

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования

«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(национальный исследовательский университет)»

Ступинский филиал МАИ

Кафедра «Технология производства авиационных двигателей»

А. А. ФУРСОВ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНАМ

«ВВЕДЕНИЕ В АВИАСТРОЕНИЕ», «ИСТОРИЯ АВИА-РАКЕТОСТРОЕНИЯ»

Ступино 2016

Введение

В данном курсе вы познакомитесь с основными типами летательных аппаратов, принципами их работы, ознакомитесь с основными частями и агрегатами, в частности с двигателями. А так же с методами обработки деталей авиационных двигателей.

Свойства атмосферы.

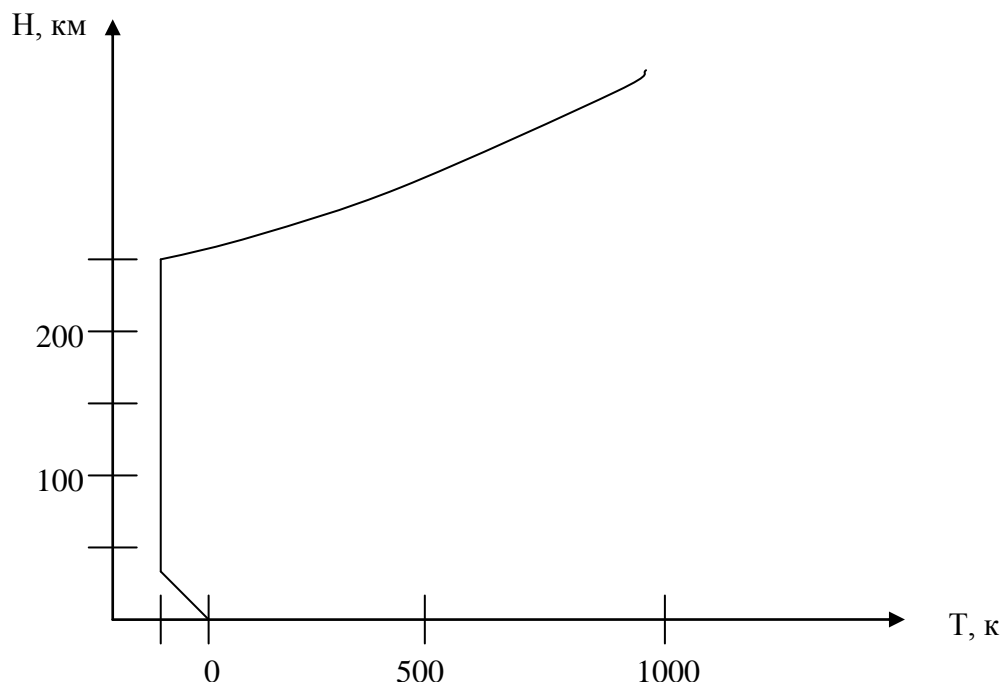
Атмосферой называют газовую оболочку, которая окружает Землю или какую-либо другую планету. Высота атмосферы Земли равна нескольким радиусам Земли, т.е. десятки тысяч километров.

В отдельных областях атмосферы в разное время могут быть различные давления, температуры, что сказывается на характеристиках летательных аппаратов и двигателей. Поэтому для сравнения между собой различных конкретных метеорологических условий принята единая международная стандартная атмосфера (МСА). В МСА принимается, что давление P на уровне моря составляет $760 \text{ мм.рт.ст.} = 101325 \text{ н/м}^2 [\text{Па}]$ и температура $t = 15^\circ\text{C}$.

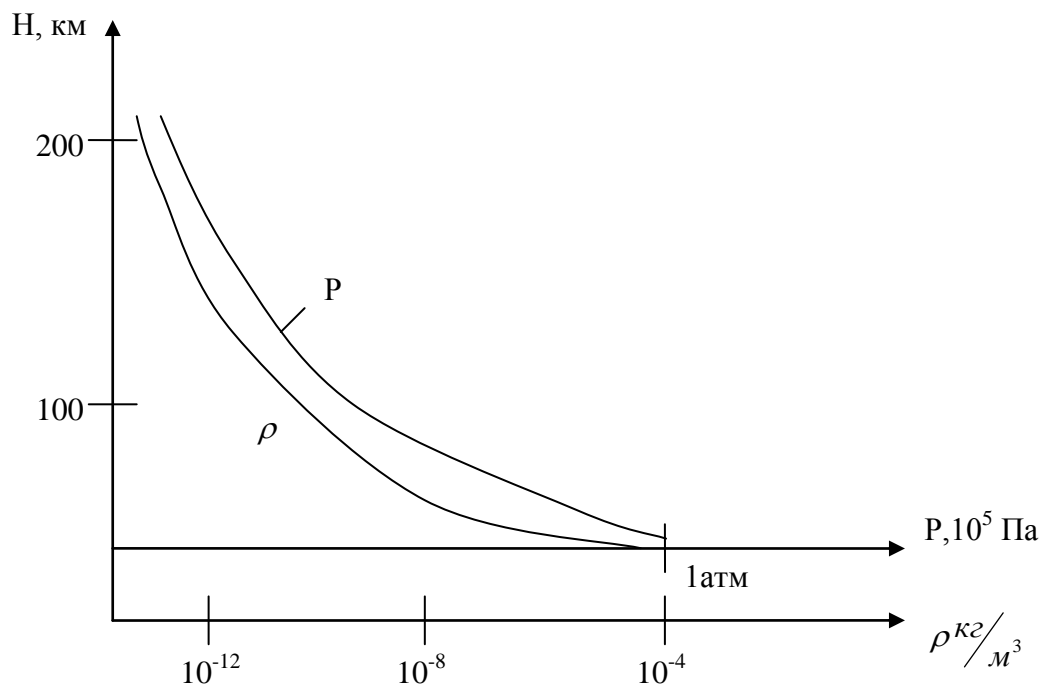
В МСА принято, что температура меняется линейно на 6.5° на каждый километр. В действительности в разных точках земного шара температура меняется различно. До 11 км температура убывает до -56.5°C , а затем остается неизменной до 200-400 км. Выше 200-400 км температура начинает расти. Это происходит из-за того, что давление и плотность убывают с подъемом на высоту, свободный пробег молекул становится больше, молекулы приобретают большую кинетическую энергию, а как известно из

физики $T = \frac{mV^2}{2} \quad V \uparrow \Rightarrow T \uparrow$

На этих высотах температура достигает $500-1000^\circ\text{C}$.



С увеличением высоты давление и плотность уменьшаются по экспоненциальному закону.



Основные типы летательных аппаратов

и силовые установки.

Мифы и легенды свидетельствуют о том, что первые попытки летать возникали в глубокой древности. Известен миф о греческом строителе Дедале и его сыне Икаре.

Почти тысячу лет известен и другой принцип полета – с помощью воздухоплавательных средств. Уже в XII в. монгольских армиях применяли длинные бумажные или матерчатые баллоны, внутри которых были фонари подсвечивающие стенки и нагревающие воздух. Эти баллоны, имеющие форму дракона или змея, удерживали на шестах над войсками, что позволяло хорошо ориентироваться своим отрядам и устрашать противника.

Первые полеты на воздушном шаре, использующем в качестве газа нагретый воздух или дым, были осуществлены в 1783 г братьями Монгольфье. Воздушный шар получил название Монгольфьера. Также в 1783г, но несколько позже ученый парижской академии наук, Шарль, разработал шар использующий вместо воздуха водород. Аэростат такого типа называли Шарльером.

В конце 19 века развитие двигателестроения позволило создать деражабли или управляемые аэростаты.

Наиболее широкое развитие авиация получила в 20 веке. Большой вклад в развитие авиации внесли; русский ученый Мажайский, американцы братья Райт, Сикорский (русский Витязь, Илья Муромец), Жуковский, Нестеров, Фарман и многие др.

В настоящее время существует используется для различных целей большое количество летательных аппаратов, которые отличаются друг от друга способом получения тяги, конструктивными особенностями, способами образования подъемной силы, по назначению и т.д.

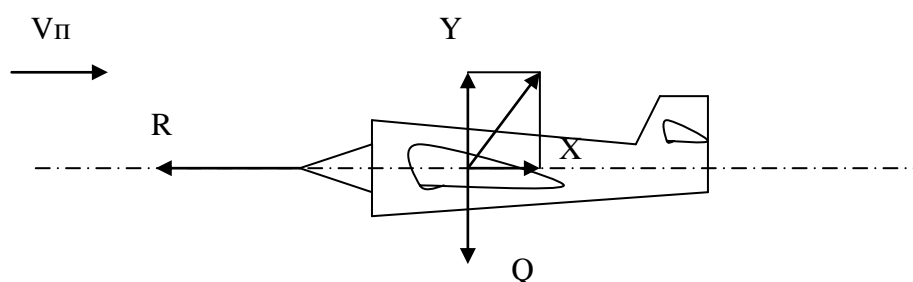
Что бы летательный аппарат перемещался в пространстве необходимо, что бы была сила, которая бы двигала его, т.н. сила тяги.

Сила обеспечивающая движение летательного аппарата называется силой тяги R .

Для того что б л.а. мог лететь необходима сила, которая удерживала бы его на весу.

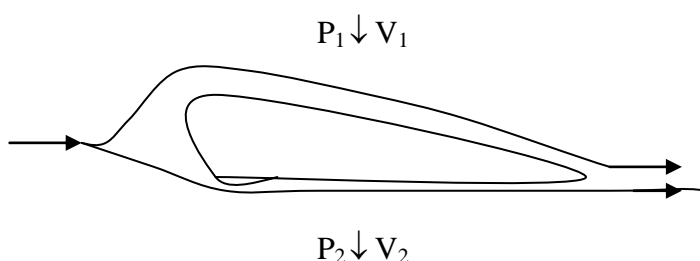
Эта сила получила название подъемной силы Y .

Помимо этих двух сил на л.а. действует сила лобового сопротивления X , препятствующая перемещению. Q – вес л.а.



По способу образования подъемной силы все л.а. делятся на самолеты, вертолеты и ракетные системы.

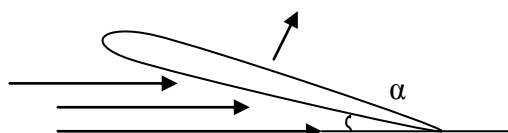
1. В самолетах подъемная сила создается крылом



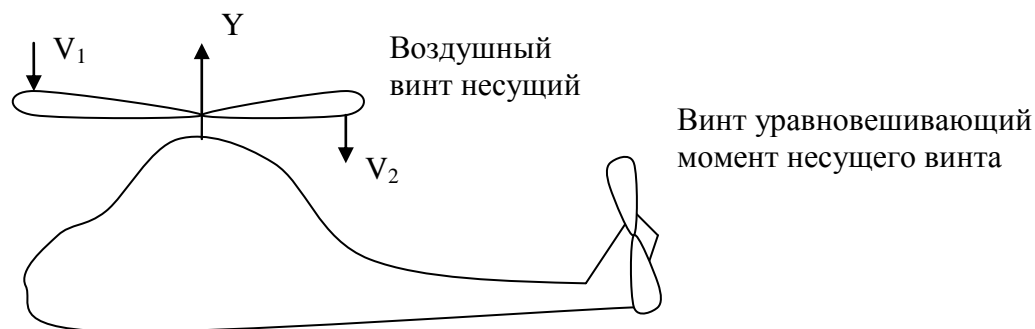
$V_1 > V_2$ по закону Бернулли давление с увеличением скорости убывает т.е. $P_2 > P_1$, создается подъемная сила $F = (P_2 - P_1)S$ где S – площадь крыла.

Этот способ создания подъемной силы применяют в основном для тихоходных самолетов.

У скоростных реактивных самолетов подъемная сила создается за счет скорости набегающего потока и определенного угла атаки α .



2. У вертолетов подъемная сила создается вращающимися лопастями винта.



Винт отбрасывает каждую секунду массу воздуха, вызывая изменение его скорости от V_1 до V_2 .

В соответствии с законом сохранения количества движения – сила действия со стороны винта на воздух вычисляется по формуле

$$Y = Gv(V_2 - V_1).$$

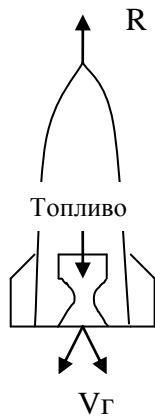
Для обеспечения горизонтального перемещения вертолета применяется автомат перекоса, созданный Б.Н. Юревым в 1913г.

3. Ракеты, как полагают, были созданы в Индии и в Китае. Они применяли простейшие ракетные устройства в военном деле.

В нашей стране ракетную систему разработал ученый Кибальчич. Наиболее интенсивное развитие ракетостроение получило в 30-е годы. В гитлеровской Германии была организована лаборатория по исследованию ракетных систем под руководством Генриха фон Брауна. В нашей стране была организована лаборатория ГИР. В результате работ проведенных фон Брауном появились ракеты типа Фау-2. Такими ракетами обстреливался Лондон. В нашей стране ракеты представлялись «Катюшами» и «Андрюшами». В тоже время ракеты разрабатывались во Франции и в Англии фирмой Ролс Ройс.

Ракетой - называется летательный аппарат, который получает ускорение за счет реактивной силы, возникающие при отбросе массы запасенной на борту ракеты. Ракета перемещается в пространстве под действием силы тяги развиваемой с помощью ракетной силовой установки. Тяга возникает за счет

ускорения продуктов горения топлива. Газ ускоряется до скорости звука в узкой части сопла. Для того что бы получить скорость большую скорости звука необходимо, что бы сопло расширялось. Комбинации сужающегося и расширяющегося сопла имеет название сопло Ловая. Сопло устройство в котором газовый поток ускоряется.



