потребность в жидком металле, кг;

$\rho$  – плотность модельной массы, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_1$  – плотность металла, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент использования возврата модельной массы.

$$Q = \frac{692280 \cdot 910}{7800 \cdot 0,8} = 100957 \text{ кг.}$$

Объем модельного состава на годовую программу определяется по формуле [15]:

$$V = \frac{Q}{\rho}, \quad (3.8)$$

где  $Q$  – количество модельного состава на годовую программу, кг;  
 $\rho$  – плотность модельной массы, кг/м<sup>3</sup>.

$$V = \frac{100957}{910} = 110,9 \text{ кг/м}^3.$$

Количество аппаратов для подготовки модельного состава находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{110,9 \cdot 1,2}{1946 \cdot 0,05} = 1,36.$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

$$P'_2 = \frac{1,36}{0,9} = 1,51.$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{зф} = \frac{1,36}{2} = 0,68.$$

Количество инжекторов находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{20439 \cdot 1,2}{1946 \cdot 10} = 1,26.$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

$$P'_2 = \frac{1,26}{0,8} = 1,57.$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{\text{зф}} = \frac{1,57}{2} = 0,78 .$$

Оборудование, которое используется при создании оболочки:

- миксер: 380V-2.2kw-50Hz ZJ – Ø600 (Ø800) 1400×1000×1100 (мм);
- станок для орошения песком: LS – X) 380V-1.5kw-50Hz.

Расход суспензии на 350 тонн годных отливок при четырех слоях связующего – 140 т.

Количество миксеров находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{140000 \cdot 1,1}{1904 \cdot 50} = 1,6.$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

$$P'_2 = \frac{1,6}{0,9} = 1,8.$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{\text{зф}} = \frac{1,6}{2} = 0,8 .$$

На годовую программу необходимы 18249 блоков, на каждый бок наносится 5 слоев, т.е необходимо  $18249 \times 5 = 91245$  циклов орошения.

Количество станок для орошения песком находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{91245 \cdot 1,1}{1904 \cdot 30} = 1,75.$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

$$P'_2 = \frac{1,75}{0,9} = 1,94 .$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{зф} = \frac{1,75}{2} = 0,87$$

#### Процесс удаления воска

Удаление воска происходит полностью автоматически.

Параметры полностью автоматического парогенератора :

- макс. объем выпускаемого пара: 0,75 т/ч (750 кг/ч) ;
- расчетное давление : 0,8 МПа;
- рабочее давление: 0,7 МПа;
- площадь теплопередачи : 9,9 м<sup>2</sup>;
- температура пара : 169,9°С;

Параметры котла для удаления воска :

- расчетное давление: 1,0 МПа;
- рабочее давление: 0,75 МПа;
- расчетная температура: 183 °С;
- рабочая температура: 135 °С...160 °С;
- сырье: водяной пар.

Удаление воска паром высокого давления:

- давление пара для удаления воска: 0,6...0,75 МПа;
- время удаления воска: 6...8 мин (зависит от размера и сложности деталей).

Производительность составляет от 6 до 10 блоков в час [14].

Количество парогенераторов находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{18249 \cdot 1,1}{1904 \cdot 8} = 1,32.$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		56

$$P'_2 = \frac{1,32}{0,8} = 1,64 .$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{зф} = \frac{1,32}{2} = 0,66 .$$

Прокаливание оболочек проводят в установке 673. Количество установок находится по формуле (3.4):

$$P'_1 = \frac{18249 \cdot 1,3}{1946 \cdot 12} = 1,2 .$$

Число единиц оборудования ( $P'_2$ ), принимаемое к установке в цехе, определяется по формуле (3.5):

$$P'_2 = \frac{1,2}{0,8} = 1,52 .$$

Принимаем  $P'_2=2$ ; Фактическая величина коэффициента загрузки проверяется по формуле (3.6):

$$K_{зф} = \frac{1,2}{2} = 0,6 .$$

#### 4 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ «ОГНЕУПОРНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ В ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ»

Высокая точность размеров, низкий уровень шероховатости поверхности отливок, снижение материалоемкости и трудоемкости их производства, повышение эксплуатационных характеристик деталей – основные требования к современным технологическим процессам литья. Перечисленным требованиям в полной мере удовлетворяет способ точного литья в керамические формы.

Материалами для изготовления керамических форм служат суспензии, химически твердеющие в модельной или стержневой оснастке и состоящие из огнеупорного материала-наполнителя и связующего.

Основные служебные свойства керамических форм зависят прежде всего от применяемых материалов-наполнителей и в меньшей степени от связующих. Правильный выбор материала-наполнителя определяет такие свойства керамических форм, как огнеупорность, тепловое расширение при нагреве, химическая инертность в контакте с жидким металлом и др.

В качестве огнеупорных материалов-наполнителей наиболее широкое применение получили оксиды и силикаты, меньшее – карбиды, бориды, силициды, нитриды и другие соединения (таблица 4.1).

Выбор того или иного материала-наполнителя в значительной мере определяется природными ресурсами и организацией их централизованного производства. В нашей стране наиболее доступными являются кристаллические кварцевые материалы, менее доступными – плавный кварц, корунд, циркон, дистенсилли-манит и др. При выборе материалов-наполнителей важным является их гранулометрический состав. Для приготовления суспензий можно применять один, два, три сорта материала-наполнителя, но обязательно с двумя или тремя различными по величине зерна фракциями. С помощью гранулометрического состава регулируются газопроницаемость формы, размерная точность отливок и качество их поверхности, расход связующего, прочность материала формы и т.д.

Как правило, огнеупорные материалы до их использования подвергают предварительной обработке: промывке, сушке, прокаливанию и просеиванию. В литейном производстве за рубежом потребителю поставляют стандартные огнеупорные смеси,

Таблица 4.1 – Свойства огнеупорных материалов-наполнителей

Название	Температура плавления, К	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент линейного расширения, 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>	Химическая формула
Оксиды				
Песок кварцевый	1983	2650	13,7	SiO <sub>2</sub>
Кварц молотый пылевидный	1983	2650	13,7	SiO <sub>2</sub>
Кварцит	2013	2650	-	SiO <sub>2</sub>
Кварц плавленный	1986	2200	0,5	SiO <sub>2</sub>
Электрокорунд белый	2323	4000	8,6	α Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Глинозем	2288	3650	-	γ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Диоксид циркония	2963	5730	7,2	ZrO <sub>2</sub>
Оксид магния (магнезит)	3073	3570	13,5	MgO
Диоксид титана	2093	4250	8,9	TiO <sub>2</sub>
Оксид хрома	2538	5120	9,6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Оксид кальция	2873	3360	13,8	CaO
Силикаты				
Циркон	2693	4600	5,0	ZrSiO <sub>4</sub>
Дистенсиллиманит	1823	3200...3500	3,0	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>
Шамот	2023	3000	5,3	3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>
Муллит	2103	2800...3100	5,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>
Молохит	2033	2700	4,4	
Кордиерит	1743	2600	8,0	2MgO·2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5SiO <sub>2</sub>
Форстерит	2183	3220	10,0	2MgO·SiO <sub>2</sub>
Стеатит	1828	3190	10,0	MgO·SiO <sub>2</sub>
Алюминаты				
Алюминат магния	2408	3580	-	MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Алюминат кальция	1873	-	-	CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

Вредными примесями в огнеупорных материалах-наполнителях являются оксиды щелочных металлов, карбонаты, железо и его оксиды, в ряде случаев гидроксиды. Так, в широко применяемом пылевидном кварце содержание железа и щелочей должно быть минимальным. Жесткие требования к содержанию примесей железа объясняются следующими обстоятельствами. В кислой среде жидкого связующего происходит окисление железа и нежелательное изменение значения pH связующего, что вызывает преждевременное гелеобразование и, как результат, уменьшение живучести суспензии.

Содержащийся в связующем хлорводород активно взаимодействует с металлическим железом. Интенсивность этого взаимодействия определяется содержанием хлорводорода. Это приводит к вспениванию смеси, повышению ее вязкости под действием выделяющегося водорода, резкому увеличению нестабильности процесса гелеобразования.

