

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра ракетных двигателей

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКА
ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов специальности
24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
(специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей»)
очной формы обучения

Воронеж 2021

УДК 629.7:621.452(07)
ББК 39.551.4я7

Составитель

д-р техн. наук Г. А. Сухочев

Технология изготовления деталей и сборка жидкостных ракетных двигателей: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Г. А. Сухочев. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 31 с.

Методические указания содержат теоретические сведения и практические задания для проведения лабораторных работ.

Предназначены для студентов 4,5 курсов, выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Технология изготовления деталей и сборка жидкостных ракетных двигателей».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ТИДиСЖРД_ЛР.pdf.

Ил. 1. Табл. 14. Библиогр.: 6 назв.

УДК 629.7:621.452(07)
ББК 39.551.4я7

Рецензент - В. Д. Горохов, д-р техн. наук, профессор кафедры ракетных двигателей ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении трудоемкость заготовительных работ достигает 30 - 45 % от общей трудоемкости производства изделий. Заготовки изготавливают из проката и специальных профилей, литьем, обработкой давлением, сваркой, вырезкой из листа, прессованием из порошков. В общем объеме заготовительного производства примерно 50 % занимают сварные заготовки; 40 % - отливки, из них 28 % - из чугуна, 9 % - из стали, 3 % - из цветных сплавов; 10 % - поковки, из них 8 % - штампование, 1,8 % - из слитков, 0,2 % - из порошковых материалов.

Заготовка является объектом машиностроительного производства, из которой посредством механической, термической, электро-физико-химической и упрочняющей обработки осуществляется изготовление детали, включающее в себя изменение размеров, формы и расположения поверхностей, формирование макрогеометрических и физико-механических свойств поверхностного слоя и материала.

Различают три основных класса заготовок: профильные, штучные и комбинированные. Профильные заготовки изготавливают из проката круглого, шестигранного, прямоугольного, трубчатого, листового и других сечений, постоянного или переменного по длине. Штучные заготовки изготавливают литьем, ковкой, штамповкой и прессованием. Комбинированные заготовки сложной формы, изготавливают посредством неразъемных соединений из более простых элементов посредством сварки и сопряжений с натягом.

В методических указаниях дается численное технико-экономическое обоснование методов изготовления заготовок по критерию минимальных суммарных приведенных затрат на изготовление заготовки и последующую механическую обработку, представлены технологические возможности изготовления заготовок гибкой, вырезкой из листа, различными методами литья, пластической деформации.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБОСНОВАНИЮ МЕТОДОВ ВЫБОРА И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАГОТОВОК

Цель и задачи

Перед началом работ повторите материалы по численному обоснованию выбора заготовок в [1–6].

Для выполнения работы необходим дисплейный класс, справочная литература и учебная литература.

Цель проведения практических занятий: приобретение практических навыков выбора и расчета заготовок.

План проведения и задачи лабораторных работ:

1. Изучить указанные разделы в [1; 3].
2. Получить и проанализировать задание соответствующего варианта выданного чертежа детали.
3. Выбрать оптимальный метод изготовления заготовки и численно обосновать целесообразность его применения.
4. Сделать оценку различных вариантов методов изготовления заготовки.
5. Оформить общий отчет и защитить каждую из выполненных работ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Качественная оценка методов изготовления заготовок

Различают три основных класса заготовок: профильные, штучные и комбинированные. Профильные заготовки изготавливают из проката круглого, шестигранного, прямоугольного, трубчатого, листового и др. сечения, постоянного или переменного по длине. Штучные заготовки изготавливают литьем, ковкой, штамповкой и прессованием.

Качество заготовки оценивается погрешностью размеров, формы и расположения поверхностей, качеством поверхностного слоя.

Материал заготовок оказывает влияние на выбор способа их изготовления. Например, серый чугун имеет хорошие литейные свойства, но плохо пластически деформируется, за исключением специальных марок. Нержавеющие стали обладают высокими антикоррозионными свойствами, но плохо поддаются ковке и литью. Технологические свойства материала оказывают влияние на себестоимость изготовления заготовок.

Литье в машиностроении является наиболее распространенным методом изготовления заготовок: 50% и более от общего объема производимых заготовок. Литые заготовки характеризуются относительно большим размером зерен, неоднородностью химического состава и механических свойств по сечению отливки, наличием остаточных напряжений. Литье под давлением - наиболее производительный способ изготовления тонкостенных заготовок сложной формы из алюминиевых, магниевых, медных и цинковых сплавов.

Литье в кокиль – широко применяется для изготовления заготовок зубчатых колес, цилиндров, шкивов, кронштейнов, корпусов гидравлического оборудования, редукторов и коробок передач, крыльчаток и др. Литье по выплавляемым моделям применяют для изготовления заготовок сложной формы массой от нескольких сот грамм до 10-15 кг из среднеуглеродистых сталей; легированных и инструментальных сталей; коррозионностойких и кислотоупорных сталей; жаропрочных сталей; цветных сплавов. Литьем по выплавляемым моделям и под давлением изготавливаются заготовки с минимальными припусками и минимальной трудоемкостью механической обработки. Литье в оболочковые формы применяется для тонкостенных заготовок типа кронштейнов, плит, рычагов и др. из серого и магниевого чугуна, стали и цветных сплавов, имеющие простую форму без полостей. Центробежное литье применяют для изготовления цилиндрических заготовок без значительного перепада диаметров с толщиной стенок от 2 до 20 мм и более

Пластическим деформированием изготавливают заготовки в виде профилей, кованных и штампованных заготовок. Ковка применяется для изготовления заготовок простых плоских, цилиндрических и симметричных форм с плавными переходами между сечениями. Горячая объемная штамповка применяется для изготовления качественных заготовок сложной формы массой 50-100 кг для автомобильной, тракторной, железнодорожной и авиационной отраслей машиностроения. Объемная холодная штамповка применяется для изготовления заготовок сложной формы небольших и средних размеров. Холодная штамповка применяется для изготовления заготовок из листа и ленты посредством разделительных операций отрезки, разрезки, вырубки, пробивки, проколки и др.; формообразующих операций гибки, вырубки, вытяжки, раздачи и др. Прокатом изготавливают профили круглого, шестигранного, квадратного и трубчатого сечения; прессованием и волочением изготавливают профили с минимальными припусками в поперечном сечении. Прокат изготавливают горячекатаный и калиброванный. Заготовки, изготовленные давлением, имеют мелкозернистую структуру, волокнистость в виде направленного расположения зерен, наклеп; в результате чего прочность повышается 1,5-2,0 раза в сравнении с литыми заготовками; при этом прочность металла вдоль волокон на 10-15 % выше, чем в поперечном направлении.

Прокат применяется для изготовления заготовок простых форм. В этом случае затраты на изготовление заготовки минимальны из-за низкой стоимости проката, малого объема подготовительных операций и возможности автоматизации подготовительных операций. Однако затраты на последующую формообразующую размерную обработку могут быть значительны из-за необходимости удаления больших припусков, что может вызвать большие суммарные затраты.

Штамповка применяется для изготовления заготовок относительно простой формы массой от нескольких килограмм до двух-трех сотен килограммов. Изготовление глубоких отверстий и полостей штамповкой

затруднено, а использование напусков увеличивает объем механической обработки.

