



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ
имени К.Г. Разумовского (ПКУ)**

Кафедра Системы автоматизированного управления

Практикум дисциплины

**Детали машин и цифровая среда
проектирования**

Москва – 2022

Содержание

Практическое занятие №1 (Модуль "Машиностроительные материалы").....	3
Практическое занятие №2 (Модуль "Разъемные соединения").....	11
Практическое занятие №3 (Модуль "Механические передачи").....	15
Практическое занятие №4 (Модуль "Конструкции и расчет валов и осей").....	24
Приложения.....	30

Практическое занятие №1

Модуль "Машиностроительные материалы"

Продолжительность занятия: 4 часа

Составьте письменные ответы по следующим заданиям:

1. Дайте определение «стали».
2. Опишите классификацию сталей по назначению.
3. Опишите классификацию сталей по содержанию углерода.
4. Приведите марки конструкционных углеродистых сталей обыкновенного качества.
5. Приведите марки конструкционных углеродистых качественных сталей.
6. Обозначения и свойства конструкционных легированных сталей.
7. Приведите марки и свойства коррозионностойких сталей.
8. Приведите марки и свойства тепло- и жаростойких сталей.
9. Приведите марки и свойства износостойких сталей.
10. Дайте определение «чугуна».
11. Опишите классификацию чугунов по цвету, назначению.
12. Опишите классификацию чугунов по прочности, по химическому составу.
13. Приведите марки серых чугунов.
14. Приведите марки высокопрочных чугунов.
15. Приведите марки ковких чугунов.
16. Приведите марки и свойства легированных чугунов.

Чистые металлы не во всех случаях имеют необходимую степень тех свойств, которые требуются для деталей, работающих в экстремальных условиях: под нагрузкой, в агрессивной среде или при высоких температурах. Например, чистое железо (Fe) имеет невысокие прочность $\sigma_B = 300$ МПа и коррозионную стойкость, что совершенно недостаточно для соответствия условиям эксплуатации современных машин; и высокие пластичность и температуру плавления 1539°C , но первое свойство оптимально для изготовления заготовок пластическим деформированием, а второе не оптимально для изготовления заготовок литьём.

К металлическим конструкционным материалам относят сплавы железа с другими элементами - стали и чугуны, а также, аналогично, сплавы магния, сплавы алюминия - дуралюмины и силумины, сплавы титана, сплавы меди - латуни и бронзы.

Сталь является наиболее широко применяемым сплавом ввиду своей экономичности в производстве, и ниже приведены определение этого термина и классификации её видов.

Сталью называют сплав железа (Fe) с углеродом (C), содержание углерода в котором не более 2,14% от общего объёма. Остальной объём сплава

занимают железо и различные полезные добавки (легирующие элементы) и вредные примеси.

По назначению стали бывают конструкционные, инструментальные и специальные. Названия говорят за себя:

конструкционные применяются для изготовления деталей машин, механизмов, изделий, а так же механических и строительных конструкций;

инструментальные - для инструментов мерительных, режущих, монтажных;

специальные стали: каждая из них имеет свои особые отличительные свойства, требующиеся в экстремальных условиях эксплуатации, таких как высокая температура, высокие нагрузки, агрессивная окружающая среда.

По химическому составу: углеродистые, которые состоят только из железа, углерода и какой-то доли вредных примесей, и легированные, в которые для улучшения свойств при плавке вводят легирующие элементы (в основном чистые металлы).

По содержанию углерода стали бывают низкоуглеродистые, среднеуглеродистые и высокоуглеродистые:

низкоуглеродистые - до 0,3 % С. Это - мягкие стали. Они имеют невысокую твёрдость и не поддаются термообработке, но хорошо свариваются, что обеспечивает прочность сварного шва на уровне основного металла деталей;

среднеуглеродистые - 0,3...0,7% С. Это - прочные стали. Они приобретают высокую прочность, среднюю твёрдость и

достаточную упругость после различных видов термической обработки (чем выше содержание углерода в стали, тем выше их твёрдость и упругость);

высокоуглеродистые - свыше 0,7% С. Это - твёрдые стали. Они приобретают высокую твёрдость и среднюю прочность после различных видов термообработки (чем больше содержание углерода, тем выше твёрдость), но с высокой твёрдостью появляется хрупкость.

По качеству

Под качеством понимают как можно меньшее содержание в сталях вредных примесей серы (придаёт стали красноломкость) и фосфора (придаёт стали хладноломкость): чем их меньше, тем ниже хрупкость стали в горячем и холодном состояниях.

По качеству стали делят на следующие категории:

обыкновенного качества, обладающие заниженной прочностью, значительной хрупкостью, но наиболее экономичные из всех видов сталей. Обозначается буквами «Ст» впереди цифры марки стали;

качественные, применяемые для общего машиностроения, так как имеют оптимальное сочетание высокой прочности, невысокой хрупкости и достаточной твёрдости и экономичности. Марка обозначается числом из двух цифр;

высококачественные, обладающие значительной прочностью и минимальной хрупкостью, но стоимость их на порядок выше. Обозначение, что

сталь является высококачественной, ставится в конце марки стали в виде прописной буквы «А» (если «А» в обозначении марки стали стоит впереди, то сталь - автоматная, то есть для обработки на металлорежущих станках-автоматах, она имеет повышенное содержание фосфора для хрупкости);

особовысококачественные - высокопрочные и нехрупкие, применяемые в медицине, самолётостроении и космонавтике, но и самые дорогие по стоимости. Обозначение, что сталь является особовысококачественной, ставится в конце марки стали в виде прописной буквы русского алфавита «Ш» и читается «ша» (если «Ш» в обозначении марки стали стоит впереди, то сталь -износостойкая (шарикоподшипниковая)).

Диаграммы состояния.

Диаграммой состояния называется графическое изображение, показывающее фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов в условиях равновесия.

В зависимости от температуры и концентрации углерода, железо-углеродистые сплавы имеют следующие составляющие: *аустенит, феррит, цементит, графит, перлит, ледебурит*. Основные свойства определяются содержанием углерода. Построение диаграммы железо-углерод даст представление о температурных и концентрационных границах существования данного сплава.

Линия ACD – линия **ликвидуса**. Выше неё сплав находится в жидком состоянии.

Линия AECF – линия **солидуса**. Ниже неё сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих линии AECF заканчивается первичная кристаллизация. В точке С при концентрации углерода 4,3% образуется эвтектика.

Линия PSK – эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс кристаллизации.

Линия PS – линия нижних критических точек (A_1)

Линия GSE – начало процесса вторичной кристаллизации твердого раствора.

Линия GS – линия верхних критических точек (A_3)

Линия SE – линия верхних критических точек (A_m). Показывает начало линии вторичного ценонгита.

Сталь в которой менее 0,8% углерода – *дозэвтектоидная* сталь, более – *заэвтектоидная* сталь.

Диаграмма железо-углерод используется для определения видов и интервалов термической обработки стали, температуры плавления и литейных свойств. Таким образом термическая обработка заключается в нагреве сплавов до определенной температуры, выдержки их при этой температуре, и последующим охлаждением с различной скоростью. При этом изменяется структура сплава, а следовательно и его свойства.

Изменяя режим термообработки можно получить различные физико-механические свойства и структуру сплава.

Основные операции термической обработки.

1. Отжиг
2. Нормализация
3. Закалка
4. Отпуск

Отжиг – фазовая перекристаллизация, нагрев до эвтектоидной стали – выше точки A_3 , заэвтектоидной стали – выше точки A_m с последующим охлаждением вместе с печью. Отжиг сжимает внутреннее напряжение, снижает твердость, повышает пластичность и устраняет химическую неоднородность.

Нормализация – нагрев выше точки A_m , охлаждение на воздухе. Проводят с целью измельчения зерна и увеличения прочности.

Закалка – нагрев выше точки A_3 и охлаждение в воде или масле. Приводит к повышению твердости и прочности. Регулируя скорость охлаждения стали из аустенитного состояния можно получить различные структуры: *мартенсит, троостит, сорбит, вторит*.

Нагрев ниже точки A_1 и медленное охлаждение применяют как сопутствующую операцию после закалки для получения устойчивых структур.

Температурный интервал при горячей обработке металла находится ниже линии солидуса на $100-150^\circ\text{C}$ (верхний предел) и выше линии критических точек A_3 на $25-50^\circ\text{C}$.

Температуру плавления определяют по линии ликвидуса.

Температура заливки должна быть выше линии на $100-150^\circ\text{C}$.

Влияние примесей на свойства железо-углеродистых сплавов

На свойства железо-углеродистых сплавов влияет наличие в них постоянных примесей (вредных – серы, фосфора, кислорода, азота, водорода и полезных – кремния, марганца и др.). Эти примеси могут попадать в сплав из природных соединений, т.е. из руд при плавке. Например: из металлического лома (углерод, сера, фосфор, никель), в процессе раскисления (кремний, марганец).

С увеличением содержания углерода возрастает твердость, прочность и уменьшается пластичность.

Сера легко образует плавкую эвтектику ($\text{FeS} + \text{Fe}$). При кристаллизации сплава легкоплавкая эвтектика располагается по границам зерен и при повторном нагреве расплавляется, в результате чего нарушается связь между зернами, что приводит к трещинам и надрывам – это называется красколомкостью.

Допустимое содержание серы – до 0,06%.

Фосфор искажает кристаллическую решетку и ухудшает пластические свойства сплавов. Фосфор вызывает явление хладостойкости. Допустимое содержание – до 0,8%.

