

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 материаловедение, сварки и производственной безопасности
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине: «Общее материаловедение и технологии материалов»
на тему: «Разработка технологического процесса горячей объёмной
штамповки поковки детали «Диск турбины» и выбор соответствующего для
него оборудования»

Выполнил
обучающийся группы 1410 Пакреев Я. А.

Проверил:
доцент, к.т.н. Шибаетов П. Б.

Казань 2022

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGH EDUCATION OF RUSSIAN
FEDERATION

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kazan
National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI”

(KNRTU-KAI)

Institute of Aviation, Land Transport and Energy

Department of Material Science, Welding and Industrial Safety

Specialty: Material Science and Materials Technology

COURSE PROJECT

on discipline: General Materials Science and Materials Technology

subject: “Development of the technological process of hot die forging of the
forging of the “Turbine disc” part and selection of the equipment appropriate for
it”

Completed by
Pakreev Y.A.

Accepted by
Shibayev P.B.

Kazan 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЛИ.....	7
1.1. Обработка металлов давлением.....	7
1.1.1. Горячая объёмная штамповка.....	8
2. ДИСК ТУРБИНЫ.....	11
2.1. Назначение и условия работы.....	11
2.2. Конструкция и классификация дисков.....	12
2.3. Выбор материала диска.....	13
2.4. Выбор метода и способа получения заготовки.....	15
2.5. Выбор основного производственного оборудования.....	17
3. РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ И ОСНАСТКИ.....	19
4. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.....	22
5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА.....	25
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	26
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	27
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	28

ВВЕДЕНИЕ

В качестве тематики курсовой работы был выбран технологический процесс горячей объёмной штамповки поковки диска турбины газотурбинного двигателя.

Диск турбины является ответственной деталью в устройстве газовой турбины, деформация или разрушение которой может привести к целой катастрофе, отчего правильное техническое и технологическое исполнение её является важным фактором для дальнейшей успешной и долговечной эксплуатации.

Диск газовой турбины – объект исследования данной работы – вращающаяся деталь турбины, в которой закрепляются лопатки турбины, работающие под воздействием поступающей воздушно-газовой смеси. Диск турбины работает, находясь под воздействием нескольких видов напряжений, включая высокие нагрузки в сочетании с центробежной силой и температурным градиентом. Данная рабочая среда требует определённых условий производства, а именно: применение жаропрочных сплавов, использование оптимального технологического метода формообразования и режима термической обработки для сохранения структуры и свойств материала. Особенно необходимо следить за изменением структуры сплава: контролирование размеров зёрен во время формообразования позволяет обеспечить целостность структуры, что также впоследствии предотвратит изменение механических свойств в связи с этим.

В настоящее время промышленность использует традиционные методы по изготовлению заготовок и деталей диска турбины, в числе которых: литьё по выплавляемым моделям, литьё в песчано-глинистые формы, горячая объёмная штамповка, порошковая металлургия. Однако учёные занимаются поиском и разработкой новых, более совершенных методов производства, внедрение которых в дальнейшем приведёт к более рациональному использованию как материала, так и оборудования, что положительно скажется на экономических показателях производства, ресурсном

потреблении (напрямую – для производства детали, и косвенно – для производства электроэнергии, используемой в производстве), приведёт к росту объёмов производства, а также позволит продолжить исследования в области разработки и внедрения новых технологий в производстве.

Материалы, используемые в качестве основы для создания диска турбины, должны быть жаропрочными, потому как турбина длительно работает при высоких температурах, вследствие чего материал не должен испытывать каких-либо структурных изменений, прежде всего, полиморфных превращений, в области рабочих температур, что в свою очередь положительно скажется на стабильности свойств выбранного материала.

Цель исследования: изучение процессов обработки металлов давлением и применение теоретических знаний для разработки технологического процесса детали газовой турбины и соответствующего для производства оборудования.

Объект исследования: разработка технологического процесса горячей объёмной штамповки.

Предмет исследования: технологический процесс штамповки поковки детали «Диск турбины».

Задачи исследования:

1. Ознакомиться с особенностями эксплуатации и производства детали «Диск турбины»;
2. Рассчитать технологические параметры, позволяющие определить форму и размеры реализуемой поковки детали «Диск турбины»;
3. Исходя из полученных технологических данных выбрать соответствующее оборудование, которое позволит надлежащим образом произвести поковку детали «Диск турбины».

Гипотезой исследования является предположение, что горячая объёмная штамповка в сочетании с механической обработкой является высокоэффективным и высокотехнологичным способом получения деталей «Диск турбины».

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что произведены необходимые расчёты и получены исходные данные для последующего выполнения чертежей поковки и выбора как основного, так и вспомогательного для данного технологического процесса оборудования.

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные в ходе исследования данные, а также произведённый выбор соответствующего данному технологическому процессу оборудования позволяет внедрить данный технологический процесс на производстве газо- или паротурбинных установок.

Работа состоит из введения, шести глав и заключения, списка использованных источников и приложений.

1. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЛИ

В настоящее время существует множество способов изготовления заготовок и деталей. Все они зависят от следующих условий: материала детали (чугун, сталь, сплавы цветных металлов, пластмассы и т.д.), размера детали и её конфигурации, массы; требуемой точности размеров и качества поверхности, а также объёма выпуска. Выделяют следующие методы изготовления: литьё (по выплавляемым моделям, в песчано-глинистые формы, в кокиль, под давлением, центробежное литьё), штамповка (горячая объёмная штамповка, холодная штамповка, листовая штамповка), механическая обработка (фрезеровка, протяжка, шлифование, расточка, сверление и т.п.).

В данной курсовой работе будет подробно рассмотрен метод обработки металлов давлением, а конкретный способ изготовления и формообразования заготовок и деталей – горячая объёмная штамповка.

1.1. Обработка металлов давлением

Обработка металлов давлением основана на использовании одного из основных свойств металлов – пластичности. Она проявляется в необратимом изменении формы и размеров тела под действием внешних сил без нарушения его целостности, которое сопровождается изменением структуры и механических свойств металла.

Получение заготовок деталей, а в некоторых случаях и самих деталей требуемых размеров и форм при обработке давлением достигается пластическим деформированием (сдвигом) частиц металла. Поэтому обработка давлением характеризуется малыми отходами металла. Она является высокопроизводительным процессом, так как изменение размеров и формы заготовки достигается однократным приложением внешнего усилия.

Основными видами обработки давлением являются прокатка, прессование, волочение, ковка, объёмная штамповка, листовая штамповка.

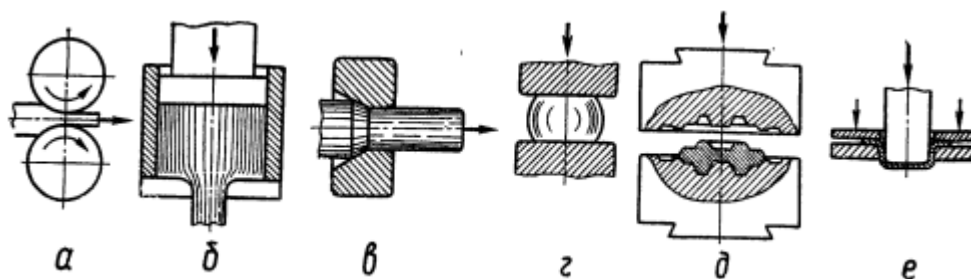


Рис. 1.2. Схемы основных видов обработки металлов давлением: а - прокатка, б - прессование, в - волочение, г - ковка, д - объёмная штамповка, е - листовая штамповка

1.1.1. Горячая объёмная штамповка

Объёмная штамповка заключается в одновременном деформировании всей заготовки в специализированном инструменте – штампе на молотах, прессах или горизонтально-ковочных машинах (рис. 1.2.1, д). Форма и размеры внутренней полости штампа определяют форму и размеры заготовки.

По сравнению со свободной ковкой объёмная штамповка имеет такие преимущества, как: 1) в 50-100 раз большая производительность (десятки и сотни поковок в час); 2) большая однородность и точность поковок (припуски и допуски на поковку в 3-4 раза меньше, чем при ковке), благодаря чему значительно уменьшается расход металла в стружку; 3) возможность получения поковок сложной формы без напусков; 4) высокое качество поверхности. На одном штампе в зависимости от сложности, материала и массы заготовки и способа штамповки можно изготовить от 10 до 25 тыс. поковок.

Недостатки объёмной штамповки: сложность и дороговизна инструмента-штампа, ограниченность массы поковок (0,3-100 кг, в отдельных случаях до 3 т), так как усилия деформирования при штамповке гораздо выше, чем при ковке.

Наиболее эффективна объёмная штамповка в крупносерийном и массовом производствах.

Различают объёмную штамповку в открытых и закрытых штампах.

