Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное   
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачёва»

Кафедра информационных и автоматизированных  
 производственных систем

**ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ**

**И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ**

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «**Основы проектирования**» для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение», по дисциплине «**Детали машин и основы конструирования**» для студентов направлений 15.03.05 «Конструкторско-технологической обеспечение машиностроительных производств» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», по дисциплине «**Детали машин**» для студентов направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие   
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»   
и по дисциплине «**Прикладная механика**» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»

Составители Е. В. Резанова

В. Ю. Садовец

Утверждены на заседании кафедры

Протокол № 7 от 09.03.2016

Рекомендованы к печати

учебно-методической комиссией

направления 15.03.01

Протокол № 15 от 30.03.2016

Электронная копия находится

в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2016

**1. Общие сведения**

Расчет зубчатых и червячных передач начинается с выбора материалов, назначения режимов термической обработки и определения допускаемых напряжений.

При выборе материалов для зубчатых и червячных колес необходимо учитывать соответствие свойств материала основному критерию работоспособности (прочности, износостойкости), требования к массе и габаритам колеса, соответствие технологических свойств материала намечаемому способу обработки, а также стоимость и дефицитность материала.

Рекомендации по выбору материалов для зубчатых и червячных колес выработаны на основе обобщения предшествующего опыта проектирования и эксплуатации.

**2. Материалы, применяемые для изготовления   
зубчатых колес**

Зубчатые колеса изготавливают из чугуна, сталей и неметаллических материалов.

Для тихоходных, преимущественно крупногабаритных и открытых зубчатых передач, а также для поочередно работающих сменных зубчатых колес применяют ***чугуны СЧ20***−***СЧ35*** и высокопрочные магниевые чугуны с шаровидным графитом.

Чугуны имеют малую склонность к заеданию и хорошо работают при недостаточной смазке. Недостатком чугунов является низкая прочность при изгибе, особенно при ударных нагрузках. Габаритные размеры чугунных колес значительно больше, чем стальных.

Основными материалами для изготовления зубчатых колес являются ***стали***, подверженные ***термической обработке*1** (прил. А).

Высокую нагрузочную способность имеют зубчатые колеса с твердой поверхностью и вязкой сердцевиной. Твердость поверхности зубчатых колес достигается поверхностными термическими (закалка) и химико-термическими методами обработки (нитроцементация, азотирование, закалка ТВЧ**2** и др.), направленными на получение зернистого сорбита, обеспечивающего оптимальное соотношение между прочностью и пластичностью.

При объемной закалке зубья будут обладать пониженной вязкостью сердцевины и иметь неудовлетворительное сопротивление ударным нагрузкам.

Стали, подвергающиеся ***улучшению*3** (40, 45, 50Г, 40Х, 35ХГС и др.), применяют преимущественно для зубчатых колес, изготавливаемых в условиях мелкосерийного и единичного производства при отсутствии жестких требований к габаритам. Зубчатые колеса из улучшенных сталей хорошо прирабатываются, однако область применения таких колес непрерывно сокращается.

Стали, подвергающиеся ***нормализации*4** (40, 45, 50 и др.) обладают низкой стойкостью против заедания, в случае если сопряженные колеса изготовлены из одного материала. Такие колеса применяют только во вспомогательных механизмах (механизмах ручного управления).

***Объемная закалка*5** (стали 45, 40Х, 40ХН и др.) – наиболее простой способ получения высокой твердости зубьев. При этом зуб становится твердым по всему объему. Недостатки объемной закалки – коробление зубьев и необходимость последующих отделочных операций, понижение изгибной прочности при ударных нагрузках, ограничение размеров заготовок.

Зубчатые колеса, подверженные ***поверхностной закалке*6** ТВЧ (сталь 40Х, 40ХН и др.), применяют в средненапряженных передачах для колес с крупными зубьями (*m* ≥ 5мм ), а также для шестерен, работающих в паре с улучшенными колесами для достижения равнопрочности. Недостатком таких колес является сложность применения данного вида термообработки для колес с модулем менее 5 мм из-за опасности прокаливания зуба по всему объему. Стоимость обработки значительно возрастает с увеличением размеров колес.