Азот, кислород, водород присутствуют в сплавах или в составе хрупких неметаллических включений или в свободном состоянии. При этом они располагаются в дефектных местах в виде молекулярного и атомарного газов. Неметаллические включения служат концентраторами напряжений и могут снижать металлические свойства.

Водород поглощается сталью в атомарном состоянии. При охлаждении сплава растворимость водорода уменьшается и в молекулярной форме он накапливается в микропорах под высоким давлением. Таким образом водород может служить причиной образования внутренних надрывов (флокенов) в металле.

Кремний и марганец попадают в сплав при его выплавке в процессе раскисления. Оксид кремния SiO_2 связывает закись железа (FeO) в силикаты $\text{FeO} + \text{SiO}_2$ и удаляется вместе с шлаком. Кремний растворяется в фелуке, повышает предел текучести и уменьшает склонность к хладостойкости.

Марганец образует твердый раствор с железом и немного повышает твердость и прочность феррита. В присутствии серы он частично связывается с серой (сернистый марганец) и переходит в шлак. При содержании марганца более 1,5% снижаются пластические свойства стали. В сталях содержится обычно не более 0,4% кремния и не более 0,8% марганца.

Основы классификации сталей и их маркировка

Стали классифицируют по химическому составу, качеству и назначению.

По *химическому составу* классифицируют главным образом конструкционные стали. Конструкционные стали делят на *углеродистые* и *легированные*. Углеродистые могут быть высокоуглеродистыми $C \leq 0,45 \leq 0,75$ и низкоуглеродистыми $C \leq 0,09 \leq 0,25$. Легированные стали делят на низколегированные с содержанием легирующих элементов от 2,5% до 5% и высоколегированные – более 10%.

Качество стали определяется условиями металлургического процесса и содержанием в них вредных примесей.

Стали классифицируют на группы:

1. Стали обыкновенного качества (серы до 0,6%, фосфора до 0,7%)
Выплавляют в мартеновских печах и конвертерах.

2. Качественные стали: углеродистые или легированные. Сера – 0,035%, фосфор – 0,035%. Выплавляют в мартеновских печах.

Особо высококачественные стали плавят в электропечах с последующим электрошлаковым переплавом, вакуумно дуговым переплавом. Содержание серы и фосфора до 0,015%.

По *назначению* стали делятся на строительные, машиностроительные, инструментальные, машиностроительные специализированного назначения с особыми физическими и химическими свойствами (устойчивы к коррозии).

Конструкционные углеродистые стали обыкновенного качества

Судя по терминам, приведённым в названии подпункта 3.1, этот вид материала является, во-первых: сталью; во-вторых: углеродистой, то есть состоящей из железа и углерода; в третьих: конструкционной, что говорит об изготовлении из неё деталей машин и конструкций; в четвёртых: у неё обыкновенное качество, то есть заниженная прочность, значительная хрупкость, но, в то же время, и наибольшая экономичность. Применяют её для неответственных малонагруженных деталей машин и механизмов, а также в строительных конструкциях из-за относительной дешевизны и хорошей свариваемости. Выпускают в виде проката: прутков, балок, труб, уголков, листов, то есть изделий общего назначения.

Марки: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6.

Цифра марки - условный номер.

Имеют в маркировке три группы: А, Б, и В.

Группа А - сталь изготавливается с гарантированными механическими свойствами (буква А в марке не указывается).

Группа Б - с гарантированным химическим составом. Обозначение: БСт0, БСт1 и так далее.

Группа В - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом. Обозначение: ВСт0, ВСт1 и так далее.

Конструкционные углеродистые стали качественные

Судя по терминам, приведённым в названии подпункта 3.2, материал является, во-первых: сталью; во-вторых: углеродистой, то есть состоящей из железа и углерода; в третьих: конструкционной, что говорит об изготовлении из неё деталей машин и конструкций; в четвёртых: она качественная, а это гарантирует оптимальное сочетание высокой прочности, невысокой хрупкости и достаточной твёрдости и экономичности, что обуславливает её применение в широких масштабах машиностроительного производства для ответственных нагруженных деталей. Выпускают в виде проката: прутков, балок, круга, уголков, листов, сложных профилей; а также литых и подвергнутых пластической деформации изделий.

Марки: сталь 05, 08, 10, 15, 20 и так далее до стали 65.

Число марки - содержание углерода в стали в сотых долях процента.

Стали марок от 05 до 30 - содержат мало углерода, поэтому мягкие и обладают высокой свариваемостью, но не поддаются термообработке закалкой. Применяются для сварных конструкций, неответственных деталей: слабонагруженных валов и осей, прокладок, стенок, крышек, шайб, шплинтов, гвоздей и тому подобное.

Стали марок от 35 до 55 - после термообработки прочны, тверды, мало хрупки. Применяются для ответственных деталей машин и механизмов с

высокими нагрузками: валы, оси, шестерни, кулачки, вилки, рычаги, клинья и тому подобное. Удовлетворительно свариваются.

Стали марок 60 и 65 - после термообработки прочны, тверды, упруги, но приобретают хрупкость. Не свариваются. Применяются для ответственных деталей с упругими свойствами: пружин, рессор.

Конструкционные стали с содержанием углерода свыше 0,7% не производят, так как такое содержание углерода обуславливает слишком высокую твёрдость и значительную хрупкость, что не позволяет изготавливать из них детали машин. Такие стали относят к инструментальным.

Инструментальные углеродистые стали

Судя по терминам, приведённым выше, материал является, во-первых: высокоуглеродистой сталью, то есть состоящей только из железа и углерода, во-вторых: инструментальной, что говорит об изготовлении из неё инструментов либо режущих (свёрла, пилы), либо мерительных (калибры - однозначные меры для одного размера), либо монтажных (монтажки, молотки), и, в третьих: она может являться только или качественной, или высококачественной.

Марки: У7, У7А, У7Г; У8, У8А и так далее до У13, У13А.

У - означает, что сталь инструментальная углеродистая. Число - содержание углерода в десятых долях процента. Так в стали У7 содержится 0,7% углерода, а в стали У13 - 1,3%.

Термостойкость относительно остальных режущих инструментальных материалов невысокая - 200 °С, твёрдость HRC 60, поэтому этот класс сталей применяют для ручного ударного и режущего инструмента. Технологическое свойство «свариваемость» находится практически на нулевом уровне вследствие высокого содержания углерода.

Применение:

У7, У8 - зубила, молотки, плоскогубцы, кусачки, стамески;

У9, У10, - измерительный и монтажный инструмент;

У11 - ножовочные полотна, свёрла, развертки;

У12, У13 - напильники.

Чугуны

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержание углерода в котором более 2,14% от общего объёма. Остальной объём сплава занимают железо и различные полезные добавки (легирующие элементы) и вредные примеси.

Вследствие более высокого содержания углерода чугун отличается от стали по своим механическим свойствам отсутствием пластичности, то есть его невозможно обрабатывать пластическим деформированием (ковать и т. п.).

По цвету в изломе образца чугуны бывают серые (углерод в них находится в виде свободного графита) и белые (углерод в них находится в виде химического соединения с железом -цементита Fe_3C , имеющего белый цвет).

По назначению серые чугуны - конструкционные, а белые -передельные (для переделки в сталь).

По прочности конструкционные чугуны классифицируются на серые (невысокой прочности), высокопрочные (имеют высокую прочность) и ковкие (имеют высокую прочность и некоторую пластичность).

По химическому составу конструкционные чугуны бывают: углеродистые, которые состоят только из железа и углерода и легированные, в которые для улучшения свойств при плавке вводят легирующие элементы (в основном чистые металлы).

Серые - марки СЧ10, СЧ15 и так далее до СЧ40. Прописные буквы русского алфавита обозначают: «С» - серый, «Ч» -чугун; число - предел прочности на растяжение в кгс/мм .

Высокопрочные - марки СЧ45, ВЧ50 и так далее до ВЧ80, ВЧ100. Буквы обозначают «В» - высокопрочный, «Ч» - чугун, число - предел прочности на растяжение в кгс/мм .

Ковкие - марки КЧ30-6...КЧ80-1,5. Буквы обозначают «К» -ковкий, «Ч» - чугун, первое число - предел прочности на растяжение в кгс/мм², второе - относительное удлинение в %. Термин «ковкие» не означает возможность пластически деформировать, так как их пластичность незначительна и не позволяет ковать даже при нагреве до температуры плавления.

В процессе расчётов деталей из конструкционного чугуна на прочность требуется перевод единиц измерения «кгс/мм » в «МПа», так как справочные данные приводятся в Н/мм², что равно МПа, для чего следует число, обозначенное в марке чугуна, умножить на 10. Например: 10 кгс/мм =100 МПа.

Для улучшения свойств конструкционные чугуны при плавке легируют чистыми металлами.

Легированные конструкционные чугуны имеют специальные свойства (к марке чугуна «Ч» добавляется буква, обозначающая легирующий элемент и его процентное содержание), например:

ЧХ22 - хромистый (жаро-, коррозионно-, износостойкий);

ЧС5Ш - кремнистый (коррозионно-, окалиностойкий);

ЧЮ22Ш - алюминистый (жаро-, износостойкий);

ЧГ8ДЗ - марганцовистый (немагнитный, износостойкий);

ЧН19ХЗШ - никелистый (немагнитный, коррозионно-, хладостойкий, жаропрочный).

Из чугунов всех видов литьём и обработкой резанием изготавливают массивные неподвижные детали сложной формы: корпуса редукторов, станины станков и прессов и т. п.