При прокаливании керамических форм также происходит окисление металлического железа. Образующиеся при этом оксиды железа ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) вступают во взаимодействие с кварцевым материалом литейной формы. В результате образуются соединения с низкой температурой плавления, которые являются причиной появления на поверхности отливок различных дефектов.

При анализе свойств огнеупорных материалов-наполнителей особое внимание следует уделять коэффициенту линейного расширения.

Кристаллические кварцевые материалы характеризуются весьма высокими коэффициентами линейного расширения ( $13,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) и поэтому не являются в достаточной мере термостойкими с точки зрения требований технологии точного литья. Их применение является одной из основных причин снижения качества и повышения процента брака отливок. Более эффективны зернистые и пылевидные материалы, полученные на основе плавленого кварца, который имеет самый низкий коэффициент линейного расширения ( $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ) среди всех огнеупорных материалов-наполнителей, пригодных для изготовления керамических литейных форм [15].

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		60

В отличие от кристаллического, плавленный кварц имеет неупорядоченное строение, т. е. аморфную структуру. Его получают расплавлением обычного кристаллического кварца и последующим охлаждением.

В качестве алюмосиликатных материалов для керамических форм в нашей стране применяют дистенсиллиманит в зернистом и пылевидном состояниях, а также фракционированный высокоглиноземистый шамот.

В дистенсиллиманите при 1300...1350 °С происходит процесс образования муллита с выделением SiO<sub>2</sub> и увеличением его объема до 15 %. По этой причине дистенсиллиманит требует предварительного обжига с целью частичной муллитизации при температуре выше 1000 °С.

Фракционированный шамот выпускается в нашей стране по ТУ 37.002.0010-80. Основная фракция шамота концентрируется на трех смежных ситах: для марки 0315 – в количестве не менее 80 %, для марки 063 – не менее 90 %. Содержание фракций на верхних и нижних ситах также регламентировано. За рубежом в качестве алюмосиликатов широко используют муллит, который характеризуется небольшим коэффициентом линейного расширения, а также устойчивостью при высоких температурах. Его получают при обжиге каолина с содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не менее 36 %. Зарубежные алюмосиликатные огнеупорные материалы выпускаются как в зернистом, так и пылевидном состоянии.

К огнеупорным материалам-наполнителям, применяемым как в нашей стране, так и за рубежом, относится силикат циркония (минерал циркон). Это высокоогнеупорный, химически инертный к железоуглеродистым сплавам материал, обладающий относительно небольшим коэффициентом линейного расширения ( $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ). Его получают в виде песка в результате обогащения природных рудных песков. При помоле цирконового песка образуется материал в пылевидном состоянии.

Высокое качество и низкая себестоимость являются в настоящее время основными критериями конкурентоспособности продукции литейного производства. Для получения точных отливок из черных и цветных сплавов по

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		61

выплавляемым моделям наибольшее распространение в машиностроении получили оболочковые формы на этилсиликатном связующем с применением в качестве наполнителя суспензии пылевидного кварца, а в качестве обсыпки – зернистого кварцевого песка. Основу огнеупорных материалов составляет диоксид кремния, в котором  $\text{SiO}_2$  находится в фазе природного  $\beta$ -кварца. Этот огнеупорный материал является самым дешевым и легкодоступным из всех встречающихся в природе.

Серийно выпускаемый пылевидный кварц струйного помола обладает грубой остроугольной поверхностью частиц и является практически однородным по зерновому составу, при этом основной фракцией являются частицы менее 50 мкм (около 80...85 % проходит через сито № 005), тогда как для формовочных суспензий в литье по выплавляемым моделям целесообразно применять полифракционный наполнитель с зернами округлой формы, не раскалывающимся в процессе перемешивания [16].

#### 4.1 Диспергирование и активация кварцевого песка

В роли наполнителя был изучен измельченный в шаровой вращающейся и вибрационной мельницах кварцевый песок.

Исходя из проведенного анализа эффективности применения оборудования для активирующего диспергирования кварцевого песка и проведенных работ по диспергированию наполнителя формовочной смеси в двух типов мельниц: шаровой и вибрационной, можно сделать выводы о наиболее рациональной [17].

Диспергирование проводилось в шаровой мельнице. Обогащенный кварцевый песок марки  $5\text{K}_3\text{O}_2\text{O}_3$  (ГОСТ 2138-91) подвергали измельчению при различном соотношении загрузки и мелющих шаров. Для помола песка до удельной поверхности  $1000 \text{ см}^2/\text{г}$  использовались стальные шары разного размера диаметром от 50 до 76 мм. Результаты работ приведены на рисунке 4.2. В таблице 4.2 приведены технические показатели измельчающих аппаратов.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		62

Таблица 4.2 – Технические показатели измельчающих аппаратов

Мельница	Мощность привода, кВт	Объем камеры, м <sup>3</sup>	Время измельчения до крупности менее 50 мкм, ч	Производительность, кг/ч
Шаровая	50	0,34	23,0	100
Вибрационная ВМ-45	45	0,40	1,5	750

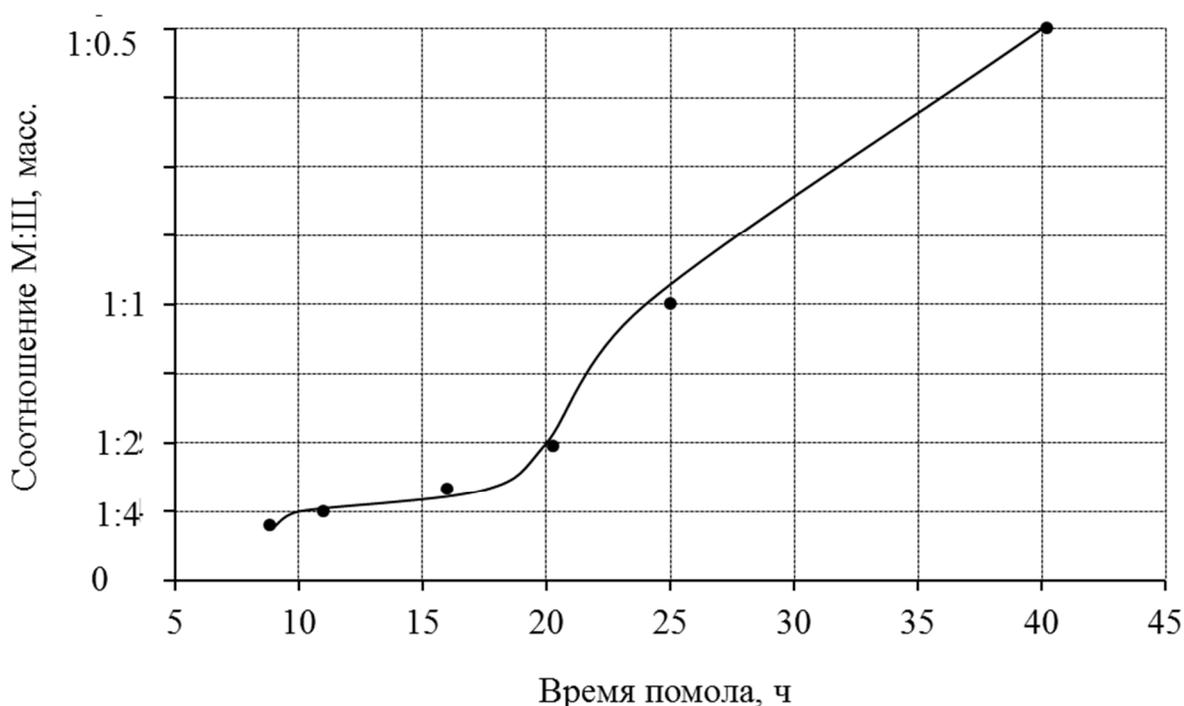


Рисунок 4.1 – Изменение скорости помола кварцевого песка от соотношения загрузки материала и шаров

Когда массовое соотношение материала и мелющих тел стало от 1:0,5 до 1:4 наблюдается рост скорости помола  $\approx 2...3$  раза. Логично предположить, что для уменьшения времени диспергирования песка до требуемого фракционного состава в шаровой мельнице требуется увеличить количество мелющих шаров, что снижает ее производительность. Предпочтительными, с практической точки зрения,

является соотношение М:Ш 1:1,5...3, это обеспечивает время помола 18...32 ч до требуемого зернового состава и удельной поверхности.

