



«МАТИ»-Российский Государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского



Кафедра: Технология производства двигателей летательных аппаратов

Изготовление ДИСКОВ



Диски компрессора и турбины, соединенные между собой и валом, образуют ротор двигателя. Конструктивная форма дисков зависит как от вида их соединения в ротор, так и от условий эксплуатации. В процессе эксплуатации диски испытывают большие центробежные нагрузки в условиях значительного и неравномерного нагрева. Например, ободы дисков турбин нагреваются до температур 550... 800°C, а ступицы до 300... 500°C. Это вынуждает использовать для их изготовления высокопрочные и жаропрочные сплавы. Для того чтобы обеспечить высокую жесткость ротора при минимальной его массе, используют сложные формы дисков, которые снижают их технологичность.



Конструкции, технические условия, материалы

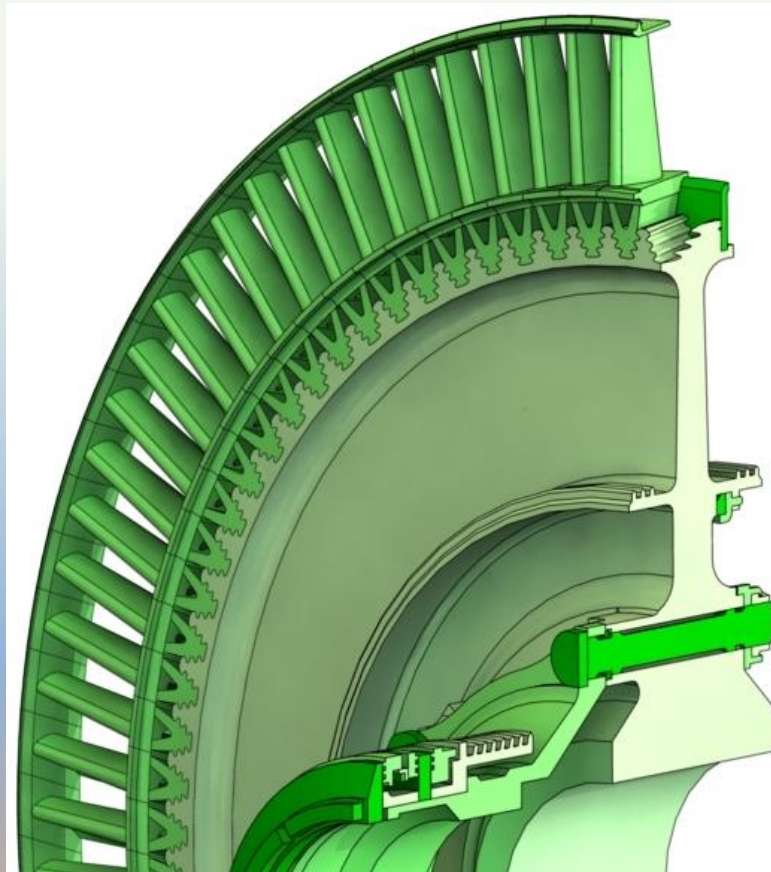
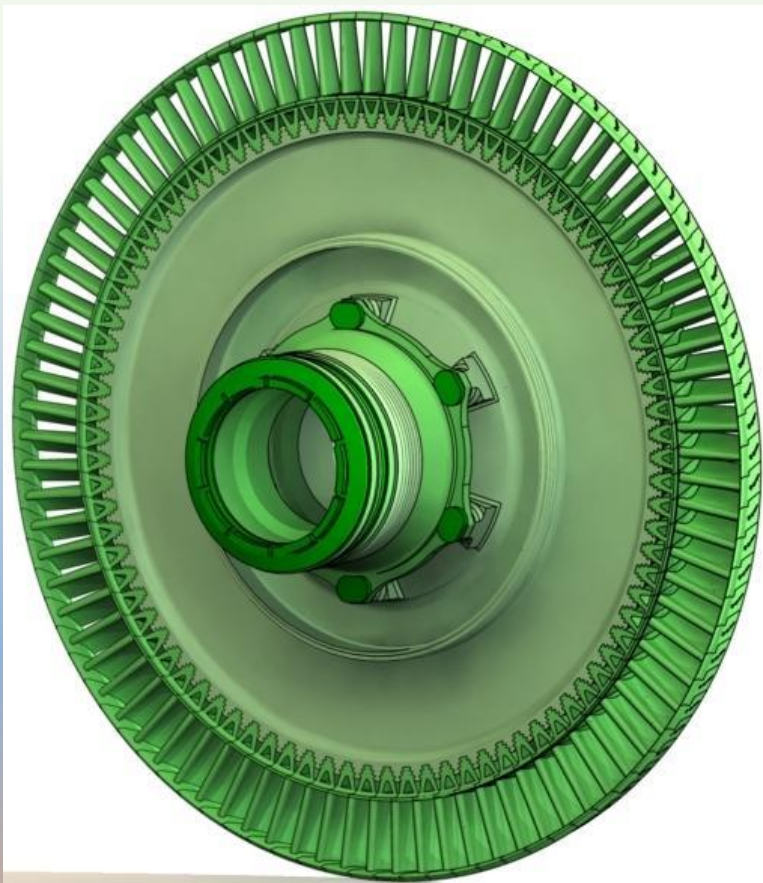
Основными конструктивными элементами диска являются:

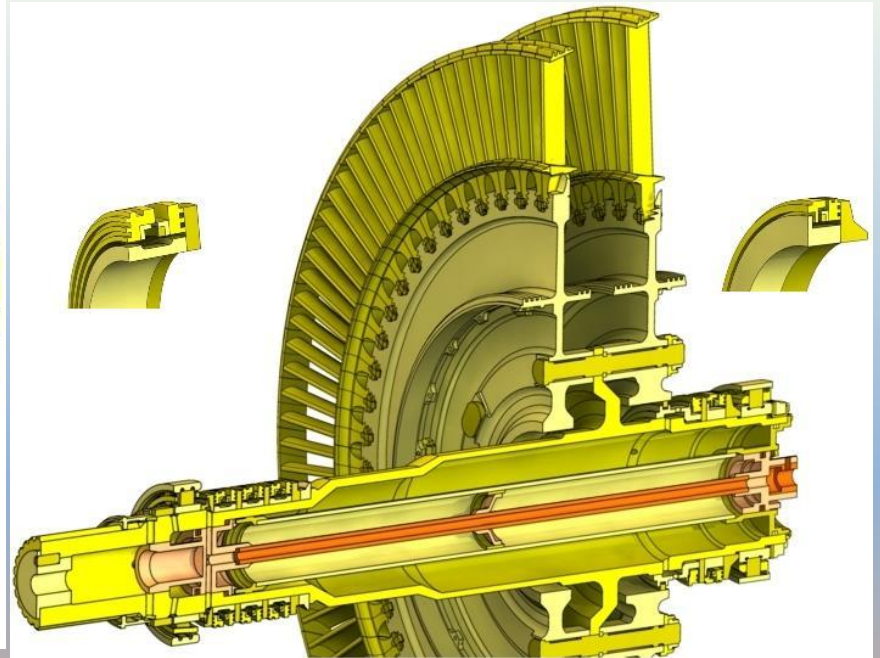
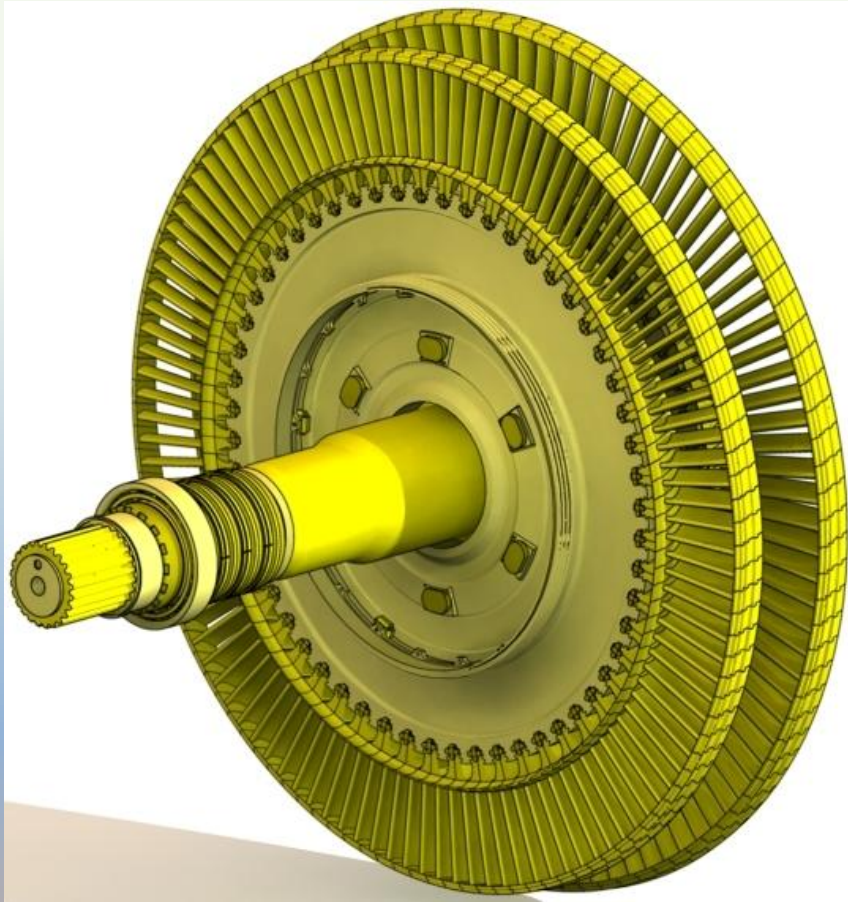
- Обод (венец) с пазами для крепления лопаток;
- Полотно (диафрагма);
- Фланцы, обеспечивающие связь с соседними дисками и валом;
- Ступица.

Диски различают по способу их соединения в роторы (монолитные или сборные), а также по способу изготовления (кованные, штампованные, литые, сварные, паяные, спекаемые (из гранул)).

У дисков сборной конструкции КИМ значительно выше (достигает 0,4), но они имеют меньшую жесткость. Соединение дисков в роторы выполняется штифтами, призонными болтами, торцевыми шлицами и стяжной трубой, электронно-лучевой сваркой.

При штифтовом соединении диски собирают напрессовкой по посадочным (центрирующим) поясам с последующим креплением штифтами. Диски такой конструкции достаточно технологичны.







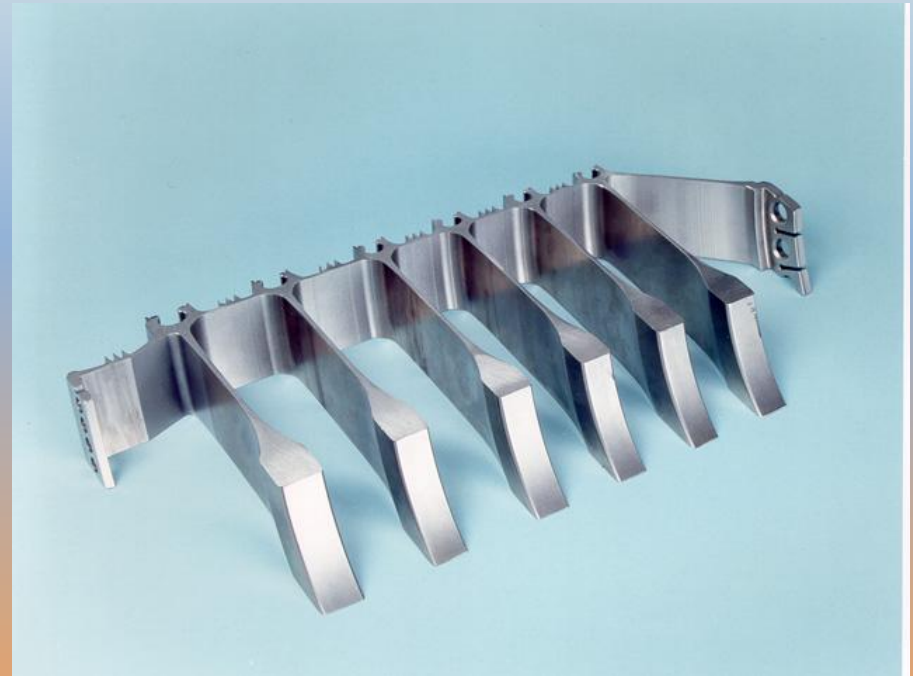
Диски, соединяемые призонными болтами, имеют системы точно расположенных отверстий с жесткими ($\pm 0,05$ мм) допусками. Эти отверстия обрабатывают по специальным кондукторам или на расточных станках. Это увеличивает трудоемкость. Иногда обработка таких отверстий производится в сборе с сопрягаемыми деталями.

Достаточно высокую технологичность имеют диски, соединяемые торцевыми шлицами и стяжными болтами.





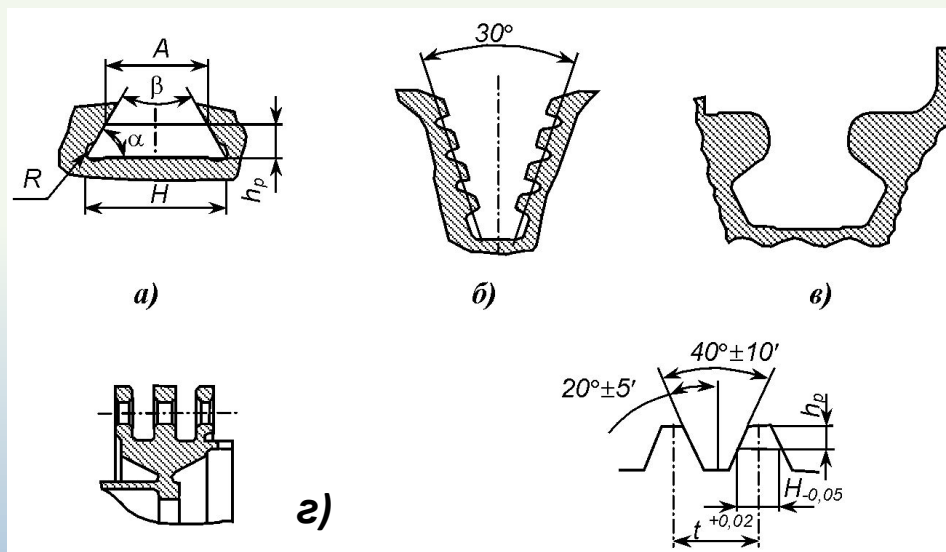
В сварном роторе диски предварительно центрируются по технологическим посадочным буртам и затем свариваются электронно-лучевой сваркой или роторной сваркой трением. Это один из наиболее перспективных способов соединения. Технологические бурты





Монолитные роторы изготавливают из одной поковки точением. Они применяются в основном на малоразмерных двигателях вертолетов. Конструкции таких роторов не технологичны.

Монолитный ротор
малоразмерного двигателя



Для крепления лопаток наиболее часто используют следующие виды пазов и элементов:

Пазы типа ласточкин хвост (рис. а) используют для крепления лопаток в дисках компрессоров. Это технологичная конструкция паза. Пазы обычно обрабатываются протягиванием.

Пазы елочного профиля (рис. б) используются в основном для крепления лопаток на дисках турбины, иногда на дисках компрессора. Форма паза технологична. Пазы получают протягиванием;

Кольцевой паз типа ласточкин хвост представляет собой кольцевую проточку в ободе диска. (рис. в) Трудности изготовления таких пазов связаны с необходимостью обеспечения точных углов при точении, сложностью или невозможностью контроля профиля паза. Отсюда меньшая технологичность;

Шарнирное крепление лопаток используется в сравнительно мало нагруженных роторах компрессоров (с малой частотой вращения) (рис. г)). Проточка пазов под проушины и обработка отверстий под штифты не вызывает больших затруднений и этот вид крепления технологичен



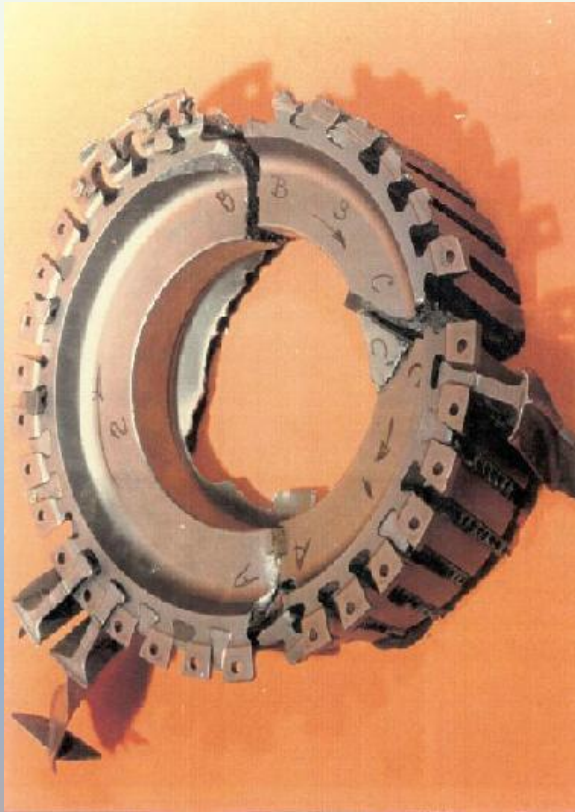
Элемент диска	Требования по точности	Требования по шероховатости
Посадочные поверхности	6...7 квалитеты	Ra = 1,25...0,32 мкм
Лабиринтные канавки	8...10 квалитеты	Ra = 2,5...1,25 мкм
Отверстия под штифты	8...10 квалитеты	Ra = 1,25...0,63 мкм
Наружные и внутренние диаметры	8...11 квалитеты	Ra = 2,5...1,25 мкм
Остальные поверхности	11...12 квалитеты	Ra = 2,5...1,25 мкм
Биения наружных поверхностей относительно посадочных	0,02 ... 0,1 мм	
Елочные пазы: - допуск на шаг зубцов - допуск на ширину елочного паза - смещение опорных поверхностей елочного профиля одной стороны относительно другой - погрешность углов елочного профиля и трапеции паза - непараллельность опорных поверхностей замка относительно оси диска на длине замка - погрешность шага пазов по окружности	0,02 мм 0,02 ... 0,05 мм 0,02 ... 0,05 мм $\pm(5...15')$ 0,05 мм 0,15...0,3 мм	Ra = 1,25...0,63 мкм
Пазы типа "ласточкина хвоста" - посадочный размер (ширина паза <i>A</i>) - погрешность угла замка - шаг пазов по окружности	8...9 квалитеты $\pm 5'$ 0,15 ... 0,3 мм	Ra = 1,25...0,63 мкм
Торцевые шлицы - погрешность окружного шага зубцов - допуск на толщину зубца <i>H</i> - погрешность угла зубцов	0,02 ... 0,05 мм 8 ... 11 квалитеты $\pm 10'$	Ra = 0,63...0,32 мкм
Допуск на массу диска	5% расчетной массы диска	



Материалы дисков турбин должны обладать:

- высокой прочностью и жаропрочностью в широком диапазоне температур;
- низкой чувствительностью к концентрации напряжений;
- высокой вязкостью;
- высоким сопротивлением усталостному разрушению, в том числе малоциклового;
- высокой длительной прочностью и термической стабильностью;
- хорошей обрабатываемостью.

Выполнение этих требований достигается многокомпонентным легированием, упрочнением твердого раствора, предотвращением возникновения охрупчивающих фаз, очисткой сплавов от вредных примесей, оптимальной структурой материала, которая обеспечивается условиями пластического деформирования и термической обработки.





Для изготовления дисков турбин используют жаропрочные никелевые сплавы ХН77ТЮР, ХН73МТБЮВД, ХН62БМКТЮИД, ЭП741 и др., а также порошковые сплавы ЭП741П, ЭП741ЭП, ЭП962П, ЭП975П, получаемые методом гранульной технологии (прессованием и спеканием гранул).

Диски осевых компрессоров работают при более низких температурах и меньших нагрузках. Температуры увеличиваются по мере движения и сжатия потока от входа вглубь двигателя и на последних ступенях достигают 700° С. Поэтому первые ступени изготавливают из титановых сплавов ВТ18У, ВТ33 (рабочие температуры до 450°С) или из сталей 13Х12Н2В2МФА-Ш и др. (рабочие температуры до 600° С) и, а последние из жаропрочных сплавов.

Получение заготовок дисков



Заготовка полученная
штамповкой

Заготовки дисков турбин и компрессоров могут быть получены штамповкой в закрытых штампах на ковочных машинах и мощных прессах.

Форму заготовки стремятся максимально приблизить к форме готовых дисков. Припуски на механическую обработку обычно составляют 5 – 6 мм на сторону. КИМ составляет около 0,1. Заготовки подвергают ультразвуковому контролю для выявления внутренних дефектов. Заготовки дисков из различных сплавов изготавливаются на металлургических комбинатах и поставляются на авиадвигательные заводы согласно заказам с требуемыми свойствами и припусками на механическую обработку.



Для получения заготовок дисков используются также технологии горячего изостатического прессования порошков и гранул в газостате. Эта технология обеспечивает повышение коэффициента использования материала, более высокую жаропрочность, пластичность и уменьшение веса.



