

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт Машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование кафедры)

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

Технология машиностроения

(профиль)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Технологический процесс изготовления кронштейна

Студент

П.А. Пичиненко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Расторгуев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.А. Парфёнова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент Н.Ю. Логинов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

ABSTRACT

The title of graduation project is “Engine Mount Bracket Manufacturing Process”. This graduation project is about improving the existing manufacturing process of one of the car component. This improvement should allow to reduce manufacturing costs and reduce the amount of material used in manufacturing.

The author dwells on 3D printing technology including a Direct Metal Laser Sintering (DMLS). The key issue of the graduation work is to optimize the mount bracket so that its production by 3D printing can become profitable in mass production. The work touches upon analysis of current manufacturing process, simulation of an improved mount bracket, optimized for 3D printing, economic calculation and comparison of technical processes.

The graduation project may be divided into several logically connected parts which are: description of the current mount bracket and current manufacturing process, description of the selected technology of 3D printing, facilitation and optimization of the current part, finding out the benefits of the actions taken.

We give full coverage to the methods of development and manufacturing of the modified mount bracket. The result can be presented as drawings of the initial and optimized parts, the method of calculations and their result.

The work is of interest for a wide circle of readers. Overall, the results suggest that the chosen manufacturing method can be profitable, if the mount bracket is optimized for 3D printing and can be mass-produced at a time. Also it gives to users the possibility to produce absolutely any components with the selected 3D printing machines.

The graduation work is done on 62 pages, consists of an introduction, 5 chapters, including 16 pictures, 20 tables, 17 formulas, conclusions, a list of sources used, including 26 names, 6 of which in a foreign language, and 3 annexes.

АННОТАЦИЯ

Пичиненко П.А. Технологический процесс изготовления кронштейна

Кафедра: Оборудование и технология машиностроительного производства

ТГУ: Тольятти, 2018 г.,

Темой данной выпускной-квалификационной работы (ВКР) является «Технологический процесс изготовления кронштейна». Объект этой работы – деталь от автомобиля LADA VESTA, а именно «кронштейн задней опоры подвески двигателя». Предметом же исследования является технологический процесс его изготовления. В ВКР был проведен анализ исходных данных детали, проанализирован базовый технологический процесс, определены его недостатки в настоящих условиях и предложен более экономичный и технологический вариант технологического процесса изготовления этой детали. Был определен контрольно-измерительный материал базового техпроцесса, который в процессе работы был сравнен с улучшенным, что положительно повлияло на экономическую часть. Были поставлены цели и задачи ВКР. Далее последовал выбор оптимального оборудования, необходимого для улучшенного технологического процесса. Разработан топологически оптимизированный вариант детали, который позволяет снизить расход материалов для изготовления. В ВКР также представлен комплекс мероприятий по охране труда и проведены экономические расчеты.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Анализ исходных данных	7
1.1 Назначение и конструкция детали	7
1.2 Анализ технологичности конструкции детали	8
1.3 Определение типа производства.....	9
1.4 Анализ базового варианта технологического процесса.....	9
1.5 Задачи работы.....	13
2 Технологическая часть работы.....	14
2.1 Основные методы производства деталей с помощью металлов в 3D печати	15
2.1.1 Прямое лазерное спекание металлов (DMLS).....	15
2.1.2 Струйная трехмерная печать (3DP).....	17
2.1.3 Послойное наплавление (FDM/FFF)	18
2.1.4 Электронно-лучевая (EBM) и выборочная лазерная плавка (SLM) .	20
2.2 Преимущества 3D-печати в производстве	21
2.3 Сравнение с традиционными технологиями производства	22
2.4 Выбор технологии получения детали	22
2.5 Техничко-экономическое обоснование выбора метода получения детали	23
2.6 Описание принципа работы технологии DMLS	23
2.7 Разработка предлагаемого технологического процесса.....	25
2.7.1 Выбор оборудования.....	26
2.7.2 Оборудование исходного технологического процесса	26
2.7.3 Оборудование предлагаемого технологического процесса.....	27
2.7.4 Материал для изготовления заданной детали	30
2.7.5 Расчет режимов сплавления	31
2.8 Расчёт годовой программы нового технологического процесса.....	32
3 Проектирование (модификация) заготовки кронштейна.....	35
4 Экологичность и безопасность технического объекта	39
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта.....	40

4.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	41
4.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков	42
4.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта	43
4.5 Технические средства обеспечения пожарной безопасности	44
4.6 Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.....	45
4.7 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта	46
4.8 Заключение	47
5 Экономическая эффективность работы	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ	60

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что в настоящее время существует множество технологий, позволяющих создавать даже самые технологичные изделия, прогресс не стоит на месте и совсем недавно по меркам промышленности появилась на свет технология 3D-печати. С её использованием отпадает необходимость использовать множество дорогостоящего и трудно-обслуживаемого оборудования для изготовления деталей сложной конфигурации. Существует множество подвидов этой технологии, но существует одна, которая на данный момент является самой прогрессивной. Она носит название «Прямого лазерного спекания металлов» (DMLS). Её уникальность в том, что имея лишь 3D-модель детали и металлический порошок, подходящий по характеристикам, 3D-принтер может в течении относительно небольшого времени воссоздать деталь, с необходимыми механическими и прочностными свойствами, которая будет требовать сравнительно небольшую нужду в механической обработке.

Преимущества данной технологии многочисленны, вот некоторые из них:

- Практически безотходное производство.
- Задействованный, но не использованный материал можно использовать вновь.
- Низкая трудоемкость операций.
- Наименьшее количество требуемого оборудования и производственных площадей.
- Сокращение сроков подготовки производства.
- При некоторых условиях многократное повышение производительности отдельных операций и цеха в целом.

1 Анализ исходных данных

1.1 Назначение и конструкция детали

Автомобиль Lada Vesta – это современный, сбалансированный и комфортный автомобиль, созданный специалистами ОАО «АВТОВАЗ», отвечающий всем требованиям по безопасности (рис. 1.1.).



Рисунок 1.1 - Автомобиль Lada Vesta

Рассматриваемая деталь «кронштейн задней опоры подвески двигателя» устанавливается на определенные комплектации автомобиля LADA VESTA, а именно на модели с коробкой переключения передач JH3, которые устанавливаются в связке с двигателем, имеющим рабочий объём 1,6 литра. В данной конфигурации автомобили идут на экспорт. Этот кронштейн (Рис. 1.2) является соединительным звеном между картером сцепления и штангой подвески двигателя, который в свою очередь связан с подрамником передней подвески автомобиля.

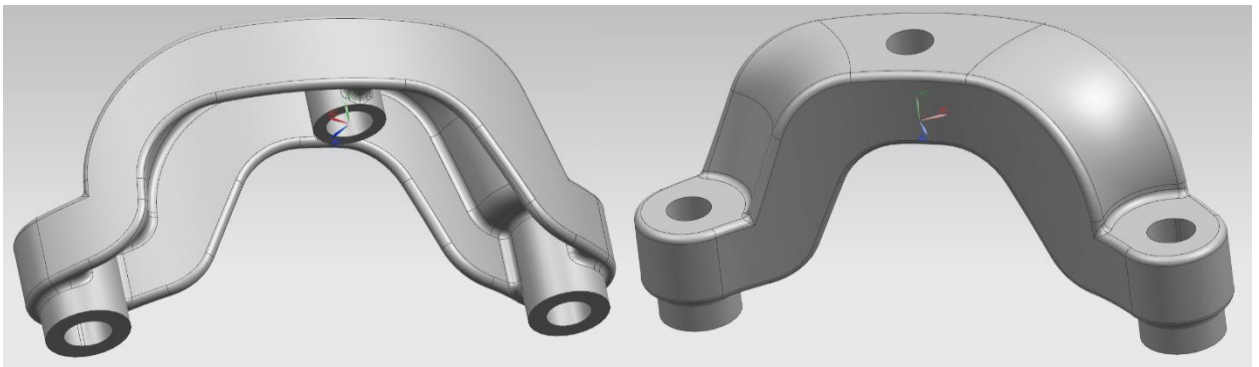


Рисунок 1.2 - Кронштейн задней опоры подвески двигателя автомобиля Lada Vesta

1.2 Анализ технологичности конструкции детали

Рассматриваемый кронштейн изготавливается из алюминиевого сплава АК12М2 (ГОСТ 1583-93) (состав данного сплава и его механические свойства указаны в табл. 1.2 и табл.1.3 соответственно)

Таблица 1.1 Химический состав сплава АК12М2, %

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
11...12,5	1,2	0,4...1,6	0,4	0,7...1,4	0,35	0,25

Таблица 1.2 Механические свойства сплава АК12М2

Плотность, γ , кМ/м ³	Примерный интервал плавления, °С	Электр. проводимость, %	Коэф. теплопроводн., при 25°С, (кал/С*см ³ *°С)	Твердость, НВ	Относ. удлинение, %
2173	540...570	29	0,29	90	1,5

Применение алюминиевого сплава и способа получения заготовки, указанного в чертеже детали и заготовки, обеспечивает выполнение деталью её служебного назначения. Ввиду относительно сложной конфигурации детали получить её можно только с помощью технологии литья металла под давлением.

1.3 Определение типа производства

Так как данная деталь используется только на экспортных вариантах конфигурации автомобиля, а в настоящее время ОАО «АвтоВАЗ» экспортирует около 500 автомобилей LADA VESTA в необходимой нам комплектации в год, то годовая программа изготовления деталей составляет это же количество деталей.

Принимаем:

Тип производства – мелкосерийный.

Годовая программа изготовления деталей $N_1 = 500$ шт.

Количество деталей на автомобиль $m = 1$ шт.

Изготовление в запасные части $\beta = 10\%$

Двухсменный режим работы предприятия.

Действительный годовой фонд времени $F_d = 4016$ ч.

Количество деталей для данной годовой программы определим по формуле (1.1):

$$N = N_1 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) \quad (1.1)$$

$$N = 500 \cdot 1 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 550 \text{ шт}$$

1.4 Анализ базового варианта технологического процесса

Базовый способ получения заготовки – литьё под давлением. В качестве формы для литья применяется постоянная металлическая форма – пресс-форма. Она состоит как правило из двух половин – неподвижной (матрицы) и подвижной (пуансона). Пресс-форма оснащена одной или несколькими полостями, конфигурация которых повторяет форму предполагаемой отливки. Для создания нескольких небольших отливок за одну запрессовку в массовом производстве используют многогнездные

пресс-формы, в которых несколько полостей, повторяющих форму детали и соединенных одним питающим литником.