Практическое занятие №2

Модуль "Разъемные соединения"

Тема: «Расчет резьбовых соединений»

Цель занятия: Повторение и закрепление лекционного материала по разъемным соединениям, в частности, резьбовым соединениям. Выработка навыков расчетов резьбовых соединений и анализ результатов расчетов.

Продолжительность занятия: 2 часа

Составьте письменные ответы по следующим заданиям:

- 1) Укажите основные требования к разъемным соединениям.
- 2) Перечислите основные типы резьб и сферы их применения.
- 3) Укажите основные параметры резьб и их определения.
- 4) Перечислите основные типы крепежных деталей.
- 5) Перечислите типовые случаи нагружения болта.
- 6) По каким напряжениям рассчитывают резьбу?
- 7) Какое напряжение является главным для крепежных и ходовых резьб?

Задача. Определить силу $F_{\text{зат}}$, которую необходимо приложить к стандартному ключу при завинчивании гайки до появления в стержне болта напряжений, равных пределу текучести $\sigma_T = 200$ МПа (сталь 10). Определить также напряжения смятия $\sigma_{\text{см}}$ и среза τ в резьбе. Расчет выполнить для болтов М6 и М24 и сравнить полученные результаты. Длину ручки стандартного ключа в среднем принять $l = 15d$, коэффициент трения в резьбе и на торце гайки $f = 0,15$.

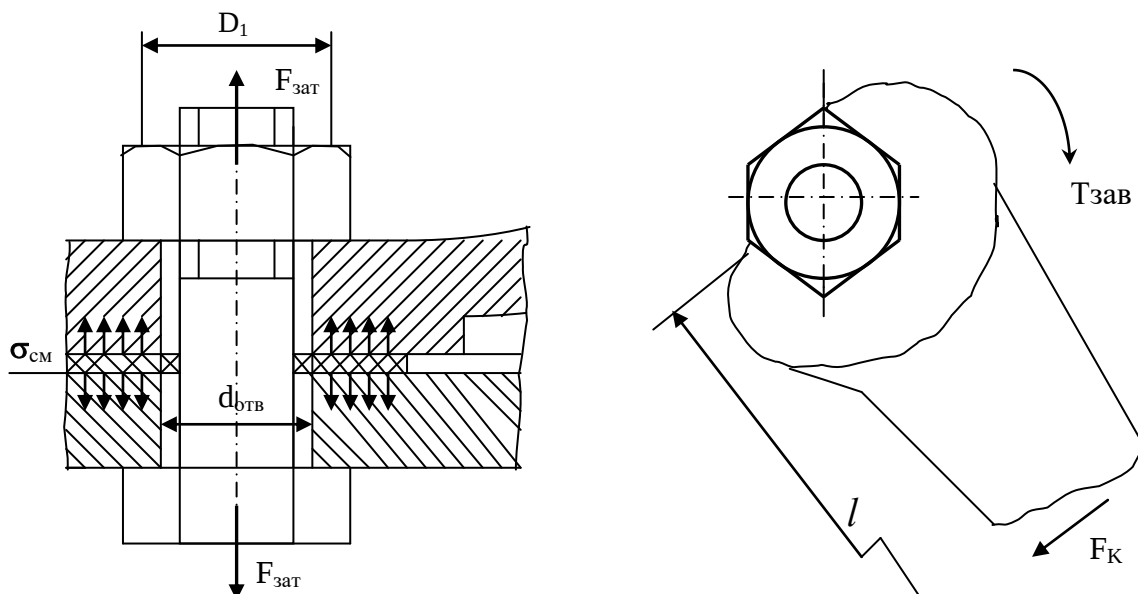


Рис. 2

Методические рекомендации по выполнению задания.

- составить расчетную схему с указанием нагрузки и напряжений, возникающих в соединении;
- собрать данные по параметрам рассчитываемых резьб;
- определить нагрузку, возникающую при затяжке болта гаечным ключом;
- вычислить напряжения, действующие в резьбе под влиянием нагрузки;
- сравнить результаты расчетов для болтов с разным диаметром резьбы.

Данный алгоритм реализуем в решении задачи.

1. Расчетная схема соединения приведена на рис.2. При затяжке ключом резьбы болта и отсутствии внешней нагрузки, например для крепления герметичных крышек корпусов пищевых машин, стержень болта растягивается осевой силой $F_{зат}$ и закручивается моментом сил в резьбе T_p . В результате возникает сложное напряженное состояние резьбы, которая подвергается воздействию нормальных напряжений смятия и касательных среза.

2. Используя таблицы стандартов, находим необходимые для расчетов размеры (табл.1).

Таблица 1

Размеры болта, мм	М6	М24	М36
1	2	3	4
Наружный диаметр резьбы d	6	24	36
Внутренний диаметр резьбы d_1	4,918	20,752	31,670
Средний диаметр резьбы d_2	5,350	22,051	33,402
Шаг резьбы p	1	3	4
Высота профиля h	0,541	1,624	2,165
Высота гайки H	5	19	29
Наружный диаметр опорного торца гайки D_1	9,5	34	52
Число витков гайки z	5	6,35	7
Угол подъема резьбы ψ	3° 24'	2° 30'	2° 12'

3. Под влиянием нагрузки в резьбе возникает сложное напряженное состояние, и прочность болта определяют по эквивалентному напряжению, которое рассчитывают по формуле

$$\sigma_{эк} = 1,3F_{зат} / [(\pi / 4)d_1^2].$$

Из этой формулы выражаем силу затяжки $F_{зат}$, при которой эквивалентное напряжение в стержне болта равно по условию σ_T , тогда для болта М6 имеем:

$$F_{зат} = \pi d_1^2 \sigma_{эк} / (4 \cdot 1,3) = 3,14 \cdot 4,9^2 \cdot 200 / (4 \cdot 1,3) = 2900 \text{ Н}.$$

4. Момент завинчивания определяем по формуле

$$T_{зав} = 0,5 F_{зат} d_2 [(D_{ср} / d_2) f + tg(\psi + \varphi)].$$

$$T_{зав} = 0,5 \cdot 2900 \cdot 5,35 [(8 / 5,35) \cdot 0,15 + tg(3^\circ 24' + 9^\circ 50')] = 1740 + 1760 = 3500 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Здесь принято, что диаметр отверстия в соединяемых деталях

$$d_{отс} = d + 0,5 = 6,5 \text{ мм};$$

средний диаметр торца гайки определен по формуле

$$D_{ср} = D_1 + d_{отс} = 0,5(9,5 + 6,5) = 8 \text{ мм};$$

приведенный коэффициент трения в резьбе $f_{пр}$ выражен через действительный коэффициент трения в резьбе f по формуле

$$f_{пр} = f / \cos \gamma = 0,15 / \cos 30^\circ = 0,173;$$

угол $\gamma = \alpha/2$, т.е. половине угла профиля резьбы $\alpha=60^\circ$ для метрических резьб; угол трения в резьбе $\varphi = \arctg f_{пр} = 9^\circ 50'$.

5. Силу F_K , приложенную к ключу с длиной рукоятки $l = 15d$, определяем по формуле $F_K = T_{зав} / l = 3500 / 15,6 \approx 39 \text{ Н}$ (выигрыш в силе $F_{зат} / F_K = 2900 / 39 \approx 74$ раза).

6. Напряжения в резьбе при $F = F_{зат}$ вычисляем по формулам:

- напряжение смятия

$$\sigma_{см} = F / (\pi d_2 h z) = 2900 / (3,14 \cdot 5,35 \cdot 0,54 \cdot 5) \approx 64 \text{ МПа};$$

- напряжение среза

$$\tau = F / (\pi d_1 H K K_m) = 2900 / (3,14 \cdot 4,9 \cdot 5 \cdot 0,87 \cdot 0,6) \approx 72 \text{ МПа}.$$

Здесь принято, что коэффициент полноты резьбы $K \approx 0,87$ для треугольных резьб; коэффициент неравномерности нагрузки по виткам резьбы $K_m = 0,6$.

Результаты расчетов для болтов М6 и М24 приведены в табл.2.

Таблица 2

Силовые параметры при затяжке болтов до напряжения в стержне болта $\sigma_{эк} = 200 \text{ МПа}$ (сталь 10)	Болт	
	М6	М24
Сила затяжки $F_{зат}$, Н	2900	51425
Момент завинчивания $T_{зав}$, Н м	3,5	239
Сила на ключе F_K , Н	39	664
Выигрыш в силе $F_{зат} / F_K$	74	77
Напряжения смятия в резьбе $\sigma_{см}$, МПа	64	70
Напряжения среза в резьбе τ , МПа	72	79

Сравнение результатов расчетов позволяет отметить, что резьбу болтов малого диаметра, например М6, можно легко разрушить, т.к. человек может приложить к ключу силу F_k до 200 Н, а нагрузочная способность болта большого диаметра, например М24, трудно использовать полностью. Напряжения смятия в резьбе меньше, чем напряжения среза.

Индивидуальное задание.

Решить задачу аналогичную рассмотренной выше. Расчеты провести для болта М36. Параметры резьбы приведены в таблице 1 строка 4.

Отчет по практическому занятию.

Студент должен приобрести прочные знания по устройству и конструированию разъемных соединений, а также устойчивые навыки расчета резьбовых соединений деталей машин.

Практическое занятие №3

Модуль "Механические передачи"

Тема: «Расчет кинематических цепей»

Цель занятия: Повторение и закрепление лекционного материала по механическим передачам. Выработка навыков расчетов кинематических параметров групп механических передач.