Зубчатые колеса, подверженные ***цементации*7** (стали 20Х, 12ХН3А, 20ХНМ, 18Х2Н4МА, 20Х2Н4А, 18ХГТ, 25ХГТ и др.) с последующей закалкой, имеют большую твердость и несущую способность поверхностных слоев зубьев, высокую прочность зубьев на изгиб. Цементацию применяют в изделиях, где масса и габариты имеют решающее значение. Недостатком является необходимость последующих отделочных операций.

Зубчатые колеса, подверженные ***азотированию*8** (стали 40Х, 38Х2МЮА, 40ХФА, 40ХНА и др.), имеют особо высокую твердость и износостойкость поверхностных слоев. Недостатком азотированных зубчатых колес является малая толщина азотированного слоя (0,2−0,5 мм), не позволяющая применять их при ударных нагрузках из-за опасности растрескивания упрочненного слоя, при работе с интенсивным изнашиванием (загрязненная смазка, абразивные частицы) из-за опасности истирания упрочненного слоя и быстрого выхода из строя.

***Нитроцементация*9** применяется для менее легированных, чем при цементации, сталей (18ХГТ, 25ХГТ, 40Х и др.). При этом сокращается длительность и стоимость процесса, уменьшается коробление, что позволяет избавиться от последующего шлифования. Нитроцементация получила широкое распространение в условиях массового производства.

В зависимости от поверхностной твердости зубьев стальные зубчатые колеса делят на две группы:

1. Стали твердостью *HВ* ≤ 350 − зубчатые колеса нормализованные или улучшенные.

Твердость материала *HВ* ≤ 350 позволяет производить чистовое нарезание зубьев после термообработки. При этом можно получить высокую точность без применения дорогих отделочных операций (шлифовки, притирки и др.). Колеса этой группы хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению при динамических нагрузках.

Технологические преимущества материалов при *HВ* ≤ 350 обеспечили им широкое применение в условиях единичного и мелкосерийного производства в мало- и средненагруженных передачах, а также в передачах с большими колесами, термическая обработка которых затруднена.

2. Стали твердостью *HВ* > 350 (обычно выражается в единицах Роквелла − *HRC* до 50…60) с объемной закалкой, закалкой ТВЧ, цементацией, азотированием и др.

Допускаемые контактные напряжения колес при таких видах термообработки увеличиваются до двух раз, а нагрузочная способность передачи – до четырех раз по сравнению с нормализованными и улучшенными колесами. Возрастают также износостойкость и стойкость против заедания. Однако существуют ограничения в широком применении твердых сталей. Высокотвердые материалы плохо прирабатываются, поэтому они требуют высокой точности изготовления и повышенной жесткости валов и опор. Нарезание зубьев при высокой твердости затруднено, поэтому термообработку выполняют после нарезания. Часто после термообработки требуются дополнительные отделочные операции.

***Стальное литье*** применяют для колес больших диаметров (более 500 мм). Основные материалы – литейные среднеуглеродистые стали 35Л−50Л, литейные марганцовистые и низколегированные стали 40ХЛ, 30ХГСЛ, 50Г2 и др. Применяют такие колеса в паре с кованой шестерней.

При выборе материалов для изготовления зубчатых колес учитывают следующие положения:

• материалы для изготовления зубчатых колес необходимо принимать с учетом действующих нагрузок;

• в многоступенчатых передачах следует соблюдать гармоничность размеров ступеней;

• при назначении материалов, необходимо стремиться к равнопрочности зубьев шестерни и колеса;

• для уменьшения опасности заедания, сокращения времени приработки зубчатых колес и сближения долговечности зубчатых колес твердость поверхности зубьев шестерни (особенно в прямозубых передачах) необходимо назначать на (10…15) *НВ* выше, чем у сопряженного колеса;

Стали, рекомендуемые для изготовления зубчатых колес, виды их термообработки и механические характеристики приведены в приложении Б.