Кованые заготовки изготавливаются более крупных размеров массой свыше 30-50 т. в единичном производстве. Штамповка позволяет получить заготовки, более близкие по конфигурации к готовой детали массой до 350-500 кг. Внутренние полости поковок должны иметь более простую форму чем у отливок, и располагаться вдоль направления движения рабочего органа молота и пресса. Точность и качество заготовок, полученных холодной штамповкой, не уступают точности и качеству отливок, полученных специальными методами литья. Механические свойства заготовок, изготовленных давлением из пластичных металлов, выше литых.

Сварные заготовки сложной формы изготавливают методом сварки более простых элементов конструкции различными способами сварки: электродуговой, газопламенной, трения, электрошлаковой и др. Сварные заготовки в зоне сварного шва имеют неоднородную структуру металла и снижение прочности, которая зависит от конструкции заготовки, способа и режима сварки. Наибольшая неоднородность возникает при ручной дуговой сварке, наиболее качественную и однородную структуру обеспечивает электрошлаковая и автоматическая дуговая сварка. Неправильная конструкция заготовки и технология сварки могут привести к короблению, пористости, внутренним напряжениям и снижению прочности.

Комбинированные заготовки сложной формы изготавливают из более простых штампованных, литых, кованых заготовок и профильного проката посредством соединения сваркой и сопряжения их с натягом. Комбинированные заготовки применяются для изготовления крупных коленчатых валов, корпусных деталей, станин различного оборудования и др.

Заготовки из порошковых материалов изготавливаются с минимальными припусками с небольшим объемом размерной и финишной обработки. В качестве исходного материала используются порошки металлов и их сплавов, металлоиды, которые затем прессуются или формуются в изделия и подвергаются в условиях сжатия спеканию при температурах ниже температуры плавления основного их компонента. Из порошковых материалов изготавливаются шестерни, храповики, детали измерительных инструментов и др. Экономическая эффективность методов порошковой металлургии достигается при достаточно больших партиях производства. Оцените качественно эффективность заготовки по указанному преподавателем примеру ДСЕ ЖРД.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Численное обоснование методов изготовления заготовок

Рассмотрим методику численного обоснование методов изготовления заготовок, с учетом суммарных затрат на ее изготовление и последующую механическую обработку.

2.1. Определение затрат на изготовление заготовки

Себестоимость изготовления заготовки и детали (1.1):

$$C_{\text{д}} = C_{\text{заг}} + C_{\text{мо}}, \quad (1.1)$$

где $C_{\text{заг}}$ – себестоимость изготовления заготовки; $C_{\text{мо}}$ – себестоимость механической обработки.

Себестоимость изготовления заготовки в общем виде (1.2):

$$C_{\text{заг}} = Z_{\text{м}} + Z_{\text{зп}} + \frac{Z_{\text{об}}}{P_{\text{воб}}} + \frac{Z_{\text{ос}}}{P_{\text{вос}}} + \frac{Z_{\text{и}}}{P_{\text{ви}}} + \frac{Z_{\text{эоб}}}{P_{\text{воб}}} + \frac{Z_{\text{эос}}}{P_{\text{вос}}} + \frac{Z_{\text{эи}}}{P_{\text{ви}}}, \quad (1.2)$$

где $Z_{\text{м}}$ – затраты на приобретение материалов; $Z_{\text{зп}}$ – заработная плата основных и вспомогательных рабочих; $Z_{\text{об}}$; $Z_{\text{ос}}$ $Z_{\text{и}}$ – затраты на приобретение оборудования, оснастки и инструмента; $Z_{\text{эоб}}$; $Z_{\text{эос}}$; $Z_{\text{эи}}$ – затраты на эксплуатацию и ремонт оборудования, оснастки и инструментов; $P_{\text{в}}$ – программа выпуска производственной партии; $P_{\text{воб}}$; $P_{\text{вос}}$; $P_{\text{ви}}$ – программа выпуска на соответствующем оборудовании, оснастке и инструменте.

Для вычисления себестоимость операции изготовления заготовок применяются приближенные формулы для соответствующих методов: резки проката; гибки проката; вырезки из листа; литья заготовок; пластической деформации заготовок и других.

Себестоимость механической обработки заготовки в общем виде (1.3):

$$C_{\text{мо}} = C_{\text{по}} + C_{\text{чо}} + C_{\text{фо}} \quad (1.3)$$

где $C_{\text{по}}$, – себестоимость предварительной (черновой), чистовой $C_{\text{чо}}$ и финишной $C_{\text{фо}}$ обработки.

Для определения себестоимость изготовления заготовок используется приведенные затраты производства одной тонны базовой заготовки, а переход к себестоимости других методов изготовления заготовок осуществляется посредством уточняющих коэффициентов. Например, для литой заготовки себестоимость ее изготовления (1.4):

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_{\text{бл}}}{1000} \cdot m_{\text{д}} \cdot k_{\text{т}} \cdot k_{\text{сл}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} \right) - (m_{\text{з}} - m_{\text{д}}) \frac{C_{\text{отх}}}{1000}, \quad (1.4)$$

где $C_{\text{бл}}$ – базовая стоимость одной тонны литой заготовки, различная по величине для различных методов литья, материалов и др.; $k_{\text{т}}$ – коэффициент,

зависящий от класса точности; $k_{сл}$ – коэффициент группы сложности заготовки; k_m – коэффициент, зависящий от массы заготовки; k_M – коэффициент, зависящий от марки материала; $k_{п}$ – коэффициент, зависящий от объема производства; $m_з$ – масса заготовки; m_d – масса детали; $C_{отх}$ – цена одной тонны отходов.

Например, для отливок в земляные формы и кокиль, за базовую принимается себестоимость одной тонны отливки из серого чугуна марок типа СЧ15-32 массой 1-3 кг, 3-го класса точности, 3-й группы сложности и 3-й группы серийности.

Масса металла, расходуемого на заготовку (1.5):

$$m_{\Sigma з} = m_d + m_{то} + m_{зо} + m_{пр} \quad (1.5)$$

где m_d - масса детали; $m_{то}$ - масса технологического отхода; $m_{зо}$ - масса заготовительного отхода; $m_{пр}$ – масса металла, расходуемая на припуски при механической обработке.

2.2. Определение затрат на механическую обработку

Себестоимость механической обработки определяется для нескольких вариантов изготовления заготовки методом приведенных затрат для отличающихся операций, которые выделяются при рассмотрении вариантов маршрутов обработки.

Часовые приведенные затраты (1.6):

$$З_{пч} = З_{од} + З_{чэ} + k_{эк}(k_{чс} + k_{чз}), \text{ р./ч.}, \quad (1.6)$$

где $З_{од}$ - основная и дополнительная зарплаты с начислениями, р./ч; $З_{чэ}$ - затраты на эксплуатацию рабочего места, р./ч; $k_{эк} = 0,15$ - нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений; $k_{чс}, k_{чз}$ - удельные часовые капитальные вложения в станок и здание, р./ч.

Основная и дополнительная зарплата с начислениями (р/ч) с учетом многостаночного обслуживания (1.7):

$$З_{од} = k_{чс} T_{чс} k_{зн} k_{шв}, \quad (1.7)$$

где коэффициент $C_{тс}$ - часовая тарифная ставка; $k_{вн}$ - коэффициент выполнения норм; $k_{зз}$ - коэффициент дополнительной оплаты труда; $k_{сс}$ - коэффициент отчисления в соцстрах; $k_{чс} = 2,66$ - коэффициент к часовой тарифной ставке; $T_{чс}$ - часовая тарифная ставка станочника-сдельщика

соответствующего разряда, р./ч; $k_{3н}$ - коэффициент, учитывающий зарплату наладчика: для серийного производства $k_{3н}=1$, для массового $k_{3н}=1,15$. $k_{шв}$ - коэффициент штучного времени, учитывающий количество n_c обслуживаемых станков.