В открытых штампах (рис. 1.2.7, а) между подвижной и неподвижной частями штампа имеется зазор – заусеночная (или облойная) канавка, в которую вытекает избыточный объём металла заготовки. Образующийся при этом заусенец (облой) затем обрезается.

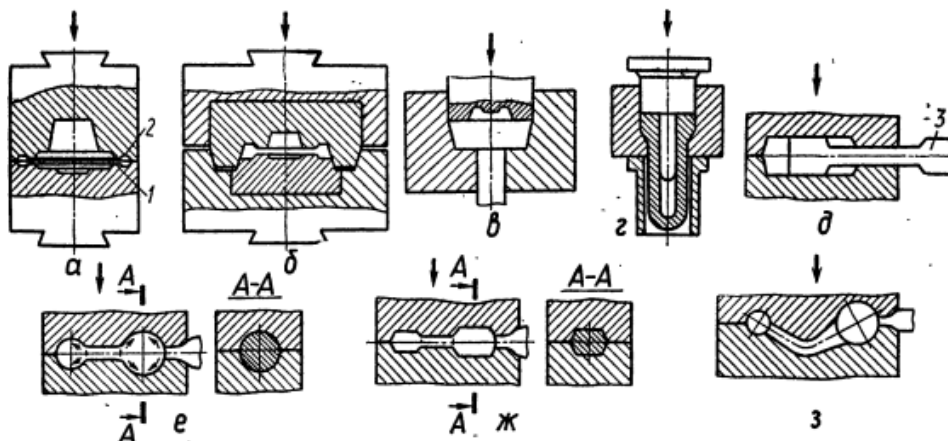


Рис. 1.2.1. Схемы горячей объёмной штамповки и заготовительных ручьёв: а - открытый штамп, б - закрытый штамп, в - штамп с двумя плоскостями разъёма, г - штамповка выдавливанием, д - протяжка, е - подкатка, ж - формовка, з – гибка

В закрытых штампах (рис. 1.2.7, б) деформирование металла протекает в закрытой полости. Штамповка происходит без образования заусенца (облоя), и в этом случае расход металла меньше, но предъявляются повышенные требования к точности объёма заготовки. Микроструктура металла поковок при штамповке в закрытых штампах более благоприятна, так как волокна металла нигде не пересекаются. Штамповка в закрытых штампах позволяет получить большую степень деформации и штамповать малопластичные сплавы. Закрытые штампы могут быть с одной и с двумя плоскостями разъёма (рис. 1.2.7, в). Близкой к схеме штамповки в закрытых штампах является штамповка выдавливанием (рис. 1.2.7, г).

Поковки простой формы штампуют в одноручьевых штампах – с одной полостью. Сложные поковки с резкими изменениями сечения по длине изготавливают в многоручьевых штампах с последовательным

деформированием заготовки в нескольких ручьях с постепенным приближением её к окончательной форме поковки.

Ручьи штампов в многоручьевых штампах разделяют на заготовительные и штамповочные.

Заготовительные ручьи предназначены для получения фасонной заготовки, и в них металл перераспределяется для подготовки к окончательной штамповке. В заготовительных ручьях производят: осадку; протяжку – удлинение части заготовки (рис. 1.2.7, д); подкатку – местное увеличение сечения заготовки за счёт утонения соседних участков (рис. 1.2.7, е); пережим – уширение заготовки поперёк её оси; формовку – для придания заготовке формы, приближающейся к форме поковки в плоскости разъёма (рис. 1.2.7, ж); гибку (рис. 1.2.7, з); а также отрубку заготовок при штамповке из прутка.

Штамповочные ручьи бывают черновые (предварительные) и чистовые (окончательные). Черновой ручей не имеет облойной канавки. Его назначение – предохранить чистовой ручей от изнашивания. Форма чернового ручья такая же, как у чистового, но радиусы закруглений и штамповочные уклоны несколько больше. Чистовой ручей – точное отображение поковки, но с размерами, большими на величину усадки при остывании (около 1,5%). По периметру чистового ручья располагается канавка для облоя.

Листовая штамповка предназначена для получения плоских и объёмных полых деталей из листа или полосы с помощью штампов на холодноштамповочных прессах (рис. 1.2.1, е).

Горячую объёмную штамповку выполняют на штамповочных молотах, прессах, горизонтально-ковочных машинах и специализированных машинах узкого назначения.

2. ДИСК ТУРБИНЫ

2.1. Назначение и условия работы

Диски определяют требуемое положение рабочих лопаток на роторе и в лопаточном аппарате турбины, выполняя функцию промежуточного звена между валом ротора и лопаточным аппаратом; диски непосредственно участвуют в преобразовании прямолинейного движения газовой смеси во вращательное движение турбинного ротора. По своему назначению и условиям эксплуатации диски являются наиболее напряжёнными и ответственными деталями ротора турбины. После сборки с лопатками диски называют также рабочими колёсами. Схематичное изображение диска турбины представлено на рис. 2.1.

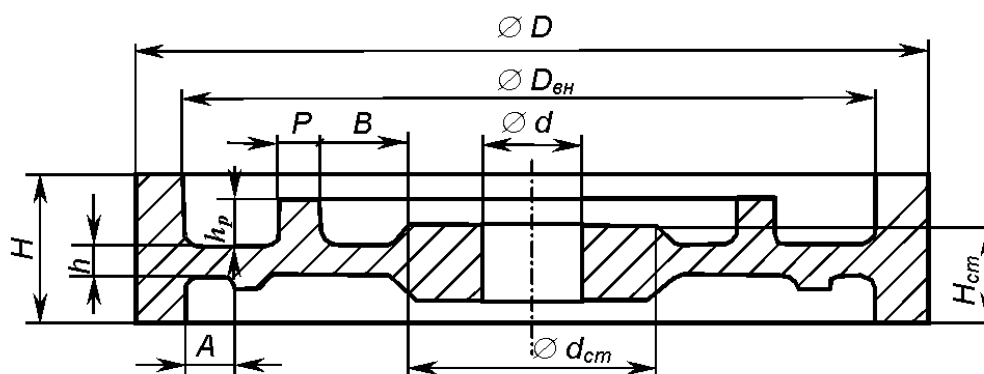


Рисунок 2.1 – Схема диска турбины ГТД

При работе турбины насадное рабочее колесо (диск) находится в весьма сложных температурных и напряжённых условиях. На диск воздействуют: силы, создаваемые давлением газа на лопатки; центробежные силы от лопаток и собственной массы; силы, вызываемые натягом от горячей посадки; силы, возникающие от разности давлений до диска и за ним; динамические нагрузки от вибрационных явлений; термические напряжения при пуске, переменных режимах работы турбины и др.

Наибольшие напряжения в материале работающего рабочего колеса возникают в зоне втулочного отверстия, однако, по условиям металлургического производства, именно возле центра втулочного отверстия,

совпадающего с центром слитка, материал поковки диска имеет более низкие механические свойства, чем в остальной части поковки. Поэтому образцы для контрольных испытаний материала поковки всегда берутся из припуска, оставляемого на поверхности втулочного отверстия.

Диск турбины является почти столь же напряжённой деталью, как и рабочие лопатки. Разрушение диска представляет собой серьёзнейшую аварию и связано, обычно, с полным разрушением турбины. Поэтому к материалу дисков и качеству их обработки предъявляются очень высокие требования.

Совершенно недопустимы в дисках резкие конструктивные переходы, грубые следы резца после механической обработки и другие дефекты, могущие вызвать местную концентрацию напряжений.

Температура дисков может достигать: обода до 800-850 °С, в центре (у оси вращения) до 550-650 °С.

Рабочая среда дисков состоит из газовой смеси, состоящей из воздуха и авиационного топлива. Данная среда может вызывать развитие коррозии, а вследствие этого и последующее разрушение диска.

2.2. Конструкция и классификация дисков

Основными конструктивными элементами диска являются: обод (венец) с пазами для крепления лопаток, полотно (диафрагма), фланцы для связи с соседними дисками и валом, ступица.

Диски различают: конструктивно (по способу соединения дисков в роторы) – монолитные и сборные; по способу изготовления – деформируемые, спекаемые (из гранул), литые, сварные, паяные.

Диски в зависимости от способа соединения их с лопатками бывают монолитные (за одно целое с лопатками) и составные неразъёмные (сварные, паяные) и разъёмные с креплением лопаток в пазах диска (одновенечные, двухвенечные и многовенечные). Различают пазы: пазы типа «ласточкин хвост», пазы ёлочного профиля, кольцевой паз.

2.3. Выбор материала диска

Диски турбин являются наиболее напряжёнными деталями после рабочих лопаток. Разрушение диска приводит к аварии турбины. Материалы для дисков применяются в зависимости от напряжений, возникающих при эксплуатации. Материал рабочих дисков должен иметь:

- 1) Высокие стабильные механические свойства при рабочих температурах;
- 2) Однородность состава и отсутствие внутренних дефектов;
- 3) Минимальные внутренние напряжения;
- 4) Хорошую механическую обрабатываемость.