В слабонагруженных передачах (приводы распределительного вала автомобильных двигателей, веретена текстильных машин и приборов) для обеспечения бесшумности, химической стойкости или самосмазываемости в паре с металлическими зубчатыми колесами применяют ***пластмассовые*** зубчатые колеса на основе стеклянных волокон. К ним относятся текстолит (например, марок ПТ, ПТК), древесно-слоистые пластики (например, ДСП-Г со звездообразным расположением слоев шпона), капролон, полиформальдегид, фенилон.

Недостатком пластмассовых зубчатых колес является ограничение их применения в напряженных зубчатых передачах, низкая теплопроводность и склонность к заеданию.

Рекомендуемые материалы для изготовления червячных колес и их механические характеристики приведены в приложении Б.

**3. Определение допускаемых напряжений**

**3.1. Допускаемые контактные напряжения**

Допускаемые контактные напряжения для зубчатых колес определяют по ГОСТ 21354−87

где − предел контактной выносливости поверхности зубьев при базовом числе циклов нагружения; − коэффициент долговечности; − коэффициент безопасности.

Расчетные зависимости для определения пределов контактной выносливости зубьев стальных колес в зависимости от вида термической обработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Вид термообработки | , МПа |
| Нормализация, улучшение |  |
| Объемная закалка |  |
| Поверхностная закалка |  |
| Цементация |  |
| Азотирование | 1050 |

Коэффициент безопасности рекомендуют: − при однородной структуре материала по объему (нормализация, объемная закалка, улучшение); − при неоднородной структуре (поверхностная закалка, цементация, азотирование).

Коэффициент долговечности учитывает влияние срока службы и режим нагрузки передачи

где − базовое число циклов нагружения; − циклическая долговечность до разрушения (эквивалентное число циклов).

Циклическая долговечность при переменном режиме нагрузки

где *с* − число зацеплений зуба за один оборот колеса (определяется числом колес, одновременно находящихся в зацеплении с рассчитываемым); и − крутящие моменты и максимальный из моментов, учитываемые при расчете на усталость; и − соответствующие моментам частоты и время работы.

**3.2 Допускаемые напряжения изгиба**

где − предел изгибной выносливости зубьев; − коэффициент долговечности; − коэффициент, учитывающий влияние двустороннего приложения нагрузки (реверсивные передачи, сателлиты планетарных передач); − коэффициент безопасности.

Расчетные зависимости для определения пределов изгибной выносливости приведены в таблице 2.

Коэффициент безопасности рекомендуют принимать .

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид  термообработки | Твердость зубьев | | , МПа |
| поверхности | сердцевины |
| Нормализация, улучшение |  |  |  |
| Закалка ТВЧ  по контуру зуба |  |  | 600 |
| Объемная  закалка |  |  | 600 |
| Цементация |  |  | 800 |
| Азотирование |  |  |  |

Коэффициент долговечности

Рекомендуется принимать для всех сталей.

При переменном режиме нагрузки

Рекомендуется при одностороннем приложении нагрузки; − для реверсивной нагрузки.

*Допускаемые напряжения для проверки прочности зубьев при перегрузках*. Кратковременные перегрузки, не учтенные при расчете на усталость, приводят к потере статической прочности зубьев. После определения размеров передачи необходимо проверить статическую прочность при перегрузках.

Максимальные контактные напряжения при перегрузках

где − расчетные напряжения; − максимальный крутящий момент; − предельное допускаемое напряжение.

Крутящий момент при перегрузке

где – коэффициент внешней динамической нагрузки.

При нормализации, улучшении, объемной закалке зубчатых колес − ; при цементации, закалке ТВЧ − ; при азотировании − .