Скорость ракеты зависит от скорости газа

$$R_t = \Delta(mv)$$

$$R_t = m\Delta V \text{ т.к. } m - \text{const}$$

Импульс силы тем больше чем больше изменение скорости газа, т.е. чем больше ускорение газа.

$$\text{Если } t = 1\text{с, то } R = m\Delta V$$

$$\Delta V = V_{\Gamma} - V_0 = V_{\Gamma} - \text{скорость истечения газа из сопла.}$$

$$V_0 = 0$$

m - масса газа протекающего через двигатель.

Ракета в отличии от других типов летательных аппаратов может осуществлять полет независимо от условий окружающего пространства. Она способна летать в атмосфере любого состава, в воде и в вакууме.

Независимо от способа полета и от типа летательного аппарата для перемещения л.а. в пространстве необходима сила тяги. В любом случае сила тяги создается с помощью силовой установки размещенной на летательном аппарате. Силовая установка включает в себя все элементы конструкции

необходимые для создания тяги: двигатель, движитель, элементы крепления установки, баки с горючим, системы подачи топлива. Таким образом двигатель является основным элементом силовой установки. Другие элементы силовой установки могут быть, могут и не быть.

В силовых установках двигатель предназначен для получения энергии которая в дальнейшем преобразуется в тягу. Для создания тяги в настоящее время используется два основных способа:

1. Двигатель развивает мощность, а эта мощность передается движителю для создания тяги. Примером может служить поршневой двигатель с винтом.
2. Двигатель и движитель совмещены. Примером является реактивный двигатель.

Работа затрачивается на ускорение массы газа.

На газ действует сила $F=ma$, летательный аппарат $R= - F$.

Области применения и основные типы летательных аппаратов.

Типы самолетов.

На современных самолетах используются реактивные двигатели. Есть некоторое количество самолетов с винтами. Перспективными считаются двигатели с винтом в виде винтовентелятора, который позволит летать со скоростями близкими к скоростям самолетов с турбореактивными двигателями, но с большей экономичностью.

Современная авиация делится на два основных типа: гражданскую и военную. Гражданская делится в свою очередь на пассажирскую и транспортную. Пассажирская авиация по скорости перемещения делится на два типа: до звуковая и сверхзвуковая. В нашей стране существуют различные типы самолетов гражданской авиации: ил-62, ту-134, ил-96, ту-144, ту-154, як-46. Из них ту-144 является сверхзвуковым самолетом. Аналогичный самолет построенный совместно англичанами и французами – «Конкорд». Оба эти самолета из экономических соображений сняты с производства и выведены из эксплуатации.

К транспортным самолетам относятся:

Ан-26, ан-24. ан-22 – «Антей», ан-124 – «Руслан», ил-76.

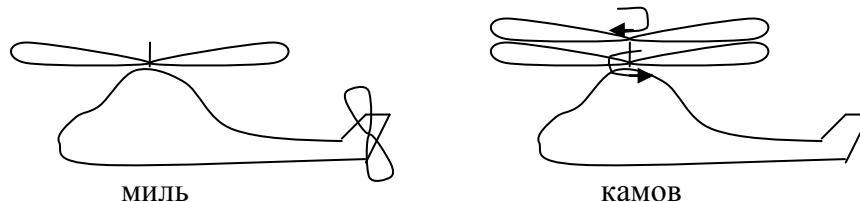
Наиболее широко используемый американский самолет с-5 «Геркулес».

К военным самолетам относятся: истребительная и военнотранспортная авиация.

Вертолеты.

Основным преимуществом вертолетов является возможность взлета и посадки с ограниченных площадок, возможность зависать в воздухе неподвижно на одном месте. На современные вертолеты устанавливаются преимущественно газотурбинные двигатели.

Основные крупные вертолетостроительные фирмы: «Сикорского» - США, в России «Миля», «Камова». Фирма Миля производит вертолеты классической схемы.



Широко используются в России: Ми-1, Ми-8, Ми-2, Ми-26.

60% состоящий из Ка-25, Ка-26 и многие другие.

Вертолеты могут использоваться как в гражданских так и в военных целях.

Гражданское применение вертолетов – перевозка грузов в труднодоступные районы.

В военных целях применяются так же для транспортировки грузов, обстрела противника, в морском деле используются как противолодочные системы.

Ракеты.

Ракеты имеют как гражданское так и военное применение. Гражданские ракеты используются для метеорологических целей, запуска исследовательских спутников, спутников связи, для доставки почты в труднодоступные места, для исследования других планет.

Ракеты военного назначения делятся на два типа:

1. Стратегические
2. Ближнего и среднего радиуса действия

Стратегические ракеты способны поразить цель в любой точки земного шара.

На стратегических ракетах в основном используются жидкотопливные двигатели. Основные компоненты топлива кислород и керосин, керосин - азотная кислота.

В ракетах ближнего и среднего радиуса действия используются твердотопливные ракетные двигатели. В твердом топливе используются соли азотной кислоты, битумы, различные металлы (например порошок Al).

К особому классу относятся антиракеты. Антиракеты взрываются недалеко от стратегической ракеты и индуцирует взрыв стратегической ракеты. Антиракеты имеют ядерный заряд, твердотопливные двигатели, обеспечивающие повышенную боеготовность.

По способу старта ракеты делят на типы:

Классификация авиационных двигателей.

На летательных аппаратах предназначенных для полета в воздухе устанавливаются двигатели внутреннего сгорания, которые делятся на несколько типов:

1. поршневые двигатели внутреннего сгорания (ПДВС),
2. воздушно реактивные двигатели (ВРД),

к ним в свою очередь относятся:

1. турбореактивные двигатели (ТРД)
2. ТРД с форсажной камерой (ТРДФ)

3. прямоточные воздушно реактивные двигатели (ПВРД)
4. сверхзвуковые прямоточные воздушно реактивные двигатели (СПВРД)
5. турбовинтовые двигатели (ТВД)
6. турбовинтовентиляторные двигатели (ТВВД)
7. двухконтурные турбореактивные двигатели (ДТРД)

На летательных аппаратах предназначенных для полетов в безвоздушной среде используются ракетные двигатели. Ракетные двигатели делятся на:

1. жидкостные ракетные двигатели (ЖРД)
2. твердотопливные ракетные двигатели (РДТТ)

Существуют и другие двигатели представляющие собой различные комбинации двигателей.

Параметры характеризующие двигатели.

Развитие всех типов двигателей, их совершенствование с момента возникновения шло в направлении повышения тяги, снижения удельного веса и повышения экономичности.

Удельный вес двигателя $q_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{R_{\text{тяги}}}$,

где P – вес в кг

R – тяга в Н

Удельный расход топлива $C_{\text{уд}} = \frac{G_{\text{т}}}{R}$

$G_{\text{т}}$ – расход топлива [$\frac{\text{кг}}{\text{час}}$]

Для двигателя важной характеристикой так же является удельная тяга – это тяга развиваемая 1кг рабочего тела проходящего через двигатель в секунду.

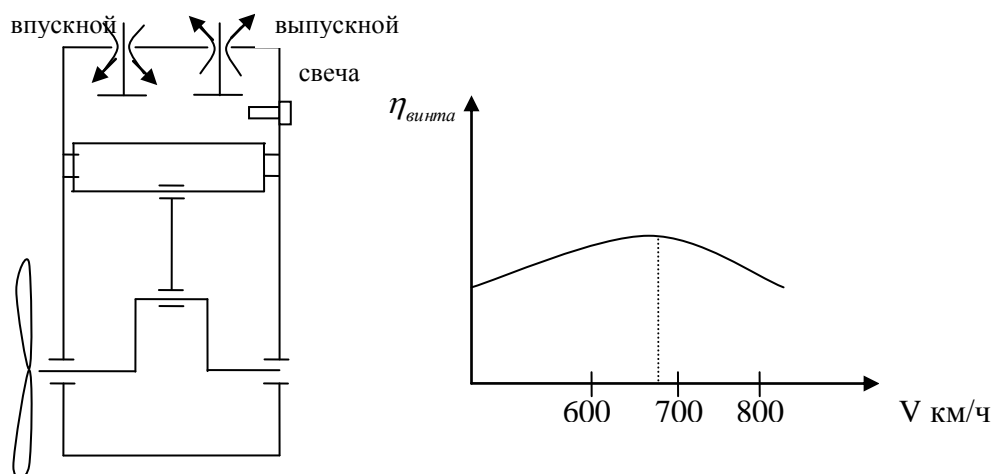
$R_{уд} = \frac{R}{G_{воздуха}}$ - показывает на сколько эффективно используется воздух

проходящий через двигатель, характеризует уровень совершенства двигателя.

Поршневые двигатели.

Исторически первым в авиации стал использоваться поршневой двигатель внутреннего сгорания (ПДВС). Существует три типа ПДВС это двигатель Отто; предложенный немецким ученым Отто, двигатель Дизеля; предложенный Дизелем и двигатель Тринклера разработанный русским инженером Тринклером. В авиации нашел применение двигатель Отто. Поскольку двигатели Дизеля и Тринклера громоздки и следовательно тяжелы. По удельному весу уступают двигателю Отто.

Быстрое развитие поршневых двигателей шло до 40-х годов. В середине 40-х годов ПДВС не могли уже обеспечить дальнейший рост скорости т.к. тяга развиваемая винтом с увеличением скорости падает. Помимо этого для увеличения мощности ПДВС можно было увеличить частоту вращения винта, но пределом для поршневых двигателей является 3000 об/мин. Это ограничение накладывается из-за возникающих при большой частоте вращения высоких инерционных нагрузок. Можно увеличивать мощность двигателя, увеличивая количество воздуха проходящего через двигатель, т.е. применяя большее количество цилиндров - до 50. Увеличение числа и объема цилиндров ведет к повышению удельного веса двигателя. На современном этапе развития авиации поршневые двигатели используются в основном на легких и средних самолетах и вертолетах. При малых скоростях полета – до 500 км/ч.



Одной из разновидностей поршневого двигателя является роторно-поршневой.

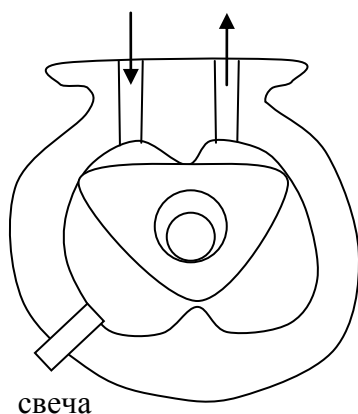
Впервые роторно-поршневой ДВС был пред в конце девятнадцатого века. Однако построить эффективный образец не удавалось. Главным препятствием была трудность создания надежной системы уплотнений. Только в 50е годы были разработаны эффективные системы уплотнений.

По своим удельным показателям роторно-поршневой двигатель (вес на ед мощности) значительно выше поршневых двигателей внутреннего сгорания и даже газотурбинных установок.

Роторно-поршневой ДВС при такой же мощности, что и ПДВС имеет значительно меньшее габариты и вес. В настоящее время изучаются возможности применения таких двигателей в авиации.

Схема РП ДВС.

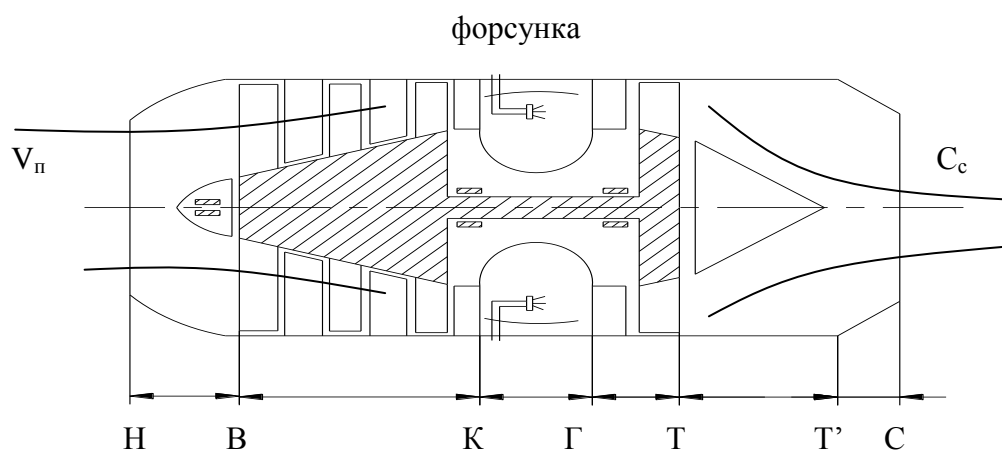
Двойная эпитрахойда



$$q_{(\text{Россия})}=4 \text{ кг/кВт}, q_{\text{всша}}=1.35; \text{РПД}=0.63$$

Необходимость в дальнейшем увеличении скоростей полета привела к созданию в середине 40х годов двигателей принципиально нового типа – реактивных двигателей.

Турбо реактивные двигатели с осевым компрессором.



В настоящее время в основном используются турбореактивные двигатели (ТРД). Основными элементами конструктивной схемы ТРД являются:

1. НВ – входное устройство
2. ВК – осевой компрессор
3. КГ – камера сгорания
4. ГТ – турбина
5. ТТ' – выходной канал
6. Т'С – сопло

Принцип действия ТРД следующий:

Воздух из атмосферы втекает с определенной скоростью во входное устройство (воздухозаборник) где его кинетическая энергия частично преобразуется а энергию сжатия. Далее воздух поступает в компрессор где осуществляется дальнейшее сжатие воздуха. Давление в компрессоре может возрастать в 20 раз. Сжатый воздух попадает затем в камеру сгорания где в

него впрыскивают топливо и происходит сгорание углеводородов в кислороде воздуха. При этом растет температура рабочего тела (до 1600K). Для вращения компрессора необходима энергия, которую компрессор получает от турбины. Турбина преобразует тепловую энергию продуктов сгорания в кинетическую энергию потока, которая затем переходит в механическую энергию вращения турбины. Из турбины газ попадает в выходное устройство и реактивное сопло где он расширяется, разгоняется и вытекает из двигателя с большой скоростью.