Поковки, из которых изготавливают диски, подвергают термической обработке по режимам, устанавливаемым в зависимости от требуемых свойств химического состава стали и размеров диска.

Остаточные напряжения должны быть минимальными, так как вместе с рабочими они могут превысить допустимые значения и вызвать разрушение детали.

По техническим условиям для дисков допускаются остаточные напряжения не более 4 кгс/мм² при диаметре диска $d = 600 - 1000$ мм и 5 кгс/мм² при $d > 1000$ мм.

В поковках не должно быть трещин и флокенов.

На внутренней поверхности ступицы и её торцов проверяют содержание серы. Рекомендуется также снимать отпечатки с части полотна для обнаружения сегрегационных усов.

Для выбора основного материала, из которого будет изготовлен диск турбины необходимо провести сравнительный анализ из представленных вариантов конструкционных материалов: ХН77ТЮР, 15Х12Н2МФВАБ и ВТЗ-1.

ХН77ТЮР (ЭИ437Б) – сплав жаропрочный, на никелевой основе, трудносвариваемый. Химический состав сплава представлен в таблице 1. Механические свойства представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав сплава ХН77ТЮР

Al	B	Fe	Si	Mn	Ni	Pb
0,6-1%	0-0,01%	0-1%	0-0,6%	0-0,4%	78%	0-0,01%
S	Ti	C	P	Cr	Ce	
0-0,007%	2,4-2,8%	0-0,07%	0-0,015%	19-22%	0-0,02%	

Таблица 2 – Механические свойства сплава ХН77ТЮР

$\sigma_{0,2}$, Па	σ_B , Па	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	ρ , кг/см ³	НВ
$6,5 \cdot 10^8$	10^9	17	16	39	8,2	262

15X12H2MФВАБ (ЭП517) – сталь мартенситная, жаропрочная, трудносвариваемая. Химический состав представлен в таблице 3. Механические свойства представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Химический состав сплава 15X12H2MФВАБ

C	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb
0,13-0,18%	11-13%	1,7-2,1%	1,35-1,65%	0,7-1%	0,18-0,3%	0,2-0,35%
N	Fe	Si	Mn	S	P	
0,02-0,08%	82%	<0,5%	<0,5%	<0,015%	<0,03%	

Таблица 4 – Механические свойства сплава 15X12H2MФВАБ

$\sigma_{0,2}$, Па	σ_B , Па	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	ρ , кг/см ³	НВ
$5,9 \cdot 10^8$	$7,4 \cdot 10^8$	15	16	59	7.8	263

ВТЗ-1 – жаростойкий сплав на основе титана, ограниченно свариваемый. Химический состав представлен в таблице 5. Механические свойства представлены в таблице 6.

Таблица 5 – Химический состав сплава ВТЗ-1

N	H	Fe	O	Si
0-0,05%	0-0,015%	0,2-0,7%	0-0,18%	0,15-0,4%
Cr	Zr	Al	Mo	C
0,2-2,3%	0-0,5%	11-12,5%	5,5-7%	0-0,1%

Таблица 6 – Механические свойства сплава ВТЗ-1

$\sigma_{0,2}$, Па	σ_B , Па	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	ρ , кг/см ³	НВ
$4,5 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^9$	50	16	35	4,5	359

Согласно условиям эксплуатации данных сплавов, титановый сплав ВТЗ-1 не удовлетворяет требованиям эксплуатации детали диска турбины, так как максимальная температура эксплуатации сплава ВТЗ-1 составляет 450°С, тогда как необходимая температура эксплуатации составляет до 750°С. Согласно этому параметру, эксплуатация сплавов ХН77ТЮР и 15Х12Н2МФВАБ возможна.

Необходимо сравнить механические свойства при температуре 600°С. Свойства для сравнения представлены в таблице 7. Из представленных значений делаем вывод, что в качестве основного материала, который будет использован при производстве диска турбины ГТД, будет выбран сплав ХН77ТЮР.

Таблица 7 – Сравнение механических свойств сплавов при 600°С

Материал/свойства	$\sigma_{0,2}$, Па	σ_B , Па	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²
15Х12Н2МФВАБ	$3,5 \cdot 10^8$	$3,4 \cdot 10^8$	26	84	167
ХН77ТЮР	$5,4 \cdot 10^8$	$8,6 \cdot 10^8$	32	31	54

2.4. Выбор метода и способа получения заготовки

Конструкторский чертёж диска турбины ГТД представлен на чертеже 1 (см. Приложение 1). Диски турбины, по сравнению с дисками компрессора, массивнее и технологичнее. Отношение массы к площади её поверхности у дисков турбины значительно больше. При конструировании этих дисков следует стремиться к простой геометрической форме без большой разницы между размерами отдельных элементов сечений; избегать рёбер и выступов, расположенных между ступицей и ободом; изготовление таких дисков связано с повышенным расходом металла и большим объёмом последующей механической обработки; предусматривать плавные переходы от сечения к

сечению, глубокие полости не рекомендуется, так как они усложняют производство заготовок и их механическую обработку.

Для изготовления дисков с минимальной механической обработкой необходимо назначать рациональные соотношения между основными конструктивными элементами – диаметром диска и толщиной полотна, высотой обода или ступицы и толщиной их стенок, радиусами переходов и закруглений.

В качестве основного способа изготовления данной заготовки используется горячая объёмная штамповка в закрытых штампах, на ковочных молотах и мощных прессах. Объёмная штамповка заключается в одновременном деформировании всей заготовки в специализированном инструменте – штампе на молотах, прессах или горизонтально-ковочных машинах.

Также применяют горячее изостатическое прессование гранул в газостате – метод порошковой металлургии. Данный метод применяют для получения заготовок регулируемой структуры.

Перспективной также является изотермическая штамповка и раскатка заготовок дисков турбины в условиях сверхпластичности. Сущность метода состоит в следующем: рабочие валки создают гидростатическое давление на материал заготовки, находящийся в очаге деформации. Величина гидростатического давления превышает предел текучести материала, что подавляет порообразование, исключает появление трещин и других несплошностей. Соблюдение изотермических условий в этом процессе деформирования обеспечивает мелкозернистую равноосную структуру при незначительной ориентации зёрен в направлении течения металла. Материал заготовок дисков имеет повышенные механические свойства с малым их разбросом.

Причина выбора горячей объёмной штамповки заключается в экономической выгоде, так как оборудование для получения детали стоит дешевле, чем оборудование для изотермического прессования и штамповки.

Высокие механические свойства (предел текучести и временное сопротивление), обеспечиваемые перспективными методами, также соблюдаются, однако производимое количество деталей, которое в год должно составлять порядка 100 тысяч штук, обеспечивается именно данным способом, поэтому горячая объёмная штамповка в закрытом штампе есть оптимальный вариант в данном случае. ~~Плоскость разъёма штампа принимается по нижней поверхности штамповки.~~

2.5. Выбор основного производственного оборудования

Заготовки дисков турбин штампуют в закрытых штампах на ковочных молотах и мощных прессах. Из приведённого оборудование в данной работе был выбран кривошипный горячештамповочный пресс с закрытым штампом, так как выбранный материал – сплав ХН77ТЮР на основе никеля – является чувствительным к процессу деформации и формообразования. Благодаря прессу можно обеспечить более равномерную деформацию, а также при помощи прессы можно обеспечивать лучший контроль процесса формообразования. Также КГШП позволяет лучше автоматизировать процесс штамповки заготовки, а также сокращает время проведения самого процесса формообразования, так как присутствует возможность регулирования воздействия на заготовку, тогда как молот имеет фиксированную массу, которой может быть недостаточно для деформирования заготовки.

Исходя из того, что необходимо выпускать около 100 тысяч заготовок в год, то имеем: в году (с учётом вычитания выходных дней) 262 рабочих дня, стандартная смена на заводе составляет 7 часов (с вычетом времени на обед). Составим зависимости от вышеуказанных величин:

Количество получаемых заготовок в день:

$$N_{д} = \frac{N_{г}}{N_{р.д.}}, \quad (1)$$

где $N_{г}$ – количество получаемых заготовок в год, заг./г; $N_{р.д.}$ – количество рабочих дней в году.

Количество получаемых заготовок в час:

$$N_{\text{ч}} = \frac{N_{\text{д}}}{T_{\text{с}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{д}}$ – количество получаемых заготовок в день, заг./день; $T_{\text{с}}$ – количество часов в рабочей смене с учётом времени на отдых, ч.

Количество получаемых заготовок в минуту:

$$N_{\text{мин}} = \frac{N_{\text{ч}}}{60}, \quad (3)$$

где $N_{\text{ч}}$ – количество получаемых заготовок в час, заг./ч.