Максимальные напряжения изгиба при перегрузках

**4. Материалы, применяемые для   
изготовления червячных колес**

В соответствии с видами разрушения и повреждения материал червячной пары должен обладать износостойкостью, пониженной склонностью к заеданию, хорошей прирабатываемостью и повышенной теплопроводностью. Червячные колеса преимущественно выполняют биметаллическими – стальная или чугунная ступица и зубчатый венец, выполненный из антифрикционного материала.

Выбор материала червячного колеса предопределяется в основном скоростью скольжения. При проектировочном расчете, когда размеры червячного колеса неизвестны, ориентировочное значение скорости скольжения определяют по эмпирической зависимости, м/с:

где − частота вращения ведомого вала, ; − передаточное число; − вращающий момент на ведомом валу, .

При скорости скольжения венцы червячных колес выполняют из ***оловянно-фосфористых бронз*** БрО10Ф1, БрОНФ, БрО10Н1Ф1, БрО10Ф1и др., содержащих также фосфор, свинец, сурьму и никель.

При скорости скольжения венцы червячных колес изготавливают из ***оловянно-цинковых бронз*** БрО5Ц5С5, БрО5Ц5С6, БрО6Ц6С3 и др.

Необходимость в применении бронзы с высоким содержанием олова тем выше, чем больше скорость скольжения и относительная продолжительность работы передачи. Эти материалы дороги и дефицитны.

Для тихоходных закрытых червячных передач с машинным приводом и скоростью скольжения применяют ***алюминиево-железистые бронзы*** БрА10Ж4Н4Л, БрА9Ж3Л и литейные ***латуни*** ЛАЖМц66-6-3-2, ЛМцС58-2-2 и др.

Эти материалы обладают повышенными механическими характеристиками, но имеют пониженные противозадирные и анти-

фрикционные свойства.

При скорости скольжения и при больших диаметрах колес допустимо применять ***чугуны*** марок СЧ10, СЧ15, СЧ20.

В передачах малой мощности (с ручным и машинным приводом) применяют колеса из ***капрона*** и других неметаллических материалов.

Рекомендуемые материалы для изготовления червячных колес и их механические характеристики приведены в прил. В.

**5. Определение допускаемых напряжений**

**5.1. Допускаемые контактные напряжения**

Допускаемые контактные напряжения для групп материалов:

**I группа**. Допускаемое напряжение при числе циклов перемены напряжений, равном :

Коэффициент − для червяков с твердыми шлифованными и полированными витками, − для червяков при твердости .

Предел прочности принимают по приложению В.

Коэффициент долговечности при условии . Здесь − эквивалентное число циклов нагружения зубьев червячного колеса за весь срок службы пере-

дачи.

Если , то принимают .

Суммарное число циклов перемены напряжений

где − время работы передачи, ч.

При задании режима нагружения циклограммой моментов коэффициент эквивалентности вычисляют по формуле

где , , − вращающий момент на *i*-й ступени нагружения, соответствующие ему частота вращения вала и продолжительность действия; , − наибольший момент из длительно действующих (номинальный) и соответствующая ему частота вращения.

Коэффициент учитывает интенсивность изнашивания материала колеса. Его принимают в зависимости от скорости скольжения (табл.3).

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 5 | 6 | 7 | 8 |
|  | 0,95 | 0,88 | 0,83 | 0,8 |

Или рассчитывают по формуле

Допускаемые контактные напряжения при числе циклов перемены напряжений

**II группа**. Допускаемые контактные напряжения

Здесь для червяков с твердостью на поверхности витков ; для червяков при твердости .

**III группа**. Допускаемые контактные напряжения

**5.2. Допускаемые напряжения изгиба**

Допускаемые напряжения изгиба вычисляют для материала

зубьев червячного колеса:

Коэффициент долговечности

Здесь − эквивалентное число циклов нагружения зубьев червячного колеса за весь срок службы передачи. Если , то принимают . Если , то принимают

Коэффициент эквивалентности вычисляют по формуле

Исходное допускаемое напряжение изгиба для материалов:

групп I и II ;

группы III

где − предел прочности при изгибе, МПа (обычно в 1,5...2,2 раза больше .

