

А. Т. Батурин

Детали машин

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621
ББК 34.4
А11

А11 **А. Т. Батури**
Детали машин / А. Т. Батури – М.: Книга по Требованию, 2012. – 423 с.

ISBN 978-5-458-39521-2

ISBN 978-5-458-39521-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2012
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2012

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

В настоящее второе издание книги введен ряд дополнений и изменений, в частности расширен материал по расчету валов, дан уточненный расчет валов на усталостную прочность и переработан вопрос о выборе допускаемых напряжений.

В соответствии с программными требованиями в курс введены новые главы: «Трение в машинах» и «Редукторы». В настоящем виде курс полностью охватывает вопросы по конструированию и расчету деталей машин, предусмотренные программой по технической механике для немашиностроительных техникумов.

При подготовке второго издания к печати учтены замечания и пожелания, высказанные в ряде отзывов преподавателей техникумов и высших учебных заведений.

А. Батурич

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящий курс составлен в соответствии с утвержденной Министерством высшего образования программой и издается в качестве учебного пособия для техникумов.

Материал изложен достаточно элементарно в соответствии с уровнем подготовки учащихся 3-го курса техникума. Вместе с тем в курсе отражены современные методы расчета основных элементов машиностроительных конструкций общего назначения, разработанные советскими учеными и научно-исследовательскими институтами. В каждом разделе приводятся числовые примеры расчета, способствующие лучшему усвоению теоретического материала (в числовых примерах точность результатов, как правило, соответствует точности, получаемой при подсчетах на логарифмической линейке).

При изложении в курсе методики выбора допускаемых напряжений учтены современные достижения советской науки и техники.

В разделе «Зубчатая передача» несколько подробнее, чем это обычно принято в учебниках по деталям машин, освещены вопросы геометрии и кинематики зубчатого зацепления, так как изложение этих вопросов перед переходом к расчