

К вопросу о выборе стали для зубчатых колес в курсовом проектировании

Узяков Р.Н., Пояркова Е.В.

Подготовка инженерных кадров в обязательном порядке включает изучение таких общеинженерных дисциплин как сопротивления материалов и детали машин. Для немеханических специальностей данные дисциплины включаются в курсы «Механика», «Прикладная механика», «Техническая механика».

В процессе изучения дисциплин «Механика», «Прикладная механика», «Техническая механика» и «Детали машин» студенты получают теоретические знания по расчету и конструированию деталей и узлов общего назначения, встречающихся в различных механизмах и машинах. Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (КП).

Целью курсового проектирования является формирование практических навыков и умения самостоятельного решения инженерных задач, развитие творческих способностей и освоение технической, нормативной и справочной литературой.

Курсовой проект должен содержать расчет и конструирование механических передач с достаточным числом деталей общего назначения для успешного освоения основ их проектирования. Силовые приводы цепных конвейеров (ПЦК) и ленточных транспортеров (ПЛТ), как правило, имеют необходимое количество таких деталей. Они включают в себя электродвигатель, муфты, открытые и закрытые (редукторы) передачи.

Вопросам проектирования зубчатых передач посвящена данная статья.

В редукторостроении экономически целесообразно применять стали с твердостью $HB \leq 350$.

Механические свойства термически обработанных сталей в значительной степени зависят от размеров и вида заготовок. И это вызывает значительные трудности у студентов при выборе сталей для изготовления зубчатых колес. Дело в том, что размеры колес определяются после определения основного параметра закрытых передач – межосевого расстояния для цилиндрических зубчатых передач или внешнего делительного диаметра для конических зубчатых передач. А основной параметр определяется в зависимости от контактной прочности материала

колес, которая в свою очередь зависит от марки стали, размеров и вида заготовки, а также применяемой термообработки (ТО).

Аналогично для открытых цилиндрических передач основным параметром является нормальный модуль зацепления, который зависит от марки стали, размеров и вида заготовки, а также применяемой термообработки (ТО).

Не только студенты, но и преподаватели не могут заранее определить размеры заготовок необходимых для изготовления шестерни и зубчатого колеса.

Исходными данными для расчета зубчатых передач являются: передаточное число u_{12} и моменты на валах передачи $T_1, T_2, H \cdot \text{мм}$.

Используя эти данные, а также средние значения передаточных отношений для передач и среднее значение допускаемых контактных напряжений $[\sigma]_H, \text{МПа}$ и допускаемых напряжений изгиба $[\sigma]_F, \text{МПа}$ для улучшаемых и нормализованных сталей нами предлагаются формулы для определения размеров заготовок $d_{1загот}$ и $d_{2загот}$ мм.

Ориентировочно размеры заготовок определяют по следующим формулам:

- для прямозубых цилиндрических закрытых передач:

$$d_{1загот} \approx 3,0 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2}{u_{12}^2}}, \quad d_{2загот} \approx d_{1загот} \cdot u_{12}, \text{ (мм)};$$

- для косозубых цилиндрических закрытых передач:

$$d_{1загот} \approx 2,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2}{u_{12}^2}}, \quad d_{2загот} \approx d_{1загот} \cdot u_{12}, \text{ (мм)}.$$

- для прямозубых конических закрытых передач:

$$d_{2загот} \approx 3,2 \cdot \sqrt[3]{T_2 \cdot u_{12}}, \quad d_{1загот} \approx \frac{d_{2загот}}{u_{12}}, \text{ (мм)}.$$

- для прямозубых цилиндрических открытых передач:

$$d_{1загот} \approx 1,9 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_2}{u_{12}}}, \quad d_{2загот} \approx d_{1загот} \cdot u_{12}, \text{ (мм)}$$

где $d_{1загот}, \text{ мм}$ – диаметр заготовки шестерни;

$d_{2загот}, \text{ мм}$ – диаметр заготовки зубчатого колеса;

u_{12} – передаточное число зубчатой передачи;

$T_2, H \cdot \text{мм}$ – момент на зубчатом колесе.

При этом необходимо помнить, что твердость материала шестерни должна быть выше твердости материала колеса:

$$HB_1 \geq HB_2 + (20...50).$$

большие значения добавляют при больших передаточных числах.

Основы науки Детали Машин были полностью разработаны в 19 веке. В 20 веке получили распространение, клиноременные передачи, разработаны поли-клиноременные передачи и передачи зубчатым ремнем, а также волновые и шарико-винтовые передачи. В тоже время в течении 20-го века было выпущено огромное количество технической и учебной литературы по Деталям машин. Разные авторы излагали свои взгляды и методики расчета деталей машин, не меняющие физической сущности, основой которых является Сопротивление материалов. Поэтому расчеты, выполненные по разным методикам, дают практически одинаковые результаты.

Анализ данной литературы показал, что таблицы «Механических характеристик сталей для изготовления зубчатых колес» кочуют из учебника в учебник лишь с небольшими изменениями и имеют три типа рисунки 1, 2 и 3.

3.3. Механические свойства сталей, применяемых для изготовления зубчатых колес

Марка стали	Диаметр заготовки, мм	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Твердость HB (средняя)	Термообработка
45	100 – 500	570	290	190	Нормализация
45	До 90 90 – 120 Св. 120	780 730 690	440 390 340	230 210 200	
30ХГС	До 140 Св. 140	1020 930	840 740	260 250	Улучшение
40Х	До 120 120 – 160 Св. 160	930 880 830	690 590 540	270 260 245	
40ХН	До 150 150 – 180 Св. 180	930 880 835	690 590 540	280 265 250	

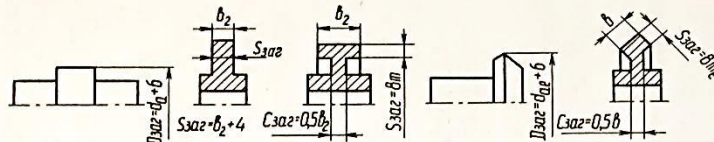
Рисунок 1 – Курсовое проектирование деталей машин: учебное пособие для учащихся машиностроительных специальностей техникумов/ С.А. Чернавский [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машино-строение, 1988. – 416 с.: ил.

Таблица 2.1

Марка стали	Термо-обработка	Предельные размеры заготовки, мм		Твердость зубьев		σ_T , МПа
		$D_{пр}$	$S_{пр}$	в сердцевине	на поверхности	
45	Улучшение Улучшение	125	80	235—262 HB	235—262 HB	540
		80	50	269—302 HB	269—302 HB	650
40X	Улучшение Улучшение Улучшение и закалка ТВЧ	200	125	235—262 HB	235—262 HB	640
		125	80	269—302 HB	269—302 HB	750
		125	80	269—302 HB	45—50 HRC	750
40XH, 35XM	Улучшение Улучшение Улучшение и закалка ТВЧ	315	200	235—262 HB	235—262 HB	630
		200	125	269—302 HB	269—302 HB	750
		200	125	269—302 HB	48—53 HRC	750
40XHMA, 38X2MЮA	Улучшение и азотирование	125	80	269—302 HB	50—56 HRC	780
20X, 20XH2M, 18XГТ, 12XH3A, 25XГМ	Улучшение, цементация и закалка	200	125	300—400 HB	56—63 HRC	800

Рисунок 2 – Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для студентов технических специальностей вузов / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия». – 2003. – 496 с.: ил. – ISBN 5-7695-1041-2.

Таблица 3.2. Механические характеристики некоторых марок сталей для изготовления зубчатых колес и других деталей



Марка стали	Вид заготовки	Заготовка шестерни $D_{сред}$, мм	Заготовка колеса $S_{сред}$, мм	Термообработка	Твердость заготовки (зубьев)		σ_s	σ_T	σ_{-1}
					поверхности	сердцевины			
35	Поковка	Любые размеры		Н	163...192 HB		550	270	235
40	»	120	60	У	192...228 HB		700	400	300
45	»	Любые размеры		Н	179...207 HB		600	320	260
45	»	125	80	У	235...262 HB		780	540	335
45	»	80	50	У	269...302 HB		890	650	380
40X	»	200	125	У	235...262 HB		790	640	375
40X	»	125	80	У	269...302 HB		900	750	410
40X	»	125	80	У+ТВЧ	45...50 HRC, 269...302 HB		900	750	410
40XH	»	315	200	У	235...262 HB		800	630	380
40XH	»	200	125	У	269...302 HB		920	750	420
40XH	»	200	125	У+ТВЧ	48...53 HRC, 269...302 HB		920	750	420
35XM	»	315	200	У	235...262 HB		800	670	380
35XM	»	200	125	У	269...302 HB		920	790	420
35XM	»	200	125	У+ТВЧ	48...53 HRC, 269...302 HB		920	790	420
35Л	Литье	Любые размеры		Н	163...207 HB		550	270	235
40Л	»	»	»	Н	147 HB		520	295	225
45Л	»	315	200	У	207...235 HB		680	440	285
40ГЛ	»	315	200	У	235...262 HB		850	600	365

Примечания: 1. В графе «Термообработка» приняты следующие обозначения: Н — нормализация, У — улучшение, ТВЧ — закалка токами высокой частоты. 2. Для цилиндрических и конических колес с выточками принять меньшее из значений $C_{3пз}$, $S_{3пз}$. 3. Химический состав сталей см. табл. К1.

Рисунок 2 – Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин: учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454 с.: ил., черт. – Б. ц. – ISBN 5-7406-0257-2.

По размерам заготовок: первый тип дает диаметры заготовки, которые нельзя определить заранее; второй тип дает предельные размеры заготовок, которые также нельзя определить заранее; третий тип дает эскизы заготовок и предельные размеры заготовок, которые также нельзя определить до полного расчета передачи.

По виду заготовки: первые два вида вообще не дают этот параметр, а третий дает только два вида – поковка и литьё. В то время как шестерни и вал-шестерни диаметром до 100 мм изготавливают из круглого проката.

По виду термообработки: первый тип дает нормализацию и улучшение, что соответствует твердости $HB \leq 350$ наиболее часто применяемой в редукторостроении, второй и третий тип добавляют улучшение + закалка ТВЧ, что редко используется в редукторостроении.

По виду твердости: первый тип дает конкретные значения, второй и третий тип дают диапазоны значений, что значительно увеличивает степень неопределенности для студентов.

В результате студенты выбирают стали и термообработку по принципу: либо что попало, либо, что сказал преподаватель. Данная ситуация является неприемлемой, так как студенты по данному вопросу не получают ни знаний ни умений.

Проведя анализ современных марочников сталей, нами предлагается таблица «Механических характеристик сталей для изготовления зубчатых колес» (таблица 1) позволяющая студентам, с учетом предложенного выше метода определения размеров заготовок, осознано подбирать стали для зубчатых передач в курсовом проектировании. Данная таблица предназначена для учебных целей и не в коем случае, не претендует на абсолютную истину.

Таблица А.1 – Механических характеристик сталей для изготовления зубчатых колес.

Марка стали	Диаметр мм, вид заготовки	Предел прочности σ_B Н/мм ²	Предел текучести σ_T Н/мм ²	Твердость (средняя) НВ	Термо-обработка
40	100-300, поковка	470	245	165	Нормализация
45	100-300, поковка	530	275	175	
50	100-300, поковка	570	315	185	
40	До 90, прокат	780	630	220	Улучшение
45	До 90, прокат	820	570	230	
	90-120, прокат	750	545	210	
	Св. 130, поковка	680	425	200	
30ХГС	До 80, прокат	860	730	250	
	Св. 80, поковка	785	625	225	
40Х	До 100, прокат	980	780	270	
	100-200, поковка	860	720	260	
40ХН	До 100, прокат	980	785	280	
	100-300, поковка	910	760	265	
35ХМ	До 100, прокат	950	840	300	
	До 300, поковка	780	590	260	
40ХН2МА	До 100, прокат	1070	950	310	
	Св 100, поковка	960	860	265	
45Л	Св. 300, литье	520	290	180	Нормализация
40Л	Св. 300, литье	550	350	170	Улучшение
45Л	Св. 300, литье	550	320	190	
35ГЛ	Св. 300, литье	600	350	200	
30ГСЛ	Св. 300, литье	650	400	210	

Опубликовано: Материалы Всероссийской научно-методической конференции. 2019.
 УНИВЕРСИТЕТСКИЙ КОМПЛЕКС КАК РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ОБРАЗОВАНИЯ,
 НАУКИ И КУЛЬТУРЫ. Издательство: Оренбургский государственный университет
 (Оренбург)