**6. Вопросы для самоконтроля**

1. Какие материалы применяют для изготовления зубчатых колес?

2. Как назначают материал для червячных колес?

3. Какие виды термической и химико-термической обработки применяют для повышения поверхностной твердости зубчатых колес?

4. В каком случае применяют пластмассовые колеса?

5. Как рассчитывают допускаемые контактные напряжения?

6. Как рассчитывают допускаемые напряжения изгиба?

7. С какой целью проводят проверку прочности зубьев при пере-

грузках?

**Список рекомендуемой литературы**

1. Иванов, М. Н. Детали машин : учеб. для машиностроит. специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – 12-е изд., перераб. и доп. − М. : Высш. шк., 2008. – 408 с.

3. Шелофаст, В. В. Основы проектирования машин / В. В. Шелофаст. − М. : Изд-во АПМ, 2005. − 472 с.

4. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. − М. : Высш. шк., 2008. – 496 с.

5. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для втузов / С. А. Чернавский, Г. А. Снесарев, Б. С. Козинцев [и др.]. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2008. – 590 с.

6. Тюняев, А. В. Детали машин / А. В. Тюняев, В. П. Звездаков, В. А. Вагнер. – СПб.: Лань, 2013. – 732 с. <http://e.lanbook.com/view/book/5109/>

7. [Детали машин и основы конструирования [Электронный ресурс] / В. Ю. Садовец, Е. В. Резанова; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. приклад. механики](http://virtua.kuzstu.ru:8000/cgi-bin/gw_2013_2/chameleon?sessionid=2015033014062819083&skin=default&lng=ru&inst=consortium&host=localhost%2b1901%2bDEFAULT&patronhost=localhost%201901%20DEFAULT&search=SCAN&function=INITREQ&sourcescreen=CARDSCR&pos=1&rootsearch=3&elementcount=1&u1=4&t1=%d0%94%d0%b5%d1%82%d0%b0%d0%bb%d0%b8%20%d0%bc%d0%b0%d1%88%d0%b8%d0%bd%20%d0%b8%20%d0%be%d1%81%d0%bd%d0%be%d0%b2%d1%8b%20%d0%ba%d0%be%d0%bd%d1%81%d1%82%d1%80%d1%83%d0%b8%d1%80%d0%be%d0%b2%d0%b0%d0%bd%d0%b8%d1%8f%20%5b%d0%ad%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%82%d1%80%d0%be%d0%bd%d0%bd%d1%8b%d0%b9%20%d1%80%d0%b5%d1%81%d1%83%d1%80%d1%81%5d%20%d0%ba%d1%83%d1%80%d1%81%20%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%86%d0%b8%d0%b9%20%d0%b4%d0%bb%d1%8f%20%d1%81%d1%82%d1%83%d0%b4%d0%b5%d0%bd%d1%82%d0%be%d0%b2%20%d1%81%d0%bf%d0%b5%d1%86%d0%b8%d0%b0%d0%bb%d1%8c%d0%bd%d0%be%d1%81%d1%82%d0%b5%d0%b9%20150402,%20190601,%20151001,%20151002,%20150202%20%d0%92.%20%d0%ae.%20%d0%a1%d0%b0%d0%b4%d0%be%d0%b2%d0%b5%d1%86,%20%d0%95.%20%d0%92.%20%d0%a0%d0%b5%d0%b7%d0%b0%d0%bd%d0%be%d0%b2%d0%b0%3b%20%d0%a4%d0%93%d0%91%d0%9e%d0%a3%20%d0%92%d0%9f%d0%9e%20%c2%ab%d0%9a%d1%83%d0%b7%d0%b1%d0%b0%d1%81.%20%d0%b3%d0%be%d1%81.%20%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd.%20%d1%83%d0%bd-%d1%82%20%d0%b8%d0%bc.%20%d0%a2.%20%d0%a4.%20%d0%93%d0%be%d1%80%d0%b1%d0%b0%d1%87%d0%b5%d0%b2%d0%b0%c2%bb,%20%d0%9a%d0%b0%d1%84.%20%d0%bf%d1%80%d0%b8%d0%ba%d0%bb%d0%b0%d0%b4.%20%d0%bc%d0%b5%d1%85%d0%b0%d0%bd%d0%b8%d0%ba%d0%b8&beginsrch=1). – Кемерово. – 2012. 147 с.

