МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технический

университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

(КНИТУ-КАИ)

Институт авиации, наземного транспорта и энергетики

Кафедра материаловедения, сварки и производственной безопасности

(наименование кафедры)

22.03.01. Материаловедение и технологии материалов

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему: «Технологический процесс горячей объемной штамповки заготовок лопаток ротора компрессора»

Выполнил: студент гр. 1410

Мингаряев Н.Н.

Руководитель: к.т.н., доцент

Шибаев П. Б.

Казань, 2022

Содержание

[Введение 3](#_Toc73600163)

[1. Выбор метода получения заготовки. 5](#_Toc73600164)

[2. Способы штамповки лопаток компрессора ГТД. 6](#_Toc73600165)

[3. Штамп. Открытый и закрытый штамп. Их достоинства и недостатки. 8](#_Toc73600166)

[4. Выбор материала заготовки. 11](#_Toc73600167)

[5. Расчет поковки. 13](#_Toc73600168)

[6. Выбор основного оборудования для изготовления поковок. 21](#_Toc73600169)

[Заключение 23](#_Toc73600170)

[Список литературы 24](#_Toc73600171)

[Приложение 1 26](#_Toc73600172)

[Приложение 2 28](#_Toc73600173)

# **Введение**

В настоящий момент и на ближайшую перспективу газотурбинные двигатели стали основной силовой установкой для транспортного и энергетического машиностроения. Газотурбинные двигатели широко используются: в гражданской авиации (силовые установки для пассажирских и транспортных самолетов); в военной авиации (силовые установки для фронтовой и стратегической авиации, крылатых ракет и боевых вертолетов); в гражданском и военном судостроении (силовые установки главных и вспомогательных приводов); в энергетике (силовые установки для производства электроэнергии и перекачки газа).

Авиационный двигатель является сложным и ответственным агрегатом. Поэтому к нему и деталям, из которых он состоит предъявляются жесткие требования по надежности и точности изготовления. Одними из наиболее важных и ответственных деталей являются лопатки компрессора. Данные лопатки обеспечивают сжатие воздуха и подачу его в камеру сгорания. Надежность газотурбинных двигателей (далее ГТД) в значительной степени зависит от надежности работы лопаток компрессора и турбины, поскольку они являются наиболее нагруженными деталями.

Производство лопаток ГТД занимает главное место в структуре производства газотурбинных двигателей. Это обусловлено наибольшей применяемостью этих деталей в составе двигателей, самым значительным весом в составе трудозатрат производства ГТД, а также наименьшим ресурсом, по сравнению с ресурсом других типов деталей. Конструкция лопаток компрессора постоянно усложняется, повышается их нагружаемость, для изготовления применяются более труднообрабатываемые материалы.

Для создания современных лопаток и обеспечения их серийного выпуска первоочередным делом становится разработка модели формирования пути повышения эффективности производства на основе новых технических решений и улучшения процессов при создании продукции. При этом в технологическом процессе производства лопаток компрессора наряду с современными автоматизированными операциями, основанными на высокопроизводительной обработке материалов, существуют мелкие, промежуточные, неавтоматизированные операции, в том числе выполняемые вручную.

Применение более прогрессивных технологических процессов, таких как изотермическая штамповка, штамповка в режиме сверхпластического деформирования, высокоскоростная штамповка позволяют повысить точность штамповок и увеличить КИМ. Несмотря на это, основным недостатком данных методов остается высокая трудоемкость и высокая себестоимость изготовления заготовок лопаток компрессора.

1. **Выбор метода получения заготовки.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технология | КИЗ | Энергоэффективность | Производительность | Структура(свойства) |
| Литье | + -  | - | + - | + - |
| Штамповка | + | + | + | ++ |
| Аддитивные технологии | + | + - | - - | + - |

Самой эффективной технологией получения лопаток ГТД будет штамповка.

|  |  |
| --- | --- |
| Механические свойства | Х |
| Литье | Х |
| Штамповка | Х+30% |
| Аддитивные технологии | Х-20% |

Штамповка – вид обработки давлением, при котором формообразование поковки из заготовки осуществляется с помощью специального инструмента – штампа.

Заготовки, получаемые штамповкой, называется штампованными поковками, или просто поковками.