Заготовки дисков, полученные спеканием из гранул в газостате

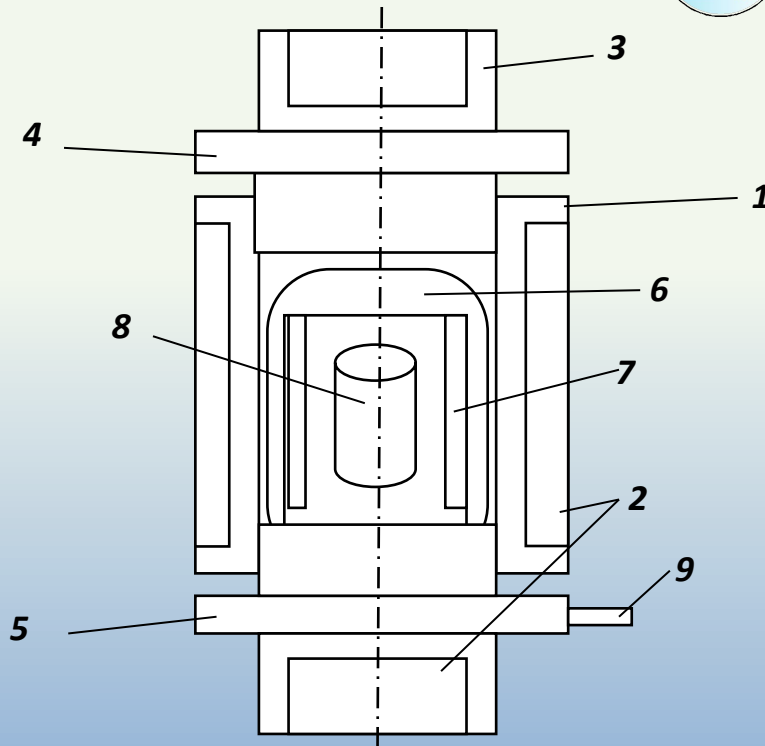


Получение заготовок горячим

изостатическим прессованием

производится в несколько этапов:

- получение гранул. При распылении расплавов на гранулы достигается очень высокая (до 10^6 °C/с) скорость кристаллизации, в результате чего происходит измельчение выделений γ' -фазы и карбидов. Размеры гранул составляют 0,02...0,4 мм. На поверхностях гранул не допускается наличие загрязнений и окисных пленок;
- сортировка гранул по размерам и их очистка;
- Горячее изостатическое прессование дисков производится при температуре закалки сплавов в газостатах и давлении 200 МПа. Ускоренное горячее изостатическое прессование выполняется при повышенных давлениях (~500...550 МПа);
- после прессования производится



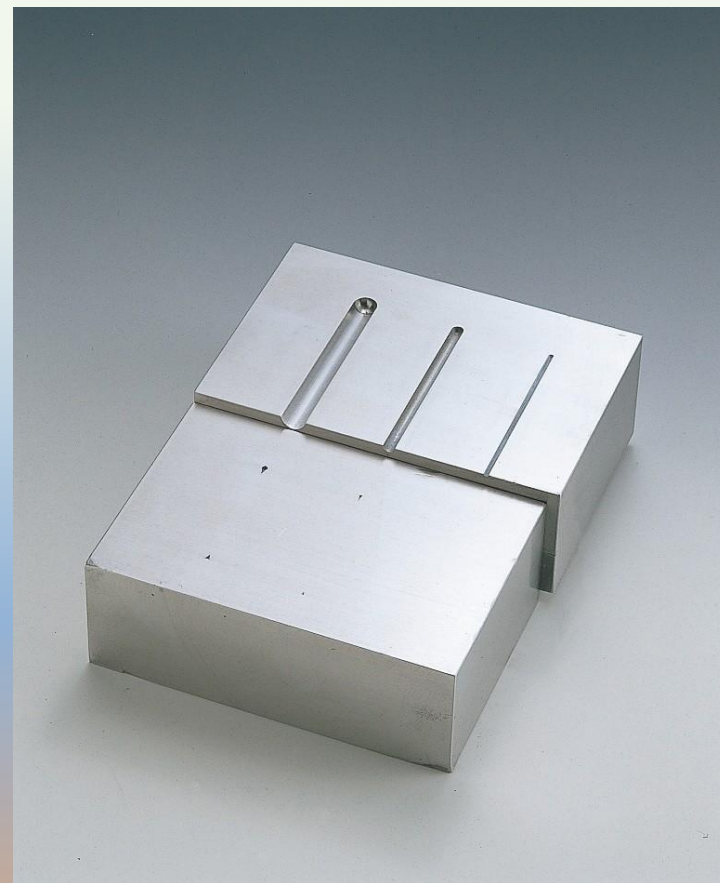
Конструкция газостата ASEA: 1- рабочая камера; 2 – предварительно напряженные обмотки; 3 – ярмо; 4, 5 – верхняя и нижняя пробки соответственно; 6 – теплоизоляция; 7 – нагревательные элементы; 8 – обрабатываемое изделие; 9 – трубопровод подвода газа под высоким давлением



Для дисков компрессора отрабатываются технологии получения заготовок с регулируемой структурой методом изостатического прессования порошков с разными механическими свойствами.

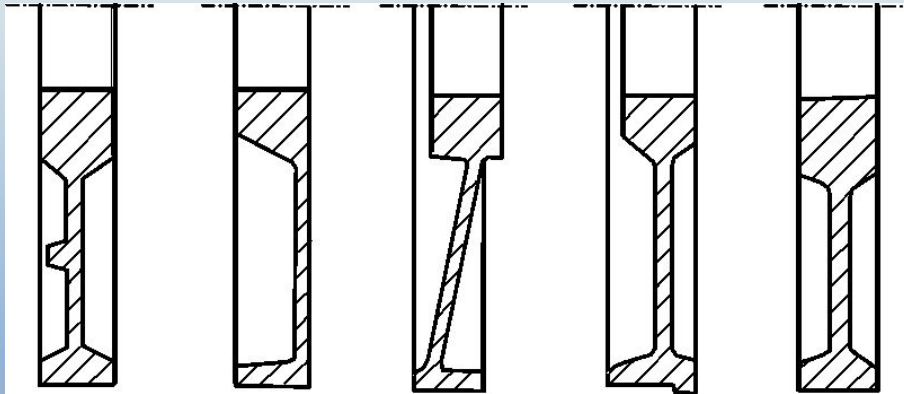


Одна из конструкций газостата

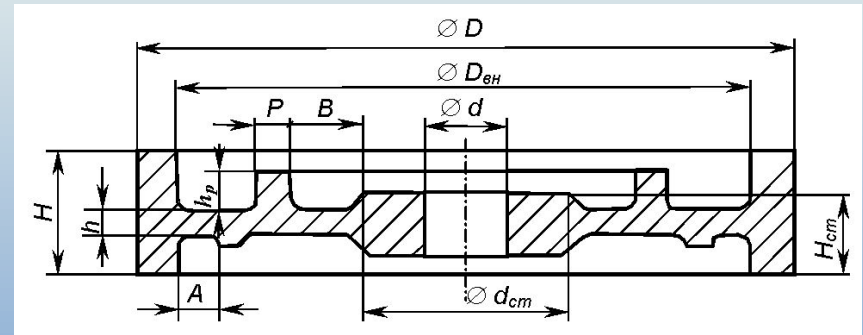


Верхняя деталь до горячего
изостатического прессования, нижняя
– после

Применяются также изотермическая штамповка и раскатка заготовок дисков компрессора и турбины в условиях сверхпластичности.



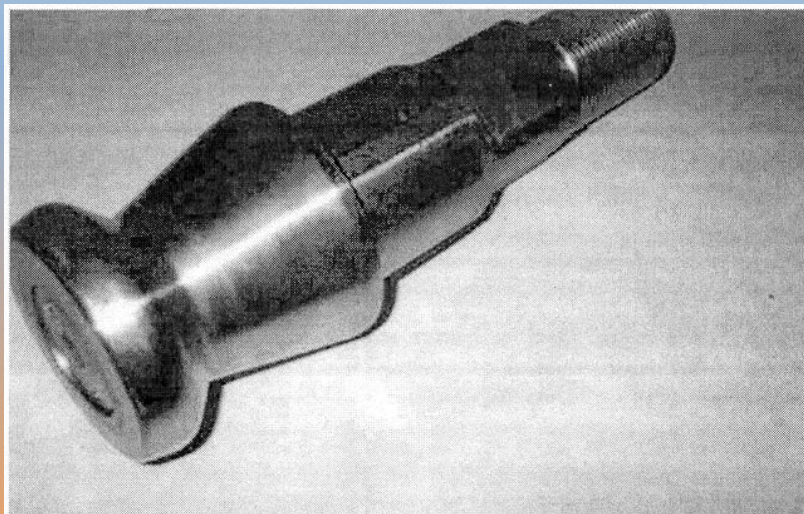
Типовые виды заготовок дисков, получаемые изотермической раскаткой



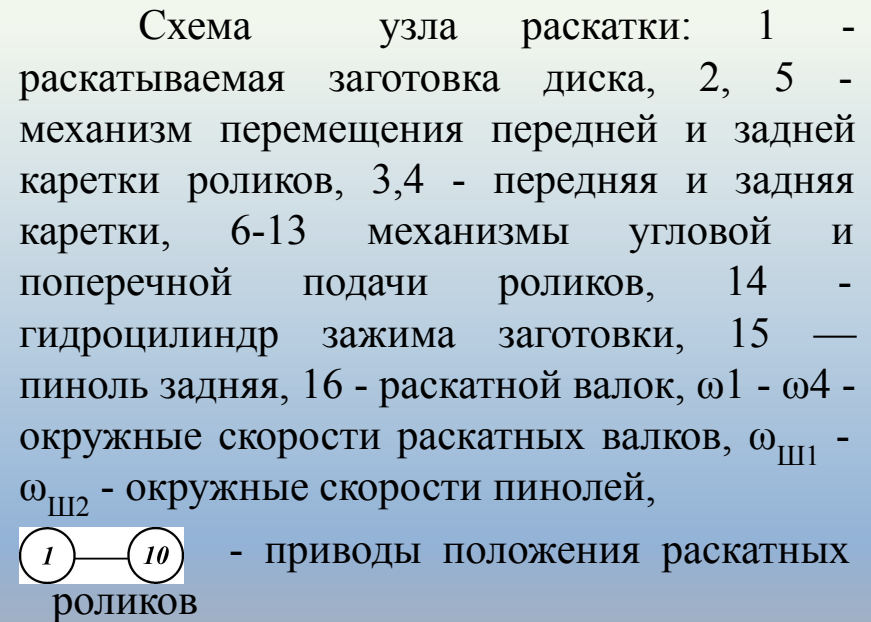
Типовой представитель раскатанного диска. Характерные размеры элементов: припуск: 2,0-2,5 мм (на сторону); $D_H = 450-800$ мм; $(D_H - D_{вн})/2 > 15$ мм; $d = 40-70$ мм; $d_{ст} = 100-350$ мм, $H = 30-100$ мм; $H_{ст} = 30-170$ мм; $\rho > 8$ мм; $h_p < 30$ мм; $h_n = 8$ мм; $A > 25$ мм.



Исходной заготовкой является шайба с нанесенным защитным покрытием типа ЭВТ35, с подготовленной мелкозернистой структурой. Процесс формообразования диска осуществляется на специальных станах, например, АЛРД-800, в котором производится предварительный нагрев заготовки в отдельной печи и нагрев заготовки непосредственно при раскатке. Перенос заготовки из дополнительной печи на стан производится специальным манипулятором. Использование дополнительной печи позволяет сократить цикл нагрева до 10-20 минут. Нагрев осуществляется до температуры деформации (для титановых сплавов 800...1000°C, жаропрочных никелевых сплавов 800...1200 °C) с выдержкой при этой температуре до полного прогревания заготовки по всему объему.