Продолжительность занятия: 4 часа

Составьте письменные ответы на следующие вопросы:

1. Для чего необходимы механические передачи?
2. По каким признакам классифицируют передачи?
3. Какие виды передач получили наибольшее распространение и каковы их основные характеристики?
4. Что такое передаточное отношение?
5. Каковы главные достоинства зубчатых передач по сравнению с другими механическими передачами?
6. Какие различают виды зубчатых колес и каковы области их применения?
7. Почему наибольшее распространение получили зубчатые передачи с эвольвентным профилем боковых поверхностей зубьев?
8. Что такое шаг и модуль зубчатого колеса?
9. Какое максимальное передаточное отношение позволяет получить одна пара зубчатых колес в зависимости от ее вида?
10. Какими достоинствами и недостатками обладают червячные передачи по сравнению с зубчатыми?
11. Каковы области применения червячных передач?
12. Какая существует зависимость между передаточным отношением, числом заходов червяка и количеством зубьев червячного колеса?
13. Приведите пример кинематической схемы металлорежущего станка.

ПЕРЕДАЧИ, ИХ ОБОЗНАЧЕНИЕ НА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМАХ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

В станках и машинах движения рабочих органов осуществляются с помощью приводов. **Приводом называется механизм (система механизмов), передающий движение от источника движения (электродвигателя, двигателя внутреннего сгорания) к тому или иному органу станка.**

Движение рабочих органов, как правило, вращательное или поступательное. Первичное движение приводов всегда вращательное. Вращательное движение передается с помощью ременных, зубчатых, цепных, червячных и других передач. **Передачей называется механизм, передающий и преобразующий движение от одного элемента к другому.**

Для осуществления поступательного (прямолинейного) движения необходимо преобразовать вращательное движение в поступательное при помощи соответствующих передач и механизмов: винта с гайкой, реечной передачи, кривошипно-шатунного механизма и т.д.

Совокупность всех передач привода изображается в виде его кинематической схемы. Она представляет в развернутом на плоскость и упрощенном виде взаимное расположение основных элементов передач привода, показывает возможные положения каждого из этих элементов и пути передачи движения от первого в кинематической цепи элемента к последнему.

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕДАЧ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМАХ

1 Вал, ось, стержень и т. п.

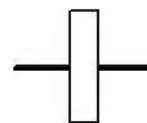


2. Подшипники (качения, скольжения без уточнения типа)

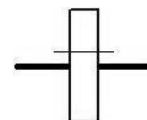


3. Соединение детали с валом:

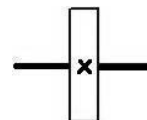
а) свободное (холостое)



б) подвижное



в) неподвижное (глухое)



4. Соединение двух валов:

а) жесткое (глухое)



б) эластичное

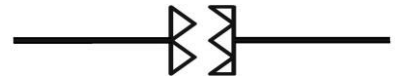


в) шарнирное



5. Муфты сцепления кулачковые(зубчатые):

а) односторонние



б) двусторонние



6. Муфты сцепления фрикционные;

а) общее обозначение (без уточнения типа)



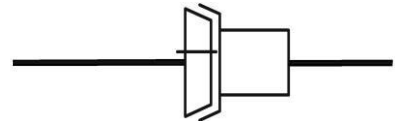
б) односторонние



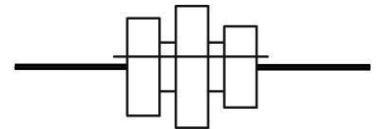
в) двусторонние (общее обозначение)



г) конические

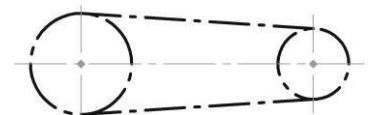
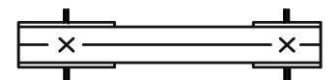
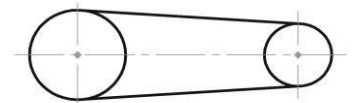


7. Тройной блок шестерен, установленный на валу подвижно

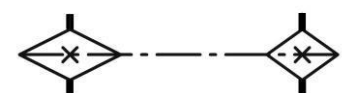


8.

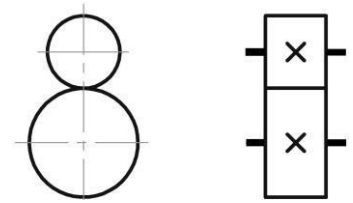
Передача ремнем (ременная)



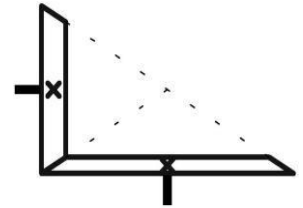
9. Передача цепью (цепная)



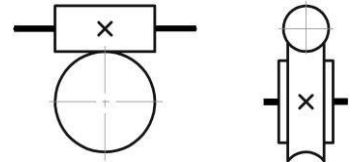
10. Передача зубчатая цилиндрическая



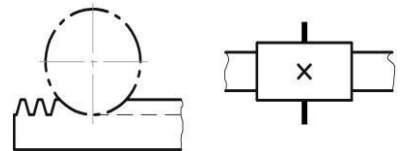
11. Передача зубчатая коническая



12. Передача червячная



13. Передача зубчатая реечная

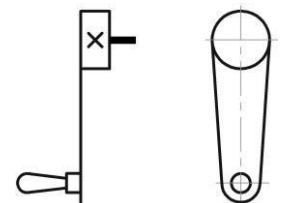


14. Передача винтовая (винт с гайкой)

а) неразъемная гайка
б) разъемная гайка



15. Рукоятка



16. Электродвигатель (мотор)

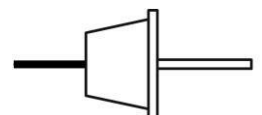


17. Концы шпинделей станков

а) токарных



б) фрезерных



2. ПРИВОДЫ С ВРАЩАТЕЛЬНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В приводах механизмов передача вращения от ведущего вала к ведомому может осуществляться с помощью ременной, зубчатой цепной или червячной передачи — рис. 2.1 — 2.4

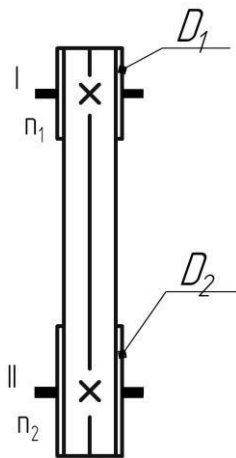


Рис.2.1.

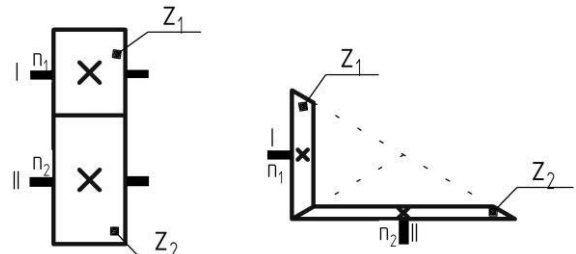


Рис. 2.2.



Рис.2.3.

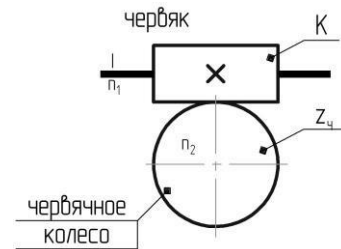


Рис.2.4.

На приведенных рисунках приняты следующие обозначения:

- I - ведущий вал;
- II - ведомый вал;
- n_1 - частота вращения ведущего вала;
- n_2 частота вращения ведомого вала;
- D_1 - диаметр ведущего шкива;
- D_2 - диаметр ведомого шкива.
- z_1 - число зубьев ведущего колеса;
- z_2 число зубьев ведомого колеса;
- $z_{\text{ч}}$ - число зубьев червячного колеса;
- K - число заходов червяка.

При расчете кинематических цепей частота вращения ведущего вала I (n_1) задается частотой вращения вала электродвигателя.

Частота вращения ведомого вала II (n_2) определяется по следующим выражениям:

$$\text{Для ременной передачи: } n_2 = n_1 \cdot \frac{D_1}{D_2}$$

$$\text{Для зубчатой и цепной передачи: } n_2 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2}$$

Для червячной передачи:

$$n_2 = n_1 \cdot K/Z_{\text{ч}}$$

3. ПРИВОДЫ ДЛЯ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

3.1. Реечная передача

При вращении реечной шестерни (рис.3.1) рейка перемещается в прямолинейном направлении. Величина перемещения рейки L , мм за каждый оборот шестерни определяется выражением

$$L = \pi \cdot d = \pi \cdot m \cdot z_p, \quad (1)$$

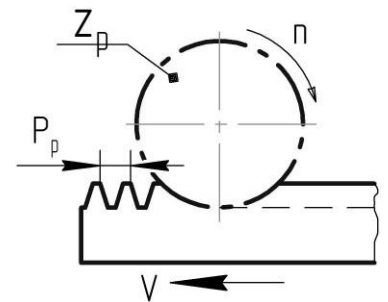
где d - диаметр делительной окружности реечной шестерни, мм ($d = P_p + z_p$);

m - модуль реечной шестерни, равный отношению диаметра делительной окружности d к числу ее зубьев z_p ;

P_p - шаг зубьев шестерни (рейки);

z_p - число зубьев реечной шестерни.