<http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90562&type=utchposob:common>

Приложение А

(справочное)

**1 Термическая обработка** – совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, проводимых в определенной последовательности с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств.

**2 ТВЧ** – закалка токами высокой частоты. Осуществляется в машинных или ламповых генераторах с частотой 500−106 Гц. Нагрев детали происходит за 3−5 с. После нагрева деталь быстро перемещается в специальное охлаждающее устройство – спрейер, через отверстия которого на нагретую поверхность разбрызгивается закалочная жидкость. В результате закалки ТВЧ повышается поверхностная твердость, возрастает износостойкость и предел выносливости в 1,5−2 раза. Из-за высокой стоимости индукционных установок этот метод целесообразно применять при массовом производстве однотипных деталей простой формы.

**3 Улучшение** – термическая обработка, направленная на получение зернистого сорбита, обеспечивающего оптимальное соотношение между прочностью и пластичностью. Улучшение к тому же обеспечивает самый низкий порог хладноломкости.

**4 Нормализация** – термическая обработка стали, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния и охлаждают на спокойном воздухе. В результате нормализации получают более тонкое строение, уменьшаются внутренние напряжения, устраняются многие пороки, возникшие в процессе предшествующих обработок детали. Нормализацию чаще применяют как промежуточную операцию, улучшающую структуру.

**5 Объемная закалка** – процесс, при котором нагретую деталь сначала опускают в воду, а затем переносят для окончательного охлаждения в масло. Недостатком этого метода являются большие термические напряжения вследствие неравномерного охлаждения по сечению и необходимость последующих отделочных операций, понижение изгибной прочности при ударных нагрузках, ограничение размеров заготовок, подвергающихся объемной закалке.

**6 Поверхностная закалка** – один из способов увеличения твердости поверхностных слоев детали. Одновременно повышаются сопротивление истиранию, предел выносливости и т.д. Представляет собой нагрев поверхностных слоев детали до температуры закалки с последующим быстрым охлаждением. Толщина закаленного слоя определяется глубиной нагрева и размерами детали.

**7 Цементация** – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных деталей насыщается углеродом до нужной глубины. После цементации изделие подвергают закалке с низким отпуском. Это обеспечивает получение высокой поверхностной твердости при мягкой вязкой сердцевине. Одновременно увеличивается предел выносливости и долговечность детали.

**8 Азотирование** – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных деталей насыщается азотом. При этом увеличиваются не только твердость и износостойкость, но и коррозионная стойкость. Твердость поверхностного слоя в 1,5−2 раза

выше, чем после цементации.

**9 Нитроцементация** – химико-термическая обработка, при которой поверхность стальных деталей насыщается одновременно углеродом и азотом. Процесс происходит в газовых смесях, содержащих 70−80 % цементирующего газа и 20−30 % аммиака, при 850−870°С в течение 2−10 часов. Детали при этом имеют малую деформацию и коробление, большое сопротивление износу, коррозионную стойкость и мелкозернистую структуру.