Тягу ТРД можно определить с помощью закона сохранения импульса

$$R = m\Delta V = m(C_c - V_n)$$

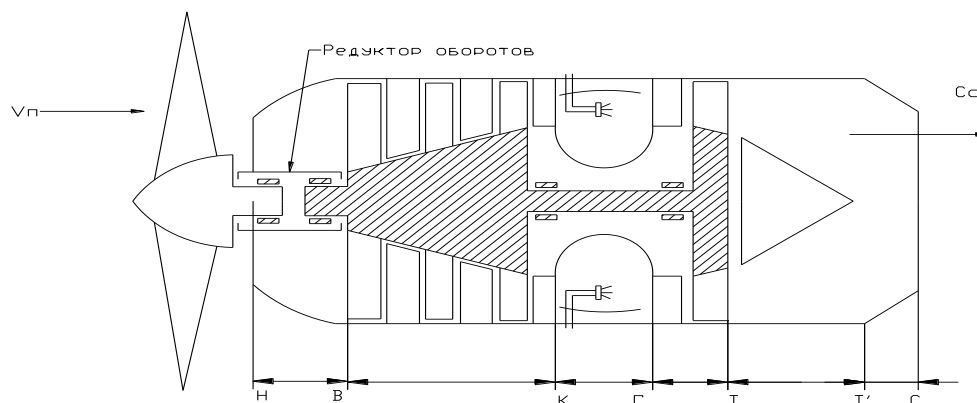
Где R – тяга двигателя

m – масса газа проходящая через двигатель в секунду

V_n – скорость набегающего на двигатель потока

C_c – скорость газа выходящего из двигателя

Турбовинтовой двигатель.

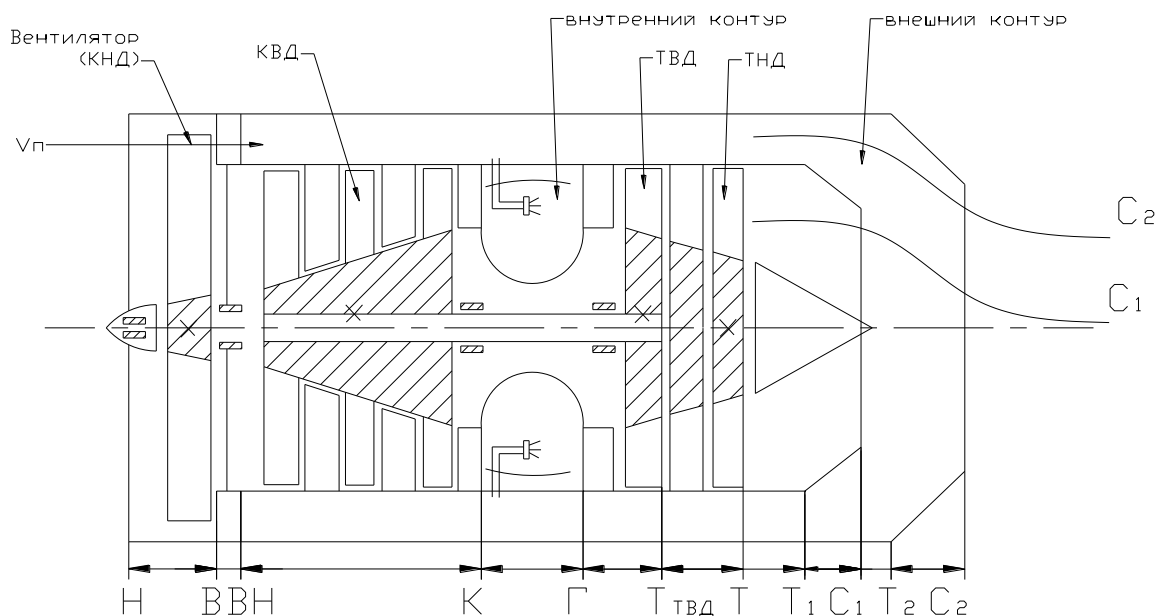


При скоростях полета до 1000 км/ч ТРД имеют низкую экономичность. Поэтому применяют ТВД.

В ТВД основную часть тяги (до 90%) создается за счет винта и 10% за счет выходного канала. Турбина ТВД многоступенчатая т.к. вращает не только компрессор, но и винт. Между ротором и валом винта устанавливается понижающий редуктор оборотов.

ТВД имеет меньший удельный вес чем поршневой двигатель на ту же мощность.

Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД).



ТРДД имеет два контура: внутренний (1), внешний (2).

Внутренний контур основной и служит для получения работы при сжигании топлива. Он содержит те же элементы что и ТРД кроме вентилятора (КНД). Вентилятор подает воздух как во внутренний так и во внешний контур.

Повышение давления в КНД для внешнего контура является окончательным, а для внутреннего предварительным.

Конструкция и назначение входного устройства.



Входные устройства предназначены подвода воздуха к компрессору двигателя и его предварительному сжатию за счет использования энергии скорости потока.

Требование к входному устройству.

- 1) Преобразование энергии набегающего потока в энергию сжатия минимальными гидравлическими потерями
- 2) Создание на входе в компрессор равномерного поля скоростей и давления.

Сжатие воздуха во входном устройстве осуществляется за счет применения диффузорного (расширяющегося) канала.

Современные двигатели снижают скорость во входном устройстве примерно в 2 раза. Соответственно растет давление.

Входные устройства выполняются из алюминиевых сплавов.

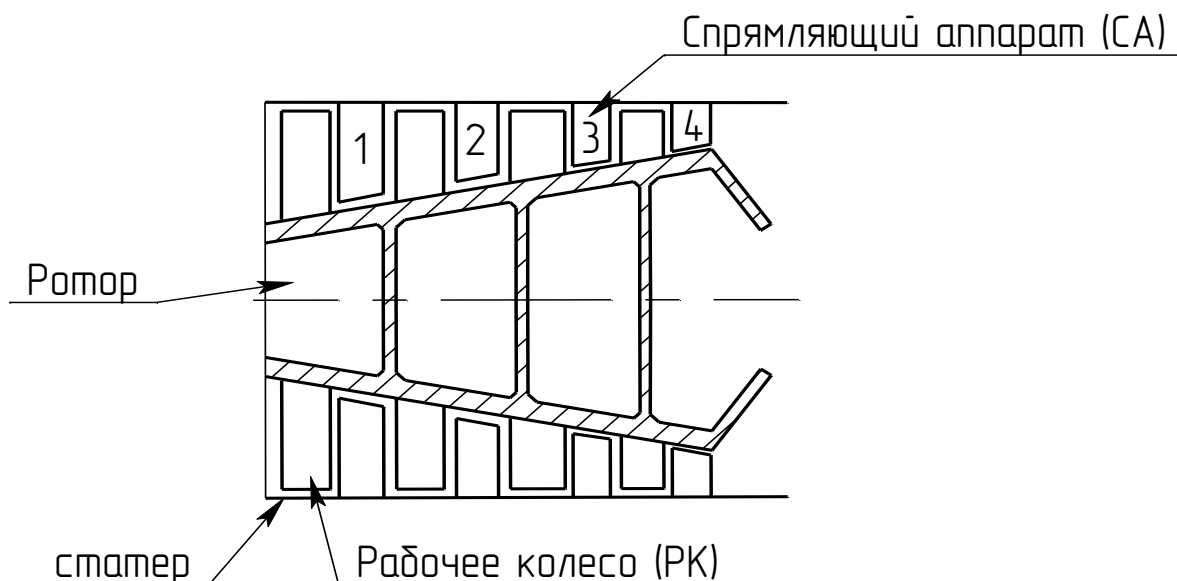
Компрессоры ТВД. Назначение.

Компрессором называется лопаточная машина служащая для сжатия и нагнетания воздуха или другого газа за счет подводимой энергии из вне.

Турбореактивному двигателю компрессор необходим для повышения давления воздуха, поступающего в камеру сгорания.

Существуют осевые и центробежные компрессоры.

Наиболее широко используются осевые. Получившие свое название из-за того, что воздух движется вдоль оси компрессора.

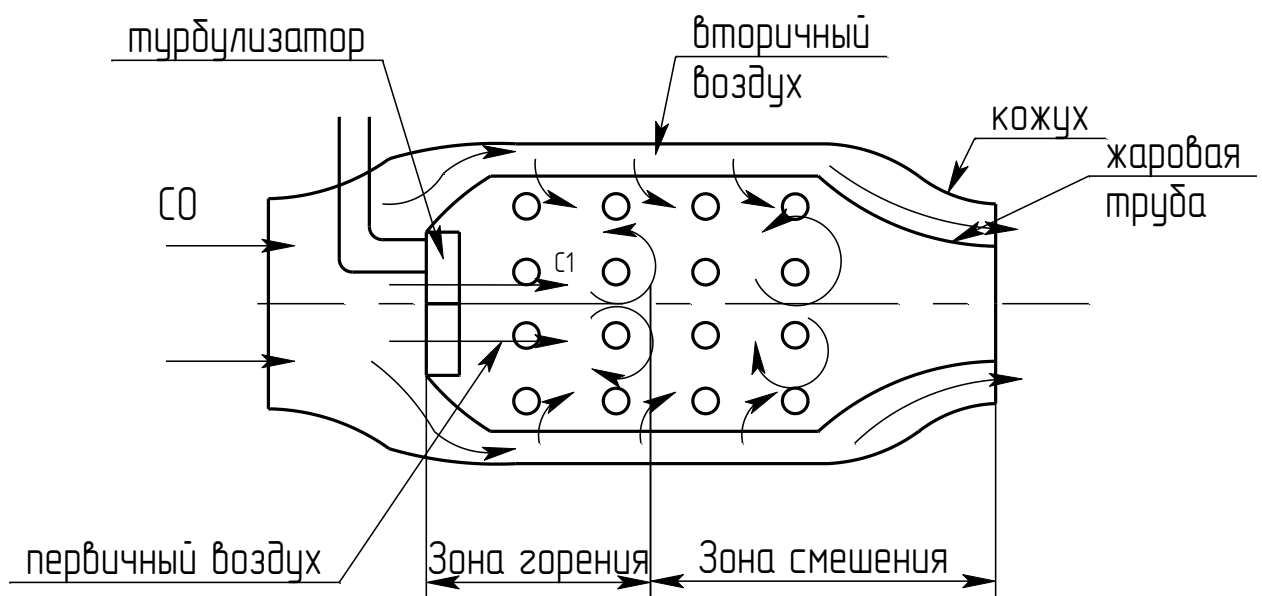


Камера сгорания. Конструкция и принцип работы.

Предназначена для сжигания топлива и наиболее эффективного подвода тепла к рабочему телу (воздуху).

Требования:

- 1) Высокая полнота сгорания топлива
- 2) Минимальные потери тепла через внешние стенки
- 3) Малая неравномерность температурного поля на выходе из камеры сгорания.
- 4) Надежная система поджига.



$$C_0 = 150-200 \text{ м/с}$$

$$C_1 = 50-70 \text{ м/с}$$

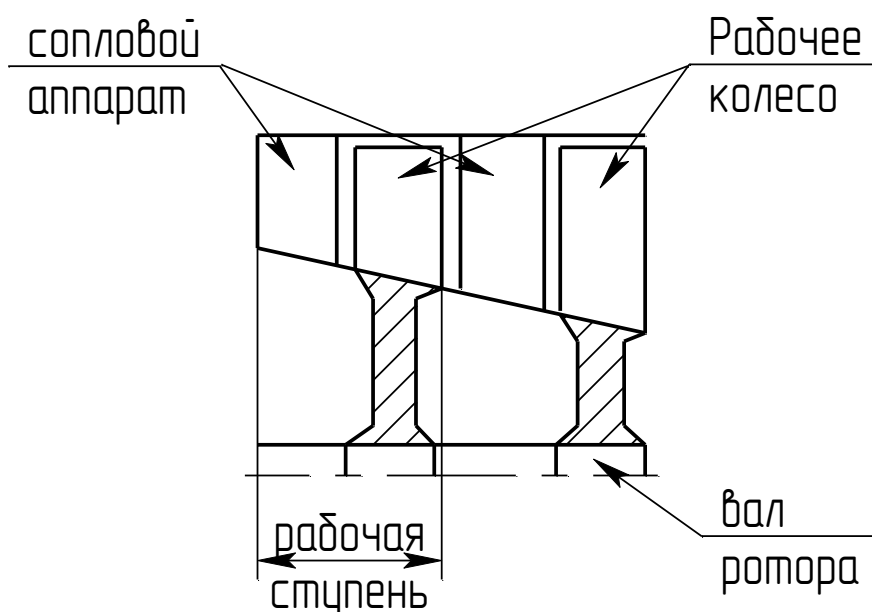
Сжатый воздух из компрессора поступает в камеру сгорания, где он делится на две части. На первичный и вторичный, перед этим воздух тормозится в диффузорной части камеры сгорания до 50-70 м/с. Первичный воздух поступает внутрь жаровой трубы и участвует в процессе горения топлива. Количество первичного воздуха составляет 1:15 к керосину. Вторичный воздух необходим для охлаждения камеры сгорания и корпуса двигателя. Через ряд отверстий в стенке жаровой трубы он попадает внутрь в пристеночный слой и защищает камеру сгорания.

Для обеспечения стабильного процесса горения с помощью турбулизатора осуществляется завихрение топливно-воздушной смеси, за

счет чего в области форсунки создается разрежение и горячие газы движутся в эту область на встречу холодной воздушной смеси зажигая ее.

Схема газовой турбины.

