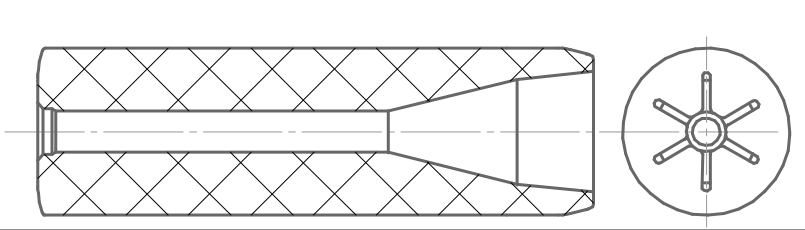
3. Технологическая часть

3.1 Введение

В данной части дипломного проекта рассматривается технологический процесс изготовления заряда формой «звезда» из смесевого твердого ракетного топлива, прочно скрепленного с корпусом РДТТ.

Смесевые твердые топлива являются ярко выраженными гетерогенными, многофазными взрывчатыми системами, представляющими собой смесь, как правило, неорганического окислителя, органического высокомолекулярного горючего-связующего и содержащие специальные добавки (энергетические, эксплуатационные, технологические). По своей структуре СТРТ – высоконаполненные (до 95%) композиционные материалы, в полимерной матрице которых равномерно распределены мелкодисперсные окислитель, металлическое (металлосодержащее) горючее и другие компоненты.

Рисунок 3.1.1 – Геометрия заряда формой «звезда»



Для тактической ракеты, разрабатываемой в дипломном проекте, применяется топливо ПХА-3М. Ниже приведены его основные характеристики:

* Условная химическая формула
* Полная энтальпия -1934 кДж/кг
* Плотность топлива ρт = 1740 кг/м3
* Теплоемкость С = 1179 Дж/(кг⋅К)
* Коэффициент линейного расширения α = 3,3⋅10-4 1/К
* Эксплуатационный интервал температур 220 К – 323 К.

Состав топлива ПХА-3М:

- перхлорат аммония − 66%;

- идеализированное углеводородное горючее − 15%;

- порошкообразный алюминий − 19%.

Этот состав, как и другие высокоэнергетические СТРТ крупногабаритных зарядов представляют собой высоконаполненную гетерогенную композицию, содержащую до 90% твердого наполнителя различной химической природы, в том числе высокочувствительное взрывчатое вещество. В этой связи смешение топливной массы с целью обеспечения безопасности, необходимой воспроизводительности состава и свойств по всему объему заряда проводят в несколько приемов, предварительно получая частные смеси из нескольких компонентов, называемые полуфабрикатами.

Условно принципиальная схема изготовления зарядов СТРТ представлена на рис. 3.1.2

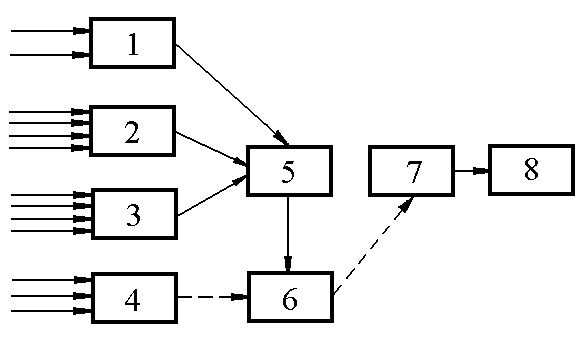


Рисунок 3.1.2 – Схема изготовления:

1 – приготовление РСПК; 2 – приготовление смеси связующего с добавками; 3 – приготовление смеси отверждающих и других добавок; 4 – подготовка корпусов двигателей (пресс-форм) и формующей оснастки; 5 – смешение топливной массы; 6 – заполнение корпусов двигателей (пресс-форм); 7 – отверждение и распрессовка зарядов; 8 – окончательная обработка зарядов, контроль качества и укупорка

Далее в таблице 3.1.1 приведены основные технологические операции при изготовлении заряда СТРТ

Таблица 3.1.1- основные технологические операции

|  |  |
| --- | --- |
| № | Наименование операции |
| 005 | Приготовление РСПК |
| 010 | Приготовление ССД |
| 015 | Подготовка корпуса двигателя и формующей оснастки |
| 020 | Подготовка технологической оснастки |
| 025 | Смешение топливной массы |
| 030 | Заполнение корпуса двигателя |
| 035 | Отверждение и охлаждение заряда |
| 040 | Распрессовка заряда |
| 045 | Контроль качества |