Приложение Б

(справочное)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка  стали | Размер  сечения | Твердость  поверхности | Предел  прочности | Предел  текучести | Термообработка |
| 40 | 60 | 192−228 HB | 700 | 400 | Улучшение |
| 45 | 80  100  60 | 170−217 HB  192−240 HB  241−285 HB | 600  750  850 | 340  450  580 | Нормализация  Улучшение  Улучшение |
| 50 | 80  80 | 179−228 HB  228−255 HB | 640  750 | 350  530 | Нормализация  Улучшение |
| 40Х | 100  60  60 | 230−260 HB  260−280 HB  50−59 HRC | 850  950  1000 | 550  700  800 | Улучшение  Улучшение  Азотирование |
| 45Х | 100  100−300  300−500 | 230−280 HB  163−269 HB  163−269 HB | 850  750  700 | 650  500  450 | Улучшение  Улучшение  Улучшение |
| 40ХН | 100  100−300  40 | 230−300 HB  ≥ 241 HB  48-54 HRC | 850  800  1600 | 600  580  1400 | Улучшение  Улучшение  Закалка |
| 35ХМ | 100  50  40 | 241 HB  269 HB  45−53 HRC | 900  900  1600 | 800  800  1400 | Улучшение  Улучшение  Закалка |
| 40ХНМА | 80  300 | ≥ 302 HB  ≥ 217 HB | 1100  700 | 900  500 | Улучшение  Улучшение |
| 30ХГСА | 150  60  40  30 | 235 HB  270 HB  310 HB  46−53 HRC | ≥ 760  980  1100  1825 | ≥ 500  880  960  1425 | Улучшение  Улучшение  Улучшение  Закалка |
| 20Х | 60 | 56−63 HRC | 650 | 400 | Цементация |
| 12ХН3А | 60 | 56−63 HRC | 900 | 700 | Цементация |
| 25ХГТ | **-** | 58−63 HRC | 1150 | 950 | Цементация |

Приложение В

(справочное)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Группа | Материал | Способ  отливки | Механические свойства, МПа | |
|  |  |
| Ι | БрО10Н1Ф1 | Ц | 285 | 165 |
| БрО10Ф1 | К | 275 | 200 |
| З | 230 | 140 |
| БрО5Ц5С5 | К | 200 | 90 |
| З | 145 | 80 |
| ΙΙ | БрА10Ж4Н4 | Ц | 700 | 460 |
| К | 650 | 430 |
| БрА10ЖЗМц1,5 | К | 550 | 360 |
| З | 450 | 300 |
| БрА9ЖЗЛ | Ц | 530 | 245 |
| К | 500 | 230 |
| З | 425 | 195 |
| ЛЦ23А6ЖЗМц2 | Ц | 500 | 330 |
| К | 450 | 295 |
| З | 400 | 260 |
| ΙΙΙ | СЧ 18 | З | 355 | - |
| СЧ 15 | З | 315 | - |

∗ Материалы разделены на группы по сопротивляемости заеданию.

Принятые обозначения: Ц – центробежное литье; К – литье в кокиль; З – литье в землю.

Приложение Г

Пример выполнения расчета

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 3 Выбор материалов и расчет допускаемых напряжений  3.1 Задача  Подобрать материалы для зубчатых колес быстроходной и тихоходной ступеней двухступенчатого цилиндрического редуктора, обеспечив разницу в твердости поверхностей сопряженных шестерни и колеса на ; в общей твердости быстроходной и тихоходной ступеней на .  3.2 Результаты  Таблица 3.1   |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | Шестерня | Колесо | | Марка стали | 40Х | 45Х | |  | 260 | 230 | | Вид т/о | улучшение | улучшение | |  | 950 | 700 | |  | 850 | 600 | |  | 590 | 530 | |  | 486 | 468 | |  | 1,23 | 1,17 | |  | 1,1 | 1,1 | |  | 0,95 | 0,95 | |  | 1 | 1 | |  | 1,75 | 1,75 | |  | 659,72 | 563,73 | |  | 458 | 414 | |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Продолжение прил. Г

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 3.3 Расчет допускаемых контактных напряжений  где − предел контактной выносливости поверхности зубьев при базовом числе циклов нагружения; − коэффициент долговечности; − коэффициент безопасности.  3.3.1 Предел контактной выносливости  поверхности зубьев    *а*) для шестерни    б) для колеса    3.3.2 Коэффициент долговечности *Z N*  где − базовое число циклов нагружения; − циклическая долговечность до разрушения (эквивалентное число циклов).  Циклическая долговечность при переменном режиме    где − число зацеплений зуба за один оборот колеса (определяется числом колес, одновременно находящихся в зацеплении с рассчитываемым); и − крутящие моменты и максимальный из моментов, учитываемые при расчете на усталость; и − соответствующие моментам частоты и время работы. |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Продолжение прил. Г