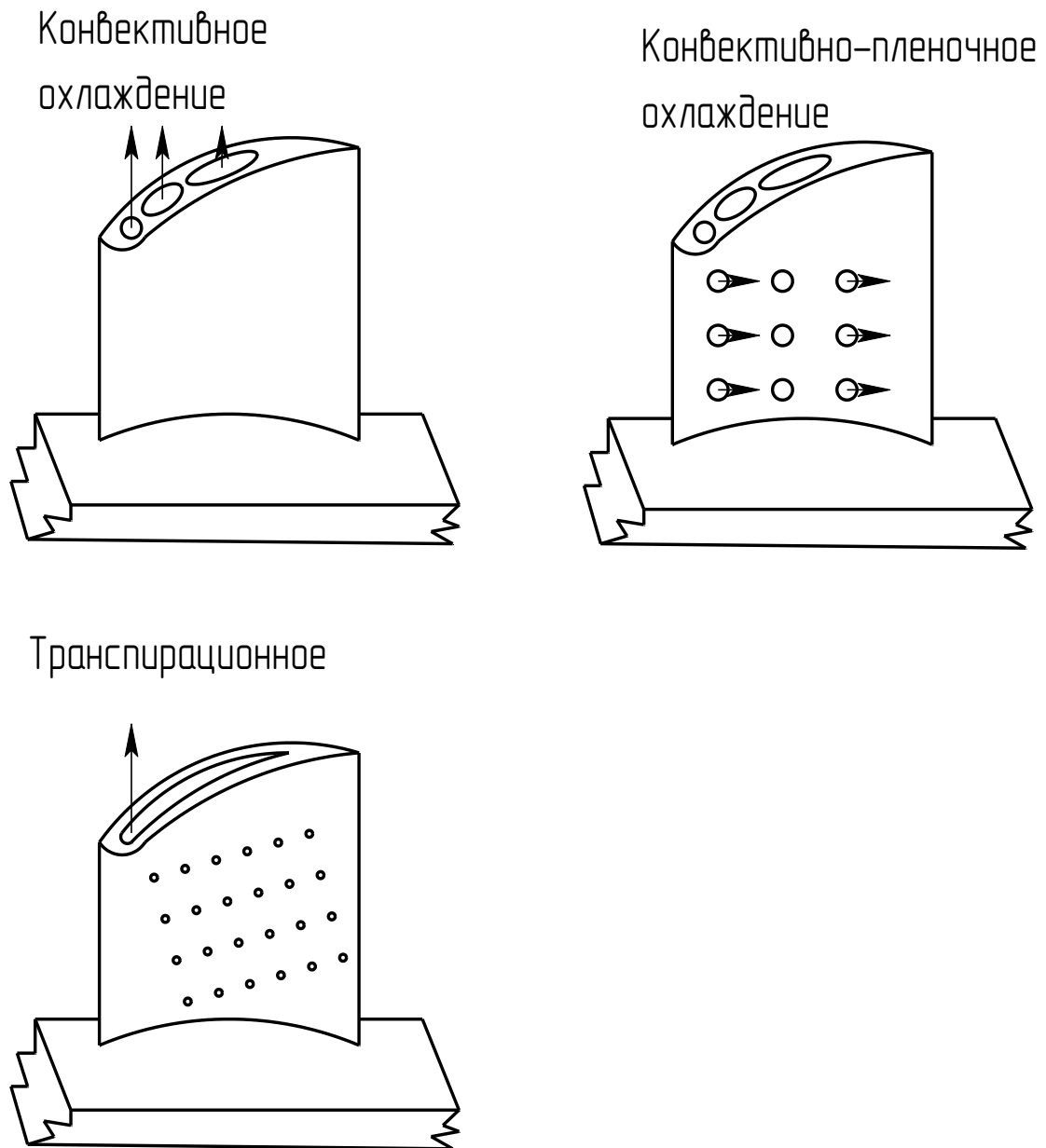
Газовые турбины, так же как и компрессоры относятся к классу лопаточных машин. Предназначены для преобразования потенциальной энергии в кинетическую энергию вращения ротора двигателя. В ТРД энергия полученная от газа тратиться на привод компрессора и различных агрегатов обслуживающих двигатель. В ТВД энергия кроме того тратится на привод винта.



Сопловой аппарат представляет собой ряд неподвижно закрепленных в корпусе лопаток, образующих сужающиеся каналы – сопло. Предназначен для преобразования давления и температуры в кинетическую энергию потока.

Рабочее колесо (вращающаяся часть турбины) представляет собой диск с закрепленными на его ободке лопатками, соединенное с валом турбины. Предназначено для преобразования кинетической энергии в механическую энергию вращения.

Система охлаждения лопаток.



Для изготовления используются жаропрочные хромо-никелевые стали.

Ракетные двигатели.

Для обеспечения полета высоко скоростных летательных аппаратов как в атмосфере, так и любых внешних условиях, используют ракетные двигатели.

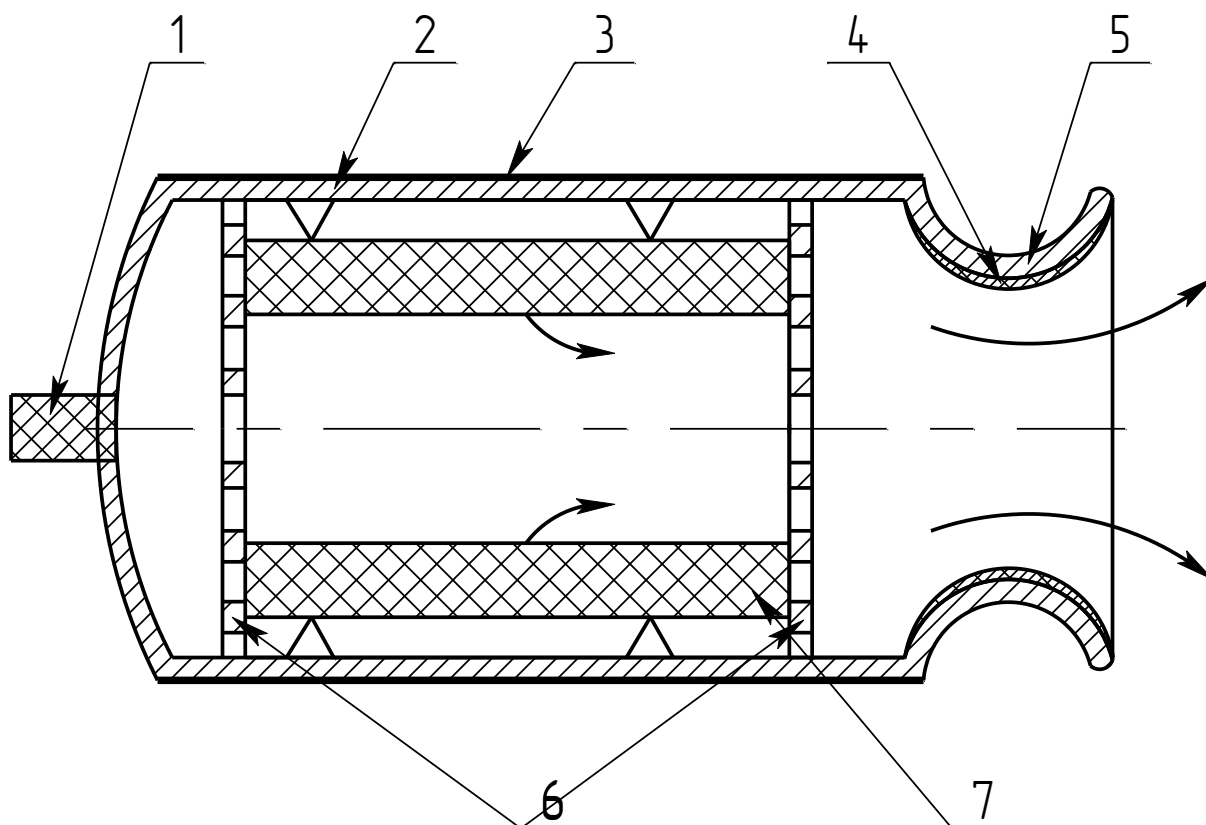
По фазовому составу топлива ракетные двигатели делят на: жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) и твердо топливные ракетные двигатели (РДТТ).

РДТТ

Используется как правило в легких ракетных установках, беспилотных летательных аппаратах.

РДТТ имеют две характерные особенности, отличающие их от ЖРД:

1. В РДТТ горючие и окислитель представляют собой единую твердую массу.
2. твердое топливо находится непосредственно в камере сгорания, поэтому не нужны баки и система подачи топлива.



1. пусковое устройство
2. камера сгорания
3. бронировка
4. тепловая защита
5. сопло
6. диафрагма
7. заряд ТТ

В камере сгорания находится заряд твердого топлива. Заряд фиксируется в определенном положении диафрагмами. В результате сгорания топлива

образуется газ, который проходит через отверстие диафрагмы и расширяется в сопле. Запуск двигателя осуществляется электрическим запалом, поджигающим заряд. Продукты сгорания запального устройства заполняют камеру сгорания и воспламеняют основное топливо.

РДТТ по сравнению с ЖРД имеет следующие преимущества:

1. Простота конструкции
2. Сокращается время на подготовку ракеты к пуску.
3. РДТТ могут длительное время храниться в заряженные топливом.
4. позволяют упростить эксплуатацию и сократить обслуживающий персонал.

Недостатки:

1. недостаточно высокий удельный импульс силы (300-4500 м/с)
2. малое время работы. Редко превышает 60с.
3. ограниченная возможность регулирования тяги.

Топливо РДТТ

В настоящее время применяют две группы твердых топлив:

1. Однокомпонентные (или коллоидные)
2. Многокомпонентные (смесевые)

1) Основу однокомпонентных топлив составляет нитроцеллюлоза.

Нитроцеллюлоза способна взорваться под воздействием различных факторов, поэтому в чистом виде не используется. В качестве растворителя часто используют нитроглицерин.

Двигатели на основе коллоидных топлив позволяют создать удельную тягу $P_{уд} = 200-240 \text{ кгс/кг}$.

2) Смесевые топлива.

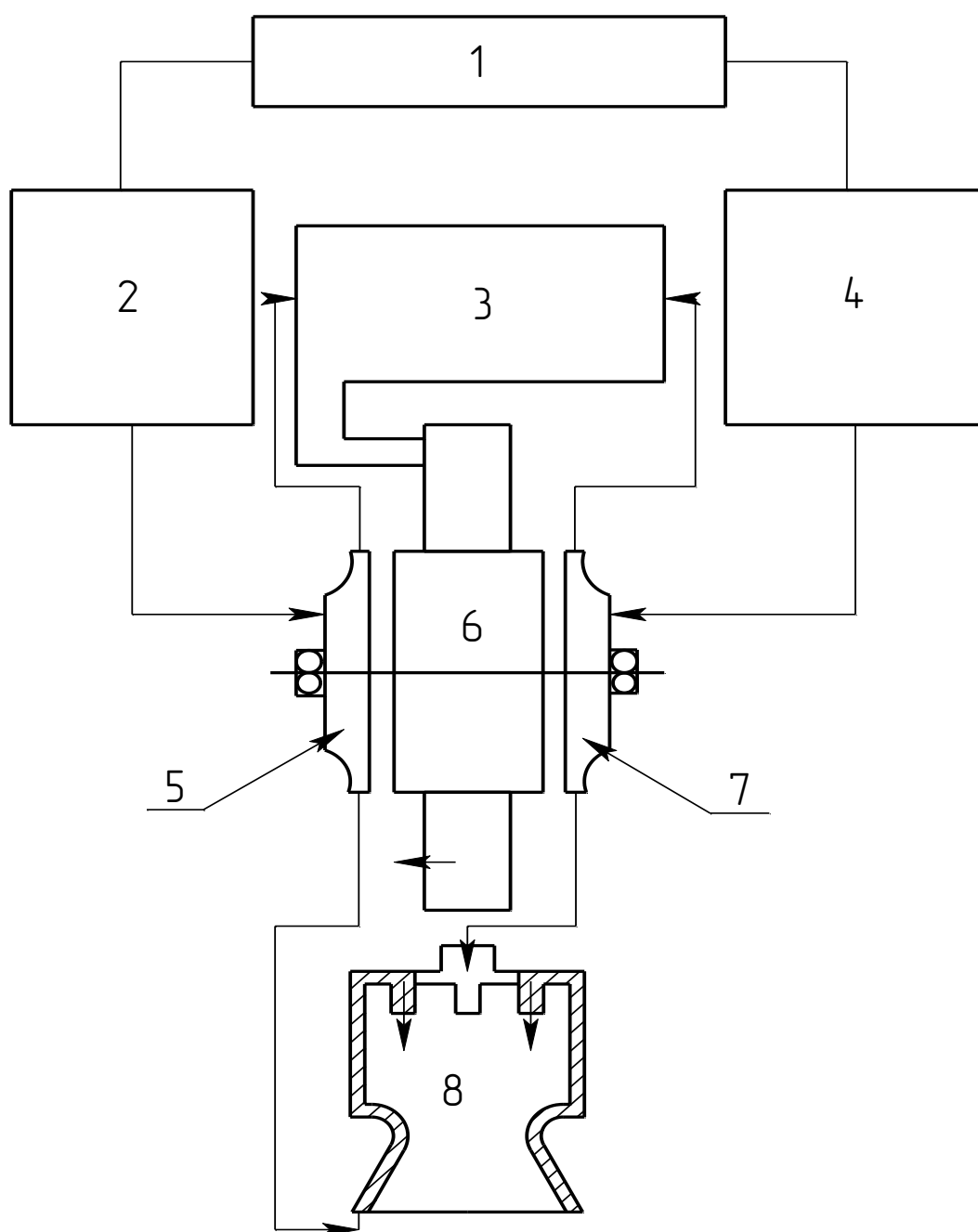
К ним относятся механические смеси твердых горючих и окислителей, а также различные добавки повышающие удельную тягу.