1. **Способы штамповки лопаток компрессора ГТД.**

Наличие большого разнообразия форм и размеров штампованных поковок, а также сплавов, из которых их штампуют, обусловливает существование различных способов штамповки. Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

Изотермическая штамповка.

Температура деформирования заготовки, штампа и окружающего их пространства поддерживается примерно постоянной на протяжении всего цикла обработки, т.е. процесс деформирования протекает при постоянной температуре в изотермических условиях. Например, изотермическое штампование заготовок из стали осуществляется при температуре нагрева 1100…1120°С.

Высокоскоростная штамповка.

 Скорость деформирования эти методом составляет 16…40 м/с. Основными технологическими преимуществами являются улучшение теплового баланса штамповок, увеличение инерционных сил, способствующих лучшему заполнению металлом гравюры штампа; уменьшение контактного трения и увеличение пластичности металла при больших скоростях деформирования. Всё это обеспечивает изготовление штамповки сложной формы без облоя.

Горячая объемная штамповка.

Штамповка производится за счет принудительного перераспределения металла нагретой заготовки в штампе. Это дешевый и производительный процесс обработки, широко распространенный в машиностроении и других отраслях промышленности при крупносерийном и массовом производстве деталей. Наибольшее преобразование формы заготовок в штампе с наименьшими затратами энергии осуществляется при горячем деформировании. Однако расходуется энергия на нагрев заготовки перед штамповкой. Слой окалины, образованный при нагревании, повышает шероховатость поверхности и снижает точность размеров поковок. Это приводит к необходимости последующей обработки поковок резанием для получения готовых деталей.

1. **Штамп. Открытый и закрытый штамп. Их достоинства и недостатки.**

Штамп – это специальный инструмент с полостью, которая называется ручьем. В полость нижнего штампа 5 устанавливают нагретую заготовку 4, которая деформируется при движении верхнего штампа 1 вниз. Течение металла заготовки в ручье штампа встречает сопротивление стенок 2 ручья и сил трения, и металл заполняет объем ручья. В определенный момент времени часть металла вытекает на разъем между штампами, образуя заусенец 3. Штампованную заготовку 4 называютштампованной поковкой. Поковка представляет собой копию ручья штампа



|  |  |
| --- | --- |
| Достоинства | Недостатки |
| более высокая производительность по сравнению с ковкой | Сравнительно небольшая масса и размеры поковок (0,5 – 30 кг). |
| получение без напусков поковок, более сложной конфигурации, чем при ковке | Требуется приложение больших усилий деформирования, чем при ковке, так как при штамповке одновременно деформируется вся поковка, а течение металла затрудняется сопротивлением стенок полости штампа. |
| экономия металла по сравнению с ковкой и литьем | Необходимость изготовления дорогостоящих штампов. |
| поковки имеют более высокие показатели механические свойств, чем отливки |  |
| штампованные поковки имеют значительно меньшие допуски, чем при ковке; их подвергают обработке резанием лишь по сопрягаемым со смежными деталями поверхностям, остальные поверхности имеют достаточно хорошее качество |  |

 Виды штампов.

Штамповка в открытых штампаххарактеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает часть металла - облой, который закрывает выход из полости штампа и заставляет остальной металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в облой выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять высокие требования к точности заготовок по массе. Облой затем обрезается в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах можно получать поковки практически всех типов.

Штамповка в закрытых штампах характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование облоя в нем не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя - выступ (на прессах) или наоборот (на молотах).



Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах:

*1* - облойная канавка

1. **Выбор материала заготовки.**

Материалы лопаток компрессора должны обладать хорошими прочностными характеристиками, пластичностью, а также высоким сопротивлению коррозии, пылевой эрозии; достаточной жаропрочностью и жаростойкостью. При этом материал лопаток должен иметь и хорошие технологические свойства: хорошо обрабатываться резанием, давлением.

Лопатки компрессора изготавливают из коррозионностойких и теплостойких хромистых сталей, алюминиевых, титановых и жаропрочных сплавов.