На рисунке 4.2 представлена вибромельница марки ВМ-45. Принцип действия вибрационных мельниц основан на приведении массы шаров и измельчаемого материала в круговое колебательное движение посредством вибратора, сопряженного с электродвигателем. Частицы материала, попадая в пространство между шарами, разрушаются.



Рисунок 4.2 – Вибромельница ВМ-45

Колебательные импульсы шара и траектория его движения в помольной камере имеют сложную форму, зависящую от положения шара по отношению к корпусу. Усилия в активной зоне каждого шара, возникающие в процессе колебаний, также определяется его положением, массой всех мелющих тел и условиями взаимодействия шаров.

После анализ полученных экспериментальных данных, стало ясно, что эффективность измельчения в вибрационной мельнице ВМ-45 зависит не только от свойств материала, но определяется также частотой и амплитудой колебания, твердостью, размерами и количеством шаров, формой и объемом помольной

камеры, степенью заполнения ее измельчаемым материалом. Установлены необходимые параметры, а именно, когда шары заполняют около 2/3 объема помольной камеры при объеме загрузки 120...150 дм<sup>3</sup>. Скорость измельчения растет с повышением плотности и твердости материала, из которого изготовлены шары. Исходя из величины частиц исходного и заданной дисперсности измельченного продукта, подобраны наиболее выгодные их размеры – шар или цилиндр Ø15...25 мм. С уменьшением размеров частиц исходного продукта и увеличением требований к его дисперсности необходимо уменьшать размер шаров.

Производительность вибромельницы ВМ-45 составляет 150 кг/ч, мощность 45 кВт, синхронная частота вращения 1500 мин<sup>-1</sup>, габаритные размеры 2,26/0,83/1,47 м (длина/ширина/высота), масса 3000 кг. На рисунке 4.3 представлены графики изменения зернового состава кварцевого песка исходной фракции 0,4 мм в процессе помола его в вибромельнице марки ВМ-45. Зерновой состав определяли на гранулометрическом анализаторе модели 029. Пользуясь данными зависимостями, можно подбирать оптимальное время помола для получения необходимого фракционного состава наполнителя.

По результатам теоретического анализа конструктивных и эксплуатационных преимуществ двух мельниц: шаровой и вибрационной были проведены практические исследования измельченных в них кварцевых песков. Диспергированные в одном временном интервале 30 мин, но в разных мельницах, пески были использованы для приготовления объемных наливных песчано–цементных форм по ЛВМ процессу. Существенным отличительным показателем стала седиментационная устойчивость, которая проявляется при формообразовании. Формовочная смесь на основе диспергированного в вибромельнице песка обладает высокой седиментационной устойчивостью, что напрямую связано с чистотой поверхности отливок. Эффективность измельчения песка в вибрационной мельнице доказывает чистота, четкость и рельефность линий полученной отливки [18].

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		65

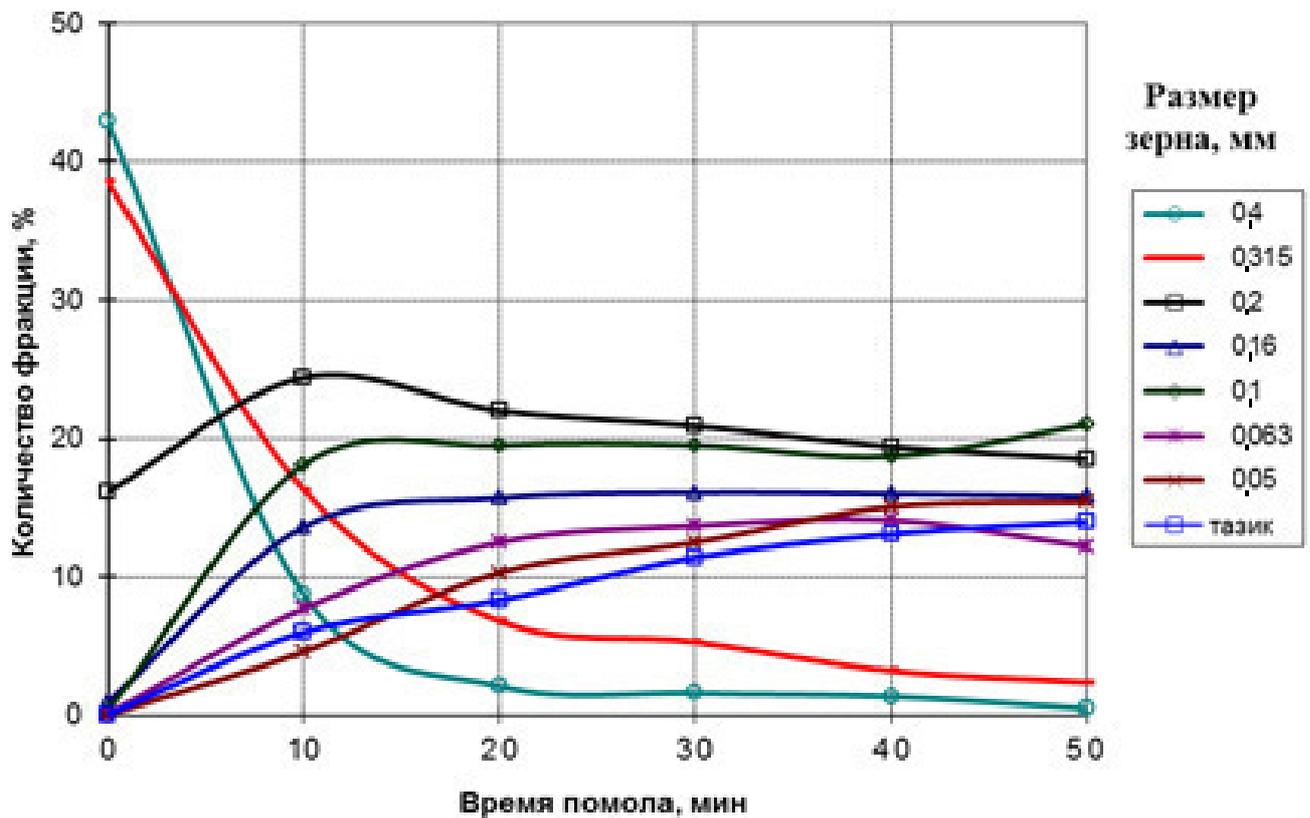


Рисунок 4.3 – Гранулометрический анализ наполнителя, диспергированного в вибромельнице VM-45

#### 4.2 Технология изготовления оболочковых форм на основе диспергированного динаса

Фазовые превращения  $\beta$ -кварца в его  $\alpha$ -модификацию с увеличением объема при температуре 573 °С являются причиной растрескивания оболочек, их пониженной прочности, нарушения конфигурации и засоров отливок. Применение других, более огнеупорных материалов, например, электрокорунда, муллита, дистенсиллиманита значительно повышает себестоимость литья и оправдано лишь для особо ответственных отливок из жаропрочных и тугоплавких сплавов.

Получение динасового наполнителя с тридимитной структурой целесообразно проводить в несколько стадий. Первоначальное дробление отработанного кирпича необходимо осуществлять в щековой дробилке, затем в конусной дробилке. На фото

(рисунок 4.4) изображен кусковой материал, прошедший предварительное дробление в щековой дробилке, а на фото (рисунок 4.5) – последующее измельчение в конусной дробилке. Полученная динасовая крупка – это рабочий материал для последующего тонкого диспергирования. Именно на этапе тонкого диспергирования достигаются требуемые технологические параметры тридимитового наполнителя, процесс сопровождается увеличением поверхностной энергии, и, следовательно, активности материала.

Для различных процессов литья огнеупорные формовочные материалы должны обладать комплексом определенных технологических свойств, которые во многом определяются их зерновым составом и удельной поверхностью частиц. Для тонкого диспергирования неметаллических материалов наиболее широко применяются шаровые вращающиеся и вибрационные мельницы. Вращающиеся мельницы с мелющими телами наиболее просты по конструкции и надежны в работе.