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места [2, 6] (1.8):

$$Z_{чэ} = Z_{чр} k_c^* \cdot k_{п}^*, \text{ р./ч}, \quad (1.8)$$

где $Z_{чр}$ - часовые затраты на рабочем месте, р./ч, k_c^* - коэффициент, возрастания затрат эксплуатации станка.

Коэффициент часовых затрат на эксплуатацию рабочего места при пониженной загрузке станка ($k_{3с} < 60\%$) (1.9):

$$k_{п}^* = 1 + k_{п/ч} (1 - k_3) / k_3, \quad (1.9)$$

где $k_{п/ч} \cong 0,3-0,5$ - коэффициент соотношения постоянных затрат на рабочем месте к общим часовым затратам.

Значение k_c^* , учитывающего превышение постоянных затрат над переменными на эксплуатацию станка, определяются по формуле (1.10), входящие в нее коэффициенты определяются по таблицам, с учетом балансовой стоимости станка (C_c , р), мощности электродвигателей (W_c , кВт), ремонтной сложности механической и электротехнической частей (P_m и $P_э$), затрат на возмещение износа инструмента ($Z_{чи}$, р/ч) [7].

$$k_c^* = 0,048 \left(\frac{k_c C_c}{1000} + k_w W_c + k_{рм} P_m + k_{рэ} P_э + Z_{чи} \right), \quad (1.10)$$

где $k_c, k_w, k_{рм}, k_{рэ}$ - коэффициенты на балансовую стоимость станка, установленную мощность привода станка, ремонтную сложность механической и электрической частей станка, часовые затраты на возмещение износа инструмента.

Таблица 1

Значения коэффициентов $k_c^*, k_w, k_{рм}, k_{рэ}$

Поправочные коэффициенты	k_c^*	k_w	$k_{рм}$	$k_{рэ}$
Универсальные и специализированные станки массой до 10 т				
Автоматы и полуавтоматы	3,00	0,60	0,73	0,40
Резьбофрезерные, зубофрезерные, протяжные	3,00	0,60	0,69	0,40
Остальные, работающие лезвийным инструментом	3,00	0,48	0,54	0,40
Остальные, работающие абразивным инструментом	2,95	0,48	0,58	0,70

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места при пониженной загрузке станка ($k_{3c} < 60\%$), если он не может быть до загружен другой одно типной номенклатурой деталей, например, деталей из другого участка или цеха, корректируются коэффициентом (1.11):

$$k_{\Pi}^* = 1 + k_{\Pi/ч} (1 - k_3) / k_3, \quad (1.11)$$

где $k_{\Pi/ч} \cong 0,3-0,5$ – коэффициент соотношения постоянных затрат в часовых затратах на рабочем месте.

Коэффициент загрузки станка (1.12):

$$k_3 = T_{шк} \Pi_M / 60 \Phi_M k_{вн}. \quad (1.12)$$

где $T_{шк} = T_{шт} - t_{пз} / n_d$ – штучно-калькуляционное время; $T_{шт}$ – штучное время; $t_{пз}$ – подготовительно-заключительное время, затраченное на n_d деталей; Π_M – месячная программа; Φ_M – месячный фонд работы станка при односменной работе; $k_{вн}$ – коэффициент выполнения норм.

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места (1.13):

$$Z_{чэ}^* = (Z_{чи} \cdot k_{чз3c}) / 1,14, \text{ руб./ч.} \quad (1.13)$$

В методе приведенных затрат все расчеты выполняются посредством часовых экономических и технологических показателей изготовления заготовки и последующей механической обработки ее.

Капитальные вложения в станок (1.14) и здание цеха (1.15):

$$K_{кc} = \frac{100C_c}{\Phi_{гc} k_3}, \quad (1.14)$$

$$K_{кц} = \frac{100C_{1ц} S_{ц} k_s}{\Phi_{гc} k_3}, \quad (1.15)$$

где C_c – балансовая стоимость станка, р.; $C_{1ц}$ – стоимость 1 м² площади механического цеха, р.; S_c – площадь станка и дополнительная площадь с учетом проходов, м²; $\Phi_{гc}$ – эффективный годовой фонд времени работы оборудования при работе в две смены, ч.; k_3 – коэффициент загрузки станка: в серийном производстве $k_3 = 0,8$, в массовом $k_3 > 0,8$; k_s – коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь.

Значения коэффициента $k_{чз_{зс}}$ для различных станков и типов производств [2, с. 172]

Виды станков	Тип производства	
	Единичное и мелкосерийное	Крупно-серийное
Токарные	2,14	1,36
Токарно-револьверные	1,98	1,35
Токарно-многорезцовые	—	1,50
Вертикально-сверлильные	1,72	1,30
Радиально-сверлильные	1,75	1,41
Расточные	3,25	—
Кругло-шлифовальные	2,10	1,55
Строгальные	1,73	—
Фрезерные	1,84	1,51
Зуборезные	1,66	1,27

Примем площадь станка в плане $S_c > 20 \text{ м}^2$ $k_s = 1,5$ при $S_c = 10-20 \text{ м}^2$; $k_s = 2$ при $S_c = 6-10 \text{ м}^2$ $k_s = 2,5$; при $S_c = 4-6 \text{ м}^2$ $k_s = 3$; при $S_c = 2-4 \text{ м}^2$ $k_s = 3,5$; при $S_c < 2 \text{ м}^2$ $k_s = 4$. Минимальная производственная площадь станка $S_c k_s = 6 \text{ м}^2$.

Значения размеров и площади различных моделей станков в плане, с учетом станочных электрических систем управления, электрических и гидравлических систем, представлены в справочниках по станкам и проектированию цехов [2, и др.].

Подставляя в формулу (1.16) входящие в нее параметры, вычислим суммарные приведенные часовые затраты $Z_{пч}$, по которым вычисляются себестоимость технологической операции механической обработки [6].

$$C_o = \frac{Z_{пч} T_{шт}}{60 k_{вн}}, \text{ р.} \quad (1.16)$$

Штучное время (1.17) на выполнение i -й операции [6]:

$$T_{шт} = t_{oc} + t_{всп} + t_{обс} + t_{л}, \text{ мин.} \quad (1.17)$$

где $t_{oc} \cong 1,2 t_m$, t_m – теоретико-вероятностное машинное время обработки поверхностей (мин), которое вычисляется по эмпирическим зависимостям, приведенным в табл. 12 и более полно – в [6].

В формуле (1.18) и при нормировании используется штучно-калькуляционное время.

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n}. \quad (1.18)$$

Подготовительно-заключительное время $t_{\text{пз}}$ нормируется на партию деталей, и часть его, приходящаяся на одну деталь, включается в норму штучно-калькуляционного времени (только при серийном и единичном производстве).

В состав подготовительно-заключительного времени входит ознакомление с работой, настройка оборудования на выполнение данной работы и на требуемые режимы резания, пробная обработка деталей, получение на рабочем месте заданий, заготовок, инструмента, приспособлений, сдача продукции и (иногда) доставка на рабочее место инструмента и приспособлений и сдача их в кладовую после окончания работы. Подготовительно-заключительное время задается по нормативам в минутах и зависит от характера и объема подготовительных работ для n деталей.