При n оборотах реечной шестерни в минуту скорость перемещения рейки V мм/мин определяется по выражению Рис 3.1.



$$V = \pi \cdot m \cdot z_p \cdot n, \quad (2)$$

3.2. Винтовая пара

За один оборот винта (гайки) происходит перемещение гайки (винта), равное шагу винта $P_{\text{хв}}$ (рис.3.2). Скорость перемещения гайки (винта) определяется по выражению

$$V = P_{\text{хв}} \cdot n_{\text{в}} \quad (3)$$

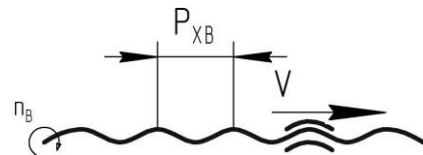
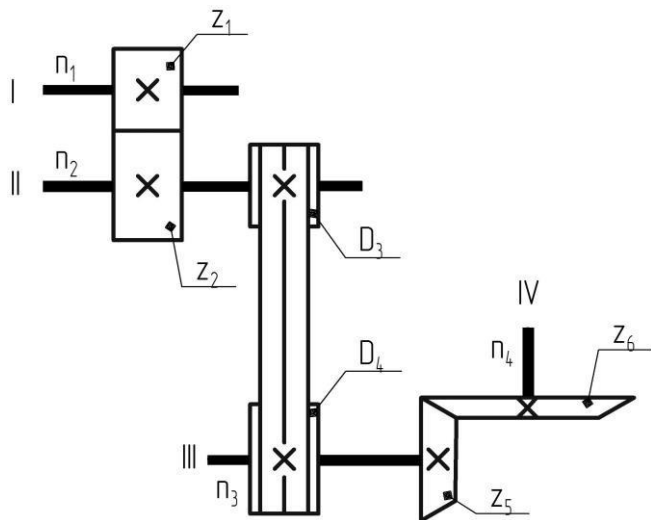


Рис. 3.2.

4. РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Передаточным отношением передачи называется отношение числа зубьев (диаметра) ведущего колеса (шкива, звездочки) к числу зубьев (диаметру) ведомого.

Полное передаточное отношение кинематической цепи равно произведению передаточных отношений всех элементарных передач, входящих в цепь. Зная частоту вращения ведущего вала и имея кинематическую цепь можно определить частоту вращения любого вала в цепи. Например, для цепи, показанной на рис. 4.1



$$n_2 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2}; \quad (4)$$

$$n_3 = n_2 \cdot \frac{D_3}{D_4} = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{D_3}{D_4}; \quad (5)$$

$$n_4 = n_3 \cdot \frac{z_5}{z_6} = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{D_3}{D_4} \cdot \frac{z_5}{z_6} \quad (6)$$

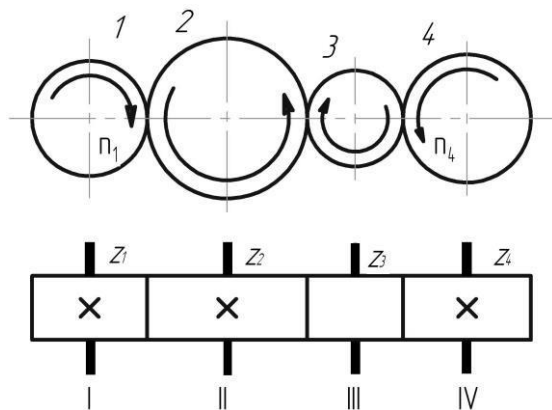
Из приведенных выражений видно, что частоту вращения последнего вала в цепи можно определить, последовательно

Рис.4.1

умножая частоту вращения первого вала на передаточные отношения входящих в цепь элементарных передач.

Когда зубчатые колеса располагаются в ряд (рис.4.2), частота вращения последнего вала определяется числом зубьев колес, сидящих на первом и последнем валу. Действительно, для рассматриваемой кинематической цепи можно записать, что

$$n_4 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot \frac{z_3}{z_4} \quad \text{или после сокращения (7)}$$



$$n_4 = n_1 \cdot \frac{z_1}{z_4} \quad (8)$$

Колесо 2, жестко закрепленное на валу II и колесо 3, свободно установленное на оси III. только лишь изменяют направление вращения последнего колеса 4 (и вала IV).

Рис.4.2.

ПРИМЕР расчета кинематической цепи коробки скоростей станка

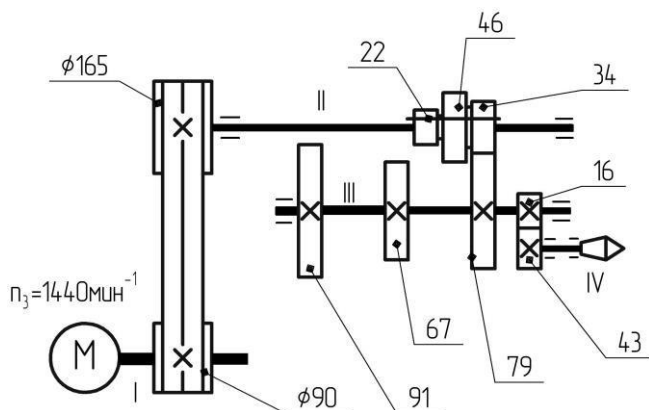


Рис.4.3.

Требуется определить:

1. Количество скоростей шпинделя станка (вала IV) (рис.4.3).

2. Минимальную и максимальную частоту вращения шпинделя $n_{\min}$ и n

РЕШЕНИЕ

Вал I имеет одну скорость, равную частоте вращения вала электродвигателя, т.е. 1440 мин^{-1} . Этому соответствует одна точка на линии вала I на рис.4.4. Вал II также имеет одну скорость вращения, так как вращение на него передаётся только одним путем - ременной передачей (90:165) Этому соответствует одна линия связи (90:165) между валами I и II на рис. 4.4. Следовательно, можно записать:

$$n_{II} = n_I \cdot \frac{90}{165} \quad (9)$$

Вал III получает вращение от вала II тремя путями (вариантами) через зубчатые пары 22 : 91, 46 : 67, 34 : 79, откуда следует, что вал III имеет три скорости вращения, чему соответствует три (расходящиеся) линии связи между валами II и III на рис. 4.4 - на линии вала III три точки и, следовательно, можно записать:

$$n_{III} = n_{II} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 22/91 \\ 46/67 \\ 34/79 \end{array} \right\} \Rightarrow \text{1-я, 2-я и 3-я скорости 3-го вала} \quad (10)$$

Три скорости вала III передаются на вал IV только одним путем - через зубчатую пару 16: 43, откуда следует, что вал IV имеет три скорости вращения, чему соответствуют три (параллельные) линии связи между валами III и IV - три точки. Следовательно, можно записать:

$$n = \left\{ \begin{array}{l} n_{III1} \\ n_{III2} \\ n_{III3} \end{array} \right\} \cdot \frac{16}{43} = n_{IV1} - n_{IV2} - n_{IV3} \Rightarrow \text{1-я, 2-я и 3-я скорости 4-го вала} \quad (11)$$

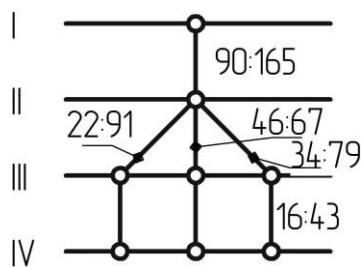


Рис. 4.4

Для придания шпинделю наименьшей скорости вращения блоки зубчатых колес вводятся в зацепление так, чтобы ведущее колесо было с наименьшим числом зубьев. В рассматриваемом примере шпиндель получит наименьшую скорость, если из трех колес на валу II ведущим будет колесо с числом зубьев 22. Следовательно, минимальная частота вращения шпинделя (4-го вала) определится по следующей кинематической цепи:

$$n_{IVmin} = 1440 \cdot \frac{90}{165} \cdot \frac{22}{91} \cdot \frac{16}{43} = 71 \text{ мин}^{-1} \quad (12)$$

Если шпинделю необходимо придать наибольшую скорость вращения, то блоки зубчатых колес вводятся в зацепление так, чтобы ведущее колесо было с наибольшим числом зубьев. В рассматриваемом примере шпиндель получит наибольшую частоту вращения, если из трех колес блока шестерен на валу II ведущим будет колесо с числом зубьев 46. Следовательно, максимальная частота вращения шпинделя определится по выражению

$$n_{IV_{\max}} = 1440 \cdot \frac{90}{165} \cdot \frac{46}{67} \cdot \frac{16}{43} = 201_{\text{мин}}^{-1} \quad (13)$$

5. ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

5.1. Изучить передачи, их обозначение на кинематических схемах и примеры расчетов.

5.2. Законспектировать основные положения.

5.3. Изобразить кинематические схемы передач и механизмов по заданию преподавателя.

5.4. По кинематической схеме, выданной преподавателем, определить количество скоростей шпинделя и рассчитать наибольшую и наименьшую частоту его вращения с составлением расчетного уравнения кинематической цепи. (Это задание является зачетным).