3.2. Технологический процесс

Далее в таблице 3.2.1 предоставлена операционная карта изготовления заряда СТРТ

Таблица 3.2.1 - операционная карта изготовления заряда СТРТ

| № | Содержание операции | Оборудование |
| --- | --- | --- |
| Операция 005. Приготовление | | |
| 01 | Загрузка в смеситель крупной фракции ПХА | Смеситель С-5 |
| 02 | Измельчение крупной фракции ПХА | Струйно – вихревая мельница |
| 03 | Дозирование мелкой фракции ПХА | Вибро – шнековый дозатор |
| 04 | Загрузка мелкой фракции ПХА в смеситель | Смеситель С-5 |
| Операция 010. Приготовление ССД | | |
| 01 | Подогрев каучука в плавителе | Плавитель |
| 02 | Дозирование пластификатора | Дозатор |
| 03 | Смешение связующего с пластификатором | Планетарный смеситель |
| 04 | Загрузка порошкообразного алюминия | Вибро-шнековый дозатор |
| 05 | Перемешивание массы | Планетарный смеситель |
| 06 | Дозирование массы в смеситель | Вибро-шнековый дозатор |
| 07 | Загрузка технологических добавок | - |
| 08 | Смешение ССД | Планетарный смеситель |
| 09 | Отбор массы для анализа | - |
| Операция 015. Подготовка корпуса двигателя | | |
| 01 | Входной контроль | - |
| 02 | Сушка горячим воздухом | Сушильная камера |
| 03 | Приготовление раствора полимера | - |
| 04 | Приготовление раствора отвердителя | - |
| 05 | Нанесение раствора полимера в 2 слоя | Кисть |
| 06 | Сушка | - |
| 07 | Нанесение раствора отвердителя | Кисть |
| 08 | Сушка | - |
| Операция 020. Сборка формообразующей оснастки | | |
| 01 | Входной контроль | - |
| 02 | Установка корпуса на стапель | Кран-балка |
| 03 | Обработка иглы обезжиривающим раствором | Ветошь |
| 04 | Сушка | - |
| 05 | Нанесение грунта на иглу | Кисть |
| 06 | Отверждение грунта | - |
| 07 | Сборка стакана | - |
| 08 | Установка втулки | - |
| 09 | Обработка стакана обезжиривающим раствором | Ветошь |
| 10 | Сушка | - |
| 11 | Нанесение грунта на стакан | Кисть |
| 12 | Отверждение грунта | - |
| 13 | Установка иглы на корпусе | Кран-балка |
| 14 | Проверка герметичности | компрессор, датчик давления |
| 15 | Наполнение сухим воздухом | компрессор |
| Операция 025. Смешение топливной массы | | |
| 01 | Загрузка первой порции РСПК из контейнера смесителя | Смеситель С-5 |
| 02 | Загрузка ССД | Смеситель С-5 |
| 03 | Перемешивание | Смеситель С-5 |
| 04 | Порционная загрузка РСПК и перемешивание | Смеситель С-5 |
| 05 | Перемешивание всей  композиции в вакууме | Смеситель С-5 |
| 06 | Контроль качества топливной массы | - |
| Операция 030. Заполнение корпуса двигателя | | |
| 01 | Проверка температуры и влажности в помещении | Термометр, гигрометр |
| 02 | Подсоединение устройства дистанционного подключения  прессформы | Барокамера |
| 03 | Опрессовка пресс-формы | Барокамера |
| 04 | Перемешивание всей композиции | Смеситель С-5 |
| 05 | Проверка герметичности ситемы | Датчик давления |
| 06 | Слив топливной массы в экструдер | Экструдер |
| 07 | Подача топливной массы в корпус | Экструдер |
| 08 | Отсоединение смесителя и экструдера от сборки | - |
| 09 | Окончательное взвешивание | Весы платформенные |
| 10 | отбор проб топливной смеси на анализ | - |
| Операция 035. Отверждение и охлаждение заряда | | |
| 01 | Подготовка  полимеризационной кабины | Термометр, гигрометр |
| 02 | Помещение корпуса в полимеризационную кабину | Кран-балка |
| 03 | Установка датчиков | - |
| 04 | Термостатирование заряда | Полимеризационная кабина |
| 05 | Ступенчатое охлаждение изделия | Полимеризационная кабина |
| Операция 040. Распрессовка | | |
| 01 | Установка корпуса на стапель | Кран-балка |
| 02 | Извлечение иглы | Кран-балка |
| 03 | Разборка стакана | - |
| 04 | Очистка технологической оснастки | - |
| 05 | Удаление остатков  адгезионного покрытия | - |
| 06 | Сушка | - |
| Операция 045. Дефектоскопия | | |
| 01 | Установка снаряженного корпуса на дефектоскоп | 𝛾-дефектоскоп |
| 02 | Проведение дефектоскопии |  |
| Операция 050. Концевые операции | | |
| 01 | Выходной контроль размеров | - |
| 02 | Контрольное взвешивание | Весы |
| 03 | Укупорка | - |
| 04 | Отгрузка | - |