Рассмотрим 3 варианта сплавов используемых для изготовления лопаток компрессора:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Химический состав в % сплава АК4** | **Химический состав в % стали ХН77ТЮР** | **Химический состав в % сплава ВТ22** |
| **Fe** | 0,8 - 1,3 | **Fe** | до 4 | **Fe** | 0,5 - 1,5 |
| **Si** | 0,5 - 1,2 | **C** | до 0,07 | **C** | до 0,1 |
| **Mn** | до 0,2 | **Si** | до 0,6 | **Si** | до 0,15 |
| **Ni** | 0,8 - 1,3 | **Mn** | до 0,4 | **Cr** | 0,5 - 2 |
| **Ti** | до 0,1 | **Ni** | 69,078 - 78 | **Mo** | 4 - 5,5 |
| **Al** | 91,2 - 94,6 | **S** | до 0,007 | **V** | 4 - 5,5 |
| **Cu** | 1,9 - 2,5 | **P** | до 0,015 | **N** | до 0,05 |
| **Mg** | 1,4 - 1,8 | **Cr** | 19 - 22 | **Ti** | 78,485 - 86,6 |
| **Zn** | до 0,3 | **Ce** | до 0,02 | **Al** | 4,4 - 5,9 |
|  |  | **Ti** | 2,4 - 2,8 | **Zr** | до 0,3 |
|  |  | **Al** | 0,6 - 1 | **O** | до 0,2 |
|  |  | **B** | до 0,01 | **H** | до 0,015 |

Сравнение механических свойств сплавов при различных условиях эксплуатации:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | Т=20°С | Т=400°С |
| АК4 (рабочая Т до 300 °С) | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU |
| 360 | 260 | 3 | 5-9 | 19 | 329 | 235 | 7 | 10-15 | 37 |
| ХН77ТЮР (рабочая Т=650…850°С) | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU |
| 900-1070 | 650 | 11-24 | 10-21 | 27-45 | 880 | 570 | 22-29 | 19-27 | 29-49 |
| ВТ22 (рабочая Т до 550°С) | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU | $$σ\_{в}$$ | $$σ\_{т}$$ | $$δ\_{5}$$ | ψ | KCU |
| 1100 | 1200 | 10 | 20 | 400 | 1300 | 1150 | 18 | 29 | 425 |

Лопатки компрессора работают при Т=350…500°С. Поэтому исходя из предложенных вариантов и их механических свойств наиболее предпочтительным будет сплав ВТ22.

1. **Расчет поковки.**

1. Деталь: компрессорная лопатка

2. Чертёж детали (М 1:1)



3. Материал: ВТ22

4. Обоснование выбора плоскости разъёма штампа.

При штамповке в закрытом штампе плоскость разъёма имеет более сложную конфигурацию (рис. 1б) и поковку в этом случае предпочтительно располагают в одной половине штампа.

  **а б**

Рис. 1 Штамповка в открытом (а) и закрытом (б) штампах:

1 – верхняя половина штампа; 2 – нижняя половина штампа; 3 – конфигурация поковки;

4,5 – конфигурация облойной канавки (4 – магазин; 5 – мостик); 6 – линия разъема штампа

5. Определение ориентировочной массы поковки, ( кг).

По чертежу детали рассчитать ее объём*Vдет*. (м3 ·10-6), а затем массу

*Gдет.* (кг) по формуле:

Gдет.= ρ • Vдет=0.28 кг

где ρ – плотность материала детали, кг/м3 (для ВТ22 ρ = 4500 кг/м3);

Vдет – объем детали равный 0.00006222 м3

Рассчитать массу металла, расходуемую на изготовление поковки в открытом штампе, по формуле

Gпок. ≈ 1.25 Gдет.=0.35 кг

Для определения массы металла, расходуемой на изготовление поковки в закрытом штампе, следует полученное значение массы поковки для открытого штампа уменьшить на 10 – 20 %. Поэтому:

Gпок.-10%=0.315 кг

6. Назначение припусков на механическую обработку и допусков на размеры поковок (мм).

Величина припуска зависит от класса точности поковки, ее массы, а также шероховатости и размеров поверхностей детали, на которые эти припуски назначают. Необходимость назначения допусков на изготовление поковки обусловлена возможностью недоштамповки по высоте, сдвига половинок штампа, износом рабочих полостей штампа и т.п. Величина допуска зависит от габаритных размеров и массы поковки. Припуски и допуски назначаются по табл. 1 и 2.