Габаритные размеры пресс-формы зависят от конструкции самой отливки, диаметра камеры прессования, количества отливок в форме и толщины пресс-формы. Прежде чем заливать расплав в пресс-форму необходимо удалить воздух и газы из полости пресс-формы через специальные вентиляционные каналы. Обычно их располагают в плоскости разъема на матрице и вдоль выталкивателей. Глубина их составляет в среднем 0,05-0,15 мм, а ширина 10-30 мм. Операция сборки пресс-формы происходит на специальных стендах.

Сам процесс происходит в следующем порядке – расплавленный металл заливается в камеру прессования, расположенную горизонтально по оси пресс-формы и перпендикулярно плоскости разъема формы. В верхней части камеры через специальное окно заливается металл. Приводится в движение пресс-поршень и металл под его давлением заполняет через питатель рабочую полость формы. Спустя небольшое количество времени металл внутри пресс-формы кристаллизуется, пресс-форма раскрывается, получившийся «куст» отливки выталкивается, а поршень прессования возвращается в исходное положение. Следом производится операция обрезания литников, и наши детали готовы к последующей механической обработке. Этот способ универсален и позволяет изготавливать детали даже самой сложной конфигурации. Так же этот метод характеризуется минимальными припусками на обработку.

Изготовление настоящей детали осуществляется на ПАО «АвтоВАЗ» с помощью литейной машины СЛОО-630 (Рис. 1.4.) 1980 года выпуска, имеющей стандартную конфигурацию, сконструированной пресс-формы, позволяющей изготовить 4 детали за одну заливку, используя при этом относительно дорогой материал – алюминиевый литейный сплав АК12М2, имеющий на данный момент цену ~650руб./кг.



Рисунок 1.4 - Литейная машина CLOO-630

Ниже перечислены основные технические характеристики литейной машины CLOO-630.

Таблица 1.3 Характеристики машины CLOO-630

Усилие запирания, кН	4000
Размер плит, мм	970x970
Диаметр колонн, мм	130
Высота формы (max-min), мм	300-700
Ход плиты, мм	550
Усилие прессования, кН	405
Площадь отливки, см ²	276
Объём резервуара, л	850
Ход толкателей, мм	120
Вес машины, т	21
Габаритные размеры (д*ш*в), м	7,7 x 2,1 x 2,7

Пресс-форма для нашей детали сконструирована таким образом, чтобы после окончания кристаллизации получить куст отливки, в составе которого находятся 4 заготовки данной детали. (Рис. 1.5)

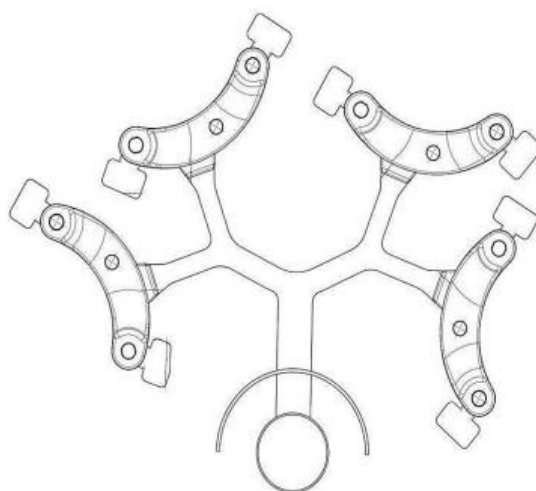


Рисунок 1.5 - Эскиз литниковой системы

Далее перечислены наименования операций, участвующих в изготовлении данной детали, содержание указанных операций, необходимое оборудование и оснастка, а так же время операций.

Таблица 1.4 Исходный техпроцесс

Номер, наименование операции	Содержание операции	Оборудование и оснастка	Время операции, мин.
10 ЗАЛИВКА	<ul style="list-style-type: none"> - Обработка пресс формы, стержни и поршень прессования смазкой - Закрытие пресс-формы - Заливка металла ручным ковшом ($t=670\pm 10^{\circ}\text{C}$) - Прессование - Кристаллизация (12±2 сек.) - Раскрытие пресс-формы - Выталкивание куста отливки - Возврат поршня прессования - Снятие клещами куста - Укладка куста на стол - Визуальный контроль полноты извлечения куста и качества отливок на отсутствие дефектов - Перенос куста отливки на обрубку к обрезному штампу 	<ul style="list-style-type: none"> - Пресс-форма - Камера прессования - Поршень прессоваия - Шток поршня прессования CLOO-630 - Штанга выталкивания для CLOO-630 - Смазка для пресс-формы - Смазка для поршня - Прессования - Емкости для смазки - Ковш ёмк. 2.7 кг. - Пистолеты для воздуха, смазки и воды - Молоток стальной - Стол - Шлакосниматель - Клещи 	1,39 мин.

Продолжение таблицы 1.4

20 ОБРУБКА	- Укладка куста отливки в неподвижную половину обрубного штампа клещами - Обрубить отливки по контуру, прошить отверстия - Очистить штамп от остаткой облоя пневмопистолетом - Визуальный контроль литейных дефектов и дефектов обрубки - Сброс отливок в тару	- Штамп обрубной - Клещи - Пистолет для воздуха - Приёмный стол - Тара	0,32 мин.
30 ДРОБЕМЕТНАЯ ОБРАБОТКА	- Загрузка автопогрузчиком отливок в скиповый подъёмник дробемётного барабана - Дробемётная обработка - Выгрузка отливок в тару	- Дробемётный барабан 32-GN - Дробь стальная 0,5мм - Тара	
40 ЗАЧИСТКА	- Зачистка заусенцев по линии разъёма пресс формы	- Пневмомашинка - Борфреза коническая - Стол - Тара	1,71 мин.
50 ОПИЛОВКА	- Зачистка облоя по кромкам отверстий	- Напильник плоский N1 (L-300) - Стол - Тара	0,4 мин.

1.5 Задачи работы

В ходе анализа базового технологического процесса выявились недостатки в его экономической части. Для данного типа производства и годовой программы использование технологии литья под давлением можно считать невыгодным. Сформулируем задачи выпускной-квалификационной работы:

- 1 – Разработать собственный технологический процесс
- 2 – Разработать и предоставить технологическую документацию
- 3 – Произвести анализ безопасности предложенного производства и экологичности технического объекта
- 4 – Выполнить расчёты экономической эффективности с учётом внесённых изменений

2 Технологическая часть работы

В задачах работы мы отметили, что для исходного мелкосерийного типа производства и данного годового объёма выпуска технология литья под давлением является не самой выгодной на данный момент. Расходы на проектирование, изготовление и механическую обработку пресс-форм, траты на материал для их создания, несоизмеримо велики на фоне полученного результата в виде готовой детали. К этому можно добавить большие габаритные размеры литейных машин, необходимость участия нескольких работников, необходимость последующей механической обработки детали. В данных условиях есть возможность избавиться сразу от нескольких этих недостатков, отказавшись от высокопроизводительной, но невыгодной для мелкосерийного производства технологии литья под давлением и используя стремительно развивающуюся в последнее время технологию 3D-печати.

Это обобщённое название множества технологий, каждая из которых имеет достаточное количество различий, однако все их объединяет одно – минимальные траты на подготовку и проектирование производства. Однако, прежде чем перейти к выбору необходимой именно нам технологии, мы должны рассмотреть и сравнить самые подходящие из них.

2.1 Основные методы производства деталей с помощью металлов в 3D печати

2.1.1 Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)

Прямое лазерное спекание металлов (DMLS) – технология аддитивного производства изделий из металлов, разработанная Мюнхенской компанией EOS. Процесс использует трехмерные модели в формате STL в качестве чертежей для построения физических моделей. Трехмерная модель виртуально разделяется на слои с толщиной, соответствующей толщине слоев, наносимых печатным устройством. На выходе получается файл используемый как набор чертежей во время печати. ^[10]



Рисунок 2.1 - 3D-принтер с технологией печати DMLS и изготовленная оптимизированная деталь в сравнении с оригинальной

Нагревательным элементом для спекания металлического порошка являются один или несколько оптоволоконных лазеров относительно высокой мощности – около 200-400Вт. Особо технологичные устройства позволяют использовать и более мощные лазеры с повышенной скоростью передвижения лазерного луча, что значительно ускоряет процесс. Металлический порошок, подходящий по своим свойствам, который выступает в роли материала производимой детали, находится в камере с инертным газом и распределен равномерным слоем. Выравнивающий валик раскатывает его по поверхности, одновременно удаляя излишки. Лазер

спекат частицы порошка между собой согласно контурам загруженной цифровой модели. После полного спекания слоя, процесс повторяется: валик подает свежий порошок и лазер начинает спекать следующий слой. Эта технология особенна тем, что имеет очень высокое разрешение печати – около 20 микрон. Например, типичная толщина слоя в любительских и бытовых принтерах, использующих технологию FDM/FFF, составляет около 100 микрон. Другая интересная особенность - отсутствие необходимости построения опор для нависающих элементов конструкции.^[11] Порошок, который не запекался в процессе, не удаляется во время печати, а остается в рабочей камере. Поэтому каждый последующий слой имеет опорную поверхность. Соответственно, материал, который был не израсходован в процессе печати, может быть собран из рабочей камеры и использован заново. Производство по технологии DMLS фактически безотходно, а это важно при использовании дорогих материалов для печати – например, драгоценных металлов. Размер области построения существующих установок составляет в основном 250x250x250мм, хотя каких-либо технологических ограничений на размер не существует – разница будет лишь в стоимости устройства. В данный момент технология DMLS используется для быстрого прототипирования, снижая время разработки новых продуктов, а также в производстве, позволяя сокращать себестоимость мелких партий и упрощать сборку изделий сложной геометрической формы. В качестве расходных материалов могут использоваться практически любые металлы и сплавы в порошковой форме. На сегодняшний день успешно применяется нержавеющая сталь, кобальт-хромовые сплавы, титан и прочие материалы.^[12]

2.1.2 Струйная трехмерная печать (3DP)

Технология струйной трехмерной печати (3DP) – один из самых первых способов 3D-печати. Массачусетский технологический институт (MIT) разработал данную технологию в 1993 году. Коммерческое распространение она получила в 1995 году с помощью компании «Z Corporation», приобретенной корпорацией «3D-Systems» в 2012 году.^[7]