Рисунок 4.4 – Динас, измельченный в щековой дробилке

Помольная камера на 25...40 % объема заполнена мелющими телами (стальные, чугунные или керамические шары) и измельчаемым материалом. При вращении мелющие тела увлекают силой трения и центробежного эффекта стенками барабана, поднимаются на некоторую высоту и падают вниз, измельчая частицы в зоне соприкосновения шаров.



Рисунок 4.5 – Динас после конусной дробилки

На рисунке 4.6 представлено фото диспергированного до удельной поверхности по методу Козени-Кармана  $1500 \text{ см}^2/\text{г}$  в вибрационной мельнице динаса, используемого впоследствии в качестве тридимитной составляющей наполнителя стержневой смеси для изготовления выщелачиваемых керамических стержней в литье по выплавляемым моделям.



Рисунок 4.6 – Пылевидный динас

В качестве огнеупорного наполнителя суспензии и материала обсыпки были использованы порошки электродинаса различной зернистости. Связующим при изготовлении форм являлся спиртовой раствор гидролизованного этилсиликата ЭТС-40 с условным содержанием  $\text{SiO}_2$  16...18 % масс.

Суспензия готовилась отдельным способом, для нейтрализации металлического железа, получающегося в динасе в результате помола металлическими шарами, в нее добавлялась серная кислота. Обсыпка проводилась в

свободно падающей струе зернистого материала, состав наполнителя приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Фракционный состав наполнителя

Размер зерен, мкм	Содержание, % масс.
Менее 50	50...60
50...63	25...30
60...100	15...20

Зависимость условной вязкости суспензии по ВЗ-4 от соотношения жидкой и твердой фаз приведена на рисунке 4.7. А рекомендуемая вязкость суспензии, соотношение связующего и наполнителя, обеспечивающего данное значение вязкости, а также средний размер зерна обсыпочногo материала для различных слоев покрытия приведены в таблице 4.4.

Сушка слоев проводилась в вакуумно-аммиачной камере. Модели удалялись горячим воздухом. Обжиг образцов производился в муфельной печи при температуре 900...950 °С в течение 3-х часов.

Для сравнения аналогичным способом были изготовлены формы с пылевидным кварцем в качестве наполнителя суспензии и кварцевым песком в качестве обсыпки, а также формы на основе кристобалита.

Таблица 4.4 – Параметры огнеупорного покрытия

Слой покрытия	Условная вязкость суспензии по ВЗ-4, с	Соотношение жидкой и твердой фаз, л/кг	Зернистость обсыпки, мкм
I слой	60...75	1 : (2,21...2,25)	160...200
II слой	45...60	1 : (2,10...2,21)	200...315
Последующие слои	32...40	1 : (1,90...2,05)	315...400

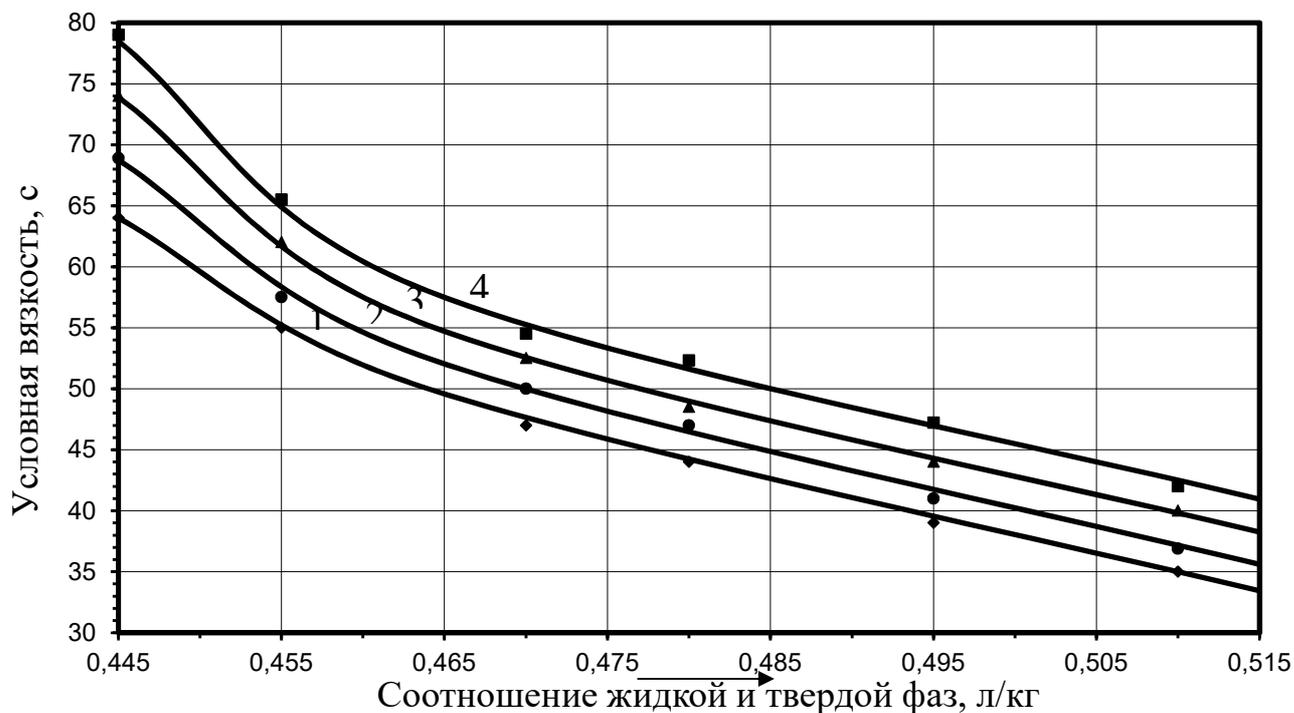


Рисунок 4.7 – Зависимость условной вязкости суспензии от соотношения жидкой и твердой фаз при различной концентрации оксида кремния в ГРЭТС:

1 – 16 % SiO<sub>2</sub> в ГРЭТС, 2 – 18 % SiO<sub>2</sub> в ГРЭТС, 3 – 20 % SiO<sub>2</sub> в ГРЭТС,  
4 – 22 % SiO<sub>2</sub> в ГРЭТС

Для кварцевых образцов наполнителем огнеупорной суспензии служил пылевидный кварц марки А, а присыпкой кварцевый песок 3К<sub>3</sub>О<sub>2</sub>03. Вязкость суспензии для 1-го слоя покрытия на вискозиметру ВЗ-4 составляла 60...65 с, для остальных 40...45 с.

Так как связующее у всех образцов было одинаковым – гидролизированный раствор этилсиликата, то очевидно формирование прочности сырых образцов проходило по одному и тому же механизму независимо от типа наполнителя.

Золь кремнезема обладает хорошими адгезионными и вяжущими свойствами по отношению ко всем дисперсным порошкообразным оксидам кремния. Получающийся при термообработке гель SiO<sub>2</sub> обладает большой реакционной способностью к спеканию.

Огнеупорный наполнитель играет важную роль в процессе прокалики формоболочек, когда из керамики удаляются остатки модельного состава и летучие составляющие связующего.

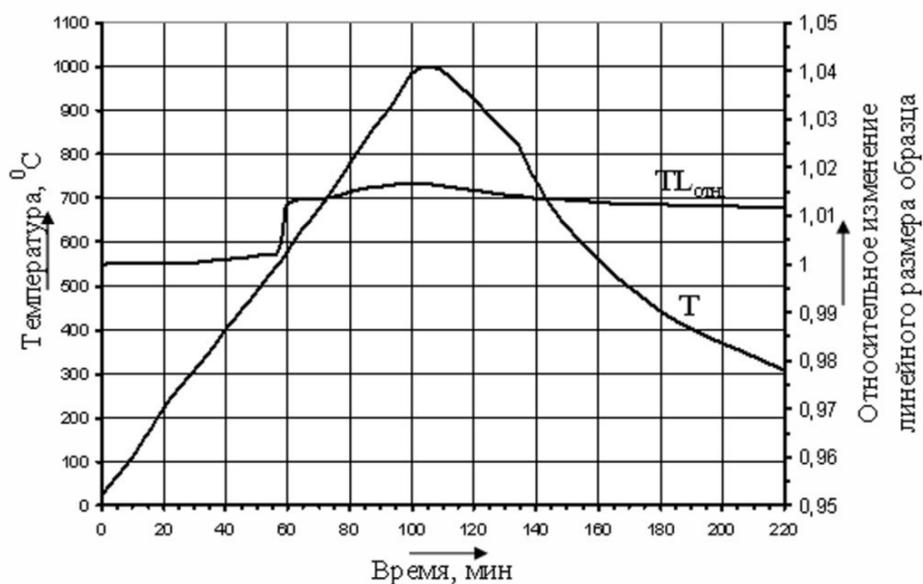
Для повышения термостойкости формоболочек пылевидный диоксид кремния эффективно использовать в фазе тридимита как наполнитель с размером фракции до 100 мкм, а для обсыпки размером зерен 100...400 мкм. Для облицовочного слоя следует применять более мелкозернистый обсыпочный материал, для опорных слоев – более крупнозернистый. В качестве тридимитного материала предлагается молотый динасовый огнеупор марки ЭД, просеянный через калиброванные сита для получения необходимой фракции. Экономически и технологически целесообразно применять динас из отработанной футеровки кислых электродуговых печей, так как он является промышленным отходом с практически нулевой себестоимостью, а его фазовый состав в процессе эксплуатации полностью стабилизирован.