Основное технологическое (машинное) время $t_{\text{ос}} \cong t_{\text{м}}$, при проектировании маршрутной технологии, когда неизвестны еще режимы обработки, определяется по приближенным формулам, представленным в таблице. При проектировании операционной технологии, когда известны режимы обработки, $t_{\text{ос}} \cong t_{\text{м}}$ определяется более точно расчетным путем (1.19):

$$t_{\text{ос}} = t_{\text{м}} = L_{\text{обр}} \cdot i / S_{\text{мин}}, \quad (1.19)$$

где с учетом длины обрабатываемой поверхности $L_{\text{обр}}$, минутной подачи $S_{\text{мин}}$ за i проходов.

Вспомогательное время на установку и снятие заготовки, перемещения инструментов $t_{\text{всп}} \cong (1,04 - 1,08)t_{\text{оп}}$. Время на обслуживание (1.20):

$$t_{\text{обс}} = t_{\text{обс}_{\text{тех}}} + t_{\text{обс}_{\text{орг}}}, \quad (1.20)$$

включает в себя время на техническое $t_{\text{обс}_{\text{тех}}}$ и организационное $t_{\text{обс}_{\text{орг}}}$ обслуживания рабочего места и станка. Время на отдых и личные потребности $t_{\text{л}} = (1,02 - 1,06)t_{\text{оп}}$. Оперативное время $t_{\text{оп}} = t_{\text{ос}} + t_{\text{всп}}$. При проектировании маршрутной технологии значения $t_{\text{всп}}$, $t_{\text{обс}}$, $t_{\text{л}}$ определяются в процентах от оперативного времени посредством соответствующих коэффициентов, приведенных в таблице.

Вспомогательное время $t_{\text{всп}} = k_{t_{\text{всп}}} t_{\text{оп}}$. Время на обслуживание $t_{\text{обс}} = k_{t_{\text{обс}}} t_{\text{оп}}$. Время на отдых и личные потребности $t_{\text{л}} = k_{t_{\text{л}}} t_{\text{оп}}$. Большие значения коэффициентов $k_{t_{\text{всп}}}$, $k_{t_{\text{обс}}}$, $k_{t_{\text{л}}}$ соответствуют обработке более точных поверхностей, более тяжелых деталей, работе на более крупных станках, выполнению финишных операций. При проектировании операционной технологии значения $t_{\text{в}}$, $t_{\text{об}}$, $t_{\text{л}}$ определяются точнее по

нормативным таблицам.

Из рассматриваемых методов изготовления заготовки выбирается тот, который имеет меньшие суммарные затраты на изготовление заготовки и последующую механическую обработку. Например, если (2.21):

$$(C_{\text{заг1}} + C_{\text{о1}}) > (C_{\text{заг2}} + C_{\text{о2}}), \quad (2.21)$$

то выбирается второй вариант.

Приведенная годовая экономия определяется по себестоимость изготовления заготовки и механической обработки для рассматриваемых вариантов с учетом годовой программы производства (2.22):

$$\mathcal{E}_{\text{пг}} = (C_{\text{заг1}} + C_{\text{о1}}) - (C_{\text{заг2}} + C_{\text{о2}}) P_{\text{г}}, \text{ р}, \quad (2.22)$$

где $C_{\text{о1}}, C_{\text{о2}}$ - технологическая себестоимость сравниваемых операций, р.; $P_{\text{г}}$ - годовая программа выпуска деталей, шт.

Если кроме стоимости механической обработки изменяется стоимость оснастки, инструмента или другие статьи затрат, то общий экономический эффект определяется с учетом этих изменений и составит (2.23)

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пг}} \pm \Sigma \Delta_{\text{э}}, \text{ руб}, \quad (2.23)$$

где $\Sigma \Delta_{\text{э}}$ - экономия (знак +) или перерасход (знак -) по другим статьям.

Таблица 3

Часовые затраты на возмещение износа режущего инструмента для соответствующих групп станков [1, 6]

Группа станков	Характеристика группы	$Z_{\text{чи}}$, у.е.
Токарно-винторезные	Высота центров: $\leq 200 / \geq 200$ мм	4,5 / 7,5
Токарно-карусельные	Диаметр стола: $\leq 1000 / \geq 1000$ мм	5,8 / 8,0
Токарно-револьверные	Диаметр прутка: $\leq 22 / \geq 22$ мм	4,9 / 6,8
Многорез. полуавтом.	Диаметр загот.: $\leq 250 / \geq 250$ мм	7,6 / 11,2
Вертикально-сверлил.	Диаметр сверла: $\leq 25 / \geq 25$ мм	5,6 / 7,4
Радиально-сверлил.	Диаметр сверла: $\leq 50 / \geq 50$ мм	9,2 / 11,0
Горизонтально-сверл.	Диаметр шпинделя: $\leq 60 / \geq 60$ мм	7,7 / 9,5
Горизонтально-расточ.	Работающие периферией круга	8,7
Плоско-шлифовальн.	Работающие торцом круга	7,0
Кругло-шлифовальн.	Диаметр шлиф. круга ≤ 250 мм	10,3
Бесцентровошлифов.	Диаметр шлиф. круга ≤ 250 мм	23,0
Зубо-фрезерные	С вертик. осью в ращения	21,0
Зубо-долбежные	С вертик. осью вращения	15,9
Зубо-строгальные	Диаметр колеса ≤ 450 мм	8,60

Примечание. В знаменателе указаны значения $Z_{\text{чи}}$, у.е. для станков с ЧПУ.

Для расчетов необходимы следующие исходные данные: балансовая цена станка ($C_c, p.$); площадь станка в плане ($S_c, м^2$); коэффициент загрузки станка (k_3); категории ремонтной сложности механической и электрической частей станка ($P_M, P_э$); установленная мощность электродвигателей ($W_c, кВт$); часовые затраты на возмещение износа металлорежущего инструмента ($Z_{чи}, p/ч$); приближенные нормативы штучного $T_{шт}$ и штучно-калькуляционного времени $T_{шк}$ выполнения операций (мин); годовая программа выпуска деталей ($П_Г$); тип производства; количество станков, обслуживаемых одним рабочим (n_c); эффективный годовой фонд времени работы, часовые тарифные ставки рабочих, эффективный годовой фонд времени работы оборудования.

Таблица 4

Средние значения коэффициентов k_c^* и $k_{п/ч}$ [2, 6]

Тип станков	Параметры	k_c^*, k_M	$k_{п/ч}$
1	2	3	4
Токарно-винторезные	Высота центров: до 200 мм:	1,0	0,38
	свыше 200 до 300	1,7	0,38
	свыше 300 до 500	4,1	0,48
Токарно-карусельные	Диаметр планшайбы: до 1120 мм	3,9	0,56
	свыше 1120 до 1400	5,2	0,52
	свыше 1400 до 2000	10	0,77
Вертикально-сверлильные	Диаметр сверла до 12 мм	0,6	0,31
	Диаметр сверла 12-35 мм	0,8	0,30
	Диаметр сверла 35-65 мм	1,2	0,32
	Диаметр сверла свыше 65 мм	1,8	0,36
Горизонтально-расточные	Диаметр шпинделя до 85 мм	2,8	0,56
	Диаметр шпинделя 85-110	3,9	0,58
	Диаметр шпинделя 110-150	5,6	0,69
	Диаметр шпинделя >150	5,9	0,74
Круглошлифовальные	Диаметр изделия до 400 мм	2,5	0,37
Плоскошлифовальные	Длина стола до 1000 мм	2,0	0,29
	Длина стола 1000-2000	3,6	0,41
	Длина стола свыше 2000	5,7	0,46
Зубофрезерные	Диаметр изделия до 500 мм	5,5	0,66
Зубошлифовальные	Диаметр стола до 1750 мм	3,5	0,37