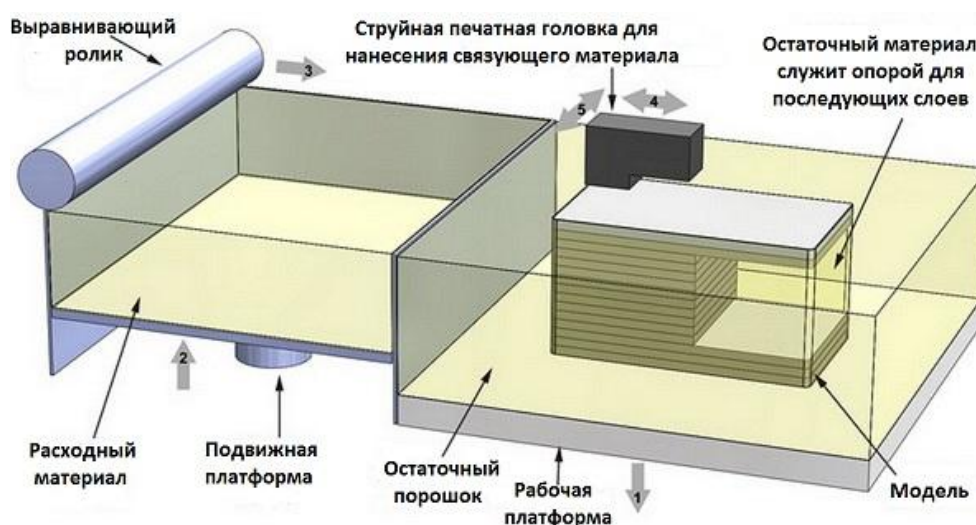


Рисунок 2.2 - Схема работы трехмерных струйных принтеров (3DP)

Как и остальные методы, струйная трехмерная печать использует способ послойной печати объектов на основе трёхмерной цифровой модели. Сырьём для производства служат всевозможные порошки, один за другим наносимые тонкими слоями. Частицы каждого нового слоя склеиваются между собой и с предыдущими слоями до образования готовой трехмерной модели. Ранее в подобных устройствах в качестве расходного материала выступал гипс, это обуславливает народное название технологии – «гипсовая трехмерная печать».^[6] Печатные головки экструдируют воду, склеивающую материал. Спустя время технология прогрессировала и в данный момент есть возможность добавления различных агентов: уплотнителей, красителей и пр. В последнее время технология шагнула

вперёд, и теперь для производства могут использоваться песчаные смеси, пластики и металлические порошки. Исходя из этого, данная технология позволяет изготавливать изделия из множества порошковых материалов, а так же можно производить цветную печать, добавив краситель в связующий материал. Изделия, созданные из металлического порошка будут выглядеть так же, как необработанные металлические изделия. Однако, их прочность зависима от связующего материала, как правило, она не слишком высока в сравнении с традиционными способами. Удержать ситуацию под контролем позволит обжиг с помощью гончарных печей. Однако, это является не обычным в традиционных способах обжигом, а выплавкой связующего материала, с последующим использованием пропитки, имеющей определенные свойства. Например, выплавляя связующий пластик, мы можем одновременно пропитать стальную модель бронзой или медью. Таким образом, мы увеличим долговечность детали, но её всё равно нельзя будет использовать как функциональный прототип, так как она не будет обладать достаточными механическими характеристиками. Зачастую, такие изделия используются в качестве макетов или сувениров, то есть любых моделей сложной конфигурации, не подверженных высоким механическим нагрузкам.^[2]

2.1.3 Послойное наплавление (FDM/FFF)

Наиболее популярный метод 3D-печати также не обошел стороной попытки использования металлов в качестве расходных материалов. К сожалению, попытки печати чистыми металлами и сплавами на данный момент не привели к значительным успехам. Использование тугоплавких металлов сталкивается с вполне предсказуемыми проблемами с выбором материалов для конструкции экструдеров, которые, по определению, должны выдерживать еще более высокие температуры. Печать же легкоплавкими сплавами (например оловом) возможна, но не дает достаточно качественной

отдачи для практического применения. Таким образом, в последнее время внимание разработчиков расходных материалов переключилось на композитные материалы по аналогии со струйной печатью. Типичным примером служит BronzeFill – композитный материал, состоящий из термопластика (детали не разглашаются, но, по всей видимости, используется PLA-пластик) и бронзового порошка.^[1]



Рисунок 2.3 - Пример изделия, выполненного с помощью технологии FDM/FFF

Получаемые модели имеют высокую визуальную схожесть с натуральной бронзой и даже поддаются шлифовке до глянца. Однако, химические и физические свойства изготовленных изделий имеют предел, равный пределу связующего термопластика, а это не позволяет называть такие изделия цельнометаллическими. Тем не менее, подобные материалы могут получить практическое применение в промышленности. Так, эксперименты энтузиастов показали возможность создания проводников и экранирующих материалов с использованием термопластиков с

металлическим наполнителем. Развитие этого направления может сделать возможной печать электронных плат. [5]

2.1.4 Электронно-лучевая (EBM) и выборочная лазерная плавка (SLM)

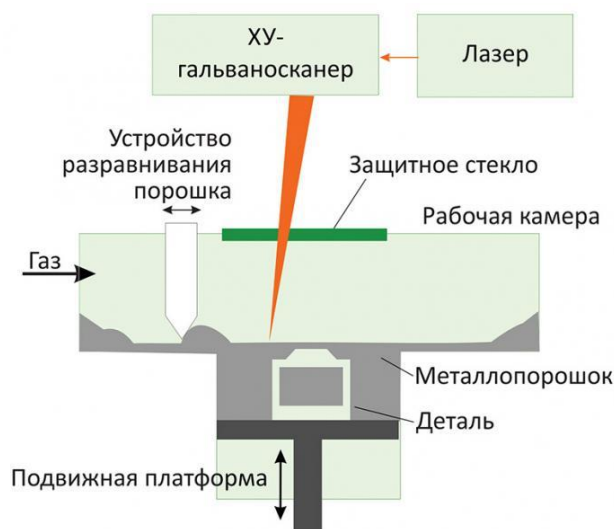


Рисунок 2.4 - Схема построения детали по SLM-технологии

Несмотря на то, что качество моделей, полученных лазерным спеканием является достаточно высоким, они обладают достаточно низкой прочностью из-за своей пористости. Данный вид изделий уже может быть использован для прототипирования, производства ювелирных изделий, однако, зачастую такие детали не терпят высоких нагрузок. Решить эту проблему позволяют технология лазерной плавки (SLM) и технология прямого лазерного спекания металлов (DMLS). Различаются они степенью термической обработки материала. Технология SLM позволяет полностью расплавлять материал и получать однородную деталь, которая на практике не уступает литым аналогам. Подобным методом, достигшим высоких результатов, стала электронно-лучевая плавка (EBM). На данный момент только один производитель (шведская компания Arcam) создаёт EBM-принтеры. Технология EBM достигает разрешения и точности, которые сравнимы с лазерной плавкой, но обладают некоторыми преимуществами. К примеру, использование электронных пушек позволяет избавиться от

электромеханических зеркальных систем в производстве деталей, используемых в лазерных установках. К тому же, электронные пучки, управляемые электромагнитными полями, помогают достичь гораздо больших скоростей манипулирования, что вкупе с увеличением мощности излучения позволяет добиться резкого повышения производительности без существенного усложнения конструкции. В остальном, конструкция SLM и EBM-принтеров схожа с установками для лазерного спекания металлов.^[4]

2.2 Преимущества 3D-печати в производстве

В машиностроении создание штучных прототипов изделий является одной из наиболее сложных задач. С одной стороны она требует большого количества времени и усилий, а с другой материальных затрат. Развитию методов создания 3D-деталей уделяется большое внимание. Разнообразные формы, размеров и различного установочное оборудование делает эту технологию широко используемой в отраслях не только машиностроения, но и многих других. Многие отрасли промышленности очень часто пользуются услугой печати на 3D принтере, а в качестве используемого материала для печати может служить: бетонная смесь, металлический порошок, пластиковая ABS нить и многое другое.^[3]

Преимущества создания прототипов на 3D принтере:

- высокая скорость наращивания прототипов,
- возможность компьютерного регулирования скорости наращивания,
- возможность использования нескольких материалов для печати,
- высокая точность прототипирования,
- возможность создания моделей различной сложной формы,
- малые габариты 3D-принтера,
- безотходность используемого материала,

- доступное и дешёвое оборудование и простота в использовании.

2.3 Сравнение с традиционными технологиями производства

Материалы для 3D-печати металлом всем известны и широко используются в различных областях промышленности. Однако так же, как алюминиевые литые детали отличаются от деталей машинной обработки, детали, изготовленные посредством 3D-печати отличаются по свойствам от литых деталей и деталей машинной обработки. Понимание этих различий является ключом к вашему успешному опыту применения технологии 3D-печати из металла. Изделия, выполненные по технологии 3D-печати металлами сопоставимы с литыми деталями по плотности и прочностным характеристикам сразу после их изготовления. Плотность детали, изготовленной, например, по технологии DMLS, составляет порядка 99.5% перед последующей обработкой. Однако, после термообработки детали DMLS значительно превосходят литые детали с точки зрения пористости. Промышленный стандарт пористости для металлических литых деталей составляет от 2% до 5%, тогда как этот показатель для DMLS менее 0.5%. Существует ряд методов постобработки, которые могут повысить характеристики деталей DMLS^[12].

2.4 Выбор технологии получения детали

Чтобы выбрать технологию 3D-печати, необходимую для создания нашего технологического процесса, нам нужно опираться не только на экономическую выгоду от наших изменений, но и на качество изготавливаемой продукции. Деталь, изготовленная на выбранном 3D-принтере не должна уступать также и по прочностным характеристикам детали, изготовленной с помощью исходного технологического процесса. Она должна выдерживать аналогичные нагрузки и иметь схожий ресурс использования.

После изучения теоретической информации, представленной выше, а также после проведения расчётов и изысканий решено принять за технологию, которая подходит нам по всем параметрам, как экономическим, так и технологическим – технологию Прямого лазерного спекания металлов (DMLS – Direct Metal Laser Sintering).