Как можно увидеть на дилатометрических исследованиях (рисунок 4.8), коэффициент термического линейного расширения оболочковых форм с наполнителем в фазе тридимита ниже, чем на  $\beta$ -кварце, а фазовые превращения  $\gamma \rightarrow \beta \rightarrow \alpha$  – тридимит происходят плавно в температурном интервале 115...180 °С, когда формоболочка пропитана модельным составом, и обладает некоторой «эластичностью», способной релаксировать возникающие в процессе прокалики напряжения. Превращения  $\beta \rightarrow \alpha$  – фазу в пылевидном кварце происходят при температуре, когда жесткость формоболочки максимальна, и расширение кварца приводит к напряжениям и трещинам в оболочке.

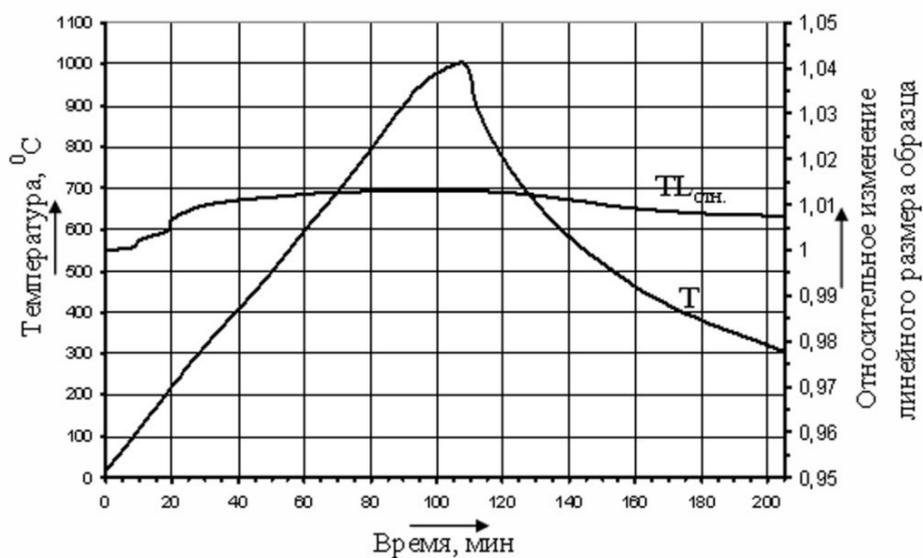
Расширение тридимитового наполнителя жидкостекольных слоев почти совпадает с усадочными процессами, происходящими в жидкостекольном связующем. Эти процессы взаимно компенсируют друг друга и, таким образом, наружные жидкостекольные слои не испытывают усадки и не оказывают сжимающего воздействия на внутренние этилсиликатные слои, как это происходит в формоболочках, где наполнителем и обсыпкой является  $\beta$ -кварц. Результаты

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		71

проведенных испытаний показывают, что по сравнению с формами, изготовленными по известным технологиям, предлагаемые технические решения позволяют увеличить горячую прочность керамических оболочек и уменьшить коэффициент термического линейного расширения в опасном с позиции трещинообразования температурном интервале.



а)



б)

Рисунок 4.8 – Дилатометрические кривые нагрева оболочковой формы: а) наполнитель – кварц, б) наполнитель – динос; кривая T – изменение температуры во времени, TL<sub>отн.</sub> – относительное изменение линейного размера

В таблице 4.5 представлены прочностные характеристики форм на основе различных наполнителей.

Таблица 4.5 – Прочность форм на основе различных наполнителей

Материал формооболочки		Прочность холодная $\sigma_{из}$ , МПа	Прочность горячая $\sigma_{из}$ , МПа	Прочность остаточная $\sigma_{из}$ , МПа
наполнитель	связующее			
пылевидный кварц	ЭТС	2,3...2,8	3,5...3,9	2,2...2,6
	ЭТС+ЖС	2,8...3,6	3,8...4,5	2,8...3,2
ДКП	ЭТС	4,0...4,3	5,9...6,4	3,9...4,3
динас	ЭТС	4,0...4,6	4,8...5,1	3,8...4,1

Это способствует повышению точности форм и, соответственно, уменьшению отклонения размеров отливок от номинальных в 1,5...2 раза и снижению брака отливок по вине форм в 2...3 раза.

Разработан ряд технологических решений, связанных с использованием вместо обычного пылевидного кварца активированных диспергированных наполнителей с кристаллической структурой как  $\beta$ -кварца, так и тридимита [19].

Для снижения вероятности трещинообразования в процессе проковки и заливки форм для их изготовления в качестве наполнителя суспензии опробованы различные материалы на кремнеземистой основе. Взамен стандартного пылевидного кварца был применен дисперсный материал, полученный помолом кварцевого песка в вибрационной мельнице.

Таким образом в диспергированной вибрационной мельнице кварцевый песок имеет полифракционный состав и более округлую форму зерен по сравнению с серийно выпускаемым пылевидным кварцем. Это позволяет улучшить технологические характеристики огнеупорной суспензии и качество отливок. Применение диспергированного динаса уменьшает вероятность трещинообразования форм, что положительно сказывается на качестве отливок.

Вывод: Исходя из имеющихся данных (температура плавления, коэффициент термического линейного расширения) можно сделать вывод, что наиболее

подходящими для проектируемой технологии из серийно выпускаемых являются кварц плавный, циркон, дистенсиллиманит и муллит, но т.к. мелкодисперсный муллит и дистенсиллиманит для нужд ЛВМ в России не выпускается, кварц плавный недостаточно термохимически инертный к химически активным компонентам сплава, то для технологического процесса лучше всего подходит циркониевый порошок. Для ответственного литья из экономических соображений можно также использовать молотый песок.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		74

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 5.1 Общая характеристика литейного цеха

Конструкция здания литейного цеха выполнена в соответствии со СанПиН 2.2.3.1385-03 «Гигиенические требования к предприятиям производства строительных материалов и конструкций».

Основываясь на СП 18.13330.2011 «Генеральные планы промышленных предприятий» (актуализированная редакция СНиП II-89-80) с учетом их требований здание цеха расположено по отношению с ближайшими зданиями жилого комплекса и культурно-бытового назначения с подветренной стороны по отношению к господствующим ветрам.

Температура в цехе в холодный период составляет 15...21 °С, в теплый период 16...27 °С. Предприятие относится ко 2-му классу санитарной классификации по СанПиН 2.2.11.1200-2003 «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и других объектов. Минздрав России». Поэтому территория цеха отделена от жилого массива санитарно-защитной зоной на расстоянии (500 м).

Санитарно-гигиенические требования к вентиляции помещения выполняются по СанПиН 2.04.05-07 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Объем подаваемого воздуха в помещение цеха составляет не менее 60 м<sup>3</sup>/ч на одного работающего. В холодный переходный периоды года подаваемый в здание системами механической вентиляции воздух подогревается, а удаляемый местными отсосами воздух очищается перед выбросом в атмосферу.