Раскаткой ролик для
изотермической раскатки
заготовок дисков



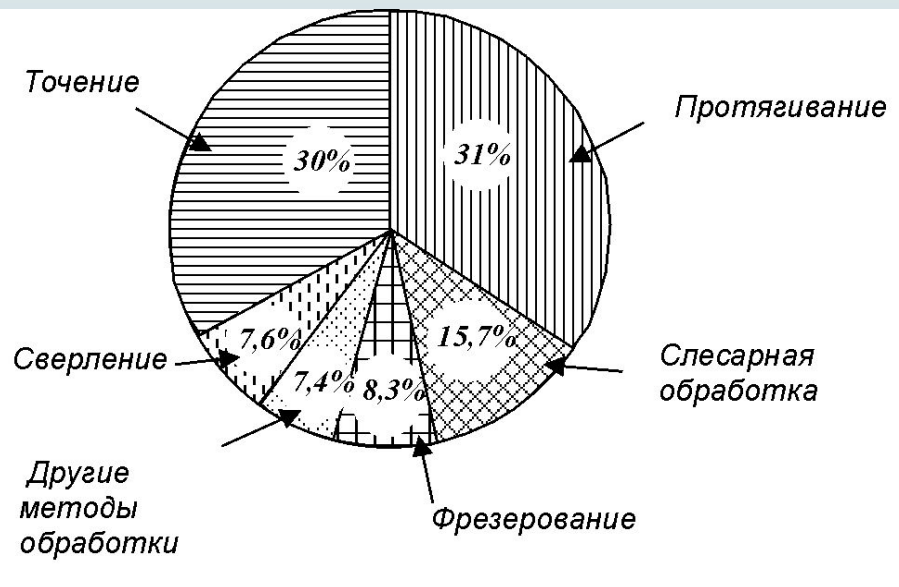


Процесс раскатки может осуществляться поперечным и продольным перемещением роликов одновременно или по отдельности. При раскатке обеспечивается подъем реборд, лабиринтных уплотнений, оформление полотна и обода диска. После окончательного формообразования заготовки, ролики выводятся за пределы заготовки диска, а сама заготовка, закрепленная на оправке, удаляется манипулятором из зоны деформации после разжима шпинделей.

Изотермическая раскатка обеспечивает получение дисков, наружный диаметр которых в 1,5...2 раза превышает диаметр заготовки. Использование эффекта сверхпластичности и благоприятная схема напряженно-деформированного состояния в очаге деформации, способствуют увеличению технологической пластичности и улучшению качества изделий. Это особенно важно при деформировании сплавов с ограниченным ресурсом пластичности и узким температурным интервалом горячей обработки. Возможно эффективное управление поперечными размерами в широком диапазоне их соотношений и получение профиля, максимально приближенного по форме и размерам к окончательной детали с минимальными отходами.



Основные этапы технологического процесса изготовления диска



Наибольшую трудоемкость имеют операции протягивания, точения, и доводочной обработки.

Относительная трудоемкость
механической обработки диска турбины



Технологическими базами при

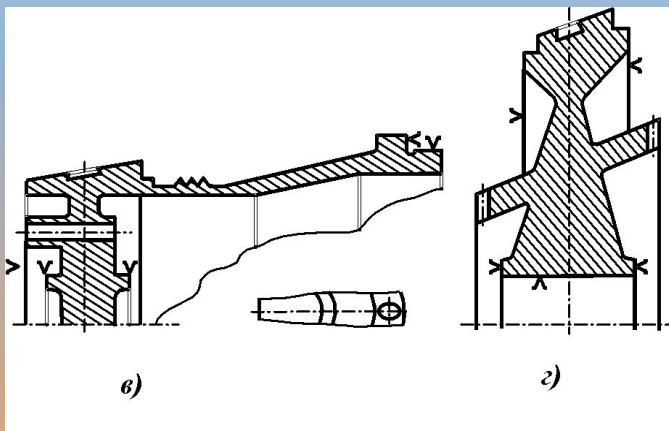
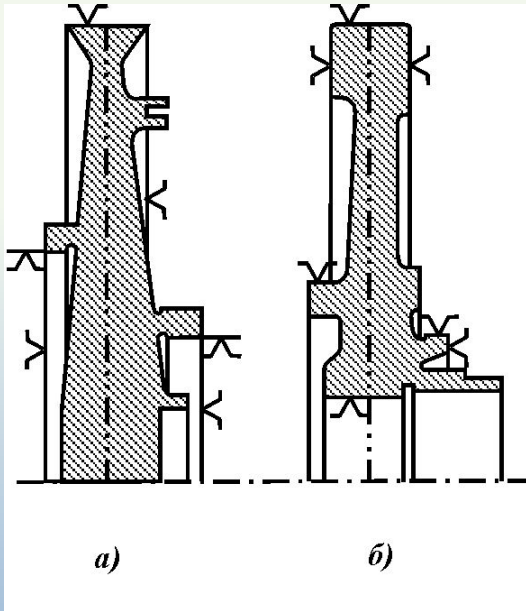
механической обработке дисков являются центрирующие (посадочные) пояски или отверстия в диске и торцы.

Технологические базы в дисках турбины – центрирующие пояски или отверстия, торцы фланцев, и в ряде случаев технологический бурт с отверстием с одной стороны полотна.

Технологические базы в дисках компрессоров с центрирующими поясками – центрирующие пояски и торцы диска, а в дисках с торцевыми шлицами - отверстия и торцы диска.

Малая жесткость дисков компрессоров требует частой правки технологических баз, в ряде конструкций дисков торцы обрабатывают до трех раз.

Технологические базы для обработки дисков: а, б - диски турбины; в, г - диски компрессора





Диски турбины:

1. Заготовка - штамповка, изготовленная горячим изостатическим прессованием гранул, предварительно грубо обточена.
2. Точение контура диска перед ультразвуковым контролем.
3. Ультразвуковой контроль внутренних дефектов материала заготовки.
4. Черновое точение контура диска, отдельно правую и левую стороны. Токарный станок с ЧПУ.
5. Стабилизирующий отжиг.
6. Чистовое точение диска, отдельно правую и левую стороны. Токарный станок с ЧПУ.
7. Окончательная обработка фланцев. Токарный станок с ЧПУ.
8. Промежуточный контроль.
9. Протягивание торцевых шлицев. Горизонтально протяжной станок.



10. Сверление и зенкерование различных отверстий. Радиально-сверлильный станок.
11. Фрезерование облегов на фланцах диска. Вертикально фрезерный станок.
12. Нарезание резьбы. Резьбофрезерный станок.
13. Протягивание елочных пазов.
14. Шлифование торцевых шлицев.
15. Полирование наружного контура диска.
16. Точение лабиринтных канавок.
17. Окончательный контроль, в том числе люминисцентный.
18. Стабилизирующий отжиг в аргоне или вакууме.
19. Деформационное упрочнение микрошариками сопряжений.



Диски компрессора:

1. Заготовка- штамповка, полученная методом порошковой металлургии.
2. Точение диска перед ультразвуковым контролем.
3. Ультразвуковой контроль внутренних дефектов материала диска.
4. Черновое точение контура диска, отдельно правую и левую стороны.
5. Полирование наружного контура диска перед травлением.
6. Травление и рентгеновский контроль внешних и внутренних дефектов материала диска.



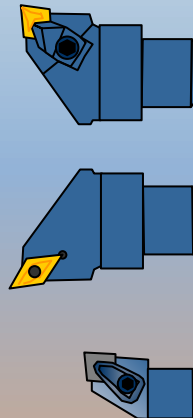
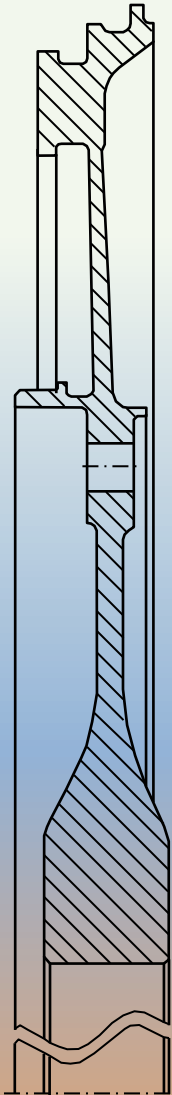
7. Стабилизирующий отпуск.
8. Чистовое точение контура диска, отдельно правую и левую стороны.
9. Окончательное точение контура диска, отдельно правую и левую стороны.
10. Протягивание пазов типа «ласточкин хвост» или точение кольцевого паза для установки лопаток.
11. Сверление и зенкерование различных отверстий.
12. Подрезка торцев с обеих сторон.
13. Полирование наружных поверхностей контура диска.
14. Окончательный контроль.

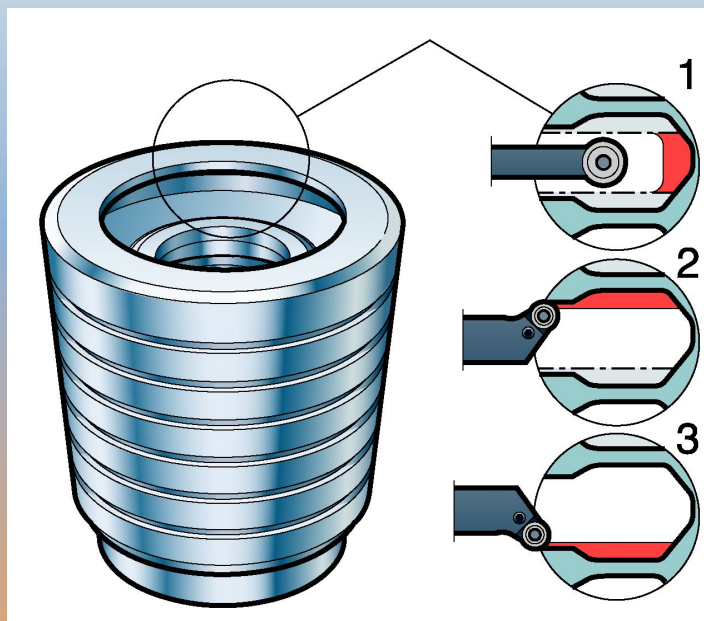
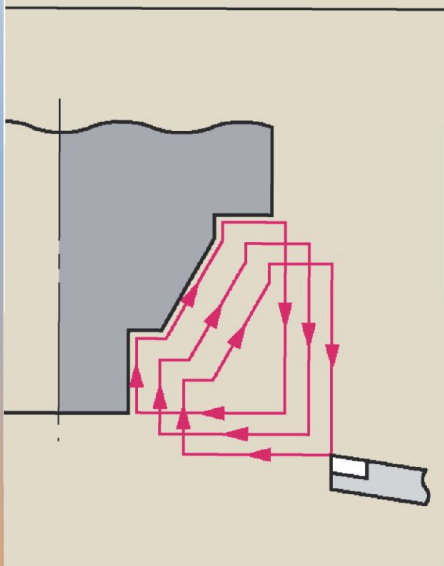
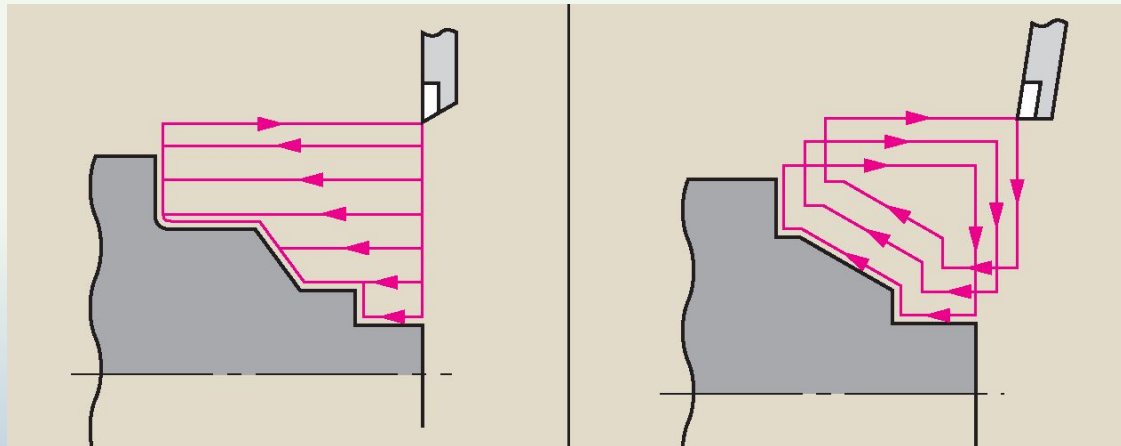