2.5 Техничко-экономическое обоснование выбора метода получения детали

Технология 3D-печати DMLS позволяет изготавливать детали, не уступающие традиционным способам изготовления по параметрам прочности и шероховатости. DMLS также избавит производство от расходов на проектирование и сопутствующие расходы на производство и сборку пресс-формы, к тому же позволит сократить количество необходимых работников, участвующих в процессе изготовления. Также 3D-принтеры отличаются сравнительно меньшими габаритными размерами, нежели крупногабаритные литейные машины. Несмотря на всё это, такой метод получения детали лишает нас от многих заготовительных операций. Всё что необходимо для мгновенного запуска процесса изготовления – спроектированная в цифровом виде модель детали и материал. В роли материала в данном методе выступает металлический порошок.

В конце концов, при данной годовой программе, 3D-принтер позволит выполнить план изготовления гораздо раньше необходимого срока, а исходя из технологичности метода он способен сразу же приступить к изготовлению других, абсолютно различных по размерам и конфигурации деталей.

2.6 Описание принципа работы технологии DMLS

Как уже обозревалось в одном из предыдущих разделов – технология DMLS лишает нас промежуточного звена в виде заготовки, и позволяет из сырья изготовить практически готовую к использованию деталь, именно такую, какой её спроектировали. Принцип действия достаточно

технологичен – первым делом в память 3D-принтера с помощью специального программного обеспечения переносится модель детали, необходимая для изготовления. В роли сырья для детали выступают различные металлические порошки, подходящие по свойствам. В последнее время спрос и предложение подобных материалов многократно вырос, и можно сказать, что каждый день на рынке появляется новый состав. Выбранный по необходимым свойствам металлический порошок загружается в заданных количествах в рабочую камеру 3D-принтера. Камера с порошком поднимается на заданный уровень над полем печати, и специальный валик равномерным слоем распределяет материал над ним, удаляя при этом излишки. Следом в дело вступают одна или несколько лазерных головок, мощностью от 200Вт до 1000Вт. Они следуют сохранённым координатам, соответствующим контурам детали в каждом её слое и спекают металлический порошок только в заданных для данного слоя точках или поверхностях. Когда слой полностью расплавлен, платформа с порошком поднимается и валик снова переносит слой материала на уже сплавленный участок детали. Процесс повторяется снова и снова, пока программа не даст сигнал об окончании работы.

По окончании печати, нужно открыть камеру 3D-принтера и освободить деталь от порошка. Следует помнить, что деталь может обладать очень высокой температурой. Преимущества этой технологии очевидны: незатронутый лазерами порошок является поддержкой для детали во время изготовления, поэтому она не нуждается в специальных поддерживающих доработках модели детали, а так же нерасплавленный порошок можно использовать снова и снова. Таким образом, технология не имеет практически никаких геометрических ограничений в построении, а точность выращивания детали, находящаяся на достаточно высоком уровне, позволяет свести последующую механическую обработку к минимуму.

2.7 Разработка предлагаемого технологического процесса

Прежде чем начать разработку технологического процесса, следует определиться с её стратегией (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 Стратегия разработки технологического процесса ^[24]

№	Условия выбора техпроцесса	Характеристика
1	Модель организации техпроцесса	Непоточная
2	Периодичность выпуска деталей	Периодичное повторение
3	Стандартизация техпроцесса	Создание специального техпроцесса
4	Заготовка	Сырьё
5	Техническое оснащение	Специальное
6	Расстановка технического оснащения	С учётом свойственного течения грузопотока деталей
7	Настройка технического оснащения	По приборам
8	Оснастка	Специальная
9	Подробность изготовления техпроцесса	Маршрутная и операционная карты

Разработаем предполагаемый технологический процесс на новом оборудовании (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 Предлагаемый технологический процесс

Номер, наим. операции	Содержание операции	Оборудование и оснастка
10 Подготовительная	Создание CAD модели; Настройка платформы; Загрузка файла в установку; Загрузка материала в установку	Управляющий компьютер; Программное обеспечение

Продолжение таблицы 2.2		
20 Печатная	Послойная печать загруженной модели детали	Оборудование для 3D- печати детали
21 Разгрузка	Изъятие изделия из установки для 3D-печати	Клещи
30 Очистка установки	Удаление неиспользованного материала для повторного использования	Пылесборник
40 Моечная	Очистка изделия от пыли	
41 Контрольная	Визуальная проверка на отсутствие дефектов	Контрольный стол

В случае необходимости к деталям, изготовленным методом 3D-печати можно так же применять отжиг детали, закалку и отпуск, как и деталям, изготовленным традиционными способами.

2.7.1 Выбор оборудования

В данном разделе мы проведем анализ используемого в базовом технологическом процессе оборудования, выбрав характеристики для сравнения с предложенным, новым оборудованием.

2.7.2 Оборудование исходного технологического процесса

При изготовлении кронштейна задней опоры подвески двигателя LADA VESTA применяется машина для литья под давлением, марки и модели CLOO-630/55.

Ниже в таблице (Таблица 2.3) представлены характеристики машины, используемой в базовом технологическом процессе.

Таблица 2.3 Основные характеристики машины CLOO-630/55.

Усилие запираания, кН	4000
Размер плит, мм	970x970
Диаметр колонн, мм	130
Высота формы (max-min), мм	300-700
Ход плиты, мм	550
Усилие прессования, кН	405
Площадь отливки, см ²	276
Объём резервуара, л	850
Ход толкателей, мм	120
Вес машины, т	21
Габаритные размеры (д*ш*в), м	7,7 x 2,1 x 2,7

Следует учесть, что данное оборудование достаточно устарело, оно требует значительных расходов на содержание и эксплуатацию, а также часто выходит из строя. В нашей разработке предлагается заменить его на совершенно новое и современное оборудование, использующее абсолютно другие технологии изготовления.

2.7.3 Оборудование предлагаемого технологического процесса

Для того, чтобы определиться с необходимым оборудованием, мы должны отметить несколько факторов, влияющих на выбор: новое оборудование должно быть подходящим для данного типа производства, должно быть максимально безотходным, достаточно гибким в производстве и при возможности не превышать габаритных размеров, чтобы не было необходимости изменять конфигурацию машиностроительного

производства. После изучения рынка 3D-принтеров было выбрано одно из самых производительных устройств в этой сфере – 3D-принтер EOS M400-4 (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.5 - 3D-принтер EOS M400-4 и его оператор

Данное оборудование относится к серии новейших и самых продвинутых устройств компании EOS. Данная модель выбрана за свои преимущества перед устройствами других производителей: она обладает большой рабочей камерой 400x400x400мм, четырьмя иттербиевыми волоконными лазерами мощностью 400Вт каждый, и производительностью печати в 100см³/ч, что является одним из самых высоких показателей среди конкурентов. Компания относит своё устройство к категории 3D-принтеров промышленного назначения и способно выдерживать нагрузки в условиях аэрокосмической, автомобильной и других отраслях.^[9]

Любое устройство такого типа должно иметь управляющий модуль с подходящим к конфигурации машины программным обеспечением. Его роль в выбранной модели 3D-принтера играет множество различных программных

решений, таких как EOS RP Tools; EOSPRINT; EOS ParameterEditor; EOSTATE Everywhere; EOSTATE PowderBed.

Таким образом, данный экземпляр имеет всё необходимые нам преимущества перед конкурентными устройствами:

- Обладает высокими качеством и скоростью печати благодаря наличию четырёх лазеров и ускоренного механизма нанесения слоёв
- Высокая точность изготовления позволяет пропустить некоторые этапы механической обработки
- Специальная технология ClearFlow обеспечивает контроль над управлением газами для идеальных условий построения
- Обладает широким спектром используемых материалов: от лёгких металлов до нержавеющей и от инструментальных сталей до жаропрочных сплавов.

Ниже представлены технологические характеристики 3D-принтера EOS M400-4 (Таблица 2.4)

Таблица 2.4 Технологические характеристики 3D-принтера EOS M400-4

Габаритные размеры, мм	4181x1613x2355мм
Вес, кг	4835кг
Рабочая камера, мм	400x400x400мм
Технология печати	Direct Metal Laser Sintering (DMLS)
Тип лазера	4x400Вт, иттербиевые волоконные лазеры, 1,04±0.01мкм
Фокус луча	100 нм
Производительность печати	Построение: 100 см ³ /час, Сканирование: до 7м/с
Система загрузки	Автоматическая
Энергопотребление	Максимальное – 45кВт, среднее – 22кВт

2.7.4 Материал для изготовления заданной детали

В следствии того, что технология 3D-печати подразумевает под собой отсутствие какой-либо заготовки, а производит изготовление сразу из сырья (металлического порошка), нам понадобится выбрать подходящий для этого материал.

Исходя из механических и химических свойств базового материала – сплава алюминия АК12М2, наиболее подходящим алюминиевым сплавом в порошковом виде является состав AlSi12.

Таблица 2.5 Химический состав сплава AlSi12

Al, %	Si, %	Fe, %
87.4	12.4	0.2

Таблица 2.6 Механические свойства металлического порошка AlSi12

Свойство	Примечание	До наплавления	После наплавления
Предел прочности Re	Горизонтальное направление (XY)	1150-1250 МПа	1350-1550 МПа
	Вертикальное направление (Z)	1150-1250 МПа	1350-1550 МПа
Предел текучести	Горизонтальное направление (XY)	950-110 МПа	1250-1450 МПа
	Вертикальное направление (Z)	865-560 МПа	1250-1450 МПа
Относительное удлинение	Горизонтальное направление (XY)	13-21%	12-18%
	Вертикальное направление (Z)	10-18%	12-18%
Твёрдость, HRC			80

Таблица 2.7 Технические характеристики состава AlSi12

Рекомендуемая толщина слоя	20-100 мкм
Достигаемая точность деталей:	
Небольшие детали	± 20-50 мкм
Большие детали	± 0.2%
Шероховатость поверхности:	
- после дробеструйной обработки	Ra 2.5-4.5 мкм, Ry 15-40 мкм
- после полировки	Rz до <0.5 мкм
Минимальная толщина стенки	0,3-0.4 мм
Температура плавления порошка	575-585°C

Из данных исходного технологического процесса нам известно, что часть металла, участвующего в производстве, выступает в роли литников, которые впоследствии обрезаются и отправляются на переплавку. Используемая нами технология позволит не тратить ресурсы на переработку, так как неиспользованный порошок сразу готов к применению.