Полученные значения после подстановки в формулы (1) – (3) представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Количество производимых заготовок

$N_{\text{д}}$, заг./день	$N_{\text{ч}}$, заг./ч.	$N_{\text{мин}}$, заг./мин
382	55	0,91

Полученные данные позволяют заключить, что для поддержания темпа производства заготовок в 100 тысяч в год, будет необходим 1 кривошипный горячештамповочный пресс.

3. РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШТАМПОВКИ И ОСНАСТКИ

Для проектирования и расчёта оснастки для получения штамповки детали необходимо произвести расчёт основных технологических параметров штамповки.

Технологические параметры для расчёта: масса поковки, припуск на механическую обработку, допуск на размеры поковки, наименьшие радиусы закруглений внешних углов поковок, штамповочные уклоны, диаметр заготовки, длина заготовки, усилие прессы.

Материал детали – жаропрочный сплав ХН77ТЮР, группа стали МЗ, степень сложности С4, класс точности Т2, исходный индекс 17 согласно ГОСТ 7505-89 (см. Приложение 2, табл. 11-13).

1) Масса штамповки

$$M_{\text{штм}} \approx 0,85 * 1,25 * M_{\text{дет}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{дет}}$ – масса детали, рассчитываемая по чертежу детали, исходя из её объёма и плотности материала, используемого при изготовлении детали, г.

Однако в данном случае не учитывается металл, который будет снят в процессе механической обработки, поэтому принимаем $M_{\text{штм}}=241,1175$ кг.

2) Припуск на механическую обработку

Припуски на механическую обработку, дополнительный припуск по изогнутости, от плоскостности и от прямолинейности, дополнительный припуск для штамповок согласно ГОСТ 7505-89 (см. Приложение 2, табл. 14-16) для габаритных размеров детали, составляющих: $D = 625$ мм, $H = 80$ мм, а также исходя из шероховатости детали $Ra 1,25$, суммарно составят: для боковых поверхностей $d = 7$ мм, для торцовых поверхностей (на сторону) $h = 4,7$ мм.

3) Допуск на размеры штамповки

Допуски на размеры штамповки, дополнительный допуск по изогнутости, от плоскостности и от прямолинейности, допуск на смещение согласно ГОСТ 7505-89 (см. Приложение 2, табл. 17-19) для габаритных

размеров детали суммарно составят: для диаметра $D = 644_{-3}^{+6}$ мм, для высоты детали $H = 104,6_{-2,0}^{+7,4}$ мм.

4) Наименьшие радиусы закруглений внешних углов штамповки

Наименьшие радиусы закруглений внешних углов штамповки согласно ГОСТ 7505-89 (см. Приложение 2, табл. 20), исходя из массы детали $M_{дет} = 69,753$ кг и глубины полости ручья штампа $H = 80$ мм, составляют $R = 7,0$ мм.

5) Штамповочные уклоны

Штамповочные уклоны согласно ГОСТ 7505-89 (см. Приложение 2, табл. 21) для внешних поверхностей детали составляют $\gamma = 7^\circ$.

6) Диаметр заготовки

Диаметр заготовки, которая подвергается деформированию с целью получения штамповки, определяется по формуле:

$$D_{заг} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{M_{заг}}{\rho * k_0}}, \quad (5)$$

где $M_{заг}$ – масса заготовки, г; ρ – плотность материала, г/см³; k_0 – коэффициент соотношения длины заготовки к диаметру, который назначается в пределах 1,25 – 2,5.

Масса заготовки рассчитывается по формуле:

$$M_{заг} = M_{штм} + M_{уг}, \quad (6)$$

где $M_{штм}$ – масса штамповки, г; $M_{уг}$ – масса материала, угараемого при штамповке, г. Масса угараемого материала составляет 2-3% от массы штамповки.

Подставляя имеющиеся данные в (5) и (6), имеем:

$$M_{заг} = 2411175 + 0,025 * 2411175 = 247300 \text{ г.}$$

$$D_{заг} = 1,08 \sqrt[3]{\frac{247300}{8,2 * 2}} = 26,6 \text{ см} = 266 \text{ мм.}$$

7) Длина заготовки

Длина заготовки вычисляется по следующей формуле:

$$L_{заг} = \frac{M_{заг}}{F_{заг} * \rho}, \quad (7)$$

где $F_{\text{заг}} = \frac{\pi * D_{\text{заг}}^2}{4}$ – площадь сечения заготовки, см²

Имеем:

$$L_{\text{заг}} = \frac{247300}{\frac{3,14 * 26,6^2}{4} * 8,2} = 53,9 \text{ см} = 539 \text{ мм.}$$

8) Усилие прессы

Усилие прессы, необходимое для деформации заготовки до определённого формообразования, рассчитывается по формуле:

$$P = 0,8 * (1 - 0,001 * D_{\text{шп}}) * \left(1,1 + \frac{20}{D_{\text{шп}}}\right) * \sigma_{\text{в}} * F_{\text{шп}}, \quad (8)$$

где P – расчётное усилие прессы, Н; $D_{\text{шп}}$ – диаметр круглой штамповки, мм; $F_{\text{шп}}$ – площадь штамповки, мм²; $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности материала штамповки при температуре конца штамповки, МПа.

Имеем:

$$P = 0,8 * (1 - 0,001 * 644) * \left(1,1 + \frac{20}{644}\right) * 750 * 293\,309 =$$

73 774 171 Н.

Полученные значения основных параметров заготовки и штампа представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Основные параметры заготовки и штампа

Параметр	M _{дет} , кг	M _{шп} , кг	Припуски на сторону		Допуски на размер		R, мм	γ, °	M _{уг} , кг	M _{заг} , кг	D _{заг} , мм	L _{заг} , мм	P, тс
			d, мм	h, мм	D, мм	H, мм							
Величина	69,75	241	7	4,7	+6 -3	+7,4 -2,0	7	7	6,1825	247,3	266	539	7522

4. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для данного технологического процесса – горячая объёмная штамповка – были разработаны основные операции получения штамповки из исходной заготовки. Была составлена маршрутная карта, в которой были изложены все основные процесса получения из исходной заготовки штамповки диска турбины ГТД (см. Приложение 3).

Ключевыми операциями при штамповке заготовки являются: нагрев заготовки (операция 015), штамповка заготовки (операция 040), термическая обработка (операция 055), очистка окалины (операция 065), а также ультразвуковой контроль заготовки (операция 070). При проведении данных операция должны быть точно соблюдены условия проведения операций.

После проведения операций, представленных в маршрутной карте, заготовки передаются на последующую механическую обработку, в ходе которой заготовке будет предана форма, соответствующая форме готовой детали.

Краткое изложение маршрутной карты представлено в таблице 10.

Таблица 10 – Маршрутная карта технологического процесса штамповки заготовки диска турбины ГТД

Номер операции	Операция и её описание	Оборудование
005	Резка Нарезать круглый прокат на заготовки D=180 мм, L=364 мм	Ленточнопильный станок ЛПС 8535 00-01 РЭ
010	Транспортировка Транспортировать заготовки до камерной печи	Рольганг приводной РП- 4000
015	Нагрев	Камерная печь ПКВП- 1000, кран-балка электрическая подвесная

	Переместить заготовки с рольганга в камерную печь и нагреть заготовки до ковочной температуры $T=1200^{\circ}\text{C}$	
020	Снятие окалины Переместить заготовки из камерной печи на стапель и снять окалину с заготовок	Кран-балка электрическая подвесная, пескоструйный аппарат WEIDERKRAFT WDK-82019
025	Транспортировка Переместить заготовки со стапеля на рольганг и транспортировать заготовки от стапеля к гидравлическому прессу	Кран-балка электрическая подвесная, рольганг приводной РП-4000
030	Перемещение Переместить заготовку с рольганга на гидравлический пресс	Гидравлический пресс WEILI YWL32
035	Контроль Проверить положение заготовки в нижней полости штампа для предотвращения зазоров между полостями штампа	Гидравлический пресс WEILI YWL32
040	Штамповка Произвести штамповку заготовки с усилием $P=7522$ тс к размерам $D=648$ мм и $H=85$ мм	Гидравлический пресс WEILI YWL32
045	Изъятие Изъять заготовку из полости штампа и поместить на ролики рольганга	Кран-балка электрическая подвесная, рольганг приводной РП-4000

050	<p>Транспортировка</p> <p>Переместить заготовку от гидравлического пресса к камерной печи и поместить заготовку с рольганга в камерную печь</p>	<p>Рольганг приводной РП-4000, кран-балка электрическая подвесная</p>
055	<p>Термическая обработка</p> <p>Произвести ТО заготовки: закалка 1080°C, 8 ч., воздух; старение 750°C, 16 ч., воздух</p>	<p>Камерная печь ПКВП-1000</p>
060	<p>Перемещение</p> <p>Переместить заготовку из камерной печи на стапель</p>	<p>Кран-балка электрическая подвесная, стапель</p>
065	<p>Снятие окалины</p> <p>Снять окалину со штамповки</p>	<p>Пескоструйный аппарат WEIDERKRAFT WDK-82019</p>
070	<p>Ультразвуковой контроль</p> <p>Произвести ультразвуковой контроль заготовки на наличие внутренних дефектов: трещин, пустот, шлаковых включений, неоднородности структуры и других несплошностей структуры</p>	<p>Высокочастотный ультразвуковой дефектоскоп-томограф A1525 Solo</p>

5. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПОТРЕБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛА

Эффективность метода изготовления заготовки оценивается возможностью максимального приближения её геометрии к размерам готовой детали. Такие показатели, как коэффициент использования заготовки и коэффициент использования материала.