В качестве окислителей таких используют твердые соли содержащие большое количество свободного кислорода. Обычно это соли азотной и хлорной кислоты.

Горючее в РДТТ выполняет также роль связки. Обычно в качестве горючего используют высокомолекулярные синтетические соединения типа каучука, пластмасс, тяжелые углеводороды (полесульфиды, полиуретаны, полебутадиены, битумы).

Твердые составы топлива изготавливают путем введения различного окислителя расплавленное горючее. Полученную массу используют либо для получения шашек, которые затем вставляют в камеру сгорания, либо заливают непосредственно в камеру сгорания двигателя.

Жидкостные ракетные двигатели.



1. Баллон высокого давления
2. бак горючего
3. газогенератор
4. бак окислителя
5. насос горючего
6. турбина
7. насос окислителя
8. ЖРД

Принцип работы:

Горючее и окислитель с помощью баллона высокого давления вытесняются из баков и подаются к насосам. Часть топлива и окислителя поступает в газогенератор, газы полученные в результате окисления топлива используются для привода турбины. Турбина вращает насосы. Данные насосы обеспечивают подачу основной массы топлива и окислителя под высоким давлением в камеру сгорания ЖРД. Горючие и окислитель поступают в камеру сгорания через соответствующие форсунки, распыляется, смешивается и участвует в процессе горения. Охлаждение камеры сгорания осуществляется горючим которое протекает в межстеночном канале камеры сгорания.

Достоинства ЖРД:

1. Высокий удельный импульс 3000 – 4500 м/с
2. Низкая масса двигателя
3. Возможность многократного включения и выключения двигателя и регулировка тяги
4. Возможность длительной работы двигателя
5. Низкая стоимость топлива

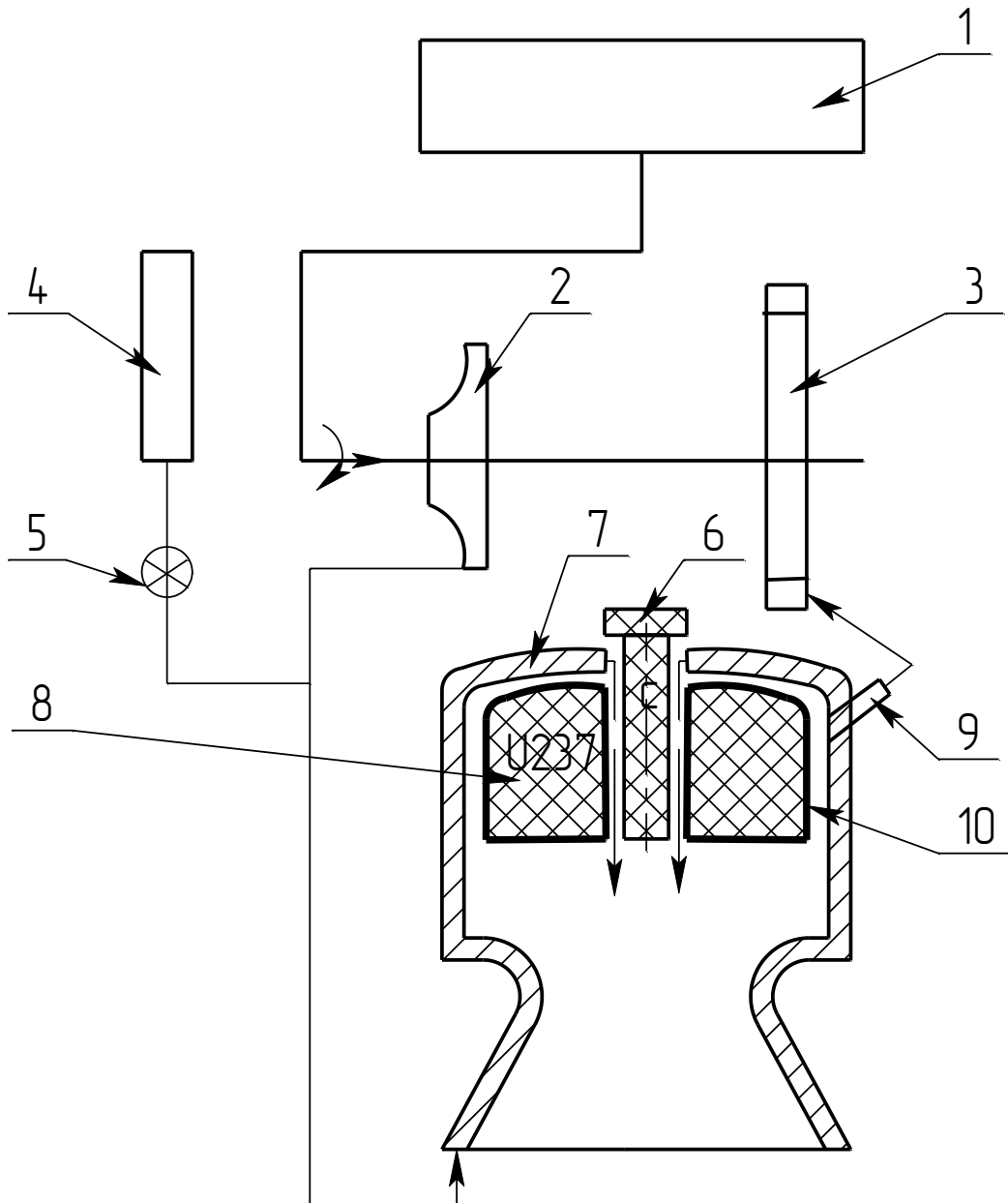
Недостатки:

1. Сложность эксплуатации
2. Невозможность долго хранить в заправленном состоянии
3. Сложность конструкции

В качестве топлива используют: керосин и азотная кислота; жидкий кислород и водород.

Ядерные, электрические,
тепловые ракетные двигатели.

1) Ядерные ракетный двигатель



- 1) бак рабочего тела
- 2) насос рабочего тела
- 3) турбина
- 4) аккумулятор высокого давления
- 5) запорное устройство

6) регулирующее устройство

7) ЯРД

8) реактор

9) отвод газов для турбины

10)отражатель нейтронов

Принцип работы:

В начальный период времени в рабочую камеру двигателя подается сжатый газ из баллона (4). Газ нагревается от ядерного реактора и частично поступает в турбину двигателя, которая необходима для привода рабочего колеса насоса (2). Насос (2) подает рабочее тело в камеру двигателя, где оно нагревается и выбрасывается из сопла с огромной скоростью.

В качестве рабочего тела используют водород, аммиак, метан, воду. Наиболее эффективно использовать водород.

В качестве ядерного топлива уран 233, 235, плутоний 239.

Стержень – графит, окись бериллия, карбид бора.

Тяга ЯРД $R - 900 \text{ кгс/кг}$ ($R_{\text{жрд}} - 450 \text{ кгс/кг}$)

Электрические ракетные двигатели.

В качестве двигателя космических летательных аппаратов для обеспечения меж планетных полетов, используют электрические ракетные двигатели (ЭРД). Они делятся на:

1) электронагревательные

2) электростатические ускорители

3) плазменные электромагнитные ускорители

Методы обработки.

ЭХО и ЭФО.

Классификация.

Основные методы.

1) Классификация по видам энергетического воздействия: 1.1) механическое воздействие (лезвийная обработка, обработка давлением, акустическая обработка, электрогидравлическая обработка). 1.2)

электрохимическое воздействие (химическое шлифование полирование, электрохимическое точение и прошивка отверстий, травление и очистка поверхностей, электрохимическая резка), 1.3) тепловое воздействие (электроконтактная обработка, электроимпульсная, электро-эразионная, плазменный нагрев и плавление, плазменная резка и сварка, плазменное напыление, детанационное напыление, ионно-плазменное напыление, ионная имплантация, электролучевая, лазерная обработка), 1.4) комбинированное воздействие (плазменно-механическое, механическая обработка с ультразвуком, ЭХО и УЗО, анодно-механическая обработка, ультразвуковое упрочнение) 1.5) дискретное формообразование (плазменное формообразование, лазерная стереолитография).

Преимущества ЭХО и ЭФО.

1. Возможность осуществлять такие операции, которые не могут быть выполнены лезвийной обработкой или обработкой давлением, что расширяет эксплуатационные свойства деталей и повышает их качество.
2. Сокращает расход дорогих инструментов, сталей и абразивных материалов.
3. Возможность обработки любых материалов без значительных механических усилий.
4. Отсутствие необходимости в применении инструмента из более твердого материала чем обрабатываемый материал.
5. Возможность получения покрытий или упрочнение поверхности деталей, что улучшает эксплуатационные свойства.
6. Возможность повышения производительности труда.

Ультразвуковые методы обработки.

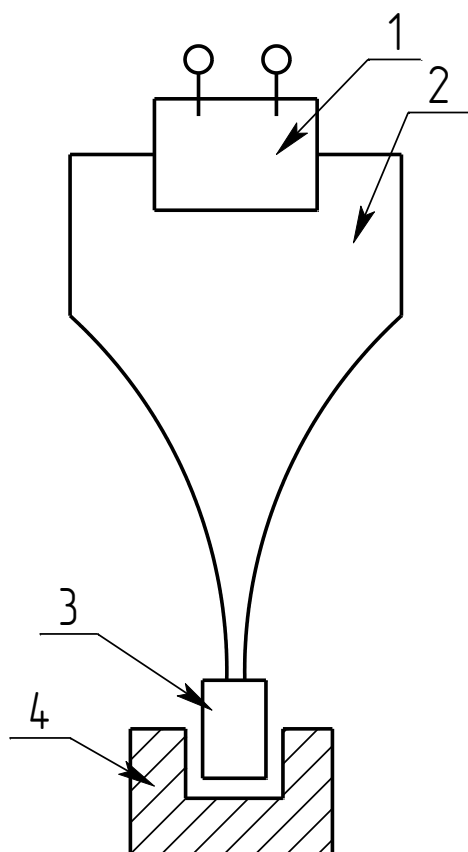


Рис 1.

- 1) магнитно-стрикционный преобразователь
- 2) концентратор (волновод)
- 3) инструмент
- 4) обрабатываемая деталь

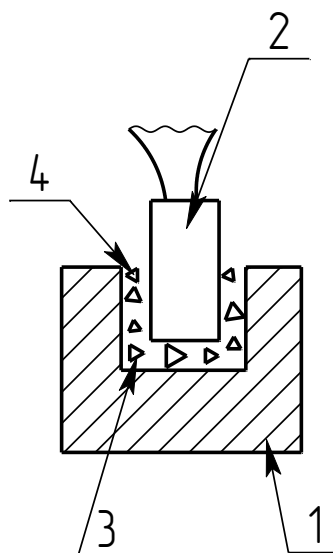
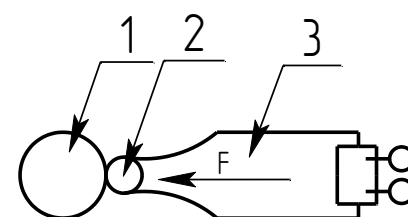


Рис.2 ультразвуковое упрочнение

- 1) деталь
- 2) инструмент
- 3) абразивный материал (корунд)
- 4) транспортирующая жидкость



- 1) обрабатываемая поверхность
- 2) упрочняющий инструмент (шарик, ролик)
- 3) ультразвуковой преобразователь

Инструмент имеет форму обрабатываемого отверстия, выполняется из мягких металлов (меди, латуни т.п.)

Назначение: применяется для прошивки отверстий в хрупких материалах, упрочнения поверхности, ультразвуковой диагностики, ультразвуковой очистки поверхности детали, активизации процессов механического резания металлов – сварки, плавки, кристаллизации расплава.

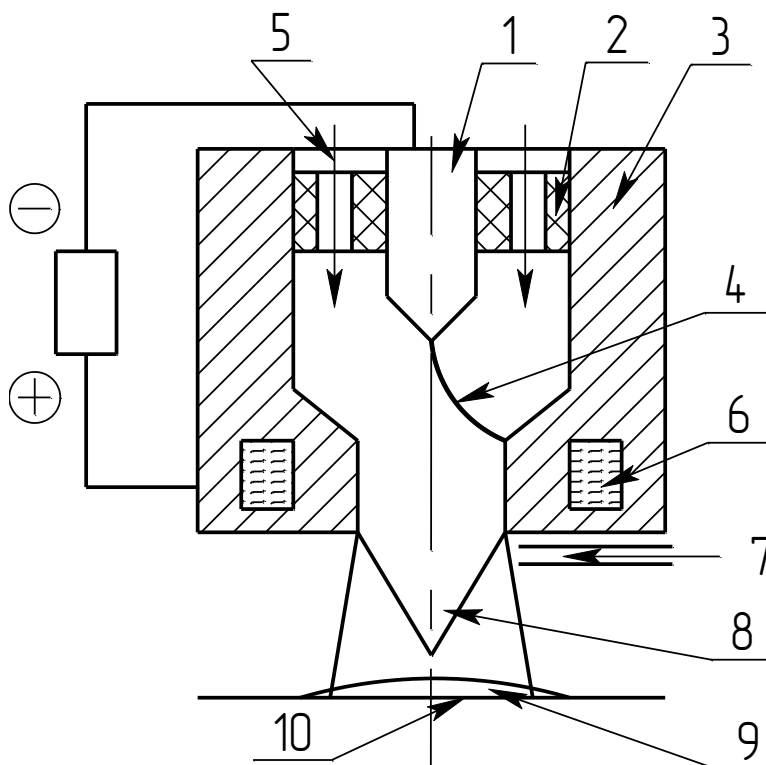
Плазменные технологии.

Плазменное напыление.