Величина припуска:

При Rz 1,25 – 1.9 мм

При Rz 2,5 – 1.5 мм

Величины припусков следует назначать на сторону на номинальные размеры детали. При изготовлении поковок из заготовок, подвергающихся нагреву в пламенных печах, следует увеличить припуск на механическую обработку на сторону: для поковок массой до 2,5 кг – до 0,5 мм. Поэтому:

При Rz 1,25 – 2.4 мм

При Rz 2,5 – 2.0 мм

По табл. 2 находим допуск равный (+0,8 -0,4). На чертеже эти допуски проставляются следующим образом: для наружных размеров –40 (+0,8 -0,4), а для внутренних размеров в обратном порядке 40 (-0,8 +0,4).

7. Обоснование выбора радиусов закруглений, штамповочных уклонов.

Наименьшие радиусы закруглений внешних углов поковок приведены табл. 3.

При глубине полости ручья штампа 20 мм R=1.5 мм

К кузнечным допускам относятся внутренние радиусы закруглений, штамповочные уклоны, перемычки в наметках отверстий.

Внутренние радиусы закруглений *R1,* соответствующие выступающим углам ручьёв, следует назначить, примерно, в 2 – 3 раза больше принятых для данной поковки внешних радиусов.

R1=1.5\*2=3.0 мм

Подсчитанные таким образом внутренние радиусы закруглений округлить до ближайшего значения из ряда нормальных радиусов: 0,8; 1,0; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30.

R1=3 мм

Штамповочные уклоны при изготовлении поковок на молотах и прессах должны устанавливаться на всех её вертикальных поверхностях, располагающихся параллельно движению бойка молота, или ползуна пресса (верхней половины штампа). Величину штамповочных уклонов назначить по табл. 4

Штамповочные уклоны для пресса:

внешние, γо=5

внутренние, γ1о=7

Меньшие значения штамповочных уклонов на внешних поверхностях по сравнению с внутренними объясняются тем, что эти поверхности при остывании поковки отходят от стенок штампа. Внутренние поверхности при этом охватывают выступающие части штампа. В этом случае увеличение штамповочных уклонов на внутренних поверхностях способствует более легкому удалению поковки из штампа.

9. Расчёт основных параметров процесса.

9.1. Вес заготовки (гр.).

Gзаг. = Gпок. + Gобл. + Gуг.

где Gпок**–** вес поковки, кг; Gобл. – вес облоя, кг;

Gобл. = 0

Gпок.=0.315 кг

Gуг. – вес материала, угараемого при штамповке, кг. Угар принимается равным 2 – 3 % от веса поковки за один нагрев.

Gуг=0.0063 кг

Gзаг.=0.3213 кг

9.2. Размеры исходной заготовки (мм).

Диаметр заготовок для поковок, изготавливаемых осадкой, вычисляют по формуле:

$$D\_{заг}=1.08\frac{\sqrt[3]{G\_{заг}}}{p∙k\_{0}}$$

где Dзаг. –диаметр заготовки, мм; ρ– плотность материала Мг/м3;k0= Lзаг. / Dзаг**.**– коэффициент назначается в пределах от 1,25 до 2,5; Lзаг. – длинна заготовки, мм.

$D\_{заг}=$39 мм

Для обеспечения резки заготовки нужно стремиться выбирать значения ближе*k0* к верхнему пределу. Если*k0* > 2,5, то при деформировании осадкой становится возможным продольный изгиб заготовки и получение дефектной поковки.

Подсчитанный таким образом диаметр заготовки округлить до ближайшего значения из ряда диаметров горячекатаной сортовой стали: 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 52, 54, 55, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 68, 70, 72, 75, 78, 80, 85, 90, 95, 100.

$D\_{заг}=$39 мм

Длину заготовки можно определить из соотношения

$$L\_{заг}=1.08\frac{G\_{заг}}{p∙F\_{заг}}$$

где Fзаг. = π D заг.2/4 – площадь сечения заготовки, м2 · 10-2.

$L\_{заг}=$9.49 см

10. Расчет коэффициента использования заготовки (КИЗ).

КИЗ = Gдет. / Gзаг.=0.87

где Gдет**.** – масса детали, кг; Gзаг. – масса заготовки, кг.

 11. Определение мощности штамповочного оборудования.