Практическое занятие №4

Модуль "Конструкции и расчет валов и осей"

Тема: «Расчет валов на выносливость»

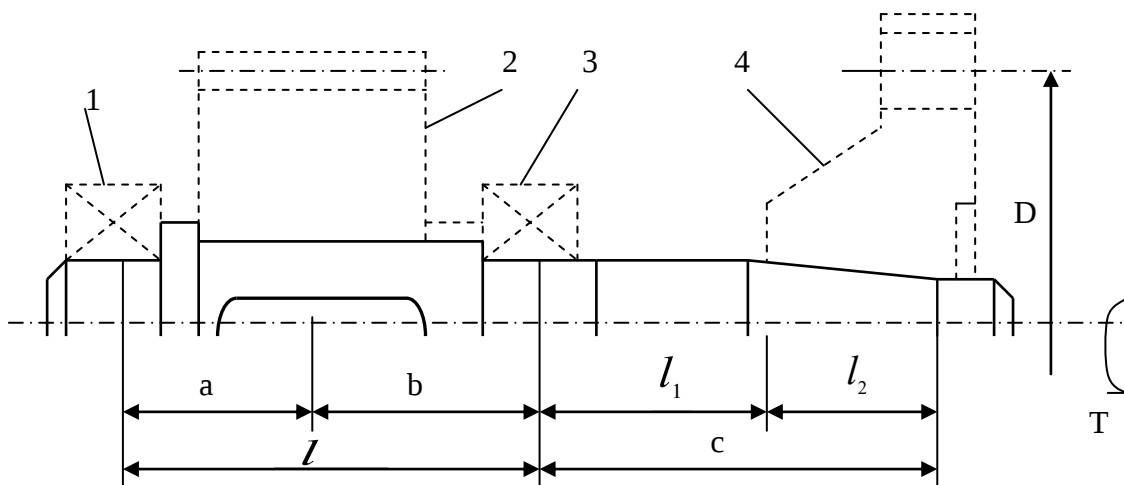
Цель занятия: Закрепление лекционного материала по расчетам валов и выработка навыков проведения расчета вала на выносливость.

Продолжительность занятия: 6 часов

Составьте письменные ответы по следующим заданиям:

- 1) Опишите причины того, почему расчет вала разделяют на два этапа: проектный и проверочный.
- 2) Перечислите задачи проектного расчета валов.
- 3) Как составляют расчетную схему вала при проверочном расчете?
- 4) Почему вал рассчитывают на усталость даже при постоянной нагрузке?
- 5) Какие факторы влияют при определении запаса сопротивления усталости вала, и по каким напряжениям его рассчитывают?
- 6) Каковы задачи проверочного расчета вала на статическую прочность и жесткость вала?
- 7) Приведите причины использования муфт.
- 8) Приведите классификацию механических муфт.
- 9) Перечислите виды несоосностей валов, и какие муфты их уменьшают.
- 10) Перечислите наиболее распространенные упругие муфты?
- 11) Перечислите принципы подбора упругих муфт.
- 12) Перечислите виды напряжений, по которым проверяют упругие муфты.

Задача. Выполнить проверочный расчет вала и его опор (см. рис.3): $T = 645 \text{ Н}\cdot\text{м}$, $n = 200 \text{ мин}^{-1}$, ширина шестерни – 100 мм, ее диаметр $d_1 = 200 \text{ мм}$ ($z = 40$, $m = 5$), $\beta = 8^\circ$; на выходном конце вала установлена упругая пальцевая муфта; материал вала - сталь 45, улучшенная, $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$, $\sigma_T = 450 \text{ МПа}$. Срок службы длительный, нагрузка близка к постоянной, допускается двухкратная кратковременная перегрузка.



1,3 - подшипники; 2 - шестерня; 4 - полумуфта.

Рис. 3

Методические рекомендации по выполнению.

- провести анализ конструкции вала;
- выполнить силовой расчет зацепления;
- составить расчетную схему вала;
- определить реакции опор и построить эпюры изгибающих и крутящих моментов;
- определить запасы прочности в опасных сечения вала;
- проверить статическую прочность вала при перегрузках.

Данный алгоритм реализуем в следующем решении задачи:

1. В результате проектного расчета вала разработана его конструкция и оценены размеры: диаметр в месте посадки шестерни $d_{ш} = 65$ мм; диаметр в месте посадки подшипников $d_{п} = d_{ш} - 5 = 60$ мм; диаметр в месте посадки муфты $d_{м} = d_{п} - 5 = 55$ мм; $l = 160$ мм; $a = b = 80$ мм; $c = 170$ мм; $D = 140$ мм (см. рис. 3).

2. Определяем допускаемую радиальную нагрузку на выходном конце вала, полагая, что редуктор может быть использован как редуктор общего назначения: $F_m = 250\sqrt{T} = 250\sqrt{645} = 6350$ Н.

Вычисляем силы в зацеплении по формулам:

- окружная $F_t = 2T / d_1 = 2 \cdot 645 \cdot 10^3 / 200 = 6450$ Н;
- осевая $F_a = F_t \tan \beta = 6450 \cdot 0,1450 = 900$ Н;
- радиальная $F_r = F_t \tan \alpha / \cos \beta = 6450 \cdot 0,364 / 0,9903 = 4200$ Н.

3. Составляем расчетную схему вала (см. рис. 4). Учитывая наклон зуба шестерни и направление момента T , левую опору заменяем шарнирно-неподвижной, а правую – шарнирно-подвижной опорами. Расчетные нагрузки считаем сосредоточенными. Вал нагружен силами: окружной, осевой и радиальной, которые прикладываем на расстоянии радиуса делительной окружности шестерни $d_1/2$. Вал также нагружен крутящим моментом на полумуфте T . Направление окружной силы на полумуфте F_m выбирают так, чтобы она увеличивала напряжения и деформации от окружной силы F_t (худший случай).

На рис. 4б, г силы в зацеплении приведены к оси вала и изображены раздельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. При этом возникают пары сил, равные $T = 0,5 F_t d_1$ и момент $M = 0,5 F_a d_1$.

4. Определяем реакции в опорах и строим эпюры изгибающих и крутящих моментов (см. рис. 4,в,д,е). Рассмотрим реакции от сил F_r и F_a , действующих в вертикальной плоскости. Сумма проекций имеет вид:

$$F_r = R_{yA} + R_{yB}; \quad F_a = R_{xA}.$$

Сумма моментов относительно левой опоры $R_{yB} l = F_r l / 2 - F_a d_1 / 2$.

При этом $R_{yB} = F_r / 2 - F_a d_1 / (2l)$;

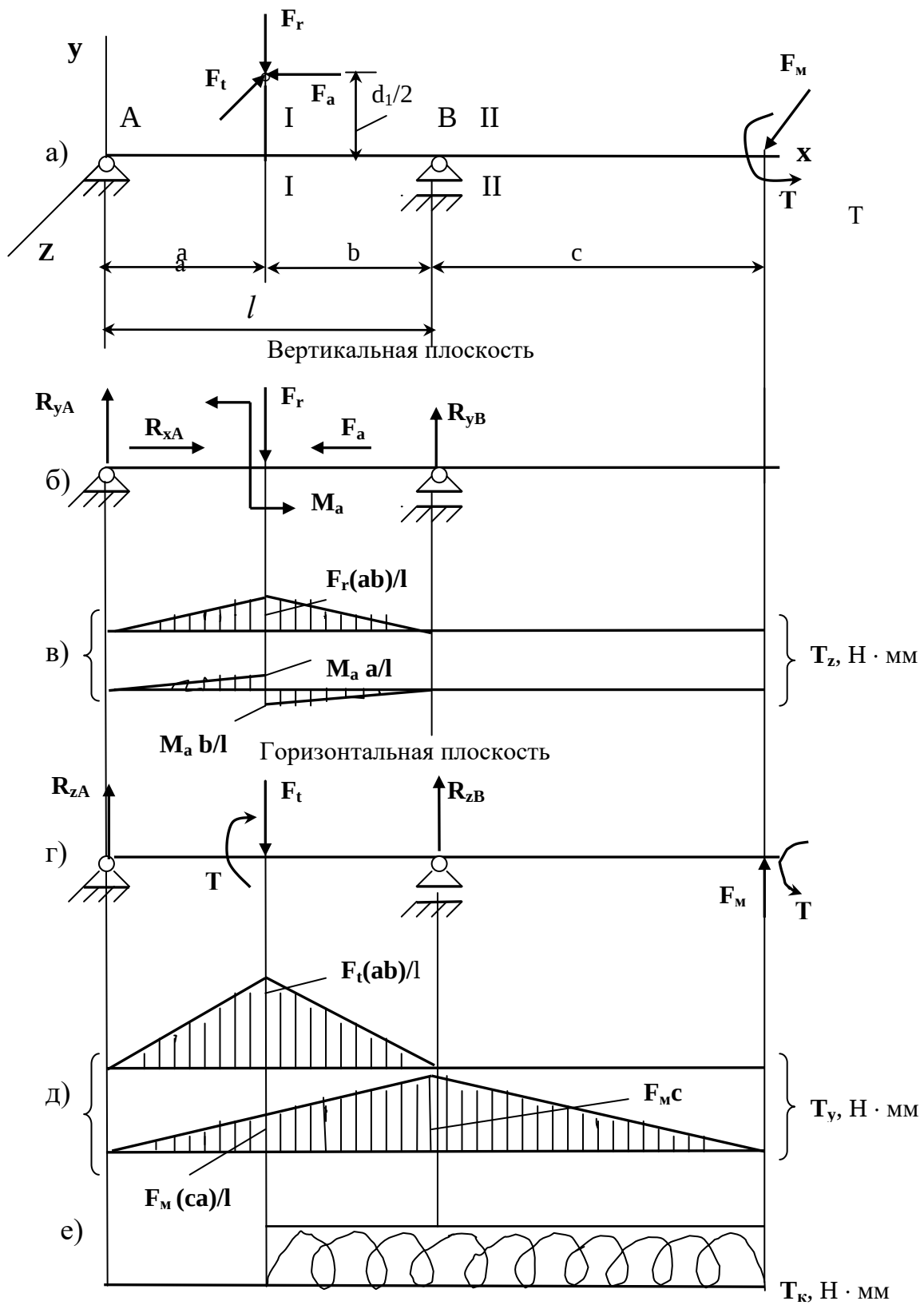


Рис. 4

$$R_{yB} = 1200 - 450 \cdot 200 / 160 = 600 \text{ H}.$$

$$R_{yA} = F_r - R_{yB} = 1800 \text{ H}.$$

Реакции от сил F_t и F_m , действующих в горизонтальной плоскости

$$R_{zA} + R_{zB} = F_t - F_m; \quad R_{zB} l = F_t l / 2 - F_m (c + l);$$

$$R_{zB} = F_t / 2 - F_m (c / l + 1);$$

$$R_{zB} = 3225 - 6350(170 / 160 + 1) = 9867 \text{ H};$$

$$R_{zA} = F_t - F - R_{zB};$$

$$R_{zA} = 6450 - 6350 + 9867 = 9967 \text{ H}.$$

5. Определяем запасы сопротивления усталости в опасных сечениях по формулам:

- при совместном действии напряжений кручения и изгиба запас сопротивления усталости выражается равенством:

$$s = s_\sigma s_\tau / \sqrt{s_\sigma^2 + s_\tau^2} \geq [s] \approx 1,5, \quad (3)$$

где $s_\sigma = \sigma_{-1} / [\sigma_a k_\sigma / (k_d k_F) + \psi_\sigma \sigma_m]$ - запас сопротивления усталости только изгибу;

$s_\tau = \tau_{-1} / [\tau_a k_\tau / (k_d k_F) + \psi_\tau \tau_m]$ - запас сопротивления усталости только кручению.

В этих формулах σ_a и τ_a - амплитуды переменных составляющих циклов напряжений, а σ_m и τ_m постоянные составляющие. Принимаем циклы напряжений симметричный для изгиба и от нулевой для кручения. Согласно этому условию:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_m &= 0; \sigma_a = M / (0,1 d^3); \\ \tau_m &= \tau_a = 0,5 \tau = 0,5 T / (0,2 d^3); \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ψ_σ и ψ_τ - коэффициенты, корректирующие влияние постоянной составляющей цикла напряжения на сопротивление усталости (см. табл. 2 в приложение);

σ_{-1} и τ_{-1} - пределы выносливости, определяемые по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{-1} &= (0,4 \dots 0,5) \sigma_B, \\ \tau_{-1} &= (0,2 \dots 0,3) \sigma_B, \\ \tau_B &= (0,55 \dots 0,65) \sigma_B; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

k_d и k_F – масштабный фактор и фактор шероховатости поверхности (см. табл. 3 и 4 в приложение);

k_σ и k_τ – эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении (см. табл. 5 в приложении).

Просчитываем два предполагаемых опасных сечения (см. рис. 4,а): сечение I-I под шестерней, ослабленное шпоночным пазом, в сечение II-II рядом с подшипником, ослабленное галтелью. Для первого сечения изгибающий момент

$$M = \sqrt{(R_{yA} a)^2 + (R_{zA} a)^2} = \sqrt{(1800 \cdot 80)^2 + (9967 \cdot 80)^2} = 810 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$\text{Крутящий момент } T = 645 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

$$\text{Напряжение изгиба } \sigma_u = M / W_u = 810 \cdot 10^3 / (0,1 \cdot 65^3) = 29,5 \text{ МПа}.$$

$$\text{Напряжение кручения } \tau = T / W_p = 645 \cdot 10^3 / (0,2 \cdot 65^2) = 12 \text{ МПа}.$$

По формулам (6) вычисляем пределы выносливости

$$\sigma_{-1} = 0,4 \sigma_B = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ МПа};$$

$$\tau_{-1} = 0,2 \sigma_B = 0,2 \cdot 750 = 150 \text{ МПа};$$

$$\tau_B = 0,55 \sigma_B = 0,55 \cdot 750 = 412 \text{ МПа}.$$

По табл. 5 в приложении для шпоночного паза $k_\sigma \approx 1,7$; $k_\tau \approx 1,4$.

По табл. 3 и 4 в приложении для шлифованного вала $k_d = 0,72$; $k_F = 1$.

По формулам (4) с учетом (5), принимая по табл. 2 в приложении $\psi_\sigma = 0,1$, $\psi_\tau = 0,05$, находим:

$$s_\sigma = 300 \cdot 0,72 / (1,7 \cdot 29,5) = 4,3;$$

$$s_\tau = 150 / (1,4 \cdot 6 / 0,72 + 0,05 \cdot 6) \approx 12,7.$$

По формуле (3),

$$s = 4,3 \cdot 12,7 / \sqrt{4,3^2 + 12,7^2} = 4 > [s] = 1,5.$$

Для второго сечения изгибающий момент

$$M \approx F_m \cdot c = 6350 \cdot 170 = 1080 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \text{ крутящий момент}$$

$$T = 645 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$\sigma_u = 1080 \cdot 10^3 / (0,1 \cdot 55^3) = 65 \text{ МПа}.$$

$$\tau = 645 \cdot 10^3 / (0,2 \cdot 55^2) = 19,5 \text{ МПа}.$$

Принимая r галтели равным 2 мм; $r/d \approx 0,04$ и находим $k_\sigma = 2$; $k_\tau = 1,6$ (см. табл. 5 в приложении):

$$s_\sigma = \frac{300 \cdot 0,72}{2 \cdot 65} = 1,66; \quad s_\tau = \frac{150}{1,4 \cdot 9,75 / (0,72 + 0,05 \cdot 9,75)} \approx 13,2;$$

$$s = \frac{1,66 \cdot 13,2}{\sqrt{1,66^2 + 13,2^2}} \approx 1,64 > [s] = 1,5.$$

Больше нагружено второе сечение.

6. Проверяем статическую прочность при перегрузках по формуле

$$\sigma_{\text{ЭК}} = \sqrt{\sigma_u^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma],$$

где σ_u и τ – определяют по формулам (5) как для амплитудных переменных нормальных и касательных напряжений в опасном сечении; $[\sigma]$ – предельно допускаемое напряжение близко к пределу текучести σ_T : $[\sigma] = 0,8 \cdot \sigma_T$.

При перегрузках напряжения удваиваются, тогда для более нагруженного второго сечения $\sigma_u = 130$ МПа и $\tau = 39$ МПа; $[\sigma] = 0,8 \cdot \sigma_T = 0,8 \cdot 450 = 360$ МПа; $\sigma_{\text{ЭК}} = \sqrt{130^2 + 3 \cdot 39^2} = 146 < [\sigma] = 360$ МПа.

Статическая прочность при перегрузках обеспечена.

Индивидуальное задание.

Провести уточненный расчет вала. Из силового и проектного расчетов, а также эскизной компоновки вала имеем крутящий момент $T = 125$ Н м; силы: $F_t = 3750$ Н, $F_r = 1400$ Н, $F_a = 830$ Н; диаметры: под полумуфту $d_m = 32$ мм, под подшипники $d_n = 40$ мм, делительный диаметр шестерни, выполненной заодно с валом $d_1 = 66,7$ мм; длина $l = 82$ мм. Вал схематично изображен на рис.5.

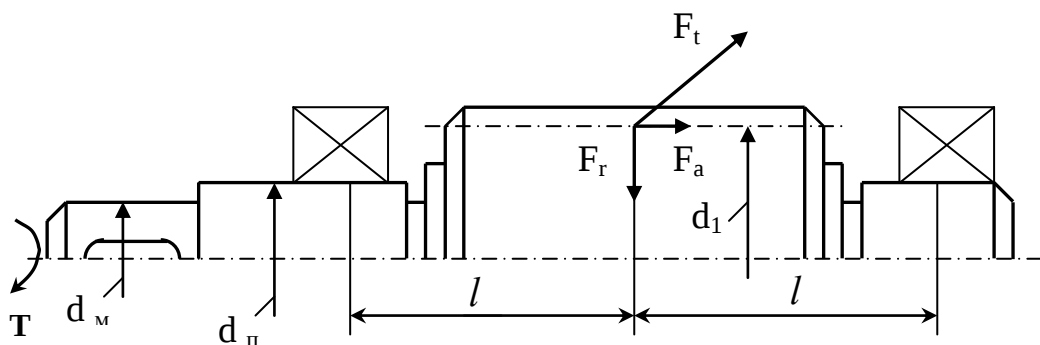


Рис.5

Отчет по практическому занятию.

Студент должен приобрести прочные знания по назначению и конструированию валов, а также устойчивые навыки проверочных расчетов валов деталей машин на выносливость.

Приложения

Таблица 1

Допускаемые напряжения в швах при разных технологических процессах сварки

Вид технологического процесса сварки	Допускаемые напряжения в швах при		
	растяжении $[\sigma']_p$	сжатии $[\sigma']_{сж}$	срезе $[\tau']$
Автоматическая под флюсом, ручная электродами Э42А и Э50А, контактная стыковая	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,65 [\sigma]_p$
Ручная дуговая электродами Э42 и Э50Э, газовая сварка	$0,9 [\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,6 [\sigma]_p$
Контактная точечная и шовная	-	-	$0,5 [\sigma]_p$

Примечание. $[\sigma]_p = \sigma_T/s$ – допускаемое напряжение на растяжение для материала соединяемых деталей при статических нагрузках. Для металлических конструкций запас прочности $s \approx 1,4 \dots 1,6$.