В соответствии со СанПиН 2.09.02-07 «Производственные здания» литейное производство относится к категории взрыво-пожароопасных. Категория производства – В. По СанПиН 21-01-07 огнестойкость здания – 2 степени.

Помещение цеха по опасности поражения электрическим током относится ко второму классу. В цехе установлены щиты с противопожарным инвентарем, ящики с песком, огнетушители.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		75

Для минимизации ручного труда в цех установлены автоматические линии и промышленные манипуляторы, которые заменили человека на тяжелых, монотонных и вредных операциях.

Транспортировка грузов предусматривает сквозные проезды 4 м. Во всех отделениях есть проходы 1,5...3 м. Подача сыпучих материалов осуществляется пневмотранспортом.

## 5.2 Опасные и вредные производственные факторы

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-07 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» в цехе точного литья можно выделить следующие опасные и вредные производственные факторы: движущиеся машины и механизмы, различные подъемно-транспортные устройства, повышенная температура поверхности оборудования, пыль, выделение паров и газов, тепловой поток, избыточное выделение теплоты, повышенный уровень шума, вибрация, электромагнитные излучения, повышенное значение напряжения в электрических цепях.

В литейном цехе можно выделить ряд опасных и вредных факторов:

- подвижные части производственного оборудования;
- повышенная температура воздуха рабочей зоны и горячая поверхность оборудования;
- пониженный уровень освещённости;
- повышенный уровень шума;
- повышенный уровень вибрации;
- запылённость воздуха рабочей зоны;
- повышенные значения напряжения в электрической цепи.

Опасные факторы являются причиной травматизма и смертности.

### 5.2.1 Запыленность воздуха рабочей зоны

В литейном цехе к вредным производственным факторам можно отнести пыль, выделяющиеся газы и пары, тепловой поток, источниками которых являются

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		76

плавильные агрегаты, оборудование для приготовления суспензии, участки формовки, выбивки и очистки отливок.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-07 «СББТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» в литейном цехе к опасным и вредным производственным факторам можно отнести пыль, выделяющиеся газы и пары, источниками которых являются плавильные агрегаты, оборудование для приготовления смесей и стержней, участки формовки, выбивки и очистки отливок.

На жизнедеятельность рабочего большое влияние оказывает газовый состав воздуха. Условия считаются благоприятными при следующем составе воздуха:

- кислорода 19...20 %;
- углекислого газа не более 1 %.

ПДК и классы опасности вредных веществ регламентируются ГОСТ 12.1.007-99 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Материалом, содержащим марганец является ферромарганец, применяемый при выплавке стали. Физические и химические свойства марганца температура плавления 1224 °С, температура кипения 2095 °С, плотность 7440 кг/м. Взаимодействует с галогенами, серой, фосфором, углеродом, кремнием. При выплавке стали пары марганца соединяются с кислородом воздуха, образуя окислы в виде бурого дыма. Собранный над расплавленной поверхностью дым состоит из MnO. Введенный извне Mn, накапливаясь в митохондриях, изменяет каталитические, энергетические, обменные процессы. Повышает уровень сахара и молочной кислоты в крови. При любых путях поступления соединений марганца особо резкие нарушения обнаруживаются в головном мозге. Изменения обнаруживаются также в печени, почках, реже в сердечной мышце.

Пары серной кислоты вызывают раздражение слизистой, отравление, а при попадании жидкости на кожу – ожог.

Пыль содержит около 80 % диоксида кремния. Типичное заболевание, возникающее под действием кремнесодержащей пыли – силикоз. Наиболее опасен

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		77

прогрессирующий фиброз лёгочной ткани (пылевой пневмосклероз). Помимо естественной вентиляции, для эффективного распределения воздуха по всему производственному помещению, применяется механическая вентиляция, которая состоит из вытяжной вентиляционной установки. В общем случае цеховая приточная установка включает в себя: воздухоприемное устройство, пористый фильтр для очистки поступающего воздуха, систему кондиционирования для подогрева и охлаждения воздуха, вентилятор.

Кроме общецеховой, предусматривается приточная местная вентиляция – воздушные завесы для защиты производственных помещений от проникновения холодного воздуха при открытии ворот, дверей.

В качестве индивидуальных средств защиты от пыли, при концентрациях, превышающих ПДК, применяют респираторы типа «лепесток».

### 5.2.2 Микроклимат на рабочих местах

Производственный микроклимат – сочетание температуры, влажности и скорости движения воздуха, а в горячих цехах ещё и теплового излучения.

Оценка микроклимата проводится на основе измерений его параметров (температура, влажность воздуха, скорость его движения, тепловое излучение) на всех местах пребывания работника в течение смены и сопоставления с нормативами согласно СанПиН 2.2.4.548-96 и ГОСТ 12.1.005-88, которые устанавливаются с учетом интенсивности энергозатрат работающих, времени выполнения работы, периодов года. Правила и нормы микроклимата предназначены для предотвращения неблагоприятного воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие, функциональное состояние, работоспособность и здоровье человека.

Работы, выполняемые в цехе относятся к работам средней тяжести (категория Пб).

К показателями, характеризующим микроклимат относятся:

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		78

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

К категории Пб (энергозатраты от 201 до 250 ккал/ч (233...290 Вт)) относятся работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать значениям ГОСТ 12.1.005-88.

Интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов, инсоляции на постоянных и непостоянных рабочих местах не должна превышать 35 Вт/м<sup>2</sup> при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м<sup>2</sup> – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 % и 100 Вт/м<sup>2</sup> – при облучении не более 25 % поверхности тела.

Интенсивность теплового облучения работающих от открытых источников (нагретый металл, стекло, «открытое» пламя и др.) не должна превышать 140 Вт/м<sup>2</sup>, при этом облучению не должно подвергаться более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты, в том числе средств защиты лица и глаз.

Кроме того, при обеспечении допустимых величин микроклимата на рабочих местах:

- перепад температуры воздуха по высоте должен быть не более 3 °С;
- перепад температуры воздуха по горизонтали, а также ее изменения в течение смены не должны превышать (при категориях работ Пб) 5 °С.

Средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются одной из мер предупреждения неблагоприятного воздействия на работающих ОВФ РС и ТП. Обеспечение рабочих надежными и эффективными СИЗ, способствует повышению

безопасности труда, снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

### 5.2.3 Шум

Интенсивный шум оказывает негативное влияние на работоспособность человека. Шум затрудняет своевременную реакцию работающих на предупредительные сигналы внутрицехового транспорта, что способствует возникновению несчастных случаев. Уровень шума в производственных помещениях должен соответствовать СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Уровень звукового давления в производственных помещениях, на постоянных рабочих местах и на территории предприятия не должен превышать 80 дБА. Наибольшие уровни шума характерны для участков формовки, выбивки отливок, зачистки и обрубки. Параметры шума и общие требования безопасности регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.562-01.

Общие требования безопасности при использовании машин и оборудования, работа которых сопровождается шумом, допустимые уровни звукового давления на рабочих местах устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.003-03 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». В отделениях цеха, где имеются производства с эквивалентными уровнями шума более 85 дБ, должны быть предусмотрены комнаты отдыха с уровнем шума не более 40 дБ.

Для снижения механического шума используем упругие вставки между деталями и частями агрегатов, а также проводим принудительную смазку трущихся частей, что уменьшает уровень шума на 5...7 дБ. Применение звукопоглощающих кожухов является простым и дешёвым способом снижения шума. Применение индивидуальных средств защиты также уменьшает вредное

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		80

воздействие шума на человека ГОСТ 27409-97 «Шум. Нормирование шумовых стационарного оборудование. Основные положения» [20].

#### 5.2.4 Вибрация

В литейном цехе по ГОСТ 10816.1-97 «Вибрационная безопасность. Общие требования» локальная и общая вибрация второй категории.

Источниками общей вибрации являются сотрясения пола и других конструктивных элементов здания вследствие ударного действия выбивных решеток, центробежных и других машин. Параметры общей и локальной вибрации регламентируются СН 2.2.4/2.1.8.566-01.

Местная и общая вибрация могут вызывать вибрационную болезнь.