Характерными операциями при изготовлении дисков являются:

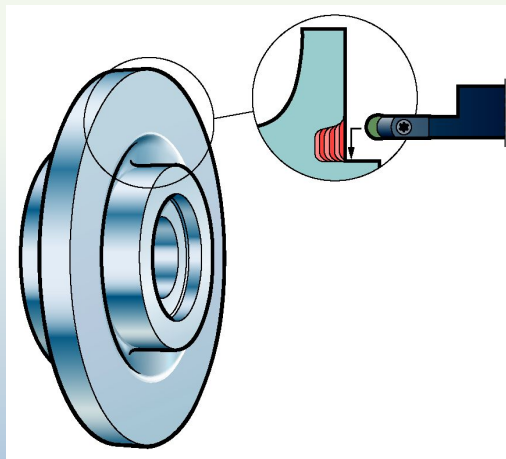
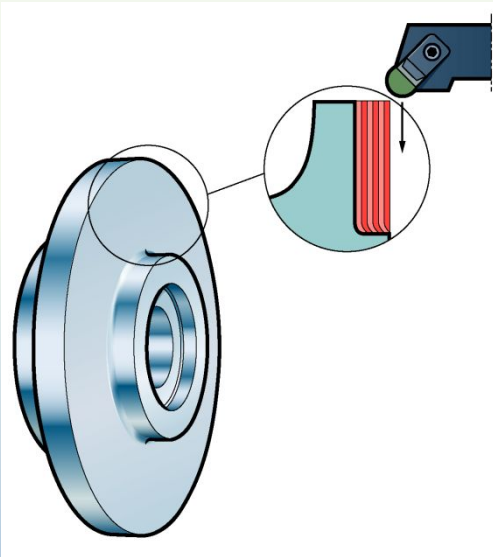
точение наружного контура (диафрагмы, фланцы) и центрирующих поясков; обработка пазов для лопаток и торцевых шлиц; сверление и зенкерование отверстий, фрезерование облегчений, полирование.

Черновая и чистовая обработка поверхностей наружного контура дисков производится на токарных станках с ЧПУ отдельно или одновременно с двух сторон.

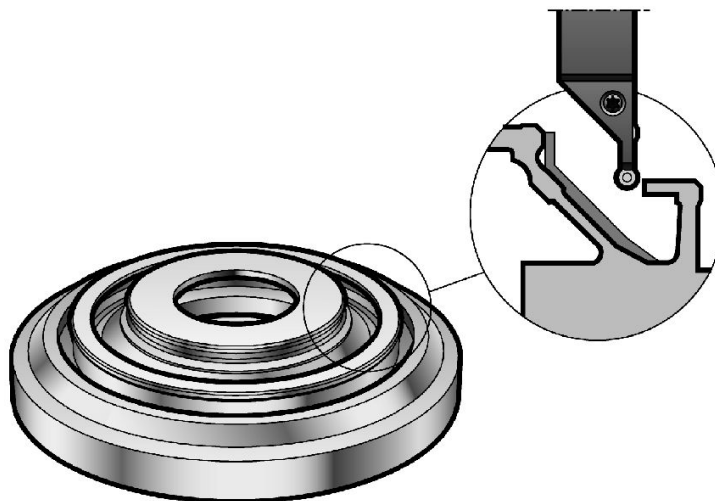
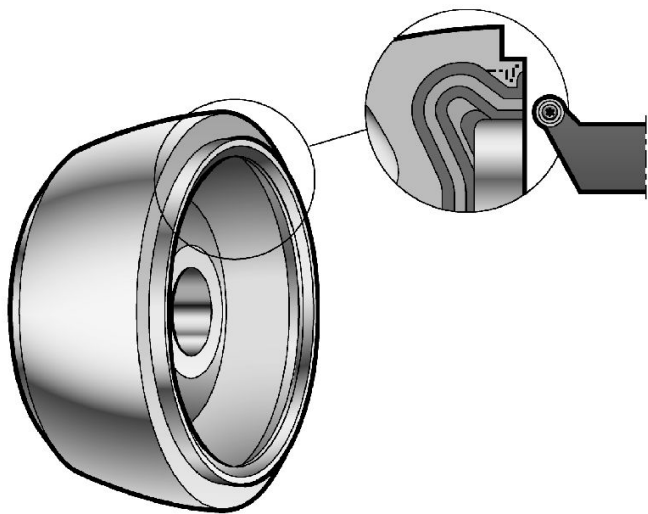


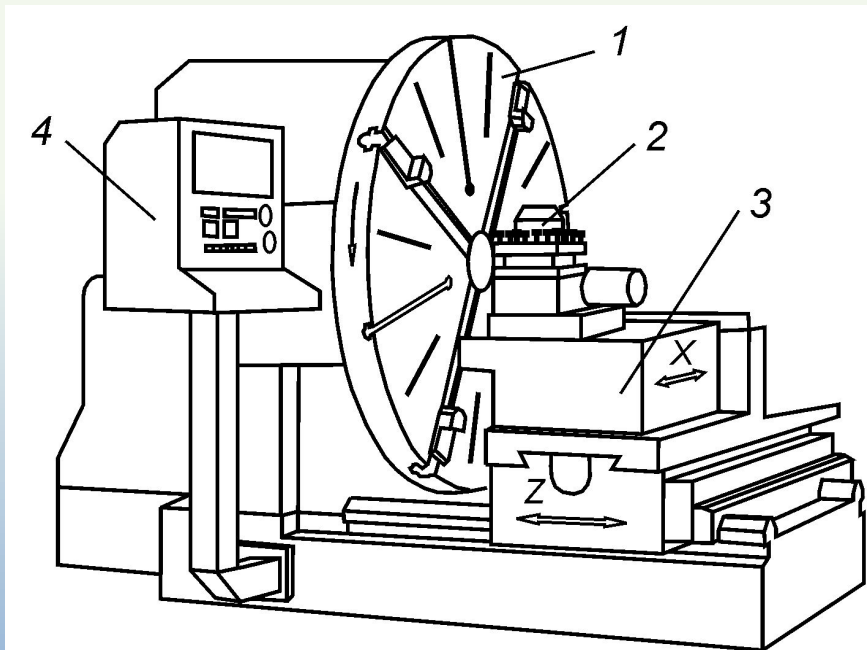


Технологические
приемы токарной
обработки дисков

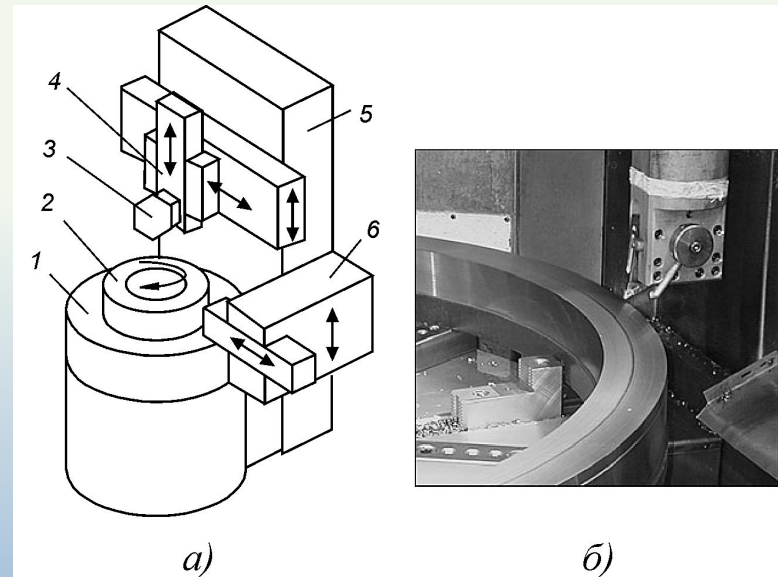


Технологические приемы
токарной обработки дисков





Лоботокарный станок: 1 – планшайба;
2 – резцедержатель; 3 – суппорт; 4 –
устройство ЧПУ



Карусельный одностоечный
станок (а) и рабочая зона
карусельного станка: 1-
карусель; 2 – обрабатываемая
деталь; 3 – револьверная
головка; 4 – крестовый суппорт;
5 – стойка; 6 – дополнительный
крестовый суппорт



Обработка пазов под лопатки является одной из наиболее трудоемких и важных операций изготовления диска.

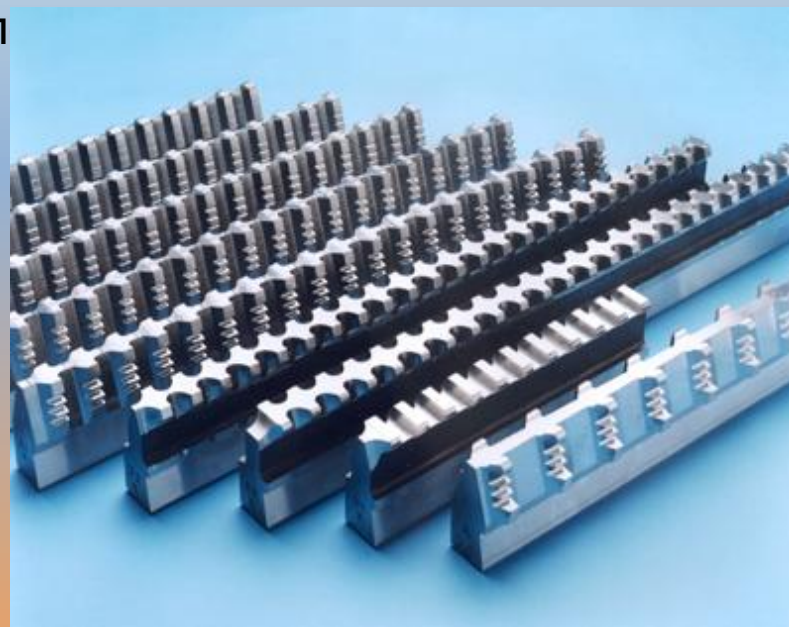
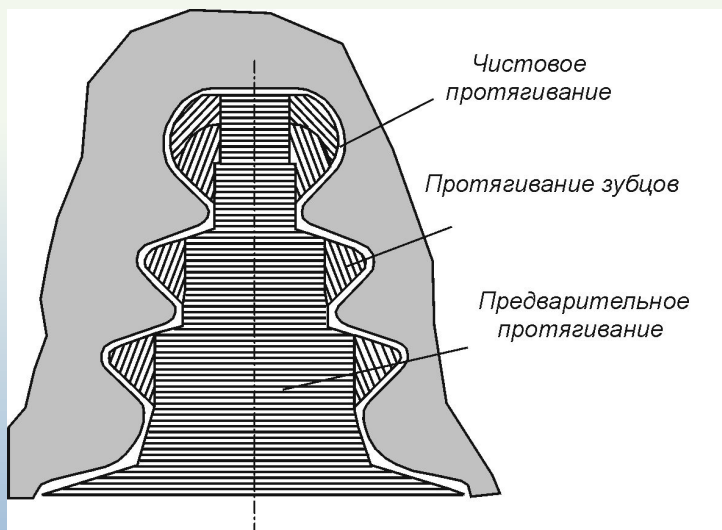
Елочные пазы и пазы типа ласточкин хвост протягивают на горизонтальных и вертикальных протяжных станках или на специализированных протяжных станках. Диск закрепляется в делительном приспособлении, устанавливаемом прямо или под углом в зависимости от направления паза. Протягивание осуществляется, как правило, комплектом, состоящим из предварительных и окончательных протяжек. Число протяжек (7...12 шт.), зависит от геометрических размеров паза.