Коэффициент использования заготовки (КИЗ) характеризует использование материала штамповки для формообразования готового изделия:

$$\text{КИЗ} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{штм}}}. \quad (9)$$

Для диска турбины КИЗ равен:

$$\text{КИЗ} = \frac{69,7534}{74,1129} = 0,94$$

Коэффициент использования материала (КИМ) характеризует использование материала при производстве готовой детали из исходной заготовки:

$$\text{КИМ} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{заг}}}. \quad (10)$$

Для данной детали КИМ равен:

$$\text{КИМ} = \frac{69,753}{247,3} = 0,28$$

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан технологический процесс горячей объёмной штамповки поковки диска турбины ГТД. Для данной детали был выбран именно этот метод получения поковки в связи с производительностью данного метода, которую необходимо поддерживать на уровне 100 тысяч штук в год, а также возможностью обеспечения высоких механических свойств.

Материал, из которого изготавливается поковка диска турбины, был сравнительным методом выбран из трёх вариантов: ВТЗ-1, 15Х12Н2МФВАБ, ХН77ТЮР. ХН77ТЮР наиболее полно отвечает заданным эксплуатационным характеристикам, а именно высокие механические свойства при температуре эксплуатации 600°С.

Были рассчитаны основные параметры заготовки: допуски и припуски на размер детали, механическую обработку, штамповочные уклоны, наименьший радиус закругления внешних углов детали, диаметр и длину исходной заготовки, усилие пресса при штамповке. Также была разработана маршрутная карта для данного технологического процесса.

Данный технологический процесс имеет низкий коэффициент использования материала, что связано с большим количеством металла, который удаляется с поверхности поковки в процессе последующей механической обработки, однако коэффициент использования заготовки высокий, что обусловлено малым угаром металла, а также методом изготовления поковки, а именно – использование закрытого штампа.

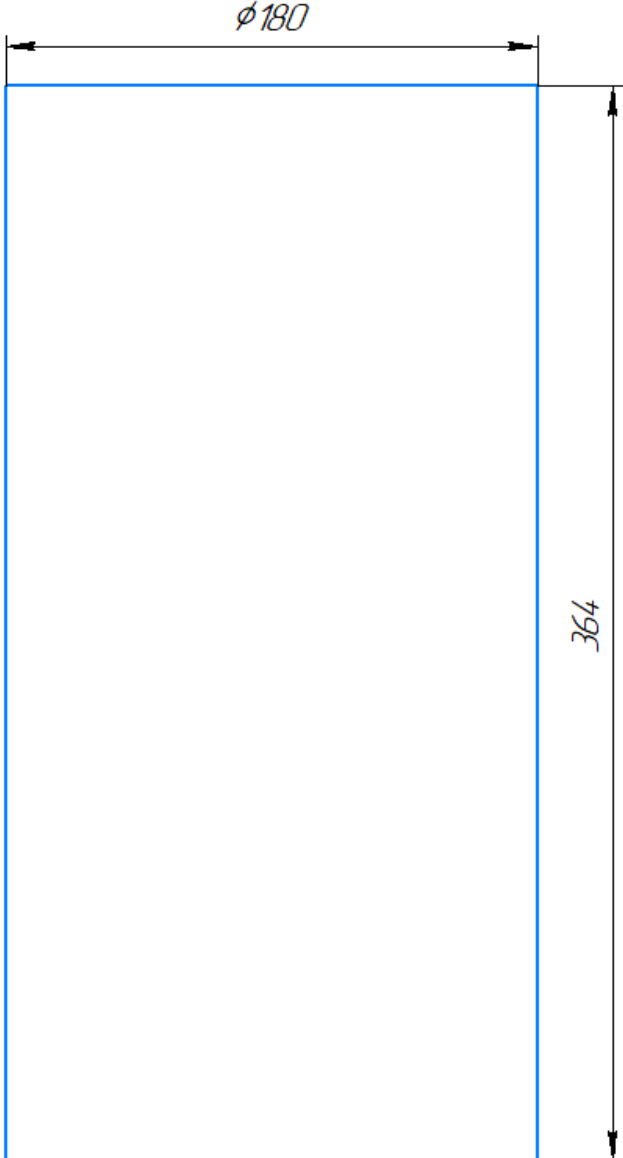
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

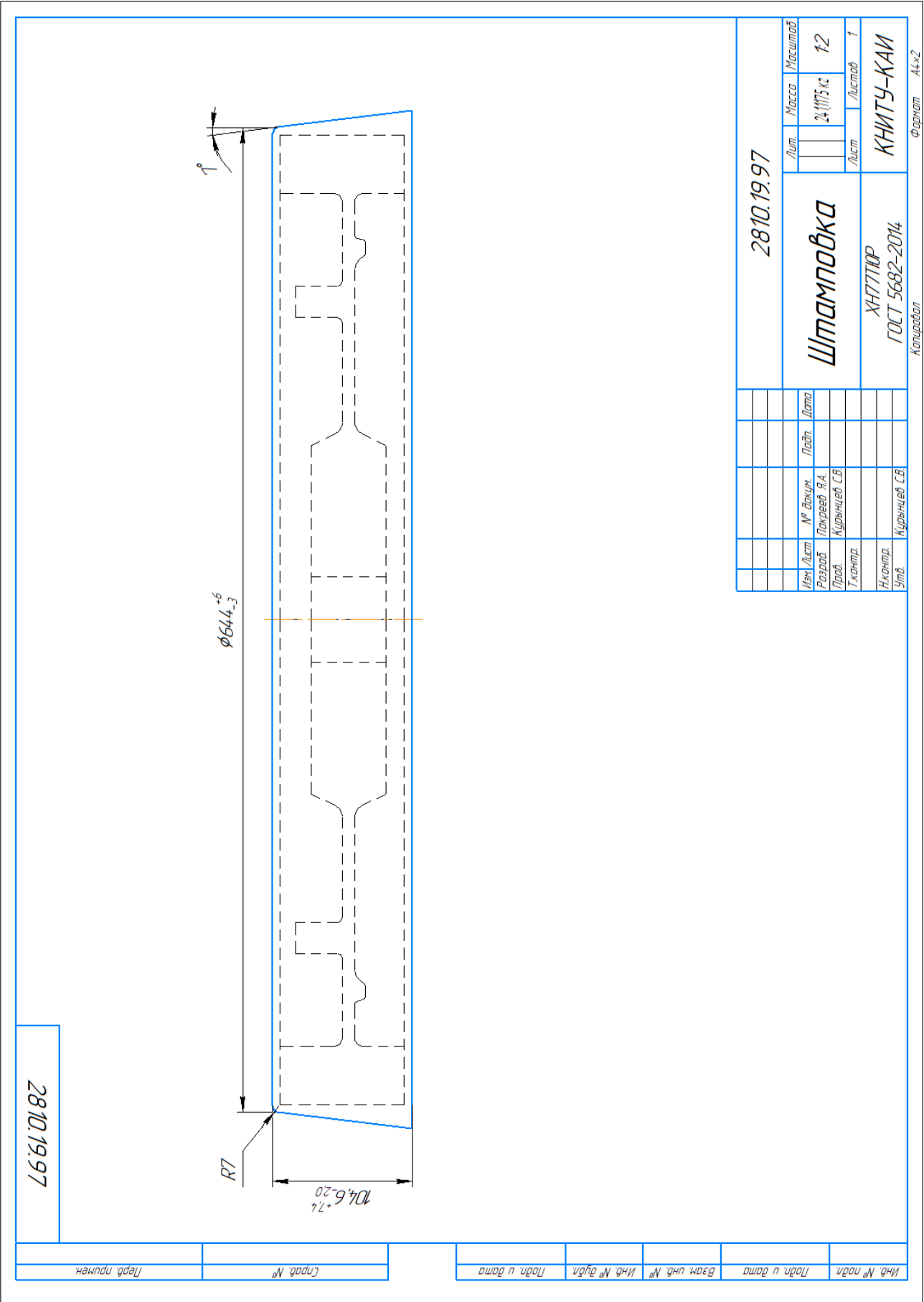
1. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные допуски [Текст]. – Введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990
2. Ильинкова Т.И. Методические указания по выполнению курсовой работы [Текст] / Казань, 2017. – 41 с.
3. Основы технологии производства воздушно-реактивных двигателей [Текст]: учеб. для студ. авиац. спец. вузов. / А. М. Сулима [и др.]. – М.: Машиностроение, 1993. – 312 с.
4. Торопов Ю. А. Припуски, допуски и посадки гладких цилиндрических соединений. Припуски и допуски отливок и поковок [Текст]: справочник. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. – 598 с.
5. Марочник сталей и сплавов [Текст]: справочник. / В. Г. Сорокин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.
6. Ковка и штамповка [Текст]: справочник: в 4 т. / Е. И. Семенов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая штамповка/Под ред. Е. И. Семенова, 1986. – 592 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение

1

Перв. примен.	2810.19.96												
Справ. №													
Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	2810.19.96										
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ док-м.	Подп.	Дата									
	Разраб.	Покреев Я.А.											
	Проб.	Курынцев С.В.											
	Т.контр.												
	Н.контр.												
	Утв.	Курынцев С.В.											
			Заготовка	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Лит.</td> <td style="width: 25%;">Масса</td> <td style="width: 50%;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">24,3 кг</td> <td style="text-align: center;">1:2</td> </tr> <tr> <td>Лист</td> <td>Листов</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> </table>	Лит.	Масса	Масштаб		24,3 кг	1:2	Лист	Листов	1
Лит.	Масса	Масштаб											
	24,3 кг	1:2											
Лист	Листов	1											
			ХН77ТЮР ГОСТ 5682-2014	КНИТУ-КАИ									
			Копировал	Формат А4									



2810.19.97

Инд. № подл.	Подл. в дата	Взам. инд. №	Инд. № дубл.	Подл. в дата	Спроб. №	Лист. примен.
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------	---------------

Изн. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Покровей Я.А.				24,1115 кг	1:2
Проб.	Хурвичей С.В.			Лист		Листов 1
Т.контр.						
И.контр.	ХН777ЮР					КНИТУ-КАИ
Утв.	ГОСТ 5682-2014					