Основным средством обеспечения вибрационной безопасности является создание условий работы, при которых вибрация, воздействующая на человека, не превышает некоторых установленных пределов. Параметры вибрации на рабочих местах не должны превышать допустимых величин по ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

#### 5.2.5 Освещение

Основой благоприятных условий труда является рациональное освещение. Неудовлетворительное освещение затрудняет проведение работ, ведёт к снижению производительности труда и работоспособности. Может явиться причиной заболевания глаз и несчастных случаев.

Освещение в производственной деятельности, как фактор охраны труда, имеет большое значение. Недостаточное или неправильно устроенное освещение ухудшает зрение работников, вызывает общее утомление, ведет к снижению производительности труда, к увеличению брака в работе и может явиться одной из основных причиной травматизма. Естественное и искусственное освещение

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		81

производственных и санитарно-бытовых помещений литейного цеха должно соответствовать нормам СанПин 2.1.2.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению».

Кроме естественного освещения через окна и аэрационные фонари в цехе применяется искусственное освещение. Для общего освещения используются газоразрядные источники света типа ДРИ и ДРЛ.

В соответствии со СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» освещение должно обеспечивать санитарные нормы освещённости на рабочих местах, равномерную яркость, отсутствие ярких теней, правильность направления светового потока.

Непостоянство естественного света вызывает необходимость использования искусственного и комбинированного освещения.

Искусственное освещение осуществляется лампами накаливания, ртутными лампами мощностью 250, 400, 700, 1000 кВт. Местное освещение осуществляется установленными на высоте 3...4 м люминесцентными лампами. Предусматривается аварийное освещение для безопасного продолжения работы и выхода людей из помещения при внезапном повреждении освещения.

### 5.3 Безопасность производственных процессов и оборудования

Безопасность литейного производства обеспечивается выбором техпроцессов и производственного оборудования, помещений и исходных материалов, способом их хранения, транспортирования, а также правильным размещением оборудования, установлением функций работающих, их обучением, использованием средств индивидуальной защиты.

Безопасность технологических процессов достигается соблюдением требований ГОСТ 12.2.003-91 (2001) ССБТ «Оборудование производственное. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.3.002-75 (2000) ССБТ «Процессы производственные. Общие требования безопасности», использованием средств

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		82

индивидуальной защиты.

Правильная организация рабочих мест предполагает учет эргономических требований, предусмотренных ГОСТ 12.2.049-80 (2003) ССБТ «Оборудование производственное. Общие эргономические требования».

Расстояние между единицами оборудования, а также между оборудованием и стенами производственных зданий, сооружений и помещений должно соответствовать ГОСТ 12.3.002-75 (2000) ССБТ «Процессы производственные. Общие требования безопасности».

Для обеспечения безопасности операций по переработке исходных материалов, формовочные и шихтовые материалы хранят в закромах и бункерах. На все поступающие в цех шихтовые и формовочные материалы должны быть токсикологические характеристики. На участке приготовления суспензии, изготовления блоков, плавки стали, термообработки и выщелачивания имеется приточно-вытяжная вентиляция, пожарная сигнализация и средства пожаротушения.

Безопасность работ при заливке форм достигается механическим транспортированием расплавленного металла.

Оградительные устройства служат для предотвращения попадания человека в опасную зону, то есть в пространство, где возможно воздействие опасного или вредного производственного фактора.

Механизация и автоматизация техпроцессов освобождает рабочих от тяжелого физического труда, что снижает травматизм.

#### Модельное отделение

В модельном отделении технологическое оборудование имеет высокую температуру поверхности, возможно испарение, горение составляющих модельного состава.

Безопасность труда обеспечивается:

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>83</i>

- приточно-вытяжной вентиляцией для удаления вредных паров согласно ГОСТ 21.602-09 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Скорость отсасываемого воздуха не менее 0,7 м/с;
- оборудование для плавления модельных составов имеет систему терморегуляции и обогреваться паром;
- ограждением по периметру карусели у автомата изготовления модельных звеньев;
- средствами пожаротушения;
- закреплением на стенах памятки «НЕ КУРИТЬ»;
- снабжением рабочих специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.016-83(2001) ССБТ «Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества».

#### Отделение изготовления оболочек

Тары, в которых хранятся химикаты, должны быть в исправном состоянии и иметь этикетку с названием химиката. Хранение «неизвестных» материалов не допускается.

Учитывая это, в отделении проводится следующий комплекс мероприятий:

- рабочие снабжены специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.016-83 (2001) ССБТ «Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества»;
- над емкостями в установках приготовления и нанесения суспензии установлена приточно-вытяжная вентиляция для удаления пыли и вредных паров согласно ГОСТ 21.602-09 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Объем отсасываемого воздуха не менее 1,0 м/с;
- гидролизёры снабжены системой циркуляции воды для поддержания необходимого температурного режима при гидролизе;
- установлены средства пожаротушения и тара с нейтрализатором кислоты;

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		84

- ванна для выплавки модельного состава в горячей воде оборудована укрытием и вентиляционной системой. Скорость отсасываемого воздуха 0,5 м/с.

### Плавильно-заливочное отделение

Безопасность труда обеспечивается правильной эксплуатацией плавильных печей, разливочных ковшей и подъемно-транспортного оборудования, точным соблюдением шихтовки, подготовки печей и ковшей к плавке шихты.

В плавильном отделении используются индукционные печи, которые работают практически бесшумно.

Допустимые величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах от производственных источников, нагретых до темного свечения (материалов, изделий и др.) должны соответствовать значениям ГОСТ 12.1.005-88 (2001) ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху санитарной зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Учитывая это, в цехе проводится следующий комплекс мероприятий:

- для предотвращения замыкания в системе электропитания индукционных печей на щитах и пусковых установках устанавливаются сигнальные лампы;
- для удаления вредных испарений над плавильными печами, печами проковки и в местах охлаждения форм установлена приточно-вытяжная вентиляция для удаления пыли и вредных паров согласно ГОСТ 21.602-9 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
- процесс загрузки шихты в плавильные печи специальными механизированными устройствами;
- после каждого ремонта печи или ковша контролируется качество его выполнения;
- бункеры для шихты имеют угол наклона, обеспечивающий легкое соскальзывание материала;

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		85

- грузовые крюки, траверсы, сварные цепи мостового крана перед пуском в работу, подвергаются освидетельствованию, согласно правилам Ростехнадзора;
- на выходе из цеха имеется световое табло, во время работы крана на нем высвечивается надпись: «Проход закрыт. Работает кран»;
- печи снабжены системой контроля футеровки, которая измеряет утечку тока через футеровку печи, обеспечивает индикацию нормальной работы печи, с выдачей аварийного сигнала и отключением установки;
- безопасность выдачи расплава из плавильных печей достигается тщательной подготовкой и просушкой футеровки желобов печей и ковшей;
- заполнять ковш расплавленным металлом допускается не более чем на 7/8 его высоты;
- для предупреждения травматизма и защиты от теплового и электромагнитного излучения, рабочие снабжены специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.016-83(2001) ССБТ «Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества»;
- электрогидравлическая установка полностью механизирована, оборудована блокировкой, закорачивающей батарею конденсаторов, обеспечена световым табло «Высокое напряжение».

Безопасная работа на складе шихты обеспечивается:

- автоматизацией операций навески шихты и доставки ее к печам;
- движущиеся и вращающиеся детали и механизмы имеют защитные ограждения;
- спецодежда для защиты от повышенных температур по ГОСТ 12.4.016-3(2001) ССБТ «Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества»;
- запрещается загружать шихту в грузовую тару выше борта;
- емкости для хранения сыпучих материалов оснащены крышками, их передача производится пневмотранспортом.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		86

### 5.3.1 Электробезопасность

Электробезопасность в литейном цехе, его отделениях должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими требованиями и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями, а также контролем по

ГОСТ 12.1.019-01 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

Цех точного литья по опасности поражения электрическим током относится ко второй категории согласно ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» (особоопасное), характеризуется наличием химически активной среды, влажностью.

Для защиты электроустановок от перегрузки применяются плавкие предохранители. Рубильники располагаются в заземленных кожухах – ГОСТ 12.1.030-1 (2001) ССБТ «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

Защита от прикосновения к токоведущим частям электрических установок достигается изоляцией, ограждением и расположением в недоступных местах. Проверка изоляции проводится раз в два месяца. Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать: напряжения 2.0 В, силы тока 0,3 мА. По ГОСТ 12.1.038-82 (2001) ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов».