2.7.5 Расчет режимов сплавления

У выбранного устройства 4 лазера, мощностью по 400Вт каждый, которые могут использоваться как отдельно, так и одновременно, а так же высокая скорость прохода луча. Таким образом мы можем добиться высокой скорости изготовления детали не теряя при этом в точности, регулируя значения мощности лазеров и скорость прохода.

Сравнивать и рассчитывать режимы плавления можно используя величину погонной энергии. Погонная энергия (2.1) – это энергия, которая вводится в материал источником нагрева, делимая на скорость сварки.

$$q_n = \frac{q}{v} \quad (2.1)$$

Чем выше погонная энергия, тем больше площадь сечения шва и больше проплавление. В нашем случае получены значения минимальные и максимальные возможные значения с одним и четырьмя используемыми лазерами и минимальной и максимальной скорости сварки. Для правильного и равномерного расплавления выбранного материала необходимо значение, удовлетворяющее требованию – 60-90 Дж/см.

Выберем необходимый режим изготовления с помощью регулировки количества лазеров и скорости движения лазерного луча.

Используя один лазер мощностью 400Вт и спекая им материал на максимальной скорости движения лазера мы получаем следующий результат погонной энергии:

$$q_{\min} = \frac{400Вт}{7000мм/с} = 0,05 Дж/см$$

Этого значения будет недостаточно для изготовления детали из выбранного материала. Продолжим расчёт. Используя четыре лазера по 400Вт каждый на максимальной скорости мы получим следующую величину:

$$q_1 = \frac{1600Вт}{7000мм/с} = 0,3 Дж/см$$

При использовании одного лазера на минимальной скорости мы получим данное значение:

$$q_2 = \frac{400Вт}{20мм/с} = 20 Дж/см$$

Данное значение также не входит в необходимые нам границы. Используя все лазеры на максимальной мощности и минимальной скорости движения мы получим значение, удовлетворяющее нашим требованиям.

$$q_{\max} = \frac{1600Вт}{20мм/с} = 80 Дж/см$$

2.8 Расчёт годовой программы нового технологического процесса

Исходя из того, что скорость печати 3D-принтера EOS M400-4 составляет 100 см³/ч, рассчитаем время, которое потребуется для изготовления одной детали.

$$\frac{V_{\delta}}{U_n} = t_u \quad (6)$$

Где V_{δ} – это объём детали

U_n – скорость печати 3D принтера

t_u – время, за которое деталь будет напечатана 3D принтером

$$t_u = \frac{82,7}{100} = 0,827 \text{ч.} = 49,62 \text{мин.}$$

Рассчитаем такт выпуска детали по новому технологическому процессу:

$$t_{\epsilon} = \frac{60 \cdot 4016}{550} = 180,7 \text{мин.}$$

Данный тип производства и такт выпуска детали полностью удовлетворяет требования нового технологического процесса, так же исходя из времени требуемого на печать, с помощью 3D-принтера, одной детали кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA VESTA.

Исходя из полученных данных, можем рассчитать время на использование оборудования для прототипирования иных деталей на производстве.

Для начала рассчитаем, сколько времени понадобится на выполнение годовой программы с учётом времени изготовления детали с помощью 3D-принтера:

Для удобства расчётов, минуты были переведены в часы.

$$t_2 = N \cdot t_u = 550 \cdot 0,827 = 454,9 \text{ч.}$$

Время годовой программы с учётом времени такта выпуска, равен действительному годовому фонду времени F_o .

Рассчитаем время на использование оборудования EOS M400-4 для прототипирования других деталей на производстве:

$$t_n = F_o - t_z = 4016 - 454.9 = 3561,1ч.$$

Проведённый расчёт позволяет говорить о том, что производство детали кронштейн задней опоры подвески двигателя с помощью 3D-принтера EOS M400-4, является подходящим под мелкосерийный тип производства, а так же позволяет исключить траты на прототипирование других деталей на производстве.

3 Проектирование (модификация) заготовки кронштейна

Технология 3D-печати способна изготовить детали даже самых сложных конфигураций, а это открывает перед нами безграничные возможности по оптимизации и облегчению деталей. В данном разделе проведена экспериментальная работа по оптимизации исходной детали и проверке на деформацию модифицированной детали. Работа выполнялась с помощью программного обеспечения ANSYS Workbench. Целью работы является создание графика напряжений исходной детали, проектирование оптимизированной модели детали, позволяющей уменьшить массу, и соответственно, количество необходимого на изготовление материала, и проверка оптимизированной модели детали на деформацию с последующим сравнением с исходной деталью. Самого большого снижения массы детали можно достичь путём придания им полной равнопрочности.

Это означает, что все детали узла должны иметь одинаковые напряжения при одинаковых материалах изготовления, или уровни запаса прочности при разных по прочности материалах.

При изгибе, кручении и сложных нагруженных состояниях напряжения по сечению детали распределяются неравномерно и имеют самую большую величину в крайних точках сечения, а в других могут снижаться к нулю. В этих случаях можно только постараться приблизиться к идеальным условиям путём выравнивания напряжений по сечению удалением металла из менее нагруженных участков и сосредоточения его в наиболее нагруженных местах.

Перед началом работы нам необходима модель детали в цифровом виде и различные данные (Рис. 3.1), такие как материал детали и его механические свойства, способы закрепления детали в сборке и силы, действующие с определенными векторами на эту деталь.

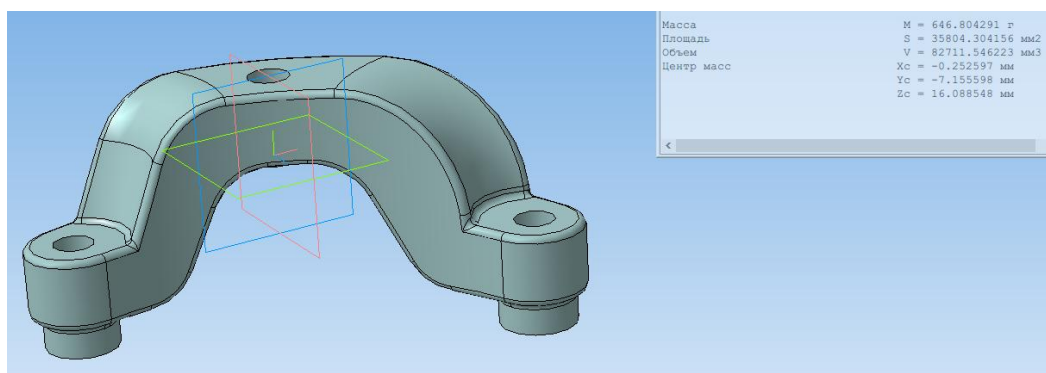


Рисунок 3.1 - Исходная модель детали и её МЦХ

Из её массо-центровочных характеристик следует, что при плотности исходного материала 2650 кг/м^3 и объёме $82,7 \text{ см}^3$ её масса составляет 647 грамм.

Используя исходные данные, мы создаём график напряжений исходной детали (Рис 3.2). Программное обеспечение ANSYS Workbench позволяет нам покадрово рассмотреть процесс деформации детали при заданных исходных условиях и проанализировать его.

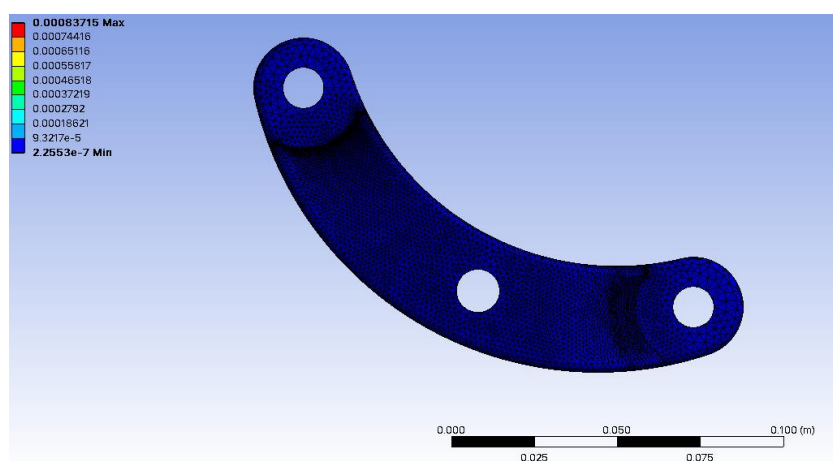


Рисунок 3.2 - График напряжений исходной детали – исходное положение

Мы наблюдаем, как именно деталь деформируется, и в каких точках величина напряжений минимальна, и соответственно, мы можем облегчить нашу деталь именно в этих участках. Покадрово мы отслеживаем конечную

точку деформации исходной детали (Рис 3.3) и отмечаем проблемные места детали, для будущей оптимизации.

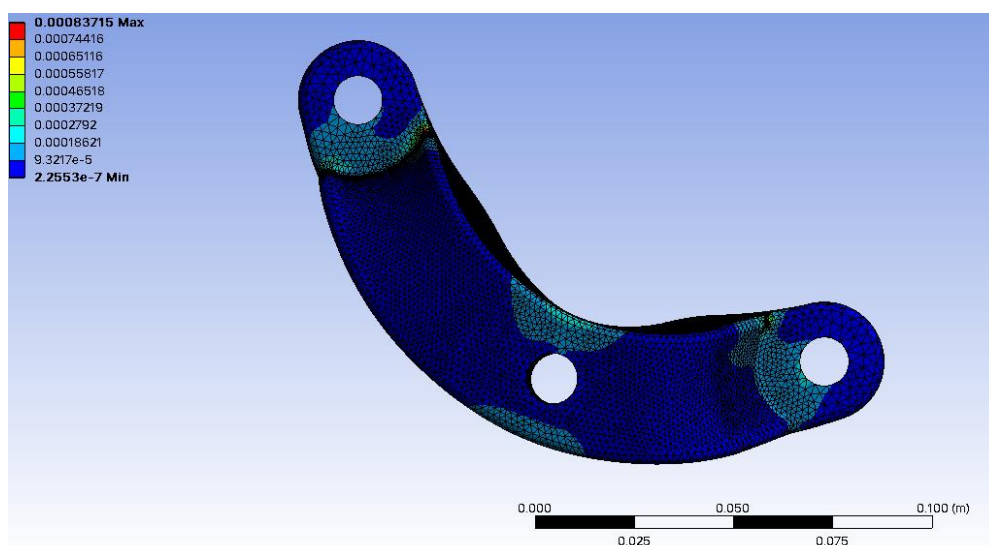


Рисунок 3.3 - График напряжений исходной детали – деформация

Проведя работы по проектированию мы получили оптимизированную деталь (Рис 3.4), которая была облегчена на 15% от массы исходной детали, при этом проводились сверки графиков напряжений (Рис. 3.5, Рис 3.6), а значит деталь соответствует заявленным техническим характеристикам.