Таблица 5

Коэффициент нормы времени $k_{t_{\text{обс}}}$ на обслуживание рабочего места (в %) от оперативного времени $t_{\text{оп}}$ для серийного производства

Наименование станка	$k_{t_{\text{обс}}}$, %
1	2
Токарные: высота центров до 125 мм	6,0
до 200 мм	6,5
до 300 мм	7,0
Вертикально - и радиально-сверлильные	
наибольший диаметр сверления до 12 мм	5,5
до 50 мм	6,0
до 75 мм	6,5
Горизонтально, вертикально и универсально-фрезерные	
длина стола станка до 750 мм	6,0-08
длина стола станка до 1800 мм	7,0-9,0
длина стола станка до 2500 мм	7,5-9,5
Резьбофрезерные:	
высота центров до 150 мм	7,2
высота центров до 200 мм	8,0
высота центров до 300 мм	8,8
Шлицефрезерные	7,6
Зубодолбежные	7,7
Шевинговальные	7,2
Зубофрезерные, зубострогальные	8,0
Горизонтально - и вертикально-протяжные	7,0-8,0
Шлицешлифовальные	12,0
Хонинговальные, суперфинишные	10,0

Таблица 6

Коэффициент нормы времени $k_{t_{\text{д}}}$ на отдых и естественные надобности (в %) от оперативного времени $t_{\text{оп}}$ для серийного производства

Наименование станка	$k_{t_{\text{д}}}$, %
Круглошлифовальные:	
точность шлифования 5 квалитет	6
6 квалитет	5
7 квалитет	4
Бесцентровые круглошлифовальные:	
масса шлифуемой детали до 0,5 кг	5
до 1,0 кг	6
свыше 1,0 кг	7

Внутришлифовальные:	
точность шлифования 6 квалитет	6
7 квалитет	5
8 квалитет	4
Плоскорошлифовальные	4
Зубошлифовальные	4

Таблица 7

Коэффициент нормы времени $k_{t_{\text{тех}}}$ на техническое обслуживание рабочего места (в %) от оперативного времени $t_{\text{оп}}$ для массового производства

Наименование станка	$k_{t_{\text{тех}}}$
Плоскошлифовальные станки, работающие торцом круга:	
черновое шлифование поверхностей шириной $L < 100 \text{ мм}$	3,0
черновое шлифование поверхностей $L < 200 \text{ мм}$	4,0
черновое шлифование поверхностей $L < 300 \text{ мм}$	5,0
чистовое шлифование поверхностей $L < 200 \text{ мм}$	2,0
чистовое шлифование поверхностей $L < 300 \text{ мм}$	3,0
Станки для хонингования и суперфиниша	4,0
Зубошлифовальные	6,0
Шлицешлифовальные	6,5
Зубофрезерные и зубодолбежные	2,5
Зубошевинговальные	2,0
Зубозакругляющие	2,0
Зубострогальные для прямозубых конических колес	2,5
Зубострогальные для конических колес с криволинейным зубом	2,0
Резьбофрезерные	2,0
Гайконарезные	2,0
Резьбонакатные полуавтоматы	2,0
Болтонарезные	2,0
Протяжные для внутреннего протягивания	2,0
Протяжные для наружного протягивания	2,0
Центровальные	1,5

Таблица 8

Коэффициент нормы времени $k_{t_{\text{орг}}}$, на организационное обслуживание рабочего места (в %) от оперативного времени $t_{\text{оп}}$ для массового производства

Станки	Размеры	$k_{t_{\text{орг}}}$, $t_{\text{обс}}$
1	2	3
Токарно-центровые операции	d = 300	1,3
	d = 400	1,5
	d = 600	1,7
Токарно многорезцовые	-	1,7
Токарные многошпиндельные полуавтоматы	d = 1262	2,4
	d = 1283	3,1
Резьботокарные полуавтоматы для коротких резьб	-	1,3
Револьверные	-	1,3
Расточные	-	1,7
Вертикально-сверлильные	-	1,0
Вертик.-сверлил. много шпиндельные	-	2,4
Горизонт. - и вертикально - фрезерные	-	1,4
Фрезерные полуавтоматы карусельного типа	D = 1000	2,4
	D = 2000	3,0
Фрезерные полуавтом. барабанные	-	2,4
Шлицефрезерные	-	2,1
Шпоночно-фрезерные вертикальные	-	1,4
Круглошлифовальные	-	1,7
Внутришлифовальные	-	2,0
Плоскошлифовальные с круглым столом	D=900	1,8
	D=1000	2,0
Плоскошлифовальные с прямоугольным столом	L=1000	1,8
	L=2000	2,0
Безцентрошлифовальные	-	2,2
Хонинговальные	-	2,0
Станки для суперфиниша	-	2,0
Зубошлифовальные, шлицешлифов.	-	1,8
Зубофрезерные, зубодолбежные,	-	1,8
Зубошевинговальные, зубозакругл.	-	1,6
Зубострогальные	-	1,8
Зуборезные для конических колес	-	1,3
Резьбофрезерные	-	1,3
Протяжные станки	-	2,0
Центровальные	-	1,2

Таблица 9

Таблица для сравнения себестоимости вариантов изготовления заготовки и механической обработки

Показатели расчета	Варианты	
	1-ый	2-ой
Себестоимость изготовления заготовки, р		
Разница себестоимости изготовления заготовки, р		
Себестоимость отличающихся операций механической обработки (руб.)		
Разница себестоимости механической обработки, р		
Суммарная себестоимость изготовления заготовки и ее механической обработки, р		

Таблица 10

Коэффициент нормы времени $k_{тд}$, %, учитывающий затраты времени на личные надобности при установке деталей на станок вручную для массового производства

m_d , кг	$t_o / t_{оп}$	$t_{оп}$ (мин) до			
		1	3	5	> 5
1	2	6	7	8	9
$k_{тд}$, % при работе с ручной подачей					
≤ 1	0,20	6	6	-	-
	0,40	7	7	-	-
	0,80	8	8	-	-
≤ 5	0,20	6	6	-	-
	0,40	7	7	-	-
	0,80	6	6	-	-
≤ 10	0,20	6	6	-	-
	0,40	7	7	-	-
	0,80	9	9	-	-
≤ 20	0,20	8	8	-	-
	0,40	9	9	-	-
	0,80	10	10	-	-
$k_{тд}$, % при работе с механической подачей					
≤ 1	0,40	6	6	5	-
	0,80	6	5	5	-
≤ 5	0,40	6	6	6	-
	0,80	6	6	5	-
≤ 10	0,40	6	6	6	5
	0,80	6	6	5	5
≤ 20	0,40	8	8	7	5
	0,80	7	7	6	5

Примечание. При установке деталей подъемником массой свыше 20 кг $k_{тд}$ принимается 5% от $t_{оп}$.