На электрощитах и питающих установках должна содержаться предупредительная надпись типа «Высокое напряжение. Опасно для жизни».

Все оборудование должно быть заземлено. Питающая разводка, проходящая к оборудованию, должна быть закрыта.

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		87

Для индивидуальной защиты в цехе должны применяться монтерские инструменты, резиновые перчатки, галоши, резиновые коврики, вспомогательные приспособления – ГОСТ 12.1.019-79 (2001) ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты».

### 5.3.2 Пожаровзрывобезопасность

Пожаровзрывобезопасность производственных помещений и технологического оборудования литейного цеха во многом определяется наличием горючих газов, паров легковоспламеняющихся жидкостей и горючих жидкостей, горючей пыли. Пожаровзрывобезопасность объекта должна обеспечиваться системой предотвращения взрыва и пожара, системой противопожарной защиты и организационно-техническими мероприятиями по ГОСТ 12.1.004-91(2004) ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования» и ГОСТ 12.1.010-76 (2004) ССБТ «Взрывобезопасность. Общие требования».

Согласно федеральному закону № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 года цех относится к категории В пожароопасных.

Наиболее частыми причинами пожаров служат нарушения технологического режима, неисправность электрооборудования.

В цехе постоянно присутствует расплавленный металл, горючие газы, пыль, пары, поэтому имеет место высокая взрывопожароопасность. Проектируемый цех относится по пожарной опасности к категории «В». Регламентирующие условия пожарной безопасности определяются по ППР «Правила противопожарного режима». Общие требования» и согласно федеральному закону № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 года.

Конструкция здания относится ко второй степени огнестойкости. В профилактических целях на участках устанавливаются щиты с противопожарным

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		88

инвентарем, ящики с песком и огнетушители, сигнализаторы взрывоопасных концентраций и аварийную вытяжную вентиляцию.

Парафины, применяемые в модельном отделении, относятся к горючим жидкостям и обладают температурой вспышки 158...195 °С.

Для предотвращения пожара от коротких замыканий и перегрузки электропроводки устанавливаются плавкие предохранители, а на электродвигателях – тепловые реле. Также предусматривается звуковая сигнализация и связь со службой пожарной охраны завода.

Взрыв или возгорание газообразных или смешанных горючих веществ, смесей наступает при определенном содержании этих веществ в воздухе.

Основными мерами предупреждения взрывов является контроль концентрации пыли. При этом температура деталей оборудования, соприкасающихся с пылью должна быть ниже температуры воспламенения.

Для более раннего обнаружения начавшегося пожара и оповещения о нем, в цехе установлены электрическая пожарная сигнализация, а также используется телефонная сеть.

#### 5.4 Охрана природной среды

Федеральный закон от 10 января 2002 г. N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды". Настоящий Федеральный закон регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации.

Литейное производство, как и другие отрасли промышленности, является загрязнителем окружающей среды. В процессе производства образуются различные газообразные отходы и пыль, которые загрязняют атмосферу, кроме того,

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		89

происходит загрязнение воды, а также образование твердых отходов, таких как шлака, отработанной смеси и др. Наиболее крупными источниками пыли и газовыделений в атмосферу в литейном цехе являются: индукционные тигельные печи; участки складирования и переработки шихты, формовочных материалов; участки выбивки и очистки литья. Снижение, а по возможности предотвращение попадания вредных веществ за пределы цеха, является основной задачей по охране природной среды [21].

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	<i>лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		<i>90</i>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе была разработана технология изготовления отливки «Аппарат направляющий». После анализа чертежа детали, было принято решение изготавливать отливку «Аппарат направляющий» методом литья по выплавляемым моделям из стали марки 12Х18Н9ТЛ в соответствии с ГОСТ 977-88.

Дано подробное описание процесса литья по выплавляемым моделям. Дано описание технологических процессов выплавки стали 12Х18Н9ТЛ.

Спроектированы плавильно-заливочное и модельно-формовочное отделения цеха литья по выплавляемым моделям на годовой выпуск 350 тонн.

Для выполнения заданной годовой производительности было выбрано современное оборудование.

В специальной части рассмотрены огнеупорные наполнители для литья по выплавляемым моделям

					<i>22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		91

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт «Союзмаш»: Протокол заседания по литейному и кузнечно-прессовому производствам. – <http://www.soyuzmash.ru/docs/prot-klkp-260716>.
2. Могилев, В. К. Справочник литейщика: справочник для профессионального обучения рабочих на производстве / В. К. Могилев, О. И. Лев. – Москва: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. «Марочник стали и сплавов». – [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=215](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=215).
4. Чуркин, Б.С. Технология литейного производства: учебник / Б.С. Чуркин – Екатеринбург: Изд. Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. – 662 с.
5. ГОСТ Р 53464-2009 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку (с Изменениями N 1, 2).
6. Теория литейных процессов: учебное пособие / Л. Г. Знаменский, В. К. Дубровин, Б. А. Кулаков, В. И. Швецов. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1999. – 163 с.
7. «Индукционные сталеплавильные печи серии ИСТ» – [https://www.katran.pro/catalog/induktsionnye\\_staleplavilnye\\_pechi\\_serii\\_ist/](https://www.katran.pro/catalog/induktsionnye_staleplavilnye_pechi_serii_ist/)
8. Производство стальных отливок: учебник для вузов / Л.Я. Козлов, В.М. Колокольцев, К.Н. Вдовин и др. / под ред. Л.Я. Козлова. – М.: «МИСИС», 2003. – 352 с.
9. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Учебник для металлургических специальностей: 3-е издание / Ю.М. Лахтин. – М.: "Машиностроение", 1983 г. – 359 с.
10. Чуркин, Б.С. Специальные способы литья: учебно-методическое пособие / Б. С. Чуркин, А. Б. Чуркин, Ю. И. Категоренко; под ред. Б. С. Чуркина. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. – 189 с.
11. Проектирование и реконструкция литейных цехов: учебное пособие к выполнению дипломного проекта / Б. А. Кулаков, Л. Г. Знаменский, О. В. Ивочкина и др. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001. – 144 с.

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		92

12. Литье по выплавляемым моделям / В.Н. Иванов, С.А. Казеннов, Б.С. Курчман и др.; под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова – 3-изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с.

13. «Индукционные сталеплавильные печи серии ИСТ» – [https://www.katran.pro/catalog/induktsionnye\\_staleplavilnye\\_pechi\\_serii\\_ist/](https://www.katran.pro/catalog/induktsionnye_staleplavilnye_pechi_serii_ist/)

14. ГОСТ 5632-72. Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 61 с.

15. Стрюченко, А.А. Керамические формы в точном литье по постоянным моделям / А.А. Стрюченко, Э.В. Захарченко. – М.: Машиностроение, 1988. – 128 с.

16. Дубровин, В.К. Применение отработанного динаса в литье по выплавляемым моделям. Монография / В.К. Дубровин, А.В. Карпинский, О.М. Пашнина // Челябинск: ООО «Абрис-принт», 2009 – 116 с.

17. Дубровин, В.К. Формовочные материалы на основе огнеупорных отходов металлургического производства / В.К. Дубровин // Известия вузов. Черная металлургия. – №7. – 2009. – С. 51 – 54.

18. Патент 2302311 Российская федерация МПК<sup>7</sup> В 22 С 9/04. Способ изготовления керамических оболочковых форм для литья по выплавляемым моделям / В.К. Дубровин, Л.Г. Знаменский, Б.А. Кулаков и др. (РФ). – 2007. – Бюл. №19.

19. Оптимизация параметров технологии формообразования литья по выплавляемым моделям в объемные формы / В.К. Дубровин, Б.А. Кулаков, О.М. Заславская, А.В. Карпинский // Труды XIV Международного съезда литейщиков. – Казань: Российская ассоциация литейщиков, 2019. – С. 182 – 187.

20. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учебное пособие для вузов / П.П Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев, Н.И. Сердюк – М: Высшая школа, 2001. – 319 с.

21. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / под общ. ред. С.В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Вышш. шк., 1999. – 448 с.

					22.03.02.2020.623.00.00 ПЗ	лист
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		93