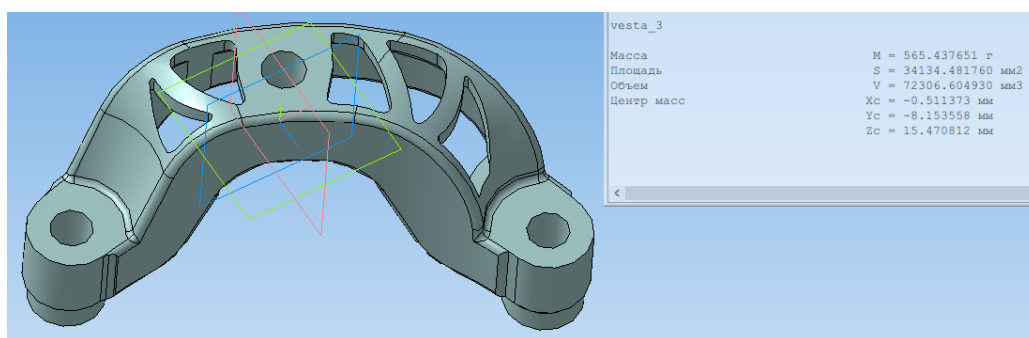


Рисунок 3.4 - Оптимизированная деталь и её МЦХ

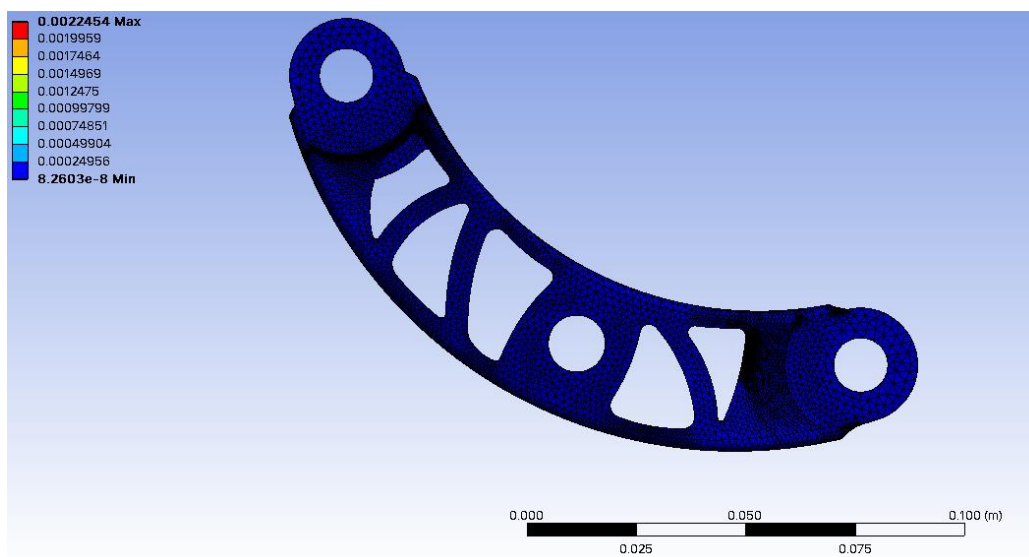


Рисунок 3.5 - График напряжений оптимизированной детали – исходное положение

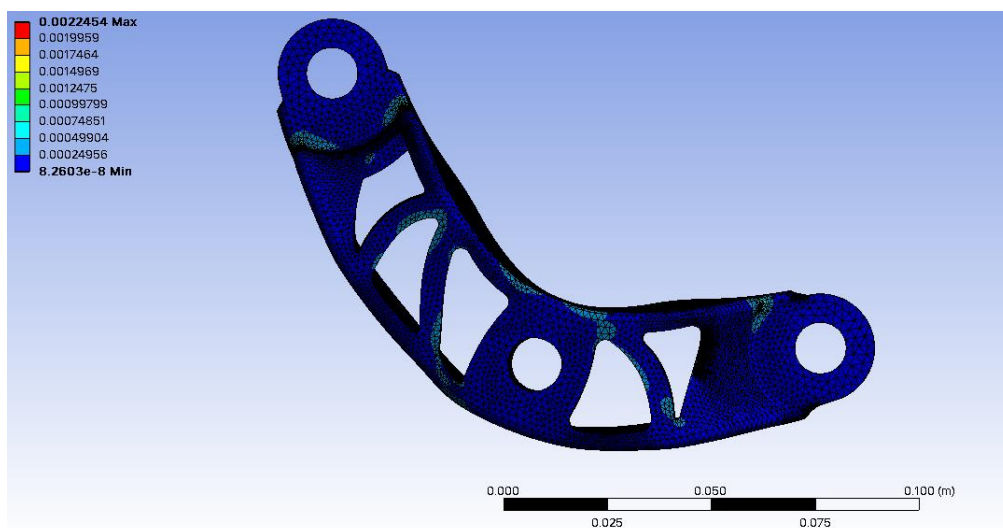


Рисунок 3.6 - График напряжений оптимизированной детали - деформация

Таким образом, мы сможем сэкономить на изготовлении этой детали не только отсутствием необходимости проектирования пресс-форм, и сопутствующих расходов, но так же используя меньше материала, чем в исходном технологическом процессе, при этом не теряя механических свойств детали.

4 Экологичность и безопасность технического объекта

Следует учитывать, что непосредственно для технологии 3D-печати чёткого СанПиНа не разработано. Мы можем подойти к этому вопросу с нескольких сторон. С одной стороны то оборудование, которое предполагается использовать в данном технологическом процессе можно отнести к копировальной машине, в таком случае у нас есть положение о том, что «Копировально-множительную технику необходимо установить в отдельное помещение» согласно требованиям СанПиН 2.2.2.1332-03 «Гигиенические требования к организации работы на копировально-множительной технике», однако мы можем так же опереться на информацию об использовании лазерного оборудования. Так же для различных объектов – загрязнителей воздуха и воды, химических веществ и отходов в соответствии с нормативными отраслевыми документами устанавливаются классы опасности.

В данном разделе ВКР будут рассмотрены нюансы организации труда на предложенном выше участке производства по изготовлению кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA VESTA.

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

Ниже представлена таблица (Таб. 4.1), содержащая в себе данные, относящиеся к технологическому паспорту объекта.^[25]

Таблица 4.1 Данные технологического паспорта объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего операцию	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Технологический процесс изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя	10 Подготовительная	Оператор 3D-оборудования	3D принтер фирмы EOS, модель M400-4	Металлический порошковый сплав CL 30AL
		20 Печатная		3D принтер фирмы EOS, модель M400-4	Металлический порошковый сплав CL 30AL
		21 Разгрузка	Оператор 3D-оборудования	3D принтер фирмы EOS, модель M400-4	Металлический порошковый сплав CL 30AL
		30 Очистка установки	Оператор 3D-оборудования	Клещи	Перегретая вода
		40 Моечная	Оператор моечной установки	Камерная моечная машина, сетчатый контейнер	
		41 Контрольная	Контроллер	Специальное контрольное приспособление Штангенциркули	Спирт для протирки средств измерений и приспособлений

4.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 4.2 Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	Работа с 3D-принтером во время подготовительной операции.	Высокое напряжение в электрических цепях	Оборудование 3D-печати
	Работа с 3D-принтером во время изготовления детали.	Повышенные уровни температуры и шума	
	Работа с 3D-принтером во время изъятия детали после окончания её создания.	Острые кромки и шероховатость детали	Детали, изготавливаемые на оборудовании 3D-печати
	Работа с 3D-принтером во время очистки рабочей поверхности от остатков порошка.	Отсутствие естественной или искусственной вентиляции	Производственный корпус. Неэффективные системы вентиляции и кондиционирования
		Возможное содержание металлического порошка в воздухе	Производственный корпус. Неэффективные системы вентиляции
	Моечная операция	Канцерогенные вредные вещества	Раствор моечной машины

4.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Таблица 4.3 Технические средства и методы по снижению профессиональных рисков

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	Подвижные части оборудования на производстве и движущиеся машины	Все движущиеся части оборудования окрашиваются в сигнальный жёлтый цвет, траектория движения транспорта обозначается разметкой и ограждается отбойниками	-
2	Высокое напряжение в электрической цепи	Отключение установки или её части от источника питания в конце рабочей смены; заземление отключенных токоведущих частей; ограждение рабочего места или остающихся под напряжением токоведущих частей, к которым в процессе работы можно прикоснуться или приблизиться на недопустимое расстояние.	П.З
3	Повышенный уровень шума	Поддержка шумового фона в пределах нормы с помощью использования в устройстве (в местах источников шума) прокладочных материалов	
4	Повышенная температура в помещении и возможное содержание металлического порошка в воздухе	Обеспечение системами освещения и вентиляции необходимых санитарно-гигиенических условий	Одежда специального назначения: Костюм, перчатки, обувь, респираторы.
5	Канцерогенные вредные вещества	Использование СИЗ (защитные очки, респираторы, химстойкие перчатки, костюмы), смотровые экраны, системы дистанционного видеонаблюдения опасных, рабочих зон)	Сапоги резиновые с защитным подноском 1 пара Перчатки резиновые или из полимерных материалов Рукавицы комбинированные или перчатки с полимерным покрытием Очки защитные или щиток защитный Наушники или вкладыши противозумные Костюм для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий

4.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.4 Методы пожарной и техногенной безопасности

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Участок 3D печати кронштейна задней опоры подвески двигателя	3D-принтер EOS M400-4	Пожары, связанные с нагреванием стола, экструдера (печатающая головка) и спеканием металлического порошка	1) Искры 2) Тепловой поток 3) Повышенная температура внутри принтера и окружающей среды 4) Пониженная концентрация кислорода 5) Снижение видимости в дыму в связи с возможным задымлением в пространственных зонах 6) Возможная повышенность концентрации токсичных продуктов и термического разложения	Осколки, образующиеся в процессе пожара, части разрушившихся зданий и сооружений, транспортных средств и технических установок, производственного и технического оборудования и хранящихся материалов;
			Пожары связанные с воспламенением материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением		Вынос высокого электрического напряжения на токопроводящие части оборудования