Таблица 11

Теоретико-вероятностное машинное время обработки поверхностей T_o , мин

Вид обработки	Режимы	T_o , мин
1	2	3
Разрезание металлических заготовок		
дисковой пилой	$s_M=91,7$ мм/мин;	$T_o=0,011L$
ножовкой	$s_M=11,4$ мм/мин;	$T_o=0,0877L$
резцом	$s=0,1$ мм/об; $v=40$ м/мин;	$T_o=0,000393 d^2$
Подрезание торца сплошного (за один проход)		
черновое	$v=70$ м/мин; $s=0,5$ мм/об;	$T_o=0,0000224D^2$
чистовое	$v=140$ м/мин; $s=0,5$ мм/об;	$T_o=0,0000112D^2$
Обтачивание вала ($D=20-100$ мм – одной ступени за один проход)		
черновое	$v=105$ м/мин; $s=0,4$ мм/об;	$T_o=0,000075DL$
чистовое	$v=120$ м/мин; $s=0,15$ мм/об;	$T_o=0,000175DL$
Шлифование наружное круглое с продольной подачей		
предварительное	$h=0,25$ мм; $v=24$ м/мин; $t=0,024$ мм/дв. ход; $s=14$ мм/об;	$T_o=0,00012DL$
чистовое	$h=0,1$ мм; $v=30$ м/мин; $t=0,008$ мм/дв. ход; $s=10$ мм/об;	$T_o=0,000184DL$
тонкое	$h=0,025$ мм; $v=20$ м/мин; $t=0,003$ мм/дв. ход; $s=8$ мм/об;	$T_o=0,000327DL$
Фрезерование плоских поверхностей торцевой фрезой		
черновое	$s_M=170$ мм/мин;	$T_o=0,0059L$
чистовое	$s_M=208$ мм/мин;	$T_o=0,00482L$
тонкое	$s_M=351$ мм/мин;	$T_o=0,00286L$
Фрезерование плоских поверхностей цилиндрической фрезой		
черновое	$s_M=150$ мм/мин; $k=0,00666$;	$T_o=0,00666L$
чистовое	$s_M=285$ мм/мин; $k=0,00352$;	$T_o=0,00352L$
тонкое	$s_M=600$ мм/мин; $k=0,00166$	$T_o=0,00166L$
Упрочнение обкаткой после чистого точения		
роликом или шариком	$v=100$ м/мин; $s=0,3$ мм/об;	$T_o=0,0001D$

В табл. 11 приняты следующие обозначения размеров обрабатываемой поверхности детали или инструмента: d , мм - диаметр вала; D , мм - диаметр отверстия; L , мм - длина обрабатываемой поверхности; B , мм - расчетная ширина обрабатываемой поверхности; z - число зубьев зубчатого колеса или

число шлицев; D_f , мм - диаметр фрезы. Обозначения режимов обработки: t , мм - глубина резания; s_o , мм/об - подача на оборот; s_m , мм/мин - подача в минуту; s_z , мм/зуб - подача на зуб; t_{2x} , мм/дв. ход - подача на двойной ход инструмента; v , м/мин - скорость резания; v_f , м/мин - скорость фрезы; n , об/мин - обороты инструмента (n_i), детали (n_d); a , мм - припуск; h , мм - толщина слоя; i - число проходов инструмента; q - число заходов резьбы, число заходов фрезы.

Размерность в формулах машинного (основного) времени в таблице не показана, так как в них коэффициент (k), учитывающий параметры режимов обработки, приведен не аналитически, а в численных величинах. Формулы для расчета T_o представлен в разделе нормирования.

Штучно-калькуляционное время обработки партии заготовок включает подготовительно-заключительное время $T_{пз}/n_3$ (1.24):

$$T_{шк} = T_{ш} + T_{пз}/n_3. \quad (1.24)$$

Приближенно $T_{шк}$ определяется через коэффициент штучно-калькуляционного времени $k_{шк}$ (табл. 13), учитывающего соотношение штучно-калькуляционного и операционного времени (1.25):

$$T_{шк} = T_{ш}k_{шк} \quad (1.25)$$

Таблица 12

Значения коэффициента $k_{шк}$ для различных станков и типов производств

Виды станков	Тип производства	
	Единичное и мелкосерийное	Крупносерийное
Токарные	2,14	1,36
Токарно-револьверные	1,98	1,35
Токарно-многорезцовые	—	1,50
Вертикально-сверлильные	1,72	1,30
Радиально-сверлильные	1,75	1,41
Расточные	3,25	—
Кругло-шлифовальные	2,10	1,55
Строгальные	1,73	1,51
Фрезерные	1,84	1,27

Штучное время $T_{ш}$ на обработку детали или отдельной ее поверхности равно сумме основного T_o и вспомогательного $T_{всп} = T_{обс} + T_{л}$ времени (1.26):

$$T_{шт} = T_o + T_{всп}. \quad (1.26)$$

Время на обслуживание рабочего станочного места $T_{обс}$ и личные потребности рабочего $T_{л}$ устанавливается нормативами; примерно составляет 4-8% от основного времени, время на личные потребности – 2,5-3%.

Значения коэффициентов для учета $T_{обс}$ и $T_{л}$ представлены в таблице.

Для определения себестоимости механической обработки в расчетах потребуется знание разрядов работ станочников-операторов в различных типах производства, которое представлено в таблице.

Определение квалификации рабочих, разряда работ станочной обработки отдельных поверхностей, изготовления деталей и сборки узлов определяется по нормативным таблицам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Примеры численного обоснования методов изготовления заготовок

Численно обосновать выбор метода изготовления заготовки гильзы цилиндра поршневого звездообразного авиационного двигателя, общий вид которой и чертеж представлен на рисунке. Расчеты выполняются методом приведенных затрат.

Анализ служебного назначения. Материал гильзы цилиндра: легированная высококачественная конструкционная хромоалюминиево-молибденовая сталь 38Х2МЮА. Механические свойства стали: предел текучести – 850 МПа; временное сопротивление разрыву – 1000 МПа; относительное удлинение – 14 %; твердость – НВ 229.

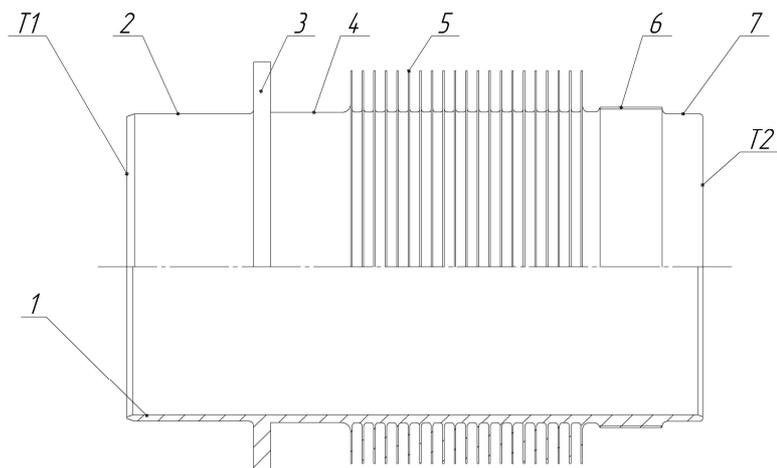


Рисунок. Эскиз гильзы цилиндра поршневого авиационного двигателя

Конструкция гильзы выполнена тонкостенной. Снаружи гильза имеет охлаждающие ребра 5, крепежный фланец 3 с восемью отверстиями, посадочный пояс 6. Внутренняя поверхность 1 цилиндрическая (шестой

квалитет точности), обрабатывается черновым, чистовым и тонким растачиванием; чистовым и тонким шлифованием, термически обрабатывается и химико-термически азотируется.