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| В соответствии с циклограммой нагрузки  ,  где − суммарный срок службы (ресурс передачи), ч.  где − срок службы, годы; и – коэффициенты использования передачи в году и в сутках.  *а*) для шестерни  *б*) для колеса  3.4 Расчет допускаемых напряжений изгиба  где − предел изгибной выносливости зубьев; − коэффициент долговечности; − коэффициент, учитывающий влияние двустороннего приложения нагрузки (реверсивные передачи, сателлиты планетарных передач); − коэффициент безопасности. |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Продолжение прил. Г

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 3.4.1 Предел изгибной выносливости поверхности зубьев  *а*) для шестерни  б) для колеса  .  3.4.2 Коэффициент долговечности  где − базовое число циклов нагружения; − циклическая долговечность до разрушения (эквивалентное число циклов).  Учитывая, что , , для всех колес  3.4.3 Допускаемые напряжения изгиба  *а*) для шестерни быстроходной ступени  б) для колеса быстроходной ступени |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Приложение Д

Пример выполнения расчета

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 3 Выбор материалов и расчет допускаемых напряжений  3.1 Задача  Назначить материалы для червяка и червячного колеса. Определить допускаемые напряжения.  3.2 Выбор материалов  В качестве материала червяка выбираем сталь 45 с закалкой поверхности до твердости с последующим шлифованием и полированием витков.  Так как выбор материала для червячного колеса связан со скоростью скольжения, то предварительно определим ожидаемое ее значение  где − частота вращения ведомого вала, ; − передаточное число; − вращающий момент на ведомом валу, .  В качестве материала червячного колеса принимаем оловянно-цинковую бронзу БрО5Ц5С5 с механическими характеристиками: .  3.3 Определение допускаемых напряжений  3.3.1 Допускаемые контактные напряжения  где − коэффициент долговечности; – коэффициент учитывающий интенсивность изнашивания (); − допускаемое напряжение. |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Продолжение прил. Д

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| где − эквивалентное число циклов нагружения зубьев червячного колеса за весь срок службы передачи.  где − коэффициент эквивалентности; – суммарное число циклов перемены напряжений.  где , , − вращающий момент на *i*-й ступени нагружения, соответствующие ему частота вращения вала и продолжительность действия; , − наибольший момент из длительно действующих (номинальный) и соответствующая ему частота вращения.  где − время работы передачи, ч.  где − срок службы, годы; и – коэффициенты использования передачи в году и в сутках.  ,  .  Допускаемое контактное напряжение |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Продолжение прил. Д

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| 3.3.2 Допускаемые напряжения изгиба  где − коэффициент долговечности; − допускаемое напряжение.  Коэффициент долговечности  где − эквивалентное число циклов нагружения зубьев червячного колеса за весь срок службы передачи.  где − коэффициент эквивалентности.  ,  Исходное допускаемое напряжение  Допускаемое напряжение изгиба |
| Основная надпись по ГОСТ 2.104-68 (форма 2а) |
|  |

Составители

Резанова Елена Викторовна

Садовец Владимир Юрьевич

**ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ**

**И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

**ДЛЯ ЗУБЧАТЫХ И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ**

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «**Основы проектирования**» для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение», по дисциплине «**Детали машин и основы конструирования**» для студентов направлений 15.03.05 «Конструкторско-технологической обеспечение машиностроительных производств» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», по дисциплине «**Детали машин**» для студентов направления 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие   
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»   
и по дисциплине «**Прикладная механика**» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 20.06.2016. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л. 1,3.

Тираж 30 экз. Заказ .

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.