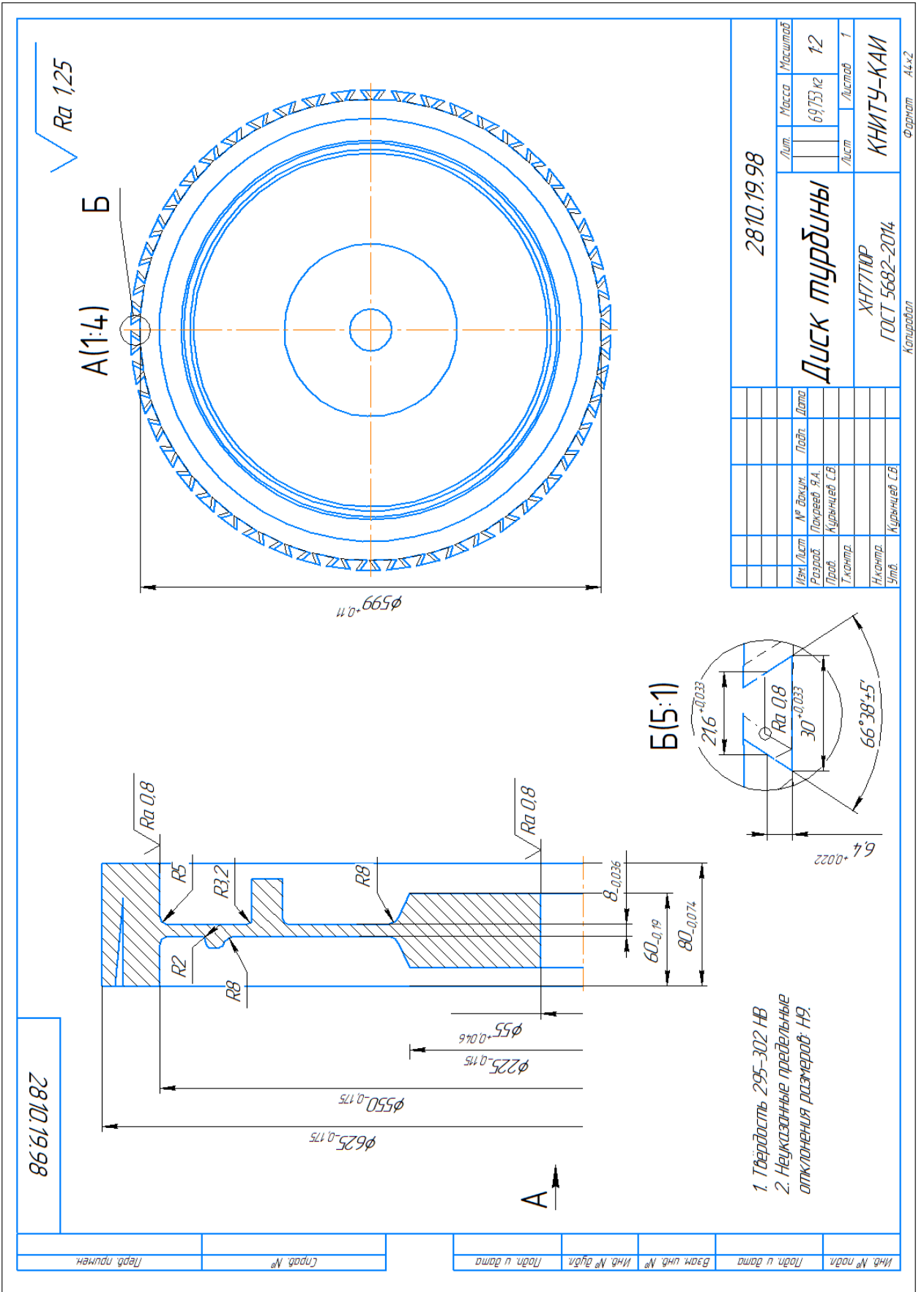
2810.19.97

Штамповка

ХН777ЮР
ГОСТ 5682-2014

Копировал

Формат А4х2



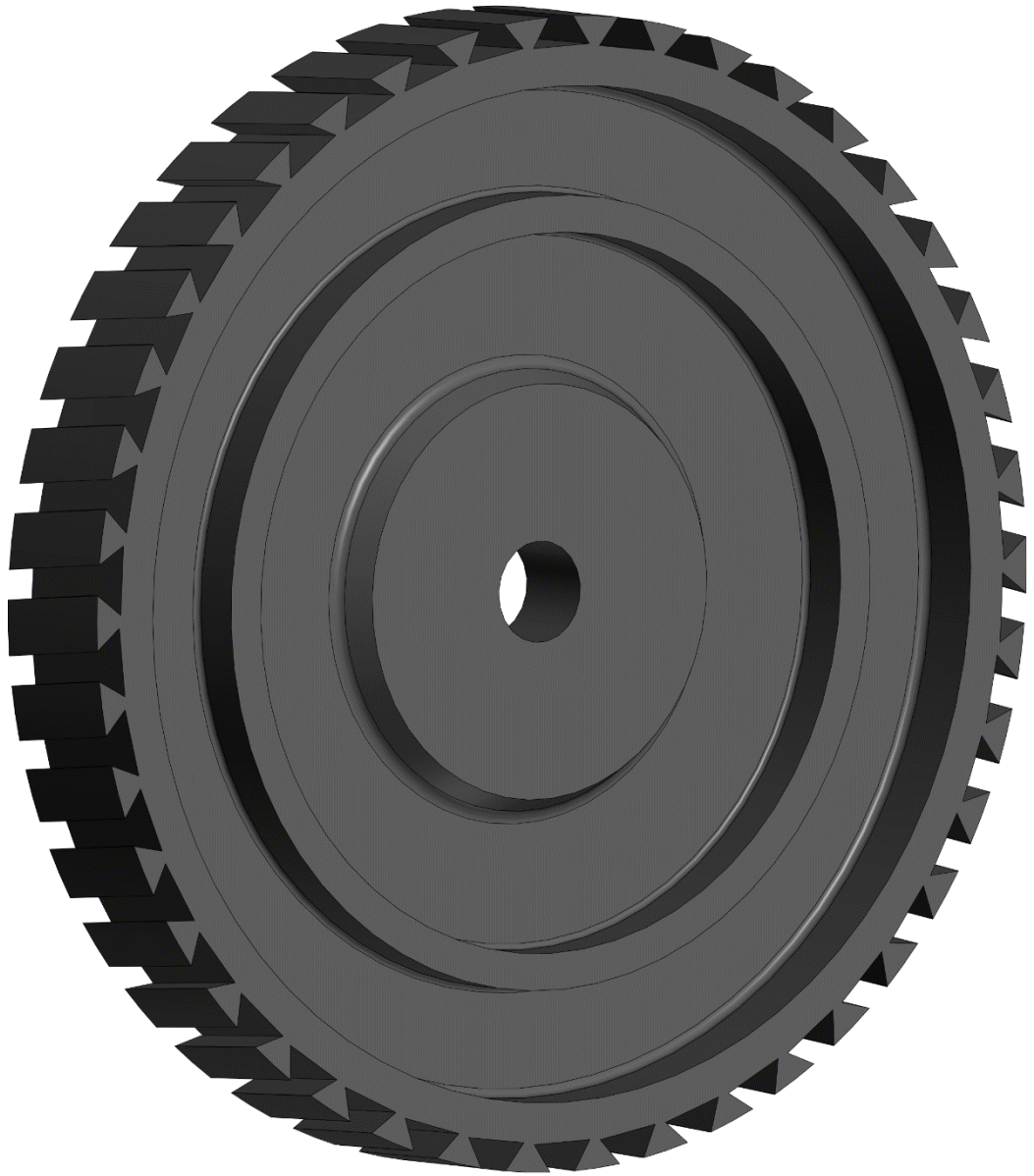
28.10.19.98

Лист № 1

Инд. № подл. Подп. и дата

Изд. / Лист	№ докум. / Разраб. / Проект	Подп. / Курьинцев С.В.	Дата
1 / 12			
Масса	69,753 кг	Листов	1
28.10.19.98		КНИТУ-КАИ	
Диск турбины		ХНТ7710Р	
		ГОСТ 5682-2014	
		Копировал	
		Формат А4×2	

1. Твердость 295-302 НВ
2. Неуказанные предельные отклонения размеров Н9.



Приложение 2

Таблица 11 – Группа стали

M1	M2	M3
Сталь (сплав) с массовой долей углерода до 0,35% включительно и суммарной массовой долей легирующих элементов до 2,0% включительно	Сталь (сплав) с массовой долей углерода свыше 0,35 до 0,65% включительно или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 2,0 до 5,0% включительно	Сталь (сплав) с массовой долей углерода свыше 0,65% или суммарной массовой долей легирующих элементов свыше 5,0%

Таблица 12 – Класс точности

Основное деформирующее оборудование, технологические процессы	Класс точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
Кривошипные горячештамповочные прессы:					
открытая (облойная) штамповка				+	+
закрываемая штамповка		+	+		
выдавливание			+	+	
Горизонтально-ковочные машины				+	+
Прессы винтовые, гидравлические				+	+

Горячештамповочные автоматы		+	+		
Штамповочные молоты				+	+
Калибровка объемная (горячая и холодная)	+	+			
Прецизионная штамповка	+				

Таблица 13 – Определение исходного индекса

Масса поковки, кг	Группа стали			Степень сложности поковки				Класс точности поковки					Исходный индекс	
	M1	M2	M3	C1	C2	C3	C4	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 включ.														1
« 0,5 до 1,0 "														2
« 1,0 " 1,8 "														3
« 1,8 " 3,2 "														4
« 3,2 " 5,6 "														5
« 5,6 " 10,0 "														6
« 10,0 " 20,0 "														7
« 20,0 " 50,0 "														8
« 50,0 " 125,0 "														9
« 125,0 " 250,0 "														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
														20
														21
														22
														23

Таблица 15 – Дополнительные припуски на механическую обработку, мм

Масса поковки, кг	Припуски для классов точности, мм									
	Плоская поверхность разъема (П)									
	T1	T2	T3	T4	T5					
			Симметрично изогнутая поверхность разъема (И _с)							
			T1	T2	T3	T4	T5			
		Несимметрично изогнутая поверхность разъема (И _н)								
		T1	T2	T3	T4	T5				
До 0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3		
включ.										
Св. 0,5 до 1,0 "				0,2		0,3				
" 1,0 " 1,8 "			0,2		0,3			0,4		
" 1,8 " 3,2 "		0,2		0,3			0,4	0,5		
" 3,2 " 5,6 "	0,2		0,3			0,4	0,5	0,6		
" 5,6 " 10,0 "		0,3			0,4	0,5	0,6	0,7		
" 10,0 " 20,0 "	0,3			0,4	0,5	0,6	0,7	0,9		
" 20,0 " 50,0 "			0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2		
" 50,0 " 125,0 "		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6		
" 125,0 " 250,0 "	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2	1,6	2,0		

Таблица 16 – Дополнительные припуски в зависимости от изогнутости и отклонения от плоскостности и прямолинейности, мм

Наибольший размер поковки	Припуски для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4
Св. 100 " 160 "	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
" 160 " 250 "	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
" 250 " 400 "	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
" 400 " 630 "	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
" 630 " 1000 "	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
" 1000 " 1600 "	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
" 1600 " 2500 "	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0

Таблица 17 – Допуски и допускаемые отклонения линейных размеров
 ПОКОВКИ, ММ

Исходный индекс	Наибольшая толщина поковки																	
	до 40		40-63		63-100		100-160		160-250		св. 250							
	Длина, ширина, диаметр, глубина и высота поковки																	
	до 40		40-100		100-160		160-250		250-400		400-630		630-1000		1000-1600		1600-2500	
14	2,5	+1,6 -0,9	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1
15	2,8	+1,8 -1,0	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4
16	3,2	+2,1 -1,1	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7
17	3,6	+2,4 -1,2	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0
18	4,0	+2,7 -1,3	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3
19	4,5	+3,0 -1,5	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6
20	5,0	+3,3 -1,7	5,6	+3,7 -1,0	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0
21	5,6	+3,7 -1,9	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4
22	6,3	+4,2 -2,1	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8
23	7,1	+4,7 -2,4	8,0	+5,3 -2,7	9,0	+6,0 -3,0	10,0	+6,7 -3,3	11,0	+7,4 -3,6	12,0	+8,0 -4,0	13,0	+8,6 -4,4	14,0	+9,2 -4,8	16,0	+10,0 -6,0

Таблица 18 – Допускаемые отклонения по изогнутости, от плоскостности и от
 прямолинейности для плоских поверхностей, ММ

Наибольший размер поковки	Допускаемые отклонения по изогнутости для классов точности				
	T1	T2	T3	T4	T5
До 100 включ.	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Св. 100 " 160 "	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
" 160 " 250 "	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2
" 250 " 400 "	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6
" 400 " 630 "	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
" 630 " 1000 "	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5
" 1000 " 1600 "	1,2	1,6	2,0	2,5	3,2
" 1600 " 2500 "	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

Таблица 19 – Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, мм

Масса поковки, кг	Допускаемая величина смещения по поверхности разъема штампа, мм						
	Плоская поверхность разъема штампа (П)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Симметрично изогнутая поверхность разъема штампа (И _с)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
	Несимметрично изогнутая поверхность разъема штампа (И _н)						
	T1	T2	T3	T4	T5		
До 0,5 включ.	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Св. 0,5 " 1,0 "	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
" 1,0 " 1,8 "	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
" 1,8 " 3,2 "	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
" 3,2 " 5,6 "	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
" 5,6 " 10,0 "	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4
" 10,0 " 20,0 "	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8
" 20,0 " 50,0 "	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5
" 50,0 " 125,0 "	0,8	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2
" 125,0 " 250,0 "	1,0	1,2	1,4	1,8	2,5	3,2	4,0

Таблица 20 – Минимальная величина радиусов закруглений наружных углов поковок, мм

Масса поковки, кг	Минимальная величина радиусов закруглений, мм, при глубине полости ручья штампа, мм			
	до 10 включ.	10-25	25-50	св. 50
До 1,0 включ.	1,0	1,6	2,0	3,0
Св. 1,0 " 6,3 "	1,6	2,0	2,5	3,6
" 6,3 " 16,0 "	2,0	2,5	3,0	4,0
" 16,0 " 40,0 "	2,5	3,0	4,0	5,0
" 40,0 " 100,0 "	3,0	4,0	5,0	7,0
" 100,0 " 250,0 "	4,0	5,0	6,0	8,0

Таблица 21 – Штамповочные уклоны, град

Оборудование	Штамповочные уклоны, град	
	на наружной поверхности	на внутренней поверхности
Штамповочные молоты, прессы без выталкивателей	7	10
Прессы с выталкивателями, горизонтально-ковочные машины	5	7
Горячештамповочные автоматы	1	2