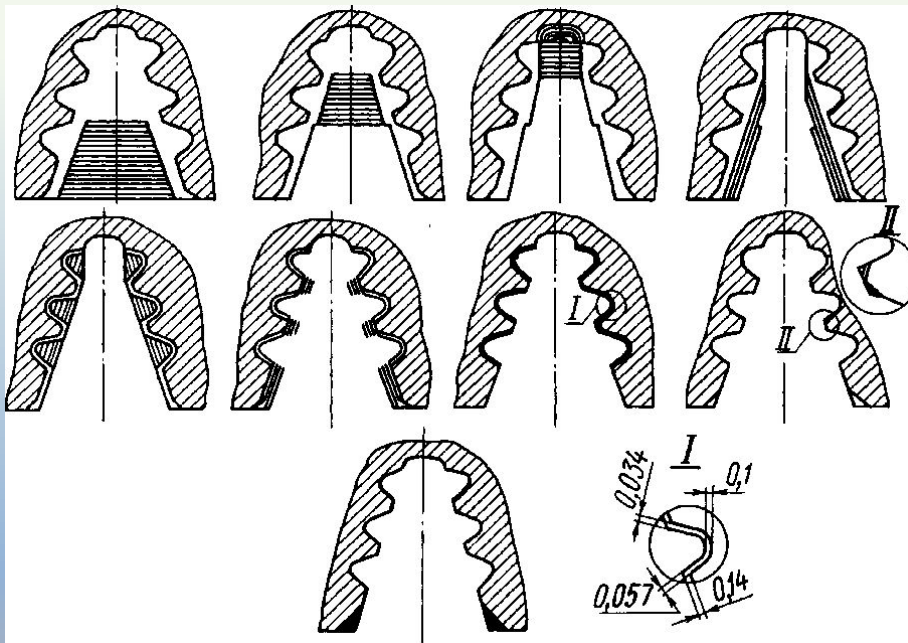
Высокая стоимость инструмента, обусловленная сложностью его изготовления, определяет рациональность применения протягивания в основном при крупносерийном производстве. Если протягивание, как это имеет место при изготовлении пазов в дисках, является единственно возможным и наиболее экономичным способом обработки - его применяют в условиях мелкосерийного и даже единичного производства.



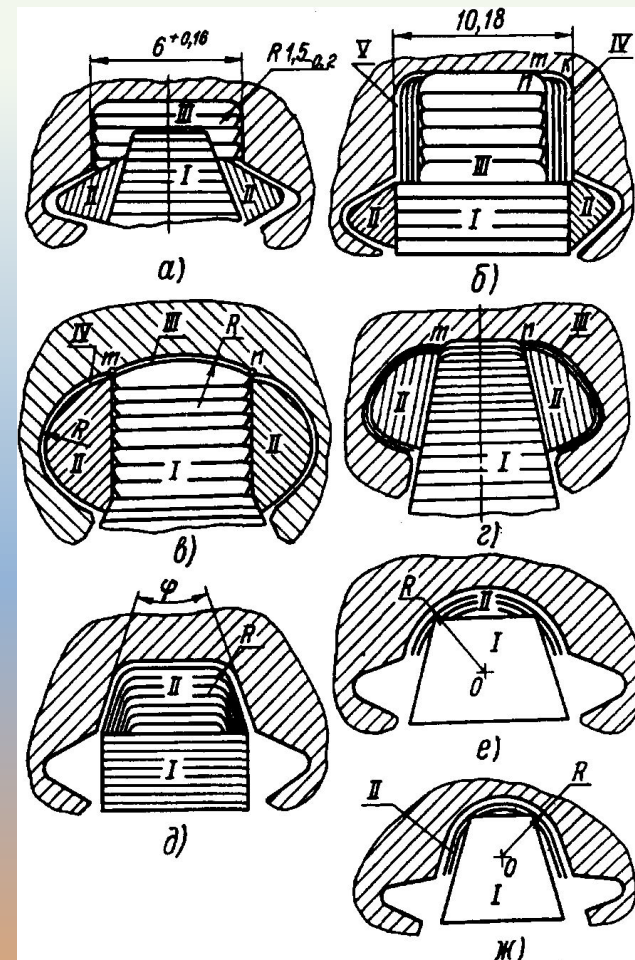
Предварительное протягивание и обработку елочных пазов в дисках обычно выполняют по генераторной схеме, а чистовое - по профильной. Профильная схема обеспечивает большую точность и меньшую шероховатость поверхности, чем генераторная.

Фасочные зубья располагают перед профильными, а если это в силу особенностей конструкции паза невозможно, то п





Характер съема металла при
протягивании елочного хвостовика





Пазы типа ласточкин хвост, как и елочные, получают протягиванием по генераторной и профильной схемам. Предварительное протягивание и обработку боковых сторон пазов выполняют по генераторной схеме, а чистовое - по профильной

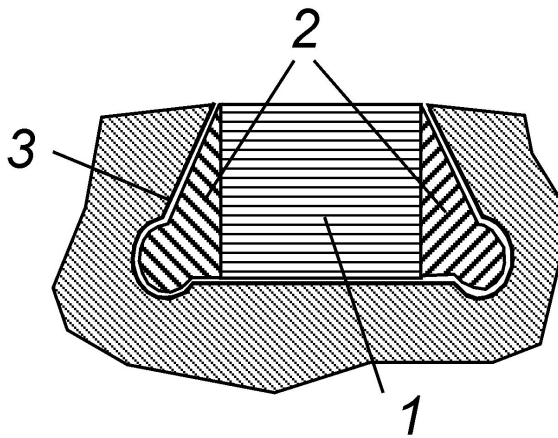
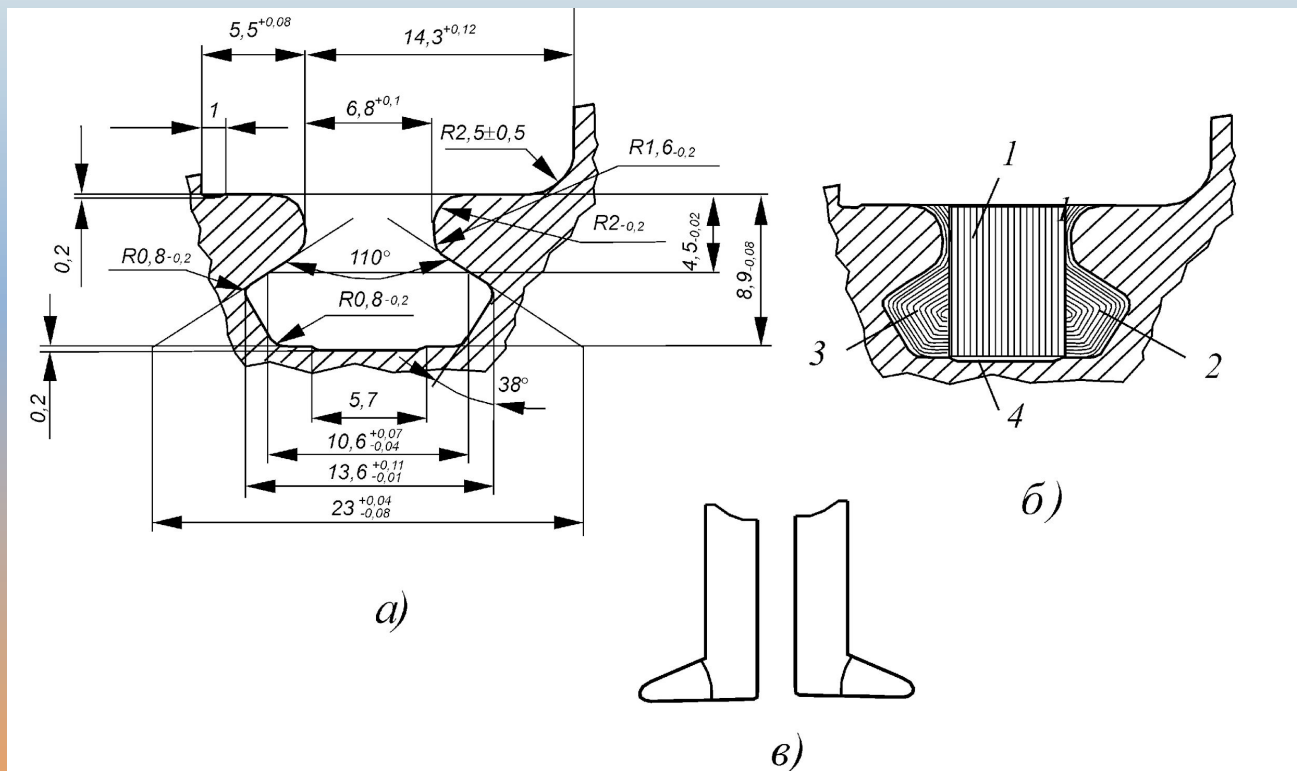


Схема протягивания
паза типа ласточкин
хвост

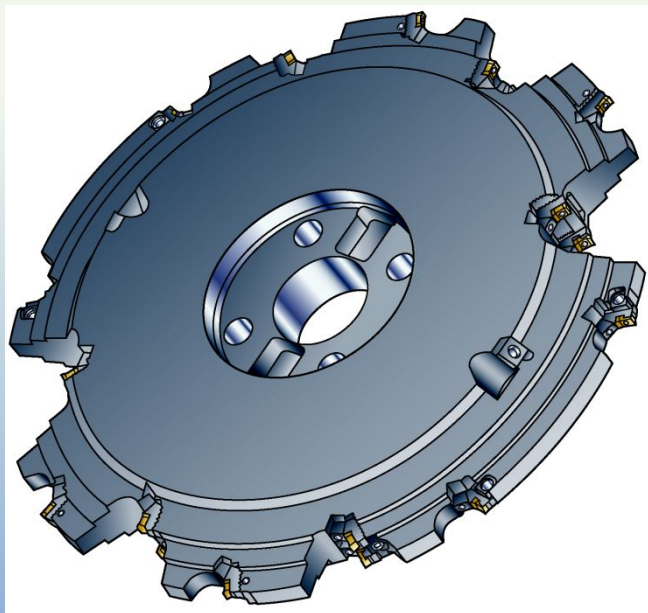
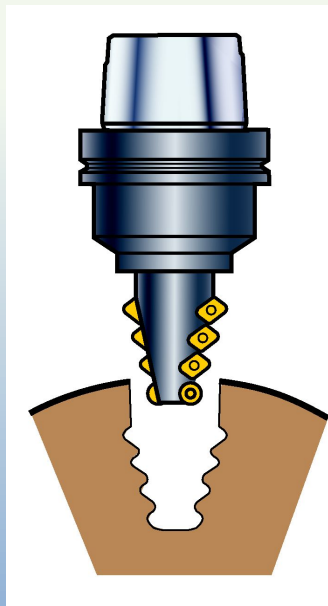


Специализированный
вертикальный
протяжной станок
фирмы
Hoffmann-Lapointe

Кольцевые пазы типа ласточкин хвост обрабатывают точением, иногда на узле собранного и сваренного ротора из трех и более дисков, набором резцов на станках с ЧПУ. Обработку выполняют в несколько переходов. Сначала точится прямоугольная канавка, а затем контурными правыми и левыми резцами обрабатывают поверхности контурного паза.