Под плазменной обработкой понимается использование для технологических целей низкотемпературной плазмы (до 10000 К).

Плазма - высоко температурный ионизированный газ.

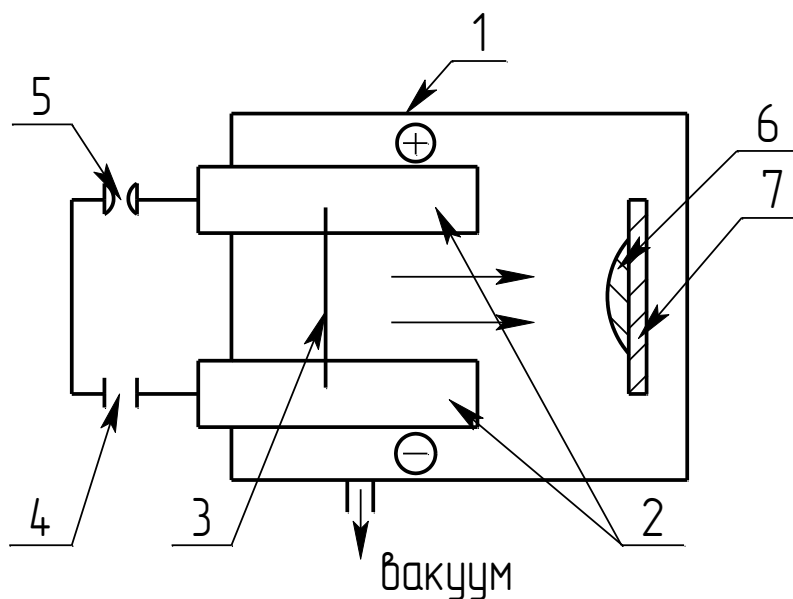
Источником плазмы для технологического применения является плазматрон.



- | | |
|---|---------------------------|
| 1. Катод | 6. вода |
| 2. изолятор | 7. порошок |
| 3. анод | 8. плазменный поток |
| 4. электрическая дуга | 9. покрытие |
| 5. плазмообразующий газ
(Ar, N ₂ , He, H ₂) | 10. обрабатываемая деталь |

Применяется для: 1) напыления 2) резки и плавления 3) сварки 4) упрочнения.

Импульсная плазменная обработка (рельсотрон).

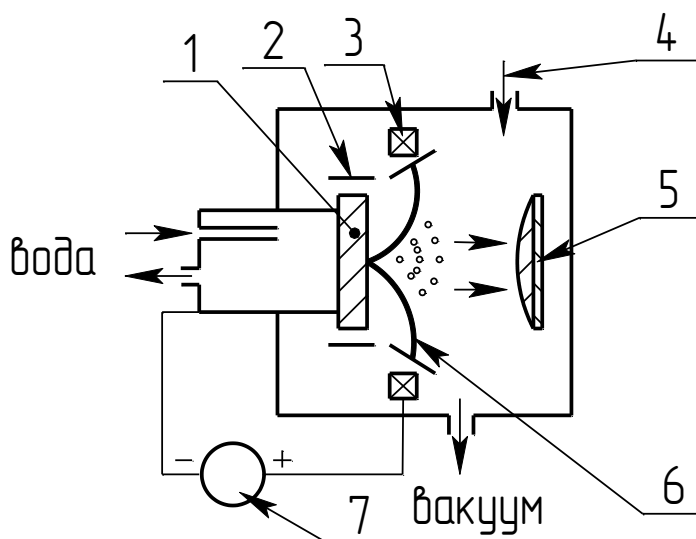


- | | |
|--|-----------------------|
| 1) вакуумная камера | 4) блок конденсаторов |
| 2) электропроводящие контакты (рельсы) | 5) разрядник |
| 3) взрывающаяся проволока | 6) покрытие |
| | 7) деталь |

Разряд высоковольтного конденсатора вызывает протекание большого тока проволоке изготовленной из напыляемого материала, что приводит к ее взрыву. Продукты взрыва под действием силы Лоренца ускоряются до нескольких км/с и осаждаются на покрываемой поверхности.

Применяется для нанесения покрытий и упрочнения поверхностей.

Ионоплазменная обработка.



1. Катод (напыляемый материал)

2. анод

3. катушка

4. реагирующий газ

5. деталь

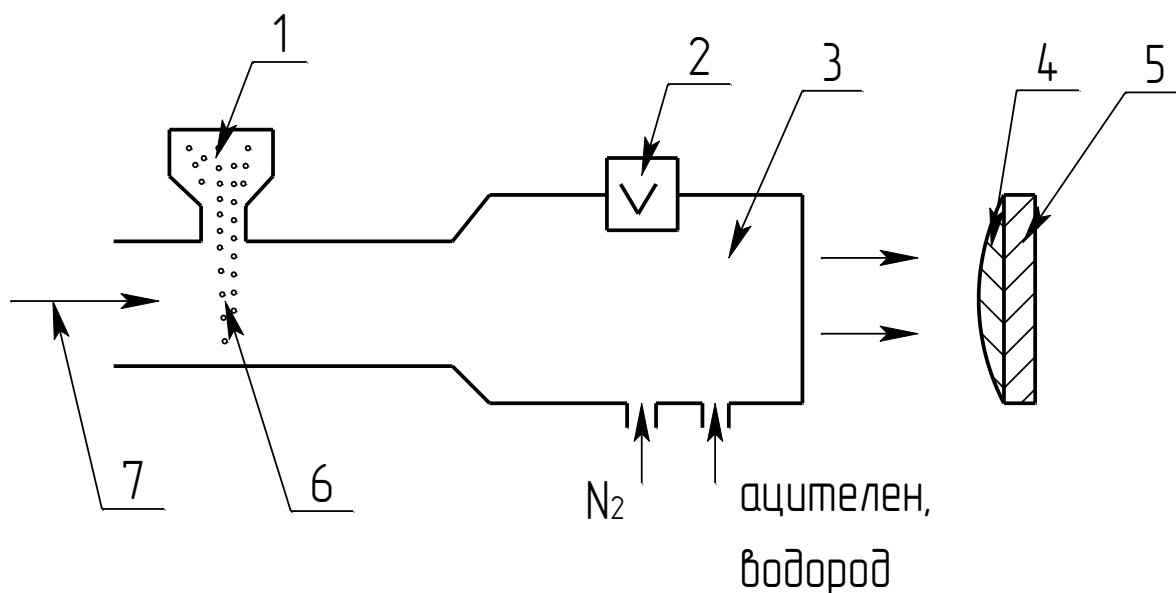
6. дуга (разряд)

7. блок питания

Покрывают получают ускорением паров напыляемого материала электромагнитным полем катушки. Испарение и ионизация материала осуществляются с помощью дугового разряда. Ионы получают высокие скорости, что позволяет получать плотное прочносцепленное покрытие.

Применяется для напыления износостойких и коррозионостойких покрытий. Износостойкость повышается в 2-5 раз.

Детонационная обработка.



1. бункер с порошком

2. свеча

3. рабочий канал

4. покрытие

5. деталь

6. порошок

7. газ транспортирующий порошок

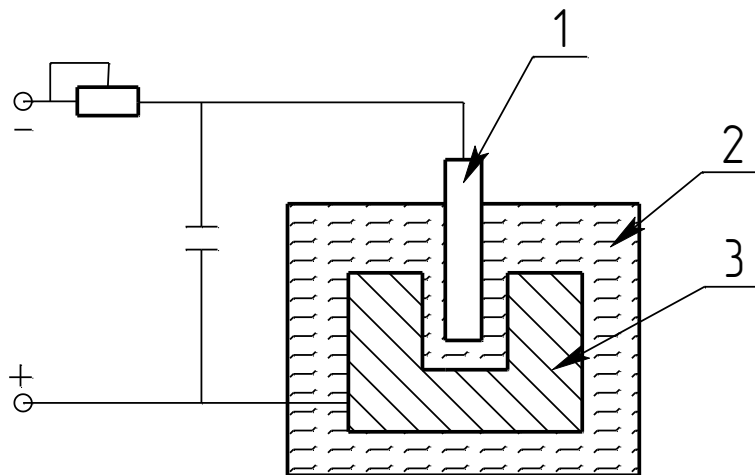
$$V_r=1000-3500 \text{ м/с } T_r=4500\text{K}$$

В данном процессе используется явление детонации – взрыв смеси газов (ацетилен + кислород, водород + кислород). Порошок напыляемого материала в определенной дозе транспортируется в рабочий канал, где под

действием высокотемпературных продуктов детонации нагревается и ускоряется, а затем осаждается на поверхность детали.

Применяется: для напыления оксидных, карбидных, боридных материалов, для повышения износостойкости трущихся поверхностей.

Электроэрозионная обработка.



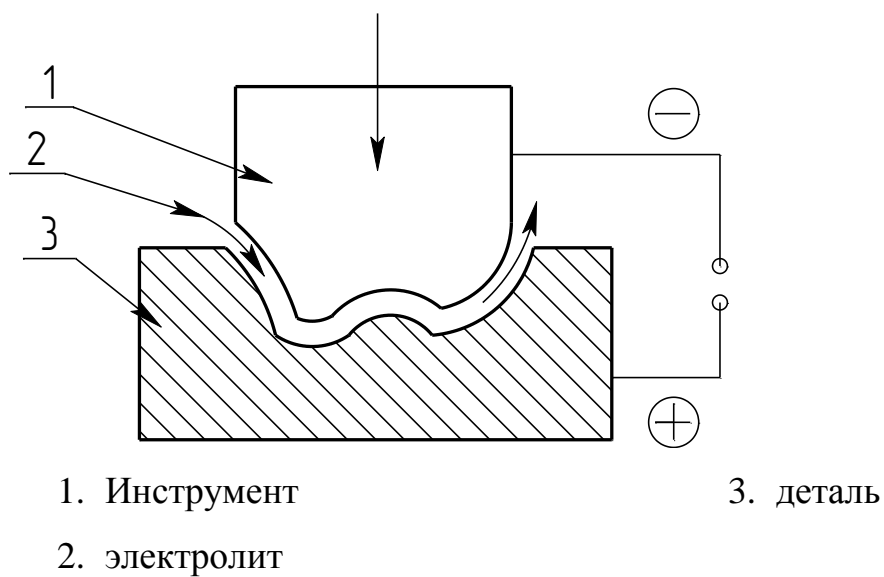
1. инструмент
2. диэлектрическая жидкость (вода, керосин)
3. деталь

Электроэрозионная обработка объединяет методы которые характерны тем, что изменение формы детали обеспечивается электрическим разрядом вызывающим эрозию (разрушение, износ) материала.

При электроэрозионной обработке металл в зоне обработки плавиться частично испаряясь и удаляется из зоны обработки в виде расплава или пара.

Применяется: для прошивки отверстий и углублений в твердых и хрупких материалах, шлифования, резки и вырезки различных профилей..

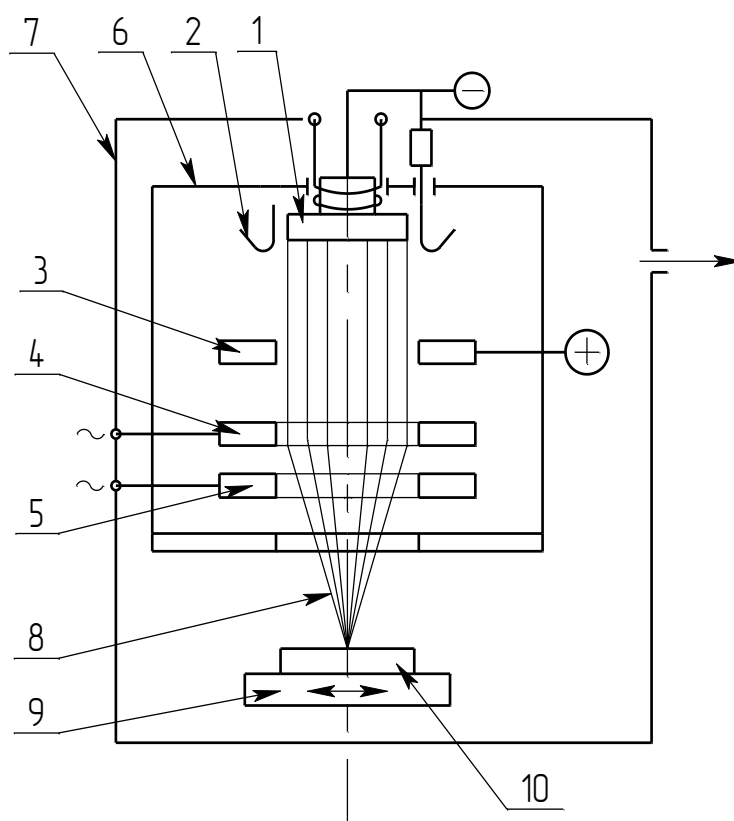
Электрохимическая обработка.



Электрохимическая обработка металла основана на эффекте анодного растворения металлов. В том случае если между инструментом и деталью прокачивается электролит (NaCl , NaNO_3) и к ним подключено напряжение, протекает процесс электрохимического растворения металла детали.

Применяется: для прошивки отверстий, травления металлов, электрохимического шлифования и полировки.

Электроннолучевая обработка.