Функционально гильза цилиндра предназначена для импульсного сжигания в ней топлива, многократного воздействия силы взрыва топливной смеси на поршень, отвода избыточного тепла. Ребра 5 используются для охлаждения, внутренняя поверхность – работает при высоких температурах $\cong 240^{\circ}\text{C}$, пульсирующем давлении до 15 атм, интенсивном трении скольжения с обедненной смазкой.

Технические требования к качеству заготовки: раковины, трещины и пористость в заготовке не допускаются.

Тип производства – серийный. Критерий выбора метода изготовления заготовки обусловлен контактной и усталостной прочностью гильзы в условиях трения скольжения, теплового и силового импульсного воздействия, технологические возможности методов литья и штамповки и др., обеспечиваемые припуски, себестоимость изготовления заготовки и последующей механической обработки.

Таблица 13

Балльная оценка вариантов изготовления заготовки

Способ изготовления заготовки	Факторы сравнения						
	Контактная прочность	Усталостная прочность	Точность размеров	Качество заготовки	Точность размеров	Свойства материала	Сумма
Литье в кокиль	+	+	-	-	+	-	3
Литье по выплавляемым моделям	+	+	+	-	-	-	3
Ковка	+	+	-	-	-	-	2
Штамповка на ГКМ	+	+	+	+	+	-	5

Используя балльную оценку вариантов изготовления заготовки, выполним численную оценку изготовления заготовки литьем в кокиль и штамповкой.

Себестоимость литой и штампованной заготовки определяется по формуле (1.27):

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_{\text{б}}}{1000} \cdot Q \cdot k_{\text{т}} \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{Q}} \cdot k_{\text{м}} \cdot k_{\text{п}} - (m_{\text{з}} - m_{\text{д}}) \cdot \frac{C_{\text{отх}}}{1000} \quad (1.27)$$

Для заготовки отлитой в земляные формы и кокиль: базовая стоимость 1-й тонны заготовки из серого чугуна СЧ15-32 в зависимости производства $C_{\text{б}}=40-60$ тыс. р; масса заготовки $m_{\text{з}} = 7,10$ кг; коэффициент, зависящий от

класса точности $k_T = 1,03$; коэффициент, зависящий от группы сложности $k_C = 0,83$; коэффициент, зависящий от массы заготовки $k_{mз} = 0,93$; коэффициент, зависящий от марки материала $k_M = 2,4$; коэффициент, зависящий от объема производства $k_{п} = 1,00$.

Для штампованной заготовки: принимается базовая стоимость одной тонны заготовки из конструкционной углеродистой стали $C_б = 60-80$ тыс. р; масса заготовки $m_з = 6,55$ кг; коэффициент, зависящий от класса точности $k_T = 1,00$; коэффициент, зависящий от группы сложности $k_C = 0,9$; коэффициент, зависящий от массы заготовки $k_{mз} = 1,00$; коэффициент, зависящий от марки материала $k_M = 3,0$; коэффициент, зависящий от объема производства $k_{п} = 1,00$.

Для обоих вариантов: масса детали, $m_д = 2,36$ кг; цена одной тонны отходов, $C_{отх} = 29000$ р.

Себестоимость литой (1.28) и штампованной (1.29) заготовки:

$$C_{зл} = \frac{50000}{1000} \cdot 7,10 \cdot 1,03 \cdot 0,83 \cdot 0,93 \cdot 2,40 \cdot 1,00 - (7,10 - 2,36) \times \frac{29000}{1000} = 520,10 \text{ р.} \quad (1.28)$$

$$C_{зш} = \frac{60100}{1000} \cdot (6,55 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,00 \cdot 3,00 \cdot 1,00 - (6,55 - 2,36) \times \frac{29000}{1000} = 1043,51 \text{ р.} \quad (1.29)$$

Себестоимость изготовления формы при центробежном литье 84000 р, ее стойкость – 400 отливок [1, 6]. Следовательно, затраты на одну отливку будет – 210 р.

Себестоимость изготовления штампа составляет 226000 р. Стойкость штампа для жаростойких и жаропрочных стальных цилиндрических заготовок 0,15-0,5 тыс. шт заготовок, примем - 0,35 тыс. шт. Затраты на одну заготовку 645 р.

Учитывая затраты на оснастку себестоимость изготовления литой заготовки $C_{заг_{лит}} = 730,1$ р; штампованной заготовки $C_{заг_{шт}} = 1689,3$ р.

Себестоимость механической обработки определим для литой и штампованной заготовки. Литая заготовка имеет более толстые стенки, поэтому при последующей обработке необходим дополнительный черновой проход при обтачивании наружной поверхности. Примем, что остальные операции и переходы в обоих случаях совпадают.

Часовые приведенные затраты (1.30):

$$Z_{пч} = Z_{од} + Z_{чэ} + k_{эк}(k_{чс} + k_{чз}), \quad (1.30)$$

где $Z_{од}$ - основная и дополнительная зарплата с начислениями, р.; $Z_{чэ}$ - часовые затраты на эксплуатацию рабочего места, р.; $k_{эк}$ - коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, $k_{эк}=0,15$; $k_{чс}$, $k_{чз}$ - удельные часовые вложения в станок и здание.

Основная и дополнительная заработная плата с начислениями определяется по формуле (1.31):

$$Z_{од} = k_{чс} T_{чс} k_{зн} k_{шв}, \quad (1.31)$$

где $k_{чс}=2,66$ - коэффициент к часовой тарифной ставке; $T_{чс}=75$ р - часовая тарифная ставка станочника-сдельщика соответствующего разряда, р./ч; $k_{зн}=1,3$ - коэффициент, учитывающий зарплату наладчика: для серийного производства $k_{зн}=1$, для массового $k_{зн}=1,1-1,15$; $k_{шв}=1,0$ - коэффициент штучного времени, учитывающий оплату труда при многостаночном обслуживании n_c станков.

Подставляя в (1.31) получим основную и дополнительную заработную плату (1.32):

$$Z_{од} = 2,66 \cdot 75 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 219,45 \text{ р.} \quad (1.32)$$

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места (1.33):

$$Z_{чэ} = Z_{чр} \cdot k_c^* \cdot k_{п}^*, \quad (1.33)$$

где $Z_{чр}=12-15$ р/ч - часовые затраты на рабочем месте, k_c^* - коэффициент возрастания затрат на эксплуатацию станка.

Значения k_c^* определяются по формуле (1.34):

$$k_c^* = 0,046 \left(\frac{k_c C_c}{100000} + k_w W_c + k_{рм} P_m + k_{рэ} P_э + Z_{чи} \right). \quad (1.34)$$

где $C_c=750$ тыс. р.- балансовая стоимость токарно-винторезного станка 16К201; коэффициент балансовой стоимости станка $k_c = 3,0$; коэффициент мощности электродвигателей станка $k_w = 0,48$, при $W_c=11$ кВт; категория ремонтной сложности станка $P_m = 28$; коэффициент ремонтной сложности механической части станка $k_{рэ} = 0,54$; коэффициент ремонтной сложности электротехнической части станка $k_{рэ} = 0,40$; часовые затраты на возмещение

износа инструмента $Z_{\text{чи}} = 50$ определяются по таблице.

Подставляя эти значения в (1.34) получим:

$$k_c^* = 0,046(3 \cdot 7,5 + 0,48 \cdot 11 + 0,54 \cdot 28 + 0,4 \cdot 16 + 5,0) = 2,52.$$

Коэффициент часовых затраты на эксплуатацию рабочего места при пониженной загрузке станка ($k_{3c} < 60\%$) определим по формуле (1.35):

$$k_{\Pi}^* = 1 + k_{\Pi/\text{ч}}(1 - k_3)/k_3, \quad (1.35)$$

где $k_{\Pi/2} = 0,38$.