Расчет усилия штамповки на кривошипных прессах для горячей штамповки (КГШП) можно производить по формуле:

P = 0,8 (1 – 0,001Dпок.) (1,1 + 20/Dпок.) σв Fпок**.=**9045540.86 Н

где P **–** расчётное усилие пресса, Н;Dпок. – диаметр круглой поковки, мм;Fпок. – площадь поковки, мм2; σв – предел прочности материала поковки при температуре конца штамповки, МПа (табл. 5).

 12. Эскиз поковки.



13. Эскиз исходной заготовки.



Сводная таблица:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gдет. | Vдет | Gпок. | R | R1 | γо | γ1о |
| 0.28 кг | 0.00006222 м3 | 0.315 кг | 1.5 мм | 3.0 мм | 5 | 7 |
| Gобл. | Gуг | Gзаг. | $$D\_{заг}$$ | $$L\_{заг}$$ | КИЗ | P |
| 0 | 0.0063 кг | 0.3213 кг | 39 мм | 9.49 см | 0.87 | 9045540.86 Н |

1. **Выбор основного оборудования для изготовления поковок.**

Исходя из того, что необходимо выпускать около 100.000 поковок в год, то мы можем рассчитать количество получаемых поковок в день: в году 262 рабочих дня, смена на заводе составляет 7 часов.

1.Количество получаемых поковок в день:

Nд=Nг/Nр.д.=382

Nг – количество поковок в год

Nр.д - количество рабочих дней в году

2.Количество получаемых заготовок в час:

Nч=Nд/Tс=55

Tс – количество часов в рабочей смене с учетом времени на отдых

3.Количество получаемых поковок в минуту:

Nмин=Nч/60=0.91

Для выпуска такого количества поковок в минуту нам необходим электровинтовой пресс Schuler PA325f.

Технические характеристики пресса Schuler PA325f.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Техническая характеристика | Единица измерения | Значение |
| Номинальная сила | кН | 10000 |
| Максимально допустимая сила | кН | 16000 |
| Максимальный диаметр заготовки | мм | 55 |
| Максимальный вес заготовки | кг | 3 |
| Максимальное кол-во переходов | - | 1 |
| Максимальная частота ходов пресса | Шт/мин | 14 |
| Минимальный и максимальный ход | мм | 260…500 |
| Максимальная температура подогрева штампа | °С | 300 |
| Рабочая зона (Ш × Г × В) | мм | 860 × 920 × 500 |
| Масса | кг | 70000 |

# **Заключение**

В курсовой работе была выбрана технология производства компрессорных лопаток – это штамповка, рассмотрены особенности горячей объемной штамповки, ее преимущества и недостатки. Также был выбран наиболее оптимальный по характеристикам материал для заготовки, которым является высокопрочный титан (ВТ22). Для штамповки лопатки был произведен расчет поковки для одного перехода и разработан технологический процесс штамповки на винтовом горячештамповочном прессе (ВГШП) поковки, которая будет являться заготовкой для дальнейшего изготовления лопаток компрессора. Эти детали являются тяжелонагруженными, ответственными и устанавливаются на роторе газотурбинного двигателя (ГТД), что в свою очередь диктует способ их изготовления: ВГШП обеспечивает как прочностные характеристики, так и высокую точность размеров, т.к. ВГШП имеет бронзовый износоустойчивый ход ползуна. Так же можно говорить о высокой производительности данного пресса для изготовления заготовок: количество поковок получаемых в минуту равняется 14 единицам, тогда как в час требуется 55 заготовок.

Исходя из выше сказанного становится ясно, что горячая объемная штамповка лопаток ГТД в закрытом прессе на винтовом горячештамповочном прессе (ВГШП) является самым производительным и точным способом производства компрессорных лопаток.