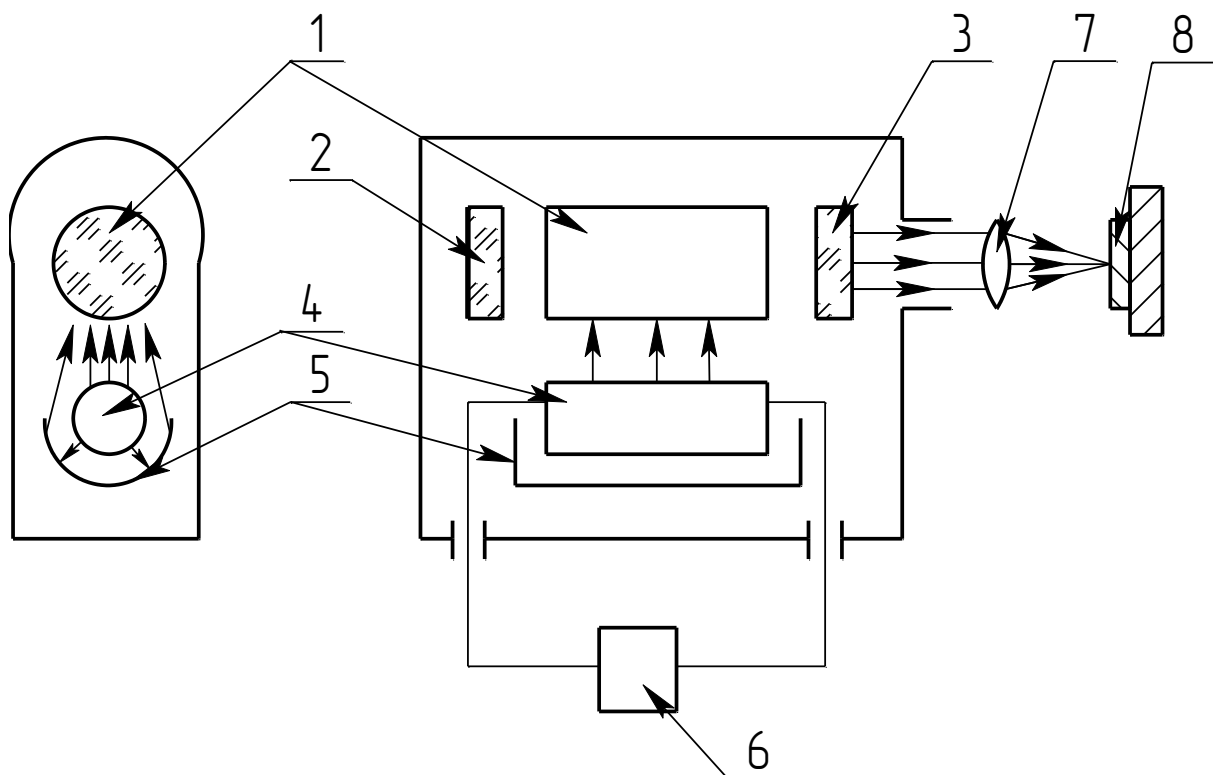


- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. термоэмиссионный катод | 6. электронная пушка |
| 2. отражатель | 7. вакуумная камера |
| 3. анод | 8. электронный луч |
| 4. магнитная линза | 9. стол манипулятор |
| 5. магнитная катушка | 10. обрабатываемая деталь |

Основным элементом электроннолучевой установки является электронная пушка в которой формируется поток электронов используемый для дальнейших технологических операций. Использование электронного луча возможно только в вакууме, поэтому весь процесс обработки детали проходит в вакуумной камере.

Применяется для: сварки, прошивки и резки, упрочнение поверхности.

Лазерная обработка.



- | | |
|---|------------------------------|
| 1. активный элемент(рубин, алюмоитриевый гранат, неодимовое стекло) | 4. лампа накачки |
| 2. зеркало | 5. параболический отражатель |
| 3. полупрозрачное зеркало | 6. генератор |
| | 7. оптическая линза |
| | 8. обрабатываемая деталь |

С помощью стробоскопической лампы накачки в активном элементе создаются условия для перехода электронов на более высокие нестационарные орбиты. Переход электронов на более устойчивые орбиты сопровождается выделением кванта света, при чем свет получается одной частоты. Так называемое когерентное излучение обладающее высокой плотностью энергии.

Лазерный луч применяется для: прошивки отверстий, резки материалов, упрочнение поверхности.

Механическая обработка. Технологические возможности способов резания

Механическая обработка

Общая характеристика размерной обработки

Механическая обработка поверхностей заготовок является одной из основных завершающих стадий изготовления деталей машин.

Одна из актуальных задач машиностроения – дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышение качества обработки деталей машин.

Классификация движений в металлорежущих станках

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали.

Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания:

- Главное движение – определяет скорость деформирования материала и отделения стружки (D_r);
- Движение подачи – обеспечивает врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки (D_s);

Движения могут быть непрерывными или прерывистыми, а по характеру – вращательными, поступательными, возвратно-поступательными.

Движения подачи: продольное, поперечное, вертикальное, круговое, окружное, тангенциальное.

В процессе резания на заготовке различают поверхности (рис.1.а):

- обрабатываемую поверхность (1);
- обработанную поверхность (3);
- поверхность резания (2).

Установочные движения – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла.

Вспомогательные движения – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

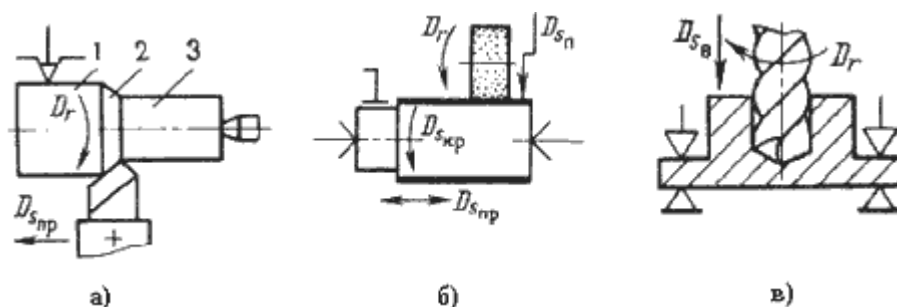


Рис.1 Схемы обработки заготовок: а – точением; б – шлифованием на круглошлифовальном станке; в – сверлением

Режимы резания, шероховатость поверхности

При назначении режимов резания определяют скорости главного движения резания и подачи, и глубину резания.

Скоростью главного движения – называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента в единицу времени (м/с).

Для вращательного движения:

$$V = \frac{\pi \times D_{\text{заг}} \times n}{1000 \times 60},$$

где: $D_{\text{заг}}$ – максимальный диаметр заготовки (мм); n – частота вращения (мин-1).

Для возвратно-поступательного движения:

$$V = \frac{L \times m \times (k + 1)}{1000 \times 60},$$

где: L – расчетная длина хода инструмента; m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода.

Подача (s) – путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один ход заготовки или инструмента.

В зависимости от технологического метода обработки подачу измеряют:

мм/об – точение и сверление;

мм/дв. ход – строгание и шлифование.

Глубина резания (t) – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности (мм).

$$t_{\text{материала}} = \frac{D_{\text{заг}} - d}{2}$$

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей с относительно малыми шагами.

Шероховатость является характеристикой качества поверхностного слоя заготовки. Она оценивается несколькими параметрами, в частности

критерием R_a .

R_a - среднее арифметическое отклонение профиля (среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля) в пределах определенной базовой длины обработанной поверхности.

Допустимые значения шероховатости поверхностей деталей указываются на чертежах.

Значение параметра R_a для разных технологических методов обработки лежат в пределах, мкм:

- для предварительной черновой обработки – 100...22,5 ;
- для чистовой обработки – 6,3...0,4 ;
- для отделочной и доводочной обработки – 0,2...0,012.

Станки для обработки резанием

Классификация металлорежущих станков

По общности технологического метода обработки различают станки: токарные, фрезерные, сверлильные и др.

По назначению различают станки: широкоуниверсальные, универсальные, широкого назначения, специализированные, специальные.

Универсальные станки обрабатывают разнотипным инструментом различающиеся по размерам, форме и расположению поверхностей заготовки.

Широкоуниверсальные – предназначены для выполнения особо широкого разнообразия работ.

Станки широкого назначения характеризуются однотипностью применяемого инструмента.

Специализированные станки предназначены для обработки однотипных заготовок различных размеров.

Специальные станки предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках одинаковых размеров и конфигурации.

- По массе: легкие (до 1т), средние (до 10т), тяжелые (свыше 10т) и уникальные (свыше 100т).
- По степени автоматизации: с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы.
- По компоновке основных рабочих органов: горизонтальные и вертикальные.

В общегосударственной единой системе (ЭНИМС) станки разделяются на 10 групп и 10 типов. В группы объединены станки одинаковые или схожие по технологическому методу обработки. Типы характеризуют их назначение, степень автоматизации, компоновку.

Технологические возможности способов резания

Точение

Точение является основным способом обработки поверхностей тел вращения.

Процесс резания осуществляется на токарных станках при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение) и перемещении резца (движение подачи).

Движение подачи осуществляется:

- параллельно оси вращения заготовки (продольная);
- перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная);

- под углом к оси вращения заготовки (наклонная).

Схемы обработки поверхностей заготовки точением представлены на рис. 19.2.

С помощью точения выполняют операции: обтачивание – обработку наружных поверхностей (рис.2.а); растачивание – обработку внутренних поверхностей (рис.2.б); подрезание – обработку торцевых поверхностей (рис.2.в); резку – разрезание заготовки на части (рис.2.г); резбонарезание – нарезание резьбы (рис.2.д).

По технологическим возможностям точение условно подразделяют на: черновое, получистовое, чистовое, тонкое.

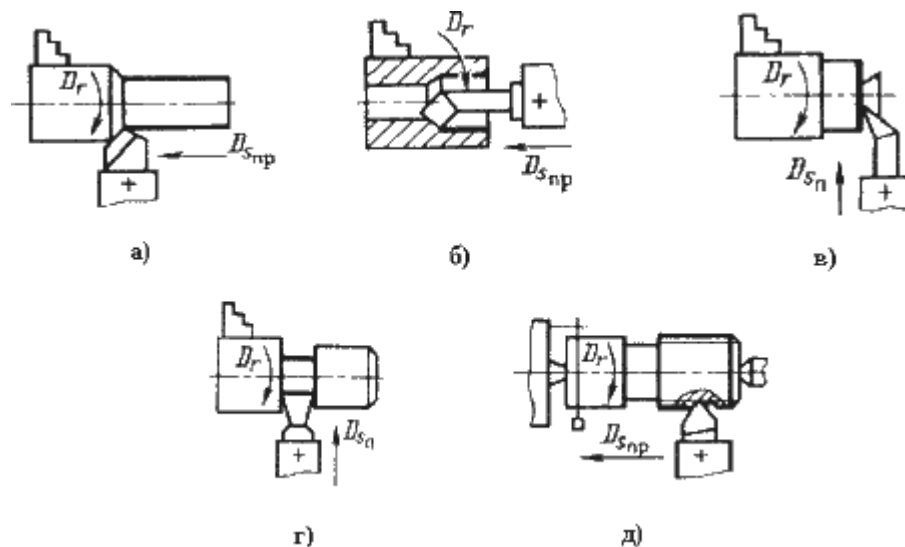


Рис. 2. Схемы обработки поверхностей заготовки точением

В качестве режущего инструмента при точении используют резцы.

Главным принципом классификации резцов является их технологическое назначение.

Различают резцы:

- проходные – для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей;

- расточные – проходные и упорные – для растачивания глухих и сквозных отверстий;
- отрезные – для отрезания заготовок;
- резбовые – для нарезания наружных и внутренних резьб;
- фасонные – для обработки фасонных поверхностей;
- прорезные – для протачивания кольцевых канавок;
- галтельные – для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу.

По характеру обработки – черновые, получистовые, чистовые.

По направлению движения подачи – правые и левые (справа на лево и слева на право).

По конструкции – целые, с приваренной или припаянной пластиной, со сменными пластинами.

Установка к закреплению заготовки зависит от типа станка, вида обрабатываемой поверхности, характеристики заготовки ($\frac{l}{d}$), точности обработки и других факторов.

Сверление

Сверление является основным способом получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки.

В качестве инструмента при сверлении используется сверло, имеющее две главные режущие кромки.

Для сверления используются сверлильные и токарные станки.

На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис.19.3.а).

При работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис.19.3.б).

Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются рассверливанием (рис.3.в).

При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности.

Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

Зенкерование – обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости. Многолезвийный режущим инструментом – зенкером, который имеет более жесткую рабочую часть, отсутствует ! число зубьев не менее трех (рис.3.г).

Развертывание – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой в целях получения высокой точности и низкой шероховатости. Развертки – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности (рис.3.д).

Схемы сверления, зенкерования и развертывания представлены на рисунке 3.

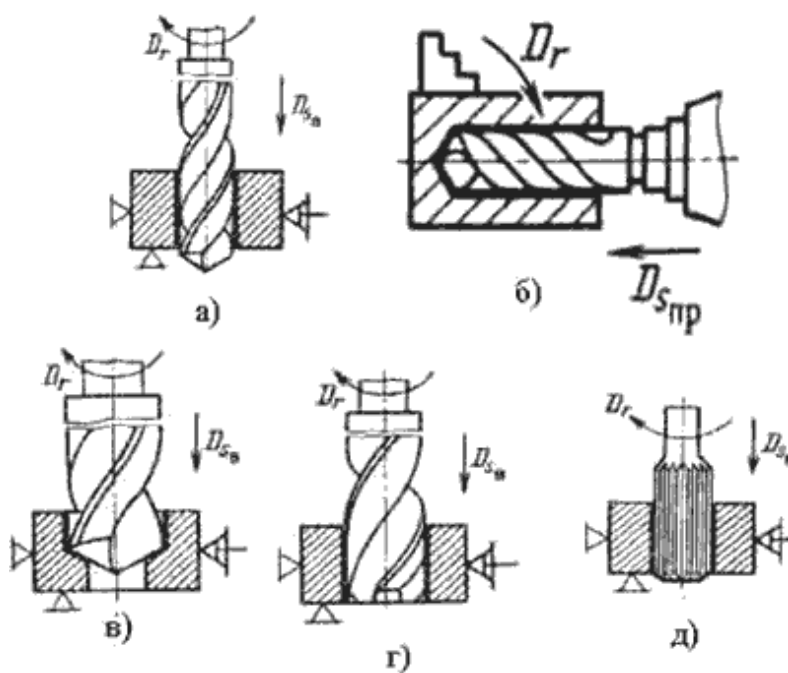


Рис.3. Схемы сверления, зенкерования и развертывания

Протягивание

Протягивание является высокопроизводительным методом обработки деталей разнообразных форм, обеспечивающим высокую точность формы и размеров обрабатываемой поверхности. Применяется протягивание в крупносерийном производстве.