Коэффициент загрузки станка (1.36):

$$k_{3c} = \frac{T_{\text{шк}} \cdot \Pi_M}{60 \cdot \Phi_M \cdot k_{\text{вн}}}, \quad (1.36)$$

где $T_{\text{шк}}$ - штучно-калькуляционное время обработки; $\Pi_M = 150$ шт - месячная программа выпуска; $\Phi_M = 169$ ч - месячный фонд работы станка при $n_c = 1$; $k_{\text{вн}} = 1,3$ - коэффициент выполнения норм.

Штучно-калькуляционное время при черновом обтачивании определить по формуле (1.37):

$$T_{\text{шк}} = 0,75 \cdot d \cdot L \cdot 10^{-4}, \text{ мин}, \quad (1.37)$$

где d - диаметр обработки; L - длина обработки.

На первом переходе диаметр обработки $d = 127$ мм, длина обработки $L = 44$ мм, на втором переходе $d = 155$ мм, $L = 120$ мм, на третьем переходе $d = 125$ мм, $L = 42$ мм. Подставив эти значения в формулу (1.37) получим:

$$T_{\text{шк}} = 0,75(127 \cdot 44 + 155 \cdot 120 + 125 \cdot 42) \cdot 10^{-4} = 2,21 \text{ мин.}$$

Подставим значения в формулу (1.36) получим

$$k_{3c} = \frac{2,21 \cdot 150}{60 \cdot 169 \cdot 1,3} = 0,03.$$

Полученную величину подставим в формулу (1.35):

$$k_{\Pi}^* = 1 + 0,38(1 - 0,03)/0,03 = 13,3.$$

Все полученные значения подставим в формулу (1.33):

$$Z_{\text{чЭ}} = 12,5 \cdot 2,52 \cdot 13,3 = 428,4 \text{ р/ч.}$$

При малом коэффициенте загрузки станка он дополнительно загружается другими деталями. В этом случае часовые затраты на эксплуатацию рабочего места корректируются коэффициентом $k_{\text{чЗ}_{3\text{С}}} = 2,14$ по формуле (1.38):

$$Z_{\text{чЭ}}^* = (Z_{\text{чЭ}} \cdot k_{\text{чЗ}_{3\text{С}}}) / 1,14 = 428,4 \cdot 2,14 / 1,14 = 804,19, \text{ р./ч.} \quad (1.38)$$

Капитальные вложения в станок (1.39):

$$k_{\text{чС}} = \frac{C_{\text{С}}}{\Phi_{\text{ГС}} \cdot k_{\text{З}}}, \quad (1.39)$$

где $C_{\text{С}} = 750$ тыс. р - балансовая стоимость токарного станка; $\Phi_{\text{ГС}} = 1820$ ч - эффективный годовой фонд времени работы оборудования в одну смену; $k_{\text{З}} = 0,7$ - коэффициент загрузки станка в мелко серийном производстве.

Подставив значения в формулу (1.39) получим

$$k_{\text{чС}} = \frac{750000}{1820 \cdot 0,7} = 590,55 \text{ р/ч;}$$

$$k_{\text{чЗ}} = \frac{C_{1\text{Ц}} \cdot S_{\text{Ц}} \cdot k_{\text{С}}}{\Phi_{\text{ГС}} \cdot k_{\text{З}}}, \quad (1.40)$$

где $C_{1\text{Ц}} = 2300$ р - стоимость 1 м² площади механического цеха, [3, с. 182]; $S_{\text{Ц}} = 4,86\text{м}^2$ - площадь станка в плане [3, с. 182]; $k_{\text{С}} = 3,5$ - коэффициент, учитывающий дополнительную производственную площадь.

Подставим числовые значения в (1.40), получим

$$k_{\text{чЗ}} = \frac{2300 \cdot 4,86 \cdot 3,5}{1820 \cdot 0,7} = 30,71 \text{ р/ч.}$$

Определим часовые приведенные затраты, подставив полученные значения в формулу (1.30):

$$\begin{aligned} Z_{\text{ПЧ}} &= Z_{\text{ОД}} + Z_{\text{чЭ}} + k_{\text{ЭК}}(k_{\text{чС}} + k_{\text{чЗ}}) = \\ &= 219,45 + 804,19 + 0,15 \cdot (590,55 + 30,71) = 1116,83 \text{ р./ч.} \end{aligned}$$

Затраты на дополнительную механическую обработку определим, умножив часовые приведенные затраты на штучно-калькуляционное время

$$Z_{\text{мод}} = 1116,83 \cdot \frac{2,21}{60} = 41,14 \text{ р.}$$

Из двух видов литья, учитывая необходимость создания центрального отверстия большого диаметра ≈ 100 мм, центробежной более экономичное. Из таблицы 15 видно, что на изготовление одной заготовки гильзы центробежным литьем расходуется на 142,65 р. больше, чем при штамповке.

Вывод. Анализируя приведенные затраты, а также главный функциональный критерий прочности можно сделать следующий вывод.

Учитывая, что качество заготовки и прочность ее при горячей объемной многопозиционной штамповке выше, чем литья (при литье есть вероятность образования мелких раковин, различной кристаллической структуры), целесообразно изготавливать заготовку штамповкой на ГКМ.

Результаты численного обоснования метода изготовления заготовки гильзы цилиндра поршневого авиационного двигателя сведем в табл. 14.

Таблица 14

Сравнительная стоимость заготовок, полученных разными способами, р.

Статьи затрат на одну заготовку	1-й вариант центробежное литье	2-й вариант штамповка
Себестоимость изготовления заготовки, р	730,1	1689,3
Себестоимость изготовления оснастки	84 т.р./210 р.	226 т.р./645р.
Себестоимость механической обработки на отличающихся операциях	41,14	—
Суммарные приведенные затраты, руб.	1194,97	1052,32

Примечание. Через дробь указана себестоимость изготовления оснастки: в числителе для партии заготовок; в знаменателе – для одной заготовки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афонькин Н.И. Производство заготовок. / Н.И. Афонькин. М.: Машиностроение. 1978. 298 с.
2. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. / под общ. ред. А.Ф. Горбачевич. 3-е изд-е. Минск: Высшэйшая школа. 1975. 288 с.
3. Общемашиностроительные нормы времени на заготовительные работы по металлоконструированию. М.: 1984. 146 с.
4. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учеб. пособие / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Пласка; под общ. ред. В. М. Пласка. Киев.: Вища шк., 1991. 247 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М., Машиностроение, 1985. Т.1. 656 с.
6. Копылов Ю.Р. Выбор методов изготовления заготовок: учеб. пособие / Ю.Р. Копылов, В.И. Клейменов, Д.Ю. Копылов. Воронеж: ВГТУ, 2001. 226 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторные работы по обоснованию методов выбора и изготовления заготовок.....	4
Лабораторная работа № 1	4
Лабораторная работа № 2	6
Лабораторная работа № 3	21
Библиографический список.....	28

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И СБОРКА ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ для студентов специальности
24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
(специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей»)
очной формы обучения

Составитель
Сухочев Геннадий Алексеевич

В авторской редакции

Подписано к изданию 24.12.2021.
Уч.-изд. л. 1,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический
университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84