3.3. Описание операций

Операция 005. Приготовление рабочей смеси порошкообразных компонентов (РСПК)

Применительно к рассматриваемому составу в РСПК входят различные фракции перхлората аммония (ПХА), отличающиеся средним диаметром частиц и удельной поверхностью, а также антислеживающая добавка - аэросил. Как правило, перхлорат аммония используют двух фракций: крупную и мелкую, причем dк/dм=7-10.

В общем случае применение полифракционного наполнителя по сравнению с монофракционным позволяет улучшить реологические характеристики топливной массы при постоянной объемной доле наполнителя или увеличить объемную долю наполнителя при сохранении уровня реологических характеристик.

В рассматриваемом составе используют ПХА с 𝑑к = 200 − 300 мкм и 𝑑м ≤ 50 мкм. Крупный ПХА поступает на производство зарядов готовым, а мелкий - получают непосредственно на производстве путем измельчения крупного до требуемой величины удельной поверхности перед началом изготовления топливной массы с помощью струйно-вихревой мельницы.

Операция 010. Приготовление смеси связующего с добавками (ССД)

Происходит смешение каучука с пластификатором, порошкообразным алюминием, отверждающими добавками и другими компонентами при этом осуществляется вакуумирование смеси для удаления воздуха и летучих веществ.

Каучук вначале смешивают с пластификатором, а затем в смеситель вводят порошкообразный алюминий и технологические добавки, их смешение происходит в планетарном смесителе поэтапно в требуемом весовом соотношении. Емкость планетарного смесителя обогревается водой 50 °С. Из готовой массы отбирается проба для дальнейшего анализа

Операция 015. Подготовка корпусов двигателей и формообразующей оснастки

Цель операции на этой стадии при подготовке корпусов двигателей- нанесение на его внутреннюю поверхность крепящего (клеящего) состава, обеспечивающего скрепление с зарядом топлива в процессе производства. На внутренней стороне силовой оболочки корпуса имеется защитно-крепящий (крепящий) резиновый слой на основе синтетических каучуков, обладающий достаточной эластичностью по сравнению с материалом силовой оболочки. Его назначение - скомпенсировать внутренние напряжения, возникающие в заряде в результате полимеризационной и температурной усадки при отверждении. Это покрытия наносится в 2 слоя с сушкой.

Регламентируется срок и условия хранения подготовленного корпуса до заполнения топливной массой (~ 10-15 суток).

Операция 020. Подготовка технологической оснастки

В технологическую оснастку входят следующие основные элементы: формующая игла, стакан, узел ввода, система поддавливания и отсечки топливной массы после заполнения и другие. Сущность подготовки заключается в том, что элементы, соприкасающиеся с топливной массой после заполнения корпуса, покрывают антиадгезионным слоем с тем, чтобы после отверждения заряда эти формующие элементы можно было безопасно извлечь (распрессовать заряд). Как правило, для покрытия используют кремнийорганические каучуки в виде раствора. Антиадгезионным покрытие наносится в два слоя с сушкой после каждого нанесения

Операция 025. Смешение топливной массы

Смешение - один из важнейших технологических процессов в производстве зарядов СТРТ. В результате его осуществления формируются реологические свойства топливной массы и выходные характеристики зарядов.