Таблица 2

Значения коэффициентов, корректирующих влияние постоянной составляющей цикла напряжения на сопротивление усталости материала вала

Коэффициенты	Предел прочности материала, σ_B , МПа				
	350...500	550...750	800...1000	1000...1200	1200...1400
ψ_σ	0	0,05	0,10	0,20	0,25
ψ_τ	0	0	0,5	0,10	0,15

Таблица 3

Коэффициенты влияния абсолютных размеров поперечного сечения вала k_d

Напряженное состояние и материал	Диаметр вала d , мм				
	30	40	50	70	100
Изгиб для углеродистой стали	0,88	0,85	0,81	0,76	0,71
Изгиб для легированной стали	0,77	0,73	0,70	0,67	0,62
Кручение для всех сталей					

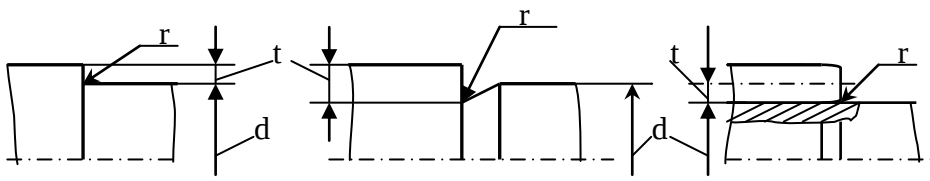
Таблица 4

Коэффициенты влияния шероховатости поверхности вала k_F

Вид механической обработки	Параметр шероховатости поверхности R_a , мкм	k_F при σ_B , МПа		
		500	700	900
Обточка	2,5...0,63	1,05	1,10	1,5
Шлифование	0,32...0,16	1,0	1,0	1,0

Таблица 5

Эффективные коэффициенты концентрации напряжений k_σ и k_τ

Размеры		k_σ при σ_B , МПа			k_τ при σ_B , МПа		
		500	700	900	500	700	900
Для ступенчатого перехода с галтелью							
t/r	r/d						
≤ 1	0,01	1,35	1,4	1,45	1,3	1,3	1,3
	0,02	1,45	1,5	1,55	1,35	1,35	1,4
	0,03	1,65	1,7	1,8	1,4	1,45	1,45
	0,05	1,6	1,7	1,8	1,45	1,45	1,55
	0,1	1,45	1,55	1,65	1,4	1,4	1,45
≤ 2	0,01	1,55	1,6	1,65	1,4	1,4	1,45
	0,02	1,8	1,9	2,0	1,55	1,6	1,65
	0,03	1,8	1,95	2,05	1,55	1,6	1,65
	0,05	1,75	1,9	2,0	1,6	1,6	1,65
≤ 3	0,01	1,9	2,0	2,1	1,55	1,6	1,65
	0,02	1,95	2,1	2,2	1,6	1,7	1,75
	0,03	1,95	2,1	2,25	1,65	1,7	1,75
≤ 5	0,01	2,1	2,25	2,35	2,2	2,3	2,4
	0,02	2,15	2,3	2,45	2,1	2,15	2,25
Для шпоночных пазов, выполненных фрезой							
концевой		1,6	1,9	2,15	1,4	1,7	2,0
дисковой		1,4	1,55	1,7			

Продолжение табл. 5

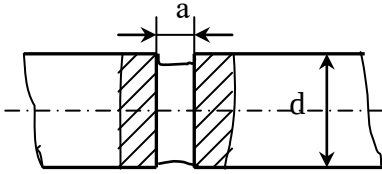
Размеры	k_σ при σ_B , МПа			k_τ при σ_B , МПа		
	500	700	900	500	700	900
Для эвольвентных шлицев и резьбы						
Шлицы	1,45	1,6	1,7	1,43	1,49	1,55
Резьба	1,8	2,2	2,45	1,45	1,6	2,0
Для посадки с натягом						
Диаметр вала d , мм						
30	2,75	3,0	3,50	2,05	2,20	2,50
50	3,36	3,66	4,28	2,52	2,60	3,07
100 и более	3,60	3,94	4,60	2,56	2,76	3,16
Для валов с поперечным отверстием						
a/d						
0,15	1,98	2,0	2,12	1,68	1,75	1,9
0,20	1,78	1,8	1,9	1,68	1,75	1,9

Таблица 6

Значения коэффициента режима нагрузки

Тип машины	K_p
Конвейеры ленточные	1,25...1,50
Конвейеры винтовые, цепные, скребковые	1,5...2,0
Краны, лебедки, элеваторы	2,0...3,0

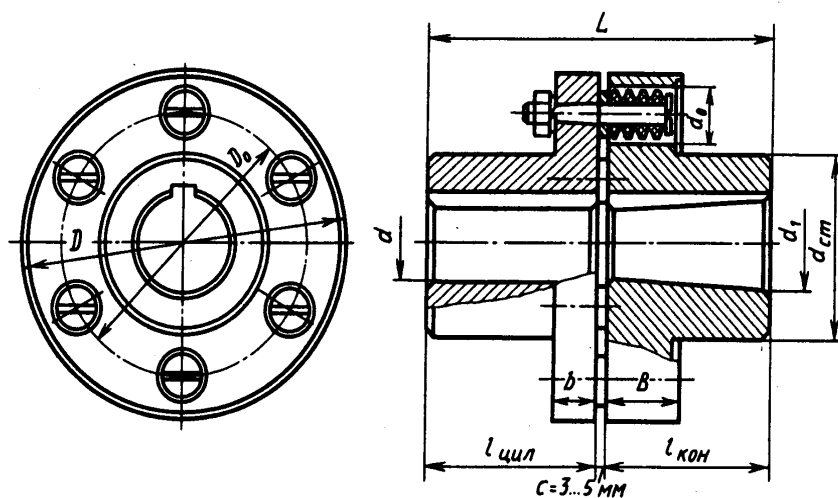


Рис. 6. Муфта упругая втулочно-пальцевая

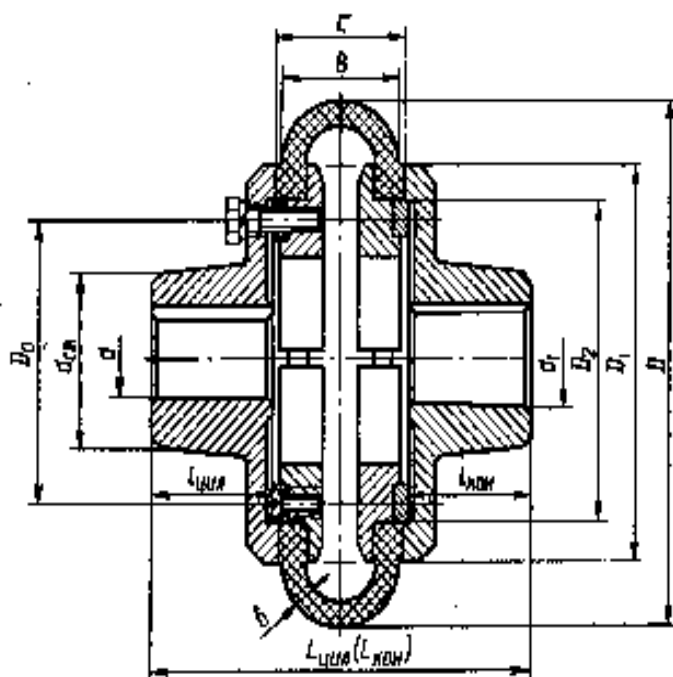


Рис. 7. Муфта упругая с торообразной оболочкой

Таблица 7

Муфты упругие втулочно-пальцевые (ГОСТ 21425-93)

Момент Т, Н м	Угловая скорость ω , с ⁻¹ не более	Отверстие			Габаритные размеры			Число пальцев, z	Смещение осей валов, не более	
		d, d ₁	<i>l</i> _{цил}	<i>l</i> _{кон}	L	D	D ₀		радиальное Δг	угловое Δγ
31,5	670	16,18, 19	28	18	60	90	20	4	0,2	1°30'
63	600	20,22, 24	36	24	76	100		6		
125	480	25,28, 30	42 58	26 38	89 121	120	28	4	0,3	
250	400	32,35, 36,38, 40,42, 45	58 82	38 56	121 169	140	28	6		
500	380	40,42, 45	82	56	169	170	36	6		0,4
710	315	45,48, 50,55, 56	82	56	170	190		8		
1000	300	50,55, 56,60, 63,65, 70	82 105	56 72	170 216	220		10		
2000	240	63,65, 71,75, 80,85, 90	105 130	72 95	218 268	250	46	10		

Таблица 8

Муфты упругие с торообразной оболочкой (ГОСТ 20884-93)

Мо- мент Т, Н м	Угловая ско- рость ω , с ⁻¹ не более	Отверстие			Габаритные размеры			Смещение осей валов, не более			
		d, d ₁	<i>l_{цил}</i>	<i>l_{кон}</i>	L _{цил}	L _{кон}	D	ради- альное Δr	угло- вое Δγ	осевое Δa	
40	315	18,19	30	20	115	100	125	1	1°	1	
		20,22,24	38	26	130	120					
		25	44	28	140	130					
80	315	22,24	38	26	140	130	160	1,6		2	
		25,28	44	28	150	140					
		30	60	40	185	170					
125	260	25,28	44	28	155	145	180				
		30,32,35, 36	60	40	190	175					
200	260	30,32,35	60	40	200	185	200	2		2,5	
		36,38									
		40									84
250	210	32,35,36, 38	60	40	205	185	220	2,5	1° 30′		
		40,42,45	84	60	255	240					
315	210	35,36,38	60	40	215	295	250			3	
		40,42,45, 48	84	60	270	250					
500	170	40,42,45, 48	84	60	270	250	280	3		3,6	
800	170	50,53,55, 56	84	60	280	270	320				
		60,63							108		75