4.5 Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Таблица 4.5 Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Пожарный щит, в составе которого имеется: песок, асбестовая кошма или полотно. Огнетушитель пенный (для тушения на участке), ведро, инструмент, огнетушитель порошковый (для тушения электроустановок)
Мобильные средства пожаротушения	Огнетушитель ОВМ-100/ОУ-8
Стационарные установки системы пожаротушения	Пожарные краны; сплинкерная система пожаротушения с тепловыми легкоплавкими датчиками
Средства пожарной автоматики	Сплинкерная система пожаротушения, автоматическая система пожарной сигнализации – Гранит – 4. Дымовые и тепловые пожарные извещатели на участке.
Пожарное оборудование	Огнетушитель ОВМ-100/ОУ-8, пожарный рукав
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения – очки, респиратор, противогаз.
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Лопата, багор, ведро, топор
Пожарные сигнализация, связь и оповещение.	Локальная система оповещения, сирена, автоматическое оповещение ближайшей пожарной части о пожаре в системе ЕДДС – единой дежурно-диспетчерской службы

4.6 Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 4.6 Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационно-технических мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технологический процесс изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta	Контроль за производством огневых и покрасочных работ	Присутствие первичных средств пожаротушения на месте проведения работ: огнетушители, ведро с водой, кошма. Проведение огневых работ исключительно после оформления наряда-допуска
	Контроль за режимом курения	Оборудование производства изолированным, закрытым помещением для курения. Помещение должно быть оборудовано принудительной вытяжкой и огнетушителями.
	Контроль за средствами пожаротушения (проверка и замена огнетушителей)	Необходимость проведения периодической проверки средств пожаротушения и регламентированной замены огнетушителей, перемотки пожарных рукавов.
	Контроль за уборкой масла и мусора	Указание в технологической документации периодичности и метода уборки рабочего места в конце смены
	Контроль за расстановкой тары в соответствии с планировкой	Нанесение разметки на полу мест установки тары в соответствии с планировочным решением
	Проведение противопожарного инструктажа	Проведение инструктажей: вводного, первичного на рабочем месте, повторного, внепланового, целевого, в зависимости от причины. Произведение анализа производственного травматизма на производстве с целью устранения или снижения его в дальнейшем; контроль хода проведения инструктажа на производстве, соблюдение культуру производства

4.7 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.7 Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра)
Технологический процесс изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta	Пыль, металлический порошок	Появление пыли, диоксида серы. Соединения хлора, азота разрушают озоновый слой.	Загрязнение гидросферы при выбросе отработанной воды	-
	Ветошь Необходимость утилизации ртутных ламп местного освещения		Загрязнение почвы и грунтовых вод в зонах свалок и сброса сточных вод	Происходят нарушения верхних слоёв земной коры из-за захоронения бытовых отходов Почвенный покров сильно загрязняется в зонах рассеивания вредных выбросов в атмосферу.

Разработаны организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду. (Таблица 4.8)

Таблица 4.8 Мероприятия направленные на снижение антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Участок по производству кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta с помощью 3D-печати
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Перед выбросом в атмосферу воздух, удаляемый системами вентиляции очищается фильтрами для того, чтобы в атмосферном воздухе не было вредных веществ, превышающих санитарные нормы.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Производство оборудовано локальным очистным сооружением, которое предусматривает предварительную очистку жидкостей до её утилизации на региональные очистные сооружения. В составе этих сооружений предусмотрено множество способов очистки: отстойники, биологические фильтры, решетки, песколовки и усреднители.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Повторная переработка бумажной упаковки, направление её на участки сбора макулатура Отправление признанных непригодными к использованию материалов на ближайшие свалки и полигоны для захоронения

4.8 Заключение

В разделе «Экологичность и безопасность технического объекта» указаны особенности производства для изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta. Так же перечислены технологические операции, должности и количество работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия, представленные в таблице 4.1.

Осуществлена идентификация профессиональных рисков по предложенному технологическому процессу изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA VESTA, а так же по технологическим операциям и видам работ. Наиболее существенные из них идентифицированы в качестве опасных и вредных факторов и были занесены в таблицу 4.2.

Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков, а также

подобраны средства индивидуальной защиты для работников, указанных в таблице 4.3. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (Таблица 4.4).

Произведена разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 4.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 4.6). Распределены экологические факторы (таблица 4.7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 4.8).

В результате проведенной работы, с точки зрения безопасности и экологичности, работу следует считать удовлетворяющей необходимым правилам и стандартам.

5 Экономическая эффективность работы

Целью данного раздела является произведение расчёта технических и экономических показателей проектируемого производства и последующий анализ с показателями исходного технологического процесса. В результате проделанных действий должен быть известен экономический эффект от предложенных в работе решений. ^[26]

Базовый вариант: для выполнения операции (10 Заливка) технологического процесса изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta, применяется машина для литья CLOO-630/55.

Проектный вариант: предлагается заменить оборудование на 3D-принтер EOS M400-4.

Для проведения полной экономической оценки эффективности предложенного совершенствования технологического процесса изготовления кронштейна задней опоры подвески двигателя автомобиля LADA Vesta, необходимы знания следующих величин:

- Программа выпуска изделия, которая составляет 550 шт;
- Стоимостные, эксплуатационные и размерные характеристики оборудования, оснастки и инструмента, т.к. данные величины оказывают прямое влияние на итоговые результаты расчёта;
- Нормативные и тарифные значения расходных параметров, таких как электроэнергия и т.д.;
- Тарифные ставки основных рабочих, занятых на выполнении исследуемой операции.

Для начала требуется определение значения технологической себестоимости выполнения операции (10 Заливка). Воспользуемся учебно-методическим пособием по выполнению экономического раздела

дипломного проекта.^[26] Формула технологической себестоимости (5.1) приведена ниже:

$$C_{ТЕХ} = M + Z_{ПЛ.ОСН} + H_{ЗПЛ} + P_{Э.ОБ} \quad (5.1)$$

В которой:

M - затраты на материал детали за вычетом отходов

$Z_{ПЛ.ОСН}$ - основная заработная плата рабочих операторов

$H_{ЗПЛ}$ - начисления на заработную плату

$P_{Э.ОБ}$ - расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Начнём расчёт технологической себестоимости детали с расчёта затрат на материал для изготовления детали с помощью формулы (5.2).

$$M = M_з \cdot Ц_{МАТ} \cdot K_{ТЗ} - M_{ОТХ} \cdot Ц_{ОТХ} \quad (5.2)$$

$M_з$ - масса заготовки (используем массу общей заливки, в результате которой получается 4 детали, исходя из особенностей пресс-формы)

$Ц_{МАТ}$ - цена материала за кг.

$K_{ТЗ}$ - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы на доставку материала

$M_{ОТХ}$ - масса отходов материала при изготовлении детали

$Ц_{ОТХ}$ - цена отходов материала

Подставив все необходимые значения в формулу (5.2) рассчитываем затраты на материал в базовом варианте изготовления детали:

$$M = 2,7 \cdot 647 \cdot 86 \cdot 1,01 - 0,3 \cdot 1,39 = 1766,3 \text{ руб.}$$

Далее необходимо рассчитать с помощью формулы (5.3) основную заработную плату рабочих операторов:

$$Z_{\text{пл.осн}} = \frac{C_{\text{ч}} \cdot T_{\text{шт}}}{60} \cdot K_y \cdot K_{\text{нф}} \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{ви}} \cdot K_{\text{н}} \quad (5.3)$$

Подобрав и подставив табличные значения коэффициентов в формулу (5.3) высчитываем данный параметр:

$$Z_{\text{пл.осн}} = \frac{95,29 \cdot 1,39}{60} \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,12 \cdot 1,08 \cdot 1,2 \cdot 1,076 = 4,27 \text{ руб.}$$

Далее рассчитаем начисления на заработную плату с помощью формулы (5.4):

$$H_{\text{з.пл}} = Z_{\text{пл.осн}} \cdot K_c \quad (5.4)$$

K_c - коэффициент страховых взносов, который равен 0,302 (30,2%)

$$H_{\text{з.пл}} = 4,27 \cdot 0,302 = 1,29 \text{ руб.}$$

Далее по формуле (5.5) рассчитываются расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$P_{\text{э.об}} = P_{\text{р.об}} + P_a + P_{\text{пр}} + P_{\text{м}} + P_{\text{э}} \quad (5.5)$$

$$P_{\text{э.об}} = \frac{2,6 \cdot 1,39}{60 \cdot 0,95} \cdot 3,44 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 1,08 = 1,6 \text{ руб.}$$

Теперь, когда мы рассчитали все необходимые показатели для формулы (5.1), вычислим её результат:

$$1766,3 + 4,27 + 1,29 + (0,76 + 0,13 + 13,33 + 3,78 + 1,6) = 1791,46 \text{ руб.}$$

Далее нам необходимо вычислить полную себестоимость изготовления единицы детали. Для этого необходимо вычислить цеховую (5.6) и заводскую (5.7) себестоимость изготовления детали.

$$C_{\text{цех}} = Z_{\text{пл.осн}} \cdot K_{\text{цех}} + C_{\text{тех}} \quad (5.6)$$

$$C_{ЦЕХ} = 4,27 \cdot 1,72 + 1791,46 = 1806,8 \text{ руб.}$$

$$C_{ЗАВ} = C_{ЦЕХ} + Z_{ПЛ.ОСН} \cdot K_{ЗАВ} \quad (5.7)$$

$$C_{ЗАВ} = 1806,8 + 4,27 \cdot 1,97 = 1815,21 \text{ руб.}$$

Вычислив заводскую себестоимость изготовления детали, мы можем вычислить полную себестоимость по формуле (5.8):

$$C_{ПОЛ} = C_{ЗАВ} \cdot K_{ВНЕПР} + C_{ЗАВ} = 1815,21 \cdot 0,003 + 1815,21 = 1820,45 \text{ руб.} \quad (5.8)$$

Мы получили полную себестоимость изготовления детали по базовому технологическому процессу. Однако, мы использовали значение залитого в пресс-форму материала, а так как пресс-форма спроектирована на создание сразу 4 деталей, полная себестоимость единицы детали будет в 4 раза меньше. Используем формулу (5.9) для вычисления единичной полной себестоимости:

$$C_{ПОЛ.ЕД} = \frac{C_{ПОЛ}}{4} \quad (5.9)$$

$$C_{ПОЛ.ЕД} = \frac{1820,45}{4} = 455,11 \text{ руб.}$$

Мы получили полную себестоимость изготовления одной детали равную 455,11 рублям.