Смешение - вероятностный процесс и с этих позиций его цель - превращение исходной системы, характеризующейся упорядоченным распределением ингредиентов, в систему с неупорядоченным, случайным распределением. С позиции структуры цель смешения - увеличение контакта между компонентами. Идеально перемешанная система, в которой поверхность контакта между дисперсионной средой и дисперсионной фазой равна поверхности всех частиц дисперсной среды

Основные процессы при смешении:

* перенос вещества, в основном конвективный, за счет деформаций сдвига, растяжения и сжатия; диффузия маловероятна из-за большого диаметра частиц и высокой вязкости системы;
* диспергирование, разрушение коагуляционной структуры наполнителя;
* образование граничного слоя связующего на частицах наполнителя (адсорбционно-сольватных оболочек);
* механо-химические процессы - деструкция связующего, подизмельчение частиц наполнителя;
* подотверждение массы вследствие химического структурирования ГСВ;
* дегазация (деаэрация) массы вакуумированием – удаление газовых включений, так как они вызывают ухудшение реологических характеристик массы, пористость массы и заряда (источники: механический захват воздуха, испарение, адсорбция, химические реакции, окклюзия и др.).

При загрузке промежуточных смесей и перемешивании под вакуумом остаточное давление в смесителе 𝑝ост = 15 − 30 мм. рт. ст., температура массы ~ 40 °С, температура воды в рубашке смесителя 15 − 30 °С, температура воздуха в цехе 15 − 30 °С и влажность 𝜑 ≤ 60%.

Операция 030. Заполнение корпусов двигателей

Пресс-форму с технологической оснасткой, подготовленные к заполнению, устанавливают в барокамере, находящейся в шахте на весах в вертикальном положении смеситель С-5, как правило, передвижной, с топливной массой устанавливают над бункером экструдера. А экструдер соединяют с корпусом специальным устройством. Время хранения топливной массы в С-5 после смешения до слива, а также промежутки между очередными сливами в одну пресс-форму регламентируется с учетом жизнеспособности массы- времени сохранения реологических характеристик на допустимом уровне.

При сливе топливной смеси не допускается проскока воздуха в корпус из смесителя, что может произойти в конце слива. Для предотвращения проскоков воздуха снижается темп слива путем регулирования остаточного давления.

Завершив подачу, отсекают топливную массу отсекателем от магистрали и устанавливают редукционный клапан. Извлекают пресс-форму из барокамеры, устанавливают на специальную платформу и транспортируют в термокамеру на отверждение. Часть массы подаваемой в корпус забирается для дальнейшего анализа

Операция 035. Отверждение и охлаждение заряда

Отверждение определяет эффективность всего технологического процесса, так как составляет около 80% общего времени изготовления зарядов СТРТ. Таким образом заряд во время полимеризации термостатируется в камере. Процесс отверждения контролируется датчиками давления и температуры. В случае, если давление топливной массы превышает допустимое, температуру теплоносителей снижают, а время термостатирования продлевают на расчетную величину, учитывающую величину понижения температуры.

Отверждение - физико-химический процесс перехода топливной массы из вязкого или упруговязкого состояния в упругое (вязкоупругое) вследствие структурирования, обусловленного прежде всего химическими реакциями между макромолекулами полимерной основы ГСВ и образованием физической структуры.

Одновременно со структурированием могут идти процессы разложения отдельных компонентов и деструкции, старение образовавшихся высокополимеров. Важная особенность процесса отверждения крупногабаритных зарядов - не стационарность, не изотермичность, наличие полимеризационной усадки. Тепловыделение при структурировании составляет 20 … 30 Дж⁄кг, ∆𝑇 = 20 … 30 °С, полимеризационная усадка может достигать 5%.

С целью обеспечения безопасности ограничивают предельные усилия распрессовки, например, извлечение иглы- 1 ∙ 103 Н.

После завершения процесса полимеризации заряд остужают по ступенчатой схеме, чтобы избежать повышенных термических напряжений в заряде

Операция 040. Распрессовка заряда

Корпус заряда перемещается из камеры термостатирования и закрепляется на стапельном оборудовании в вертикальном положении. Фаза распрессовки занимает отдельное здание. Все опасные операции управляются с пульта. Контроль осуществится по показаниям приборов и телевизору. После из корпуса извлекается формообразующая оснастка. Вынимается игла, затем разбирается и извлекается стакан. После извлечения формообразующую оснастку необходимо очистить от грунта и подготовить к повторному использованию. После этого проводится окончательная обработка заряда. Включает зачистку заряда, удаление остатков адгезионного покрытия.

После маркировки и окончательной технической приемки производят укупорку и отгрузку снаряженного корпуса двигателя.

Операция 045. Дефектоскопия

Производятся проверка монолитности помощью 𝛾-дефектоскопом по диаметральной схеме с шагом 100 мм.