Обработка кольцевого паза точением: а – конструкция паза; б – схема удаления припуска (последовательность переходов); в – контурные резцы для чистового точения сторон паза



Фрезерование елочного
паза и дисковая фреза для
предварительной обработки
елочных пазов

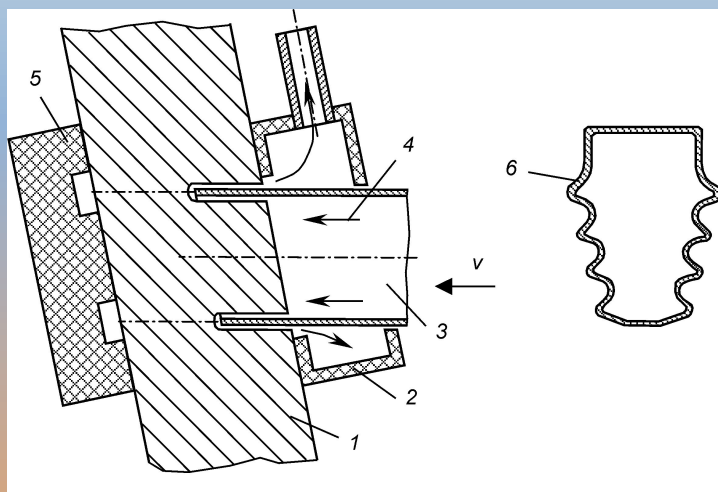
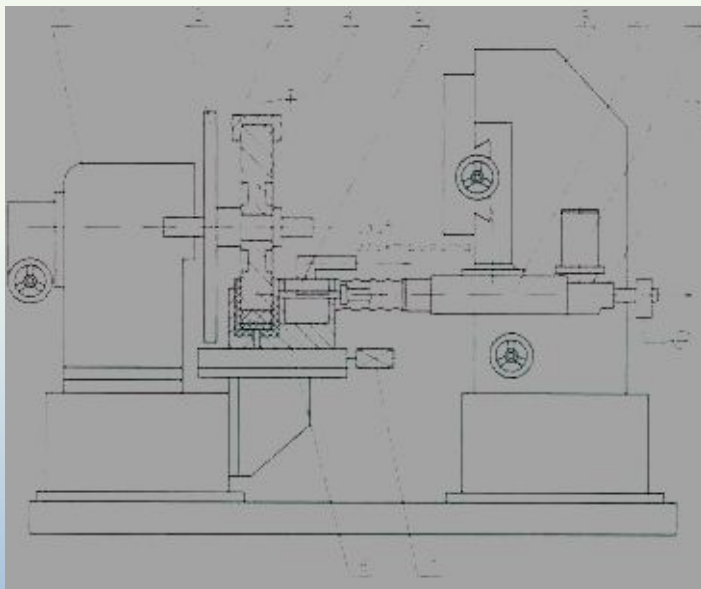


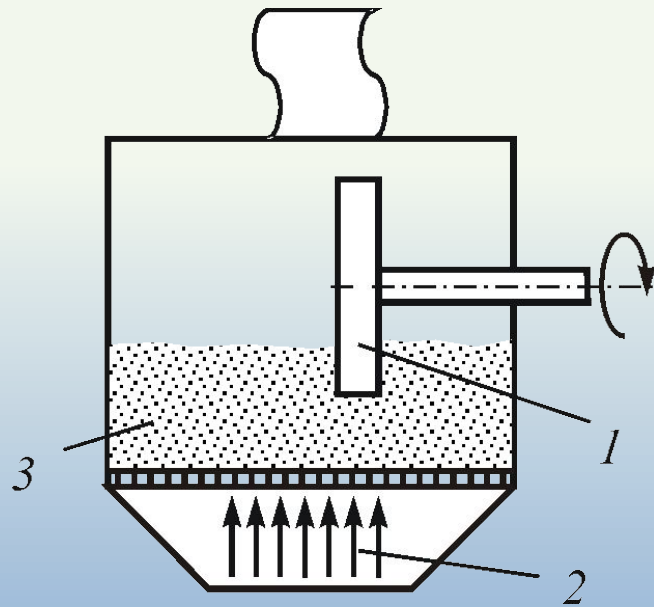
Схема электрохимической вырезки
елочных пазов в диске: 1 – диск; 2 –
передняя полукамера; 3 – полый катод-
инструмент; 4 – подача электролита; 5 –
задняя полукамера; 6 – сечение
электрода инструмента



Торцевые шлицы можно обрабатывать фрезерованием, круговым протягиванием на специальных станках, строганием или шлифованием фасонным абразивным кругом.

Отверстия во фланцах, диафрагмах и ступицах сверлятся по накладным кондукторам на обычных вертикально- или радиально-сверлильных станках.

При выполнении финишных операций используются дисковые щетки с ворсом из стальной проволоки сечением 1,2...0,2 для снятия заусенцев и скругления кромок в пазах дисков



Базовая схема ТАО:
1 – обрабатываемая
деталь; 2 – поток
воздуха; 3
– абразивная среда

Турбоабразивная обработка

Изобретена в России. Обработка производится сухими рабочими средами. Используются частицы среды одного размера или веса. Размеры и вид частиц выбираются в зависимости от требуемой шероховатости поверхности.

ТАО основана на использовании псевдооживленной рабочей среды в которой вращается обрабатываемое изделие. Псевдооживление - операция, при которой твердые частицы приходят в состояние, подобное жидкому вследствие контакта с газом или жидкостью. При ТАО псевдооживление производится воздушным потоком в специальной камере. Размер абразивных частиц обычно составляет 300...600 мкм. Шероховатость поверхности после турбо-абразивной обработки зависит от зернистости и вида абразива. При обработке никелевых и титановых сплавов она снижается на 30...50%.



Поток воздуха увеличивает объем занимаемый абразивными частицами, которые начинают импульсивно двигаться главным образом в вертикальном направлении. Приподнятые потоком воздуха частицы вращаются и, как следствие, перемещаются в направлении перпендикулярном потоку воздуха .

Скорость вращения детали в псевдооживленной среде составляет 20...30 м/мин. Число ударов абразивных частиц приходящихся на 1 квадратный миллиметр поверхности 200...500.





ТАО имеет одну из наиболее высоких скоростей удаления материала среди применяемого для финишной обработки оборудования. При обработке сталей и титановых сплавов она составляет 2...5 мкм/мин. В зависимости от материала, размеров детали, технологических режимов и зернистости абразивной среды время обработки составляет 3...20 мин.

Используют для финишной обработки таких деталей как диски турбины и компрессора, турбинные и компрессорные лопатки, зубчатые колеса, моноколеса и крыльчатки.



Основными

технологическими направлениями повышения ресурса и надежности работы дисков компрессора и турбины являются:

деформационное упрочнение;
ионнолучевая обработка
наружных поверхностей. Для
упрочнения дисков используют:
виброупрочнение, струйно-
гидравлический метод,
упрочнение стальными или
стеклянными шариками и др.

Для упрочнения поверхностей пазов может быть применена
дробеструйная обработка,
выполняемая по схеме
приведенной на рис.

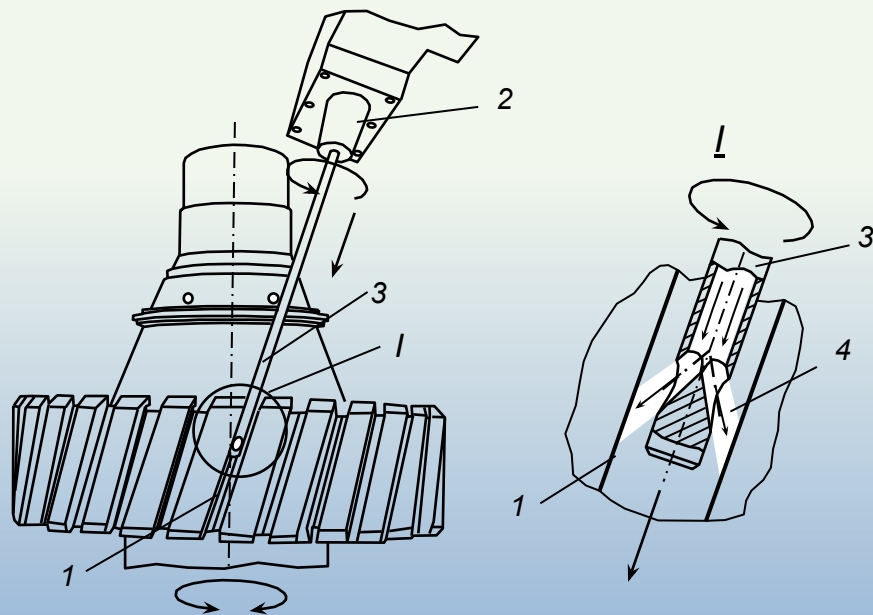


Схема дробеструйного упрочнения пазов в диске: 1 – упрочняемый паз; 2 – дробеструйная головка; 3 – сопло с дефлектором; 4 – микрошарики (дробь)



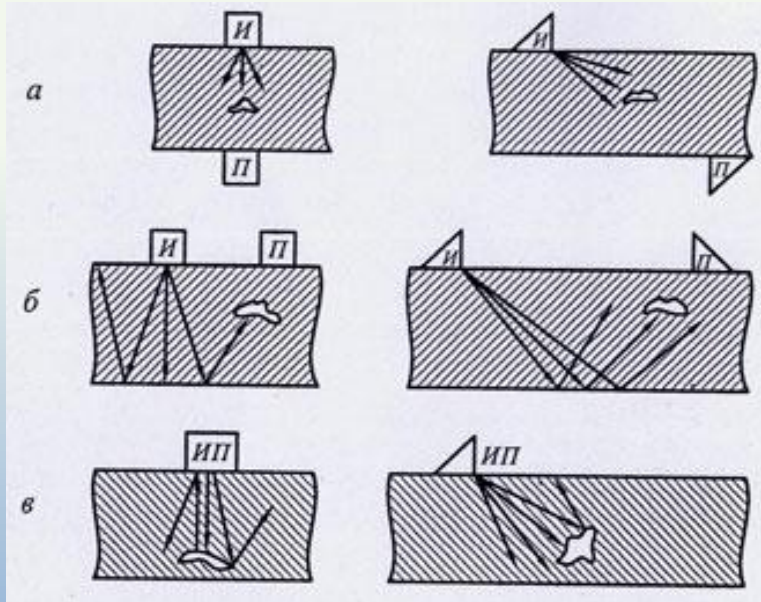
Контроль дисков

Технический контроль дисков предусматривает проверку внутренних и внешних дефектов материала диска, заданной по техническим условиям чертежа контроль геометрических размеров, формы и взаимного расположения поверхностей. Внешние дефекты проверяются визуально после травления и с помощью ЛЮМ-1. Внутренние дефекты диска проверяются ультразвуковым методом. Размеры, форма и взаимное расположение поверхностей дисков контролируются механическими, оптико-механическими и пневматическими измерительными средствами. Елочные пазы проверяются на проекторе, измерительном микроскопе, индикаторными приборами калибрами по роликам. Используются автоматизированные приборы для контроля пазов



Для возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний используют пьезоэлектрический эффект: некоторые материалы (кварц, титанат бария, титанат-цирконат свинца и др.) под действием переменного электрического поля меняют свои размеры с частотой изменения поля. Пьезоэлектрическую пластину помещают в специальном устройстве-пьезопреобразователе (искателе).