При протягивании используется сложный дорогостоящий инструмент – протяжка. За каждым формообразующим зубом вдоль протяжки изготавливается ряд зубьев постепенно увеличивающейся высоты.

Процесс резания при протягивании осуществляется на протяжных станках при поступательном главном движении инструмента относительно неподвижной заготовки за один проход.

Движение подачи отсутствует. За величину подачи S_z принимают подъем на зуб, т.е. разность размеров по высоте двух соседних зубьев протяжки; S_z является одновременно и глубиной резания.

Протяжные станки предназначены для обработки внутренних и наружных поверхностей. По направлению главного движения различают станки: вертикальные и горизонтальные.

Схемы обработки заготовок на протяжных станках представлены на рисунке 4.

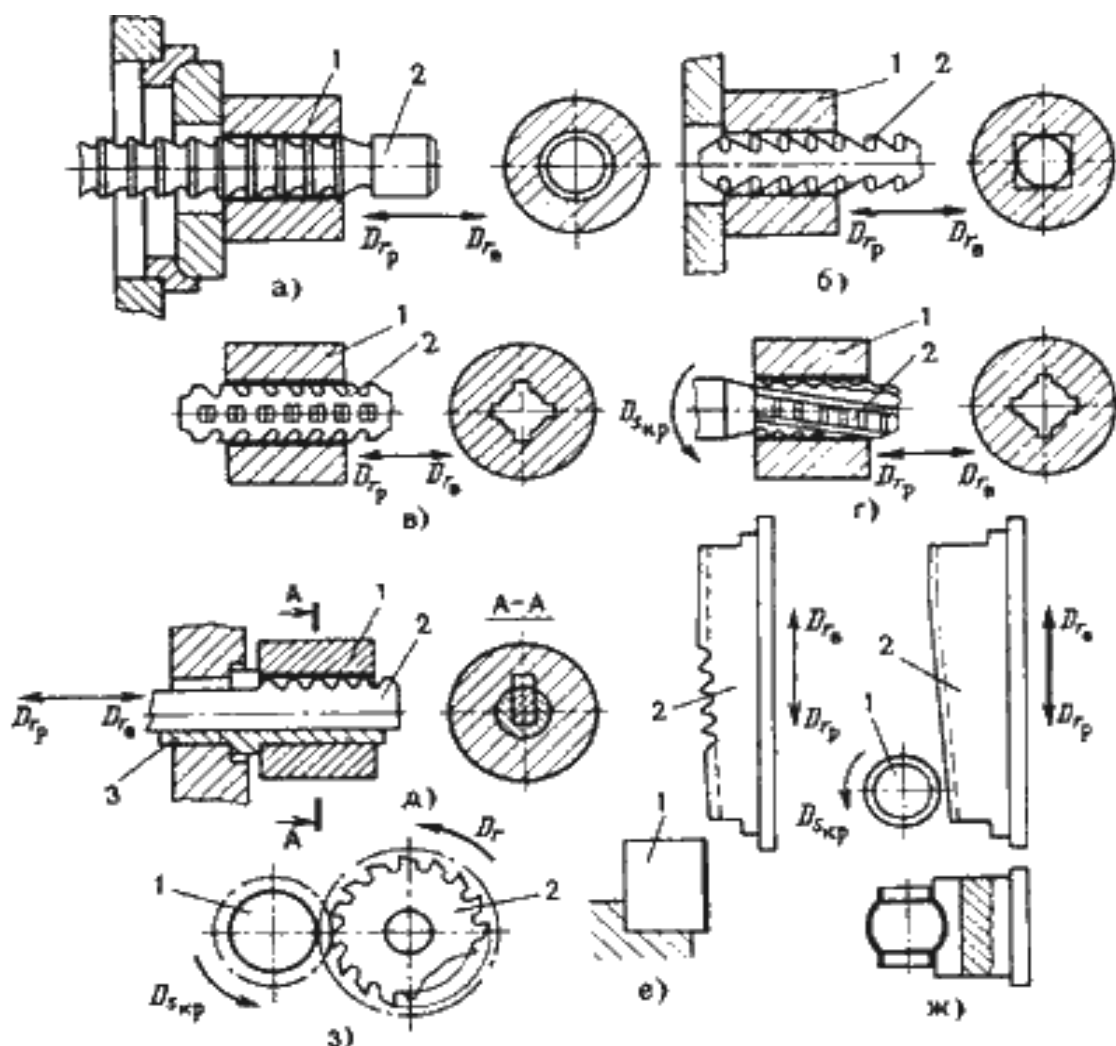


Рис.4. Схемы обработки заготовок на протяжных станках

Отверстия различной геометрической формы протягивают на горизонтально-протяжных станках для внутреннего протягивания. Размеры протягиваемых отверстий составляют 5...250 мм.

Цилиндрические отверстия протягивают крупными протяжками после сверления, растачивания или зенкерования, а также литые или штампованные отверстия. Длина отверстий не превышает трех диаметров. Для установки заготовки с необработанным торцом применяют приспособление со сферической опорной поверхностью (может самоустанавливаться по оси инструмента), либо упор в жесткую поверхность (рис.4.а).

Шпоночные и другие пазы протягивают протяжками, форма зубьев которых в поперечном сечении соответствует профилю протягиваемого паза,

с применением специального приспособления – направляющей втулки 3 (рис.4.б).

Наружные поверхности различной геометрической формы протягивают на вертикально-протяжных станках для наружного протягивания.

Схема протягивания вертикальной плоскости показана на рис.4.в.

Наружные поверхности заготовок типа тел вращения можно обрабатывать на специальных протяжных станках рис.4.г.

Фрезерование

Фрезерование – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок: многолезвийным режущим инструментом – фрезой.

Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, а вспомогательным поступательное перемещение заготовки. Движение подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно- фрезерные, и барабанно-фрезерные станки). Каждый режущий зуб при вращении фрезы врезается в заготовку и осуществляет резание только в пределах определенного угла поворота фрезы, а затем вращается в холостую до следующего врезания. Таким образом, особенностью процесса фрезерования является периодичность и прерывистость процесса резания каждым зубом фрезы, при чем процесс врезания зуба сопровождается ударами.

По исполнению фрезы делятся на цилиндрические, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы и торцевые, у которых режущие зубья располагаются на торцевой и цилиндрической поверхности фрезы.

Схемы обработки заготовок на станках фрезерной группы представлены на рис. 5.

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют концевыми (рис. 5.е) и дисковыми (рис. 5.ж) фрезами.

Шпоночные пазы фрезеруют концевыми или шпоночными фрезами на вертикально- фрезерных станках (рис. 5.з).

Фасонные поверхности незамкнутого контура с криволинейной образующей и прямолинейной направляющей фрезеруют фасонными фрезами соответствующего профиля (рис. 5.и).

Пространственно- сложные поверхности обрабатывают на копировально-фрезерных автоматах (рис. 5.к). Обработку производят специальной концевой фрезой. Фрезерование ведут по трем координатам: x , y , z (объемное фрезерование).

Шлифование

Шлифование – процесс обработки заготовок резанием с помощью инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала.

Абразивные зерна расположены беспорядочно. При вращательном движении в зоне контакта с заготовкой часть зерен срезает материал в виде очень большого числа тонких стружек (до 100000000 в мин.).

Процесс резания каждым зерном осуществляется мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микро-следов абразивных зерен и имеет малую шероховатость.

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью.

Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи.

Различают следующие основные схемы шлифования: плоское, круглое, внутреннее (рис. 6).

При плоском шлифовании (рис. 6а) возвратно-поступательное движение заготовок необходимо для обеспечения продольной подачи $S_{\text{пр}}$. Для обработки поверхности на всю ширину \varnothing заготовка или круг должны иметь поперечную подачу $D_{\text{ст}}$, которая осуществляется прерывисто при крайних положениях заготовки в конце продольного хода. Периодически осуществляется движение вертикальной подачи $D_{\text{св}}$, в крайних положениях заготовки в конце поперечного хода.

Плоское шлифование может осуществляться периферией или торцом шлифовального круга.

При круглом шлифовании (рис. 6б) движение продольной подачи осуществляется возвратно-поступательным перемещением заготовки. Подача $S_{\text{пр}}$ соответствует осевому перемещению заготовки за один ее оборот.

Вращение заготовки является движением круговой подачи. Подача $S_{\text{л}}$ на глубину резания происходит при крайних положениях заготовки.

Движения, осуществляемые при внутреннем шлифовании показаны на рис. 6.в.

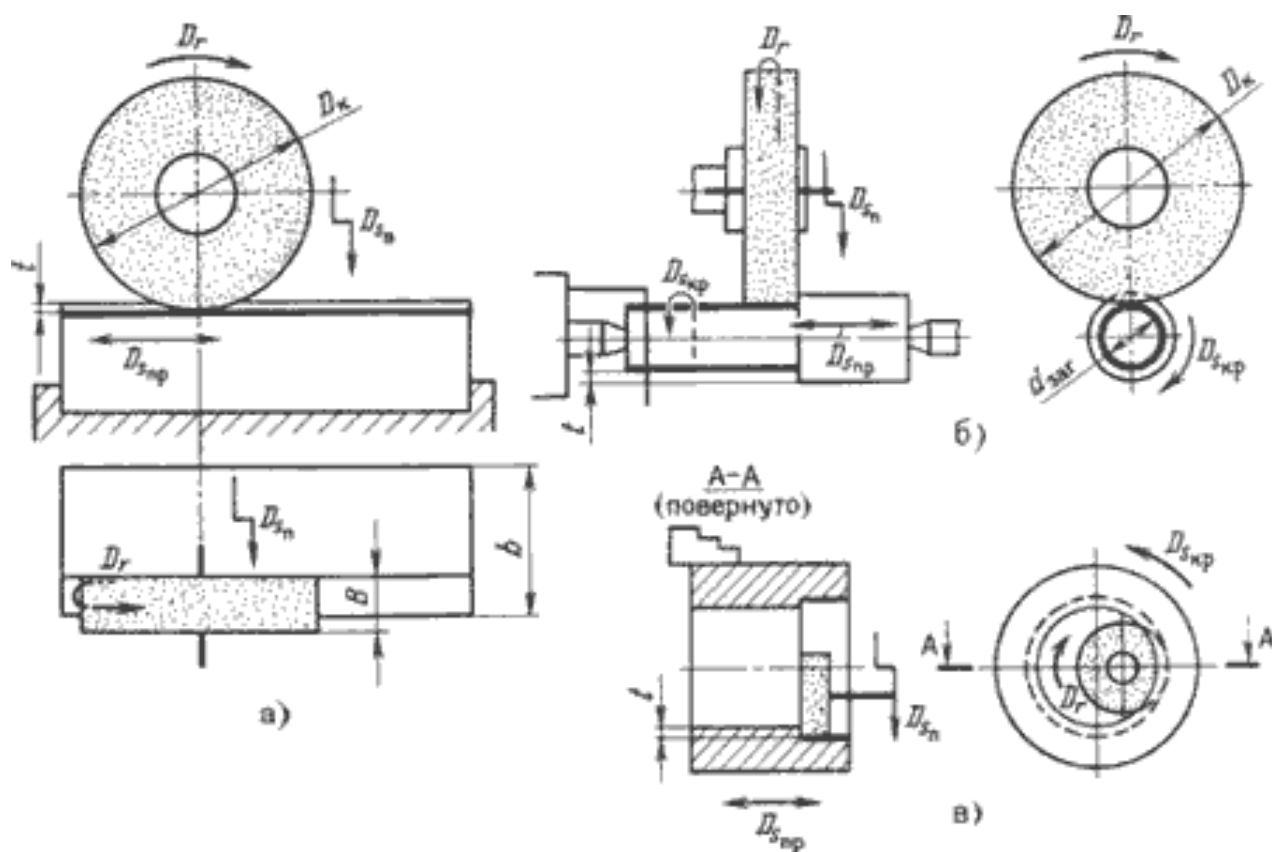


Рис. 6. Основные схемы шлифования.

Для выполнения процесса шлифования наружных поверхностей деталей используются кругло-шлифовальные, плоско-шлифовальные и бесцентрово-шлифовальные станки. Для обработки сложных фасонных поверхностей используются специальные ленто-шлифовальные станки.

В ленто-шлифовальных станках применяется инструмент в виде бесконечной абразивной ленты. Лента в процессе шлифования поверхности сложной формы (например: лопатки турбин) огибает сложную поверхность и перемещается в осевом и продольном направлениях.

Абразивный слой наносят на бумажную или тканевую основу ленты.

Шлифованием обрабатываются только жесткие детали, не формирующиеся в процессе обработки. Данный способ не допускает обработки малых отверстий.

Дальнейшее развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкции.

Выполнить эти требования можно при достижении особых качеств поверхностных слоев деталей.

Влияние качества поверхностных слоев на эксплуатационные свойства огромно, изменяются:

- износостойкость;
- коррозионная стойкость;
- контактная жесткость;
- прочность соединений и другие свойства.

С этой целью широко применяются отделочные методы обработки, для которых характерны малые силы резания, незначительное тепловыделение, малая толщина срезаемого слоя.