Операция 050. Концевые операции

Проводится выходной контроль размеров заряда. Проводится контрольная проверка веса изделия. После этого проводится укупорка снаряженного корпуса, наносится требуемая маркировка и отправляется на отгрузку

3.4 Расчет равновесной температуры полимеризации

Исходные данные:

Геометрические параметры заряда и корпуса:

Внутренний радиус заряда: 𝑅внутр = 150 мм

Внешний радиус заряда: 𝑅внеш = 638 мм

Внешний радиус корпуса: 𝑅внеш = 650 мм

Механические свойства материала корпуса:

Модуль Юнга: 𝐸 = 200 ГПа

Коэффициент Пуассона: 𝜇𝑥 = 0,3

Напряжение разрушения: 𝜎вк = 685 МПа

Коэффициент запаса прочности: 𝐾к = 1,2

Коэффициент термического расширения: 𝛼 = 10 ∙ 10−6 1⁄К

Остаточная деформация корпуса: 𝜀 = 0,001

Механические свойства топлива:

Модуль Юнга: 𝐸т = 20 МПа

Коэффициент Пуассона топлива: 𝜇т = 0,45

Напряжение разрушения топлива: 𝜎вт = 40 МПа

Коэффициент запаса прочности: 𝐾т = 1,5

Коэффициент термического расширения: 𝛼т = 4 ∙ 10−4 1⁄К

Термическая усадка топлива: ∆тус= 0,0005

Сжимаемость топливной массы: 𝛽т = 0,5 ∙ 10−9 1⁄Па

Давление отсечки: 𝑝отс = 15 МПа

Температура полимеризации:𝑇пол = 350 К

Механические свойства иглы:

Коэффициент термического расширения: 𝛼и = 10 ∙ 10−6 1⁄К

Расчет безразмерных и размерных коэффициентов:

**Расчет предельного давления полимеризации**

**Расчет равновесной температуры**

**Расчет необходимой температуры заполнения**

Средняя температура воздуха:

Степень полимеризации определяется соотношением:

где

Принимая, что время полимеризации определяется условием , получим:

Перепад температуры:

Начальная температура заполнения:

где определяется по рисунку 2.

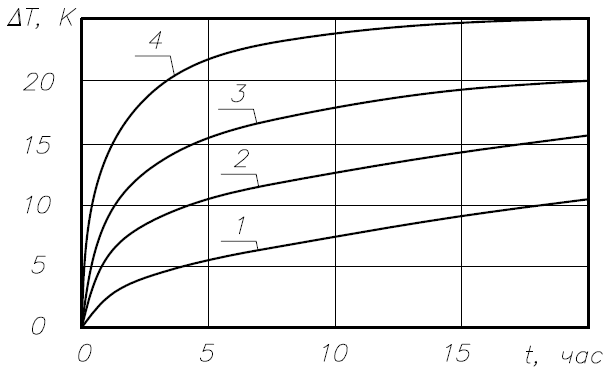


Рисунок 2 - Зависимость потери температуры от времени полимеризации для различных температурных перепадов:   
1 ‑ *Т*зап-*Т*в = 20 К; 2 ‑ *Т*зап-*Т*в = 40 К; 3 ‑ *Т*зап-*Т*в = 60 К; 4 ‑ *Т*зап-*Т*в = 80 К;

Аналогичные расчеты проводятся для температур *Т*пол = 350, 375, 400 К. Результаты расчетов представлены в таблице в Таблице 6.

Таблица 6 - Зависимость характерных температур от *Т*пол

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |
| 350 | 340,27 | 349,85 | 56,12 | 361,86 |
| 375 | 365,28 | 374,87 | 67,9 | 387.69 |
| 400 | 390,3 | 395,69 | 91,9 | 42,69 |

## **4.5 Расчет напряжений в месте стыка заряд-корпус**

Напряжение в месте стыка заряд-корпус определяется по формуле:

В курсовом проекте определяются допустимые уровни температуры, при которых модуль напряжения в месте стыка заряд-корпус не превышает допустимых.

Аналогичные расчеты проводятся при температурах *Т=*350 К, *Т=*375 К для температур полимеризации *Т*пол=375 К, *Т*пол=400.

Результаты представлены в таблице 7

Таблица 7 – Зависимость  , МПа от *Т*, К

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 350 | 375 | 400 |
| 300 | 1,911 | 3,09 | 4,28 |
| 350 | -4,62 | 7,249 | 1,911 |
| 375 | -11,48 | -4,96 | 0,725 |

В качестве допустимого напряжения принимается 