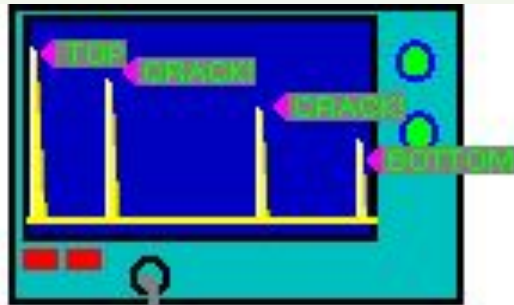
Пьезопреобразователи, предназначенные для ввода волны в направлении, перпендикулярном поверхности, называют *прямыми*, или *нормальными*, а для ввода под некоторым углом - *наклонными*, или *призматическими*. Пьезопреобразователи включаются по отдельной, совмещенной или отдельно-совмещенной схемам. В последнем случае в одном корпусе размещаются два пьезопреобразователя, разделенных между собой экраном. При падении ультразвуковой волны на поверхность раздела двух сред, в частности на границу дефекта, часть энергии отражается, что и используется при контроле. Для анализа распространения ультразвуковых колебаний в контролируемом изделии используют три основных метода: теневой, зеркально-теневой и эхо-метод.



Методы ультразвукового контроля:
а - теневой; б - зеркально-теневой; в -
эхо-метод; И - излучатель; П -
приемник

При теневом методе признаком обнаружения дефекта служит уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, прошедшей от излучающего пьезопреобразователя к приемному (рис. 180, а). Недостатки метода - необходимость двустороннего доступа к изделию и малая точность оценки координат дефектов, достоинство - высокая помехоустойчивость. Метод может применяться для изделий с грубо обработанной поверхностью.

При зеркально-теневом методе признаком обнаружения дефекта является уменьшение интенсивности (амплитуды) ультразвуковой волны, отраженной от противоположной поверхности изделия (рис. 180, б). Отраженный сигнал называется *донным*. Метод не требует двустороннего доступа к контролируемому изделию, позволяет более достоверно выявлять корневые дефекты в стыковых швах, помехоустойчив, применяется для изделий небольшой толщины с грубо обработанной поверхностью. Однако точность определения координат дефекта и при этом методе



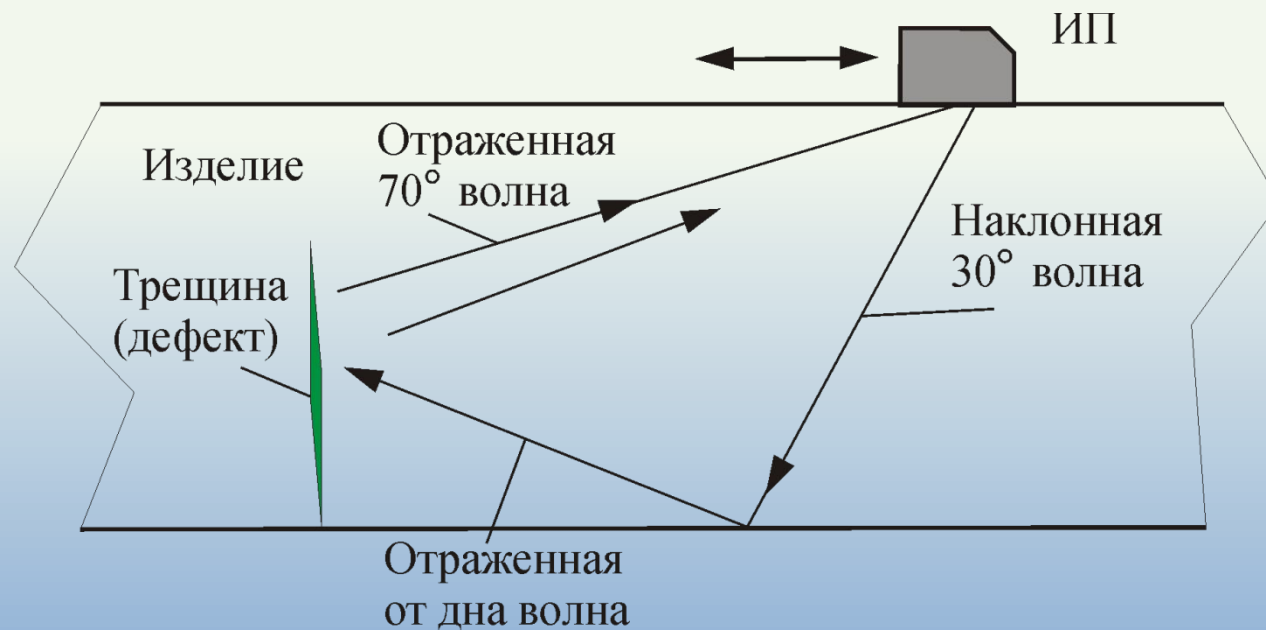
Осциллограф

©wiNZurf 1996
ANIMATED
GIF IMAGE

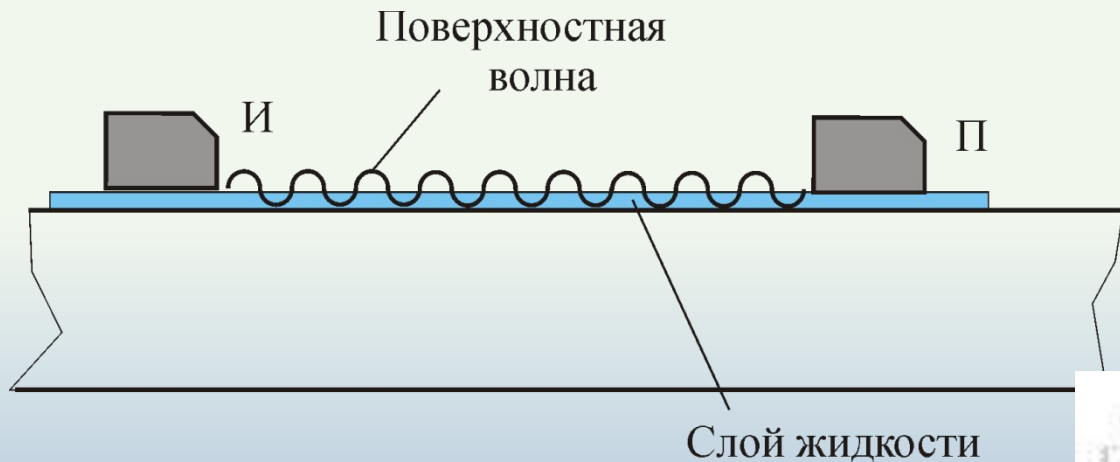
Датчик



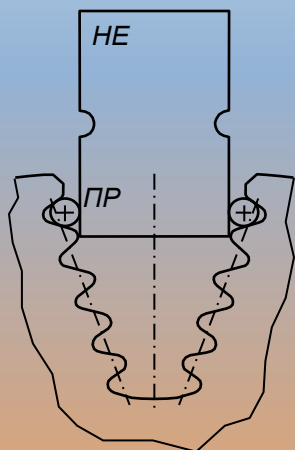
При эхо-методе признаком обнаружения дефекта является прием эхо-сигнала, отраженного от дефекта. Если дефект расположен слишком близко к поверхности, то сигнал от него приходит раньше, чем закончится зондирующий импульс, и этот сигнал не будет заметен на фоне зондирующего импульса - дефект не обнаруживается. Слой материала, непосредственно прилегающий к пьезопреобразователю, в котором дефект не обнаруживается, называется мертвой зоной. Эхо-метод по сравнению с ранее рассмотренными позволяет достаточно точно определить не только наличие дефекта, но и его характеристики.



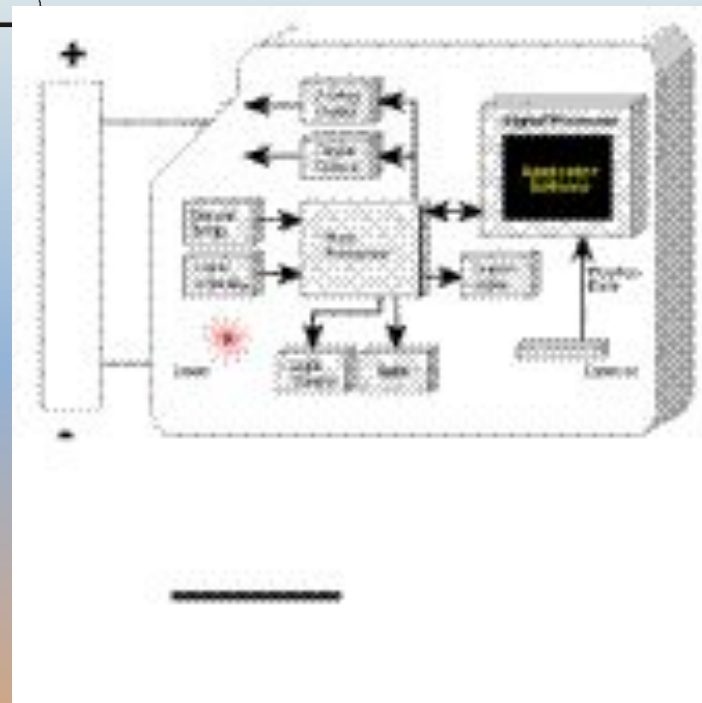
Определение наличия и положения
вертикальной трещины



Определение наличия
поверхностных трещин



Измерение паза



Измерение лазерным
триангуляционным датчиком



«МАТИ»-Российский Государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского

Кафедра: Технология производства двигателей летательных аппаратов





ЕРОСН IIIB

Устройство для контроля эхо-импульсным методом Цифровой ультразвуковой дефектоскоп с базовыми функциями.

Прямой цифровой отсчет толщины изделия, координат дефекта (глубина залегания, расстояние по лучу, расстояние по поверхности)



USK 7D

Малогабаритный универсальный дефектоскоп для работы в любых условиях со встроенной памятью и возможностью документирования.



«МАТИ»-Российский Государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского



Кафедра: Технология производства двигателей летательных аппаратов

Спасибо за внимание