Приложение 3

										ГОСТ 3118-82		Форм 2									
Дубль	Взам	Лист	№ докум	Подпись	Дата						Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата						
												1310.01.010									
Разработ	Покреев Я.А.				Кафедра МСиПБ		1310.01.010														
Проверил	Курьинцев С.В.																				
										Диск турбины		0									
Исполнитель	Курьинцев С.В.																				
А	Цех	Эк	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа											
Б					Код наименования оборудования					ОМ	Проб	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит	Тп.з	Тшт	
К/М					Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение код					ОПТ	ЕВ	ЕН	КИ	Ндраск		
A ₀₁	1	1	1	005	Резка																
B ₀₂					Ленточнопильный станок																
K ₀₃					Круглый прокат φ180					ГОСТ 23705-79									1		
M ₀₄					ХН77ТЮР					ГОСТ 5682-2014											
O ₀₅					Нарезать круглый прокат на заготовки размерами D=180 мм, L=364 мм																
T ₀₆					Ленточнопильный станок ЛПС 8535 00-01 РЭ ГОСТ 8-82																
A ₀₈	1	2	1	010	Транспортировка																
B ₀₉					Рольганг																
K ₁₀					Заготовка φ180x364					2810.19.96									4		
M ₁₁					ХН77ТЮР					ГОСТ 5286-2014											
O ₁₂					Транспортировать заготовки до камерной печи																
T ₁₃					Рольганг приводной РП-4000 ГОСТ 5332-75																
A ₁₅	1	2	1	015	Нагрев																
B ₁₆					Камерная печь																
МК					ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД																

										ГОСТ 3118-82		Форм 8								
Дубль	Взам	Лист	№ докум	Подпись	Дата						Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата					
												1310.01.010		2						
										Диск турбины		1310.01.010								
А	Цех	Эк	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа										
Б					Код наименования оборудования					ОМ	Проб	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит	Тп.з	Тшт
К/М					Наименование детали, сб. единицы или материала					Обозначение код					ОПТ	ЕВ	ЕН	КИ	Ндраск	
K ₀₁					Заготовка φ180x364					2810.19.96									4	
M ₀₂					ХН77ТЮР					ГОСТ 5682-2014										
O ₀₃					1. Переместить заготовки с рольганга в камерную печь															
					2. Нагреть заготовки до ковочной температуры T=1200°C															
T ₀₅					Кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014, камерная печь ПКВГ-1000 ГОСТ 16382-87															
A ₀₇	1	3	1	020	Снятие окалины															
B ₀₈					Стпель															
K ₀₉					Заготовка φ180x364					2810.19.96									1	
M ₁₀					ХН77ТЮР					ГОСТ 5682-2014										
O ₁₁					1. Переместить заготовки из камерной печи на стпель															
					2. Снять окалину с заготовок пескоструем															
T ₁₃					Кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014, камерная печь ПКВГ-1000 ГОСТ 16382-87, пескоструйный аппарат WEIDERKRAFT WDK-82019 ГОСТ Р ИСО 14.877-2017															
A ₁₆	1	3	1	025	Транспортировка															
B ₁₇					Рольганг															
МК					ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД															

										ГОСТ 3118-82		Форм 18			
Дубль											Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
Взам															1310.01.010
Подп															3
										Диск турбины		1310.01.010			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа					
Б	Код наименования оборудования				ОМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з	Тшт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение код										
К ₀₁	Заготовка $\phi 180 \times 364$				2810.19.96										
М ₀₂	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₀₃	1 Переместить заготовки со ступеля на ролганг														
О ₀₄	2 Транспортировать заготовки от ступеля к гидравлическому прессу														
Т ₀₅	Кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014, ролганг приводной РП-4000 ГОСТ 5332-75														
А ₀₇	1	3	1	030	Перемещение										
Б ₀₈	Гидравлический пресс														
К ₀₉	Заготовка $\phi 180 \times 364$				2810.19.96										
М ₁₀	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₁₁	Переместить заготовку с ролганга на гидравлический пресс														
Т ₁₂	Кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014, ролганг приводной РП-4000 ГОСТ 5332-75, гидравлический пресс WEILL YWL32 10000 тс ГОСТ 31733-2012														
А ₁₅	1	4	1	035	Контроль										
Б ₁₆	Гидравлический пресс														
К ₁₇	Заготовка $\phi 180 \times 364$				2810.19.96										
МК	ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД														

										ГОСТ 3118-82		Форм 18			
Дубль											Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата
Взам															1310.01.010
Подп															4
										Диск турбины		1310.01.010			
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа					
Б	Код наименования оборудования				ОМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з	Тшт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение код										
М ₀₁	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₀₂	Проверить положение заготовки в нижней полости штампа для предотвращения зазоров между полостями штампа														
Т ₀₄	Гидравлический пресс WEILL YWL32 10000 тс ГОСТ 31733-2012														
А ₀₆	1	4	1	040	Штамповка										
Б ₀₇	Гидравлический пресс														
К ₀₈	Заготовка $\phi 180 \times 364$				2810.19.96										
М ₀₉	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₁₀	Произвести штамповку заготовки с усилием P=7522 тс к размерам D=644 мм H=104,6 мм														
Т ₁₁	Гидравлический пресс WEILL YWL32 10000 тс ГОСТ 31733-2012														
А ₁₃	1	4	1	045	Изъятие										
Б ₁₄	Кран-балка														
К ₁₅	Заготовка $\phi 629,6 \times 85$				2810.19.97										
М ₁₆	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₁₇	Изъять заготовку из полости штампа и поместить на ролики ролганга														
МК	ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД														

ГОСТ 3118-82 Форма 18															
Дубль															
Взам															
Подп															
										Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	
												1310.01.010		5	
										Диск турбины			1310.01.010		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа					
Б	Код наименования оборудования				ОМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з	Тшт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение код										
Т ₀₁	Гидравлический пресс WEILI YWL32 10000 тс ГОСТ 31733-2012, кран-балка электрическая														
02	подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014, ролганг приводной РП-4000 ГОСТ 5332-75														
03															
А ₀₄	1	2	1	050	Транспортировка										
Б ₀₅	Ролганг														
К ₀₆	Заготовка $\phi 629,6 \times 85$				2810.19.97					1					
М ₀₇	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₀₈	1. Переместить заготовки от гидравлического пресса к камерной печи														
09	2. Поместить заготовки с ролганга в камерную печь														
Т ₁₀	Ролганг приводной РП-4000 ГОСТ 5332-75, кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014,														
11	камерная печь ПКВП-1000 ГОСТ 16382-87														
12															
А ₁₃	1	2	1	055	Термическая обработка										
Б ₁₄	Камерная печь														
К ₁₅	Заготовка $\phi 629,6 \times 85$				2810.19.97					1					
М ₁₆	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₁₇	Произвести ТО заготовки: закалка 1080°C, 8 ч, воздух; старение 750°C, 16 ч, воздух														
МК	ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД														

ГОСТ 3118-82 Форма 18															
Дубль															
Взам															
Подп															
										Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	
												1310.01.010		6	
										Диск турбины			1310.01.010		
А	Цех	Уч.	РМ	Опер	Код наименования операции					Обозначение документа					
Б	Код наименования оборудования				ОМ	Проф.	Р	УТ	КР	КОИД	ЕМ	ОП	Кит.	Тп.з	Тшт.
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение код										
Т ₀₁	Камерная печь ПКВП-1000 ГОСТ 16382-87														
02															
А ₀₃	1	3	1	060	Перемещение										
Б ₀₄	Стпель														
К ₀₅	Заготовка $\phi 629,6 \times 85$				2810.19.97					1					
М ₀₆	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₀₇	Переместить заготовку из камерной печи на стпель														
Т ₀₈	Камерная печь ПКВП-1000 ГОСТ 16382-87, кран-балка электрическая подвесная 1 т ГОСТ 33171-2014														
09															
А ₁₀	1	3	1	065	Снятие окалины										
Б ₁₁	Стпель, пескоструйный аппарат														
К ₁₂	Заготовка $\phi 629,6 \times 85$				2810.19.97					1					
М ₁₃	ХН77ТЮР				ГОСТ 5682-2014										
О ₁₄	Снятие окалины со штамповки														
Т ₁₅	Пескоструйный аппарат WEIDERKRAFT WDK-82019 ГОСТ Р ИСО 14877-2017														
16															
А ₁₇	1	3	1	070	Ультразвуковой контроль										
МК	ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД														

Дробь		Взвеш		Подпись		Изм		Лист		№ докум		Подпись		Дата	
										1310.01.010				7	
										Диск турбины			1310.01.010		
А	Цек	Уч	РМ	Ова	Код наименования операции				Обозначение документа						
Б					01	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
К/М					02	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
Б					01	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
К					02	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
М					03	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
О					04	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
Т					05	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					06	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					07	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					08	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					09	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					10	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					11	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					12	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					13	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					14	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					15	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					16	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
					17	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
МК					01	Проп	Р	УТ	КР	КОИД	БУ	ОП	Кит	Тл.з	Тит
ТП горячей объемной штамповки диска турбины ГТД															