Для расчёта экономической эффективности вычислим проектный вариант технологического процесса и сравним с найденным, используя приведённые ранее формулы.

Расчитаем затраты на материал:

$$M = 0,62 \cdot 800 = 496 \text{ руб.}$$

Вычислим затраты на основную зарплату рабочих операторов:

$$Z_{ПЛ.ОСН} = \frac{49,62 \cdot 79,47}{60} \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,12 \cdot 1,08 \cdot 1,2 \cdot 1,076 = 127,2 \text{ руб.}$$

Расчитаем затраты на амортизацию:

$$P_a = \frac{(15000000 - 750000)}{4016 \cdot 60 \cdot 1,2 \cdot 100} \cdot 10 = 4,93 \text{ руб.}$$

Находим результат расходов на технологическую энергию:

$$P_э = \frac{49,62 \cdot 22}{0,7 \cdot 60} \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 1,04 \cdot 3,44 = 18,23 \text{ руб.}$$

Расчитываем расходы на содержание и эксплуатацию производственной площади:

$$P_{пл} = \frac{6,74 \cdot 4500 \cdot 4}{48549 \text{ м}^2} = 2,5 \text{ руб.}$$

Расчитываем технологическую стоимость изготовления детали:

$$C_{ТЕХ} = 496 + 127,2 + 4,93 + 18,23 + 2,5 = 648,75$$

Далее расчитываем цеховую себестоимость изготовления детали:

$$C_{ЦЕХ} = 648,75 + 127,2 \cdot 1,72 = 867,53 \text{ руб.}$$

Расчитываем заводскую себестоимость изготовления:

$$C_{ЗАВ} = 867,53 + 127,2 \cdot 1,97 = 1118,11$$

И расчитываем полную себестоимость изготовления детали:

$$C_{ПОЛ} = 1118,11 \cdot (1 + 0,003) = 1121,46$$

Теперь, зная полную себестоимость создания детали по обоим технологическим процессам, можем посчитать годовой экономический эффект одной детали по формуле (5.10):

$$\mathcal{E}_{ГОД} = C_{ПОЛ.БАЗ} \cdot \frac{D_2}{D_1} - C_{ПОЛ.ПР} \quad (5.10)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ГОД.ЕД}} = 455,11 \cdot 2,8 - 1121,46 = 124,85 \text{ руб.}$$

Мы можем рассчитать необходимые капитальные вложения для приобретения вводимого оборудования:

$$K_{\text{ВВ.ЕД.}} = \frac{15000000}{48549} = 308,97 \text{ руб.}$$

А так же срок окупаемости инвестиций:

$$T_{\text{ОК}} = \frac{308,97}{124,85} = 2,47 \approx 3 \text{ года}$$

Таким образом, мы смогли установить, что использование данного проектного технологического процесса имеет срок окупаемости инвестиций около 3-х лет. Исходя из того, что изготавливаемая по новой технологии деталь будет в разы долговечнее ввиду особенностей изготовления, мы можем сделать вывод, что косвенно снижаются затраты дилеров на гарантийное обслуживание автомобилей, поломки которых связаны с этой деталью. Более высокая долговечность детали позволяет нам получить экономический эффект, который окупит капитальные вложения.^[26]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении данной выпускной-квалификационной работы был разработан и предложен новый технологический процесс изготовления заданной детали, а так же была проведена исследовательская работа в отношении детали, путём её оптимизации.

Для выполнения поставленных задач был проведён ряд операций. Изучен наиболее эффективный и удовлетворяющий метод изготовления детали. Разработана маршрутно-операционная технология с применением нового современного оборудования и приспособления. Так же в свою очередь, были разработаны меры по обеспечению безопасности труда персонала на предприятии в ходе исполнения технологического процесса. Расчёт экономической эффективности доказали результативность и окупаемость нового техпроцесса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] [Электронный ресурс] Интернет-ресурс профессионального 3D оборудования – Режим доступа: <http://3d.globatek.ru> (Дата обращения: 17.01.2018)
- [2] [Электронный ресурс] – Интернет-магазин электронной техники – Режим доступа: <http://www.orgprint.com> (Дата обращения: 17.01.2018)
- [3] [Электронный ресурс] - Интернет-ресурс о технике и технологиях – Режим доступа: <https://www.ixbt.com> (Дата обращения: 17.01.2018)
- [4] [Электронный ресурс] - Интернет-журнал – Режим доступа: <https://www.rutvet.ru> (Дата обращения: 19.01.2018)
- [5] [Электронный ресурс] - Интернет-блог о промышленных технологиях, промышленном дизайне и производстве – Режим доступа: <https://www.tehnohacker.ru> (Дата обращения: 19.01.2018)
- [6] [Электронный ресурс] - Интернет-ресурс, посвящённый технологическим достижениям – Режим доступа: <http://www.techno-guide.ru> (Дата обращения: 22.01.2018)
- [7] [Электронный ресурс] - Новостной интернет-ресурс, созданный для публикации новостей и аналитических статей – Режим доступа: habr.com (Дата обращения: 22.01.2018)
- [8] [Электронный ресурс] - Станки по металлу и дереву – Режим доступа: <http://stankiexpert.ru/> (Дата обращения: 22.01.2018)

- [9] [Электронный ресурс] - EOS Electro Optical Systems: Industrial 3D Printing – Режим доступа: <https://www.eos.info> (Дата обращения: 23.01.2018)
- [10] [Электронный ресурс] - Development of Experimental Setup of Metal Rapid Prototyping Machine using Selective Laser Sintering Technique – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40032-016-0338-6> (Дата обращения: 25.01.2018)
- [11] [Электронный ресурс] - Statistical analysis of dimensional accuracy in additive manufacturing considering STL model properties – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-018-2117-4> (Дата обращения: 25.01.2018)
- [12] [Электронный ресурс] - Application of 3D printing technology for designing light-weight unmanned aerial vehicle wing structures – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40684-014-0028-x> (Дата обращения: 25.01.2018)
- [13] [Электронный ресурс] - A study on the residual stress during selective laser melting (SLM) of metallic powder – Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-016-8466-y> (Дата обращения: 25.01.2018)
- [14] [Электронный ресурс] - Shape Casting – Режим доступа: <https://www.springer.com/gp/book/9783319486222> (Дата обращения: 25.01.2018)

- [15] [Электронный ресурс] - Интернет-ресурс, связанный с электроникой, электротехникой и электрооборудованием – Режим доступа: <https://electrosam.ru/> (Дата обращения: 4.02.2018)
- [16] [Электронный ресурс] - Новости 3D печати и 3D сканирования – Режим доступа: <https://3d-daily.ru/> (Дата обращения: 6.02.2018)
- [17] L.Zhang. «Manufacture by selective laser melting and mechanical behaviour of commercially pure titanium», Журнал «Materials Science and Engineering» 06-2014
- [18] [Электронный ресурс] - Интернет-ресурс, скоростное прототипирование – Режим доступа: <http://www.bego.com/cadcam-solutions/cadcam-processin..> (Дата обращения: 9.02.2018)
- [19] [Электронный ресурс] - Интернет-магазин 3D техники – Режим доступа: <https://www.3dsystems.com/> (Дата обращения: 29.02.2018)
- [20] Андреа Гини. «Selective laser melting –the future of space manufacturing». Журнал «SpacecraftDesign» 9-2012.
- [21] [Электронный ресурс] - Процессы, проходящие при трехмерной печати – Режим доступа: <https://www.additively.com/en/learn-about/laser-melting> (Дата обращения: 10.03.2018)
- [22] [Электронный ресурс] - Информация о технологии – Режим доступа: <http://www.renishaw.com/en/laser-melting-metal-3d-pri..> (Дата обращения: 13.03.2018)

- [23] Основы технологии машиностроения [Электронный ресурс]: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. - Москва: ИНФРА-М, 2017. - 295 с.
- [24] Козлов, А.А. Кузьмич, И.В. Разработка технологических процессов изготовления деталей машин: учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых проектов по дисциплине «Основы технологии машиностроения» для студентов спец. 151001 «Технология машиностроения» / сост. А.А. Козлов, И.В. Кузьмич. – Тольятти: ТГУ, 2008. – 152 с.
- [25] [Электронный ресурс] Горина, Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. / Л. Н. Горина - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 51 с.
- [26] Зубкова, Н.В. Учебно-методическое пособие по выполнению экономического раздела дипломного проекта для студентов, обучающихся по специальности 151001 «Технология машиностроения». Тольятти: ТГУ, 2012. – 123 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Дробь		Взвеш		Лодка																															
Разработчик		Пучченко П.А.		Распространитель		Д.А.		ТГУ, Кафедра ОТМТ																											
Наименование		Вулканод ВГ		Универсальная		НЮ																													
М 01		Код		ЕВ		МД		ЕН		Н. раск.		КИМ		Код заготовки		Профиль и размеры		КД		МЗ															
М 02		Дев		Уч		РМ		Овер		Код - наименование операции		095		-		45x124		1		06															
А		Код		Уч		РМ		Овер		Код - наименование операции		Объемные документы		СЧ		Проф		Р		УГ		КР		КОВИД		ЕН		ОП		Кшт		Тпз		Тшт	
А03		XX		XX		XX		000		Заргузочная																									
Б04		Заргузочная		камера		ЗД-принтера																													
05		XX		XX		XX		005		Печатная																									
А06		ЗД		принтер		EOS M400-4				1		15292		422		1р		1		1										4962					
Т08		Лазерная		установка		EOS GN-400-R																													
009		Промежуточные		контроль		посадочных размеров																													
Т10		Нутромер																																	
11		XX		XX		XX		010		Маячная																									
А12		Камерная		маячная		машина				1		15709		222		1р		1		1										3					
14		XX		XX		XX		015		Термическая																									
Б16		Печь-ванна								1		16069		322		1р		1		1										80					
17		XX		XX		XX		020		Контрольная																									
А18		XX		XX		XX		020		Контрольная																									
МК 1																																			