**Список литературы**

1. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография / А. В. Богуслаев и др.; под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботина. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – 468 с
2. Бойцов, А. Г. Перспективные технологии авиастроения / А. Г. Бойцов, В. Б. Дудаков // РИТМ Машиностроения. – 2016. – №5. – С. 10-14.
3. Способ изготовления штамповок лопаток из двухфазного титанового сплава // Патент РФ №2525961. 2013 / В. В. Андреев, В. Б. Быстров, Р. А. Казаков.
4. Кожина, Т. Д. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей. В 2-х ч. Ч. 2 / Т. Д. Кожина, И. Д. Юдин, В. А. Полетаев и др.; под ред. Т. Д. Кожиной и И. Д. Юдина – М.: Машиностроение, 2012.– 272 с.
5. Егоров, В. Б. Анализ развития промышленной робототехники в мире / В. Б. Егоров, П. С. Голубков // Автоматизация технологических и бизнес процессов. – 2015. – Т 7. – №2. – С. 4-13.
6. Марочник сталей и сплавов / под редакцией В. Г. Сорокина. Москва: Машиностроение, 1989. – 640 с.
7. Теория и технология горячей штамповки: методические указания для курс. проектирования / составители В. Ю Ненашев, И. Н. Ковалькова. – Самара: СГАУ, 2004. – 35 с.
8. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: учебное пособие для вузов / Ю. М. Лахтин. 3-е изд. – Москва: Металлургия, 1983. – 360 с.
9. Ковка и штамповка. Справочник / под ред. С. В. Семёнова, T. l. – M. : Машиностроение, 1985. – 567 с.
10. Ковка и штамповка: под ред. Семенова Е.И. том 2. - М.: Машиностроение, 1986. - 193 с.
11. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./ Ред. совет: (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985 – Т4.

**Приложение 1**

Таблица 1

Припуск на механическую обработку поковки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Масса поковки, кг |  | Габаритные размеры поковки, мм |
|  | До 50 | 50 – 120 |
| Rz 320– Rz 80 | Rz 40 – Rz 2,5 | Rz 1,25 | Rz 320 – Rz 80 | Rz 40 – Rz 2,5 | Rz 1,25 |
| до 0,250,25 – 0,400,40 – 0,630,63 – 1,001,00 – 1,601,60 – 2,502,50 – 4,00 | 0,91,01,11,21,41,61,8 | 1,41,51,61,71,92,12,3 | 1,71,81,92,02,22,42,6 | 1,01,01,21,31,51,71,9 | 1,51,51,71,82,02,22,4 | 1,81,92,02,12,32,52,7 |

Таблица 2

Допуск на размеры поковки

|  |  |
| --- | --- |
| Масса поковки, кг | Габаритные размеры, мм |
| до 50 | 50 –120 |
| до 0,25 | +0,7 -0,4 | +0,8 -0,4 |
| 0,25 – 0,40 | +0,8 -0,4 | +0,9 -0,5 |
| 0.40 – 0,63 | +0,9 -0,5 | +1,1 -0,5 |
| 0,63 – 1,00 | +1,1 -0,5 | +1,2 -0,6 |
| 1,00 – 1,60 | +1,2 -0,6 | +1,3 -0,7 |
| 1,60 – 2,50 | +1,3 -0,7 | +1,5 -0,7 |
| 2,50 – 4,00 | +1,5 -0,7 | +1,6 -0,8 |

Таблица 3

Наименьшие радиусы закруглений внешних углов поковок

|  |  |
| --- | --- |
| Масса поковки, кг | Наименьшие внешние радиусы закруглений **R**, мм, при глубине полости ручья штампа, мм |
| до 10 | св. 10 до 25 | св. 25 до 50 | св. 50 |
| до 1,0 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| св. 1,0 до 6,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,5 |

Таблица 4

Штамповочные уклоны на поковках

|  |  |
| --- | --- |
| Штамповочноеоборудование | Штамповочные уклоны, град |
| внешние, **γо** | внутренние, **γ1о** |
| МолотыПрессы | 75 | 107 |

Таблица 5

Пределы прочности сталей при температуре конца штамповки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Группа | Марка материала | Предел прочности материала при температуре конца штамповки, МПа |
| 1 | Конструкционные углеродистые стали с содержанием углерода до 0,25% | 550 |
| 2 | Конструкционные углеродистые стали с содержанием углерода более 0,25% или конструкционные низколегированные стали с содержанием углерода до 0,25% | 600 |
| 3 | Конструкционные низколегированные стали с содержанием углерода более 0,25% | 650 |
| 4 | Высоколегированные конструкционные стали | 750 |
| 5 | Титановые сплавы | 800 |

**Приложение 2**

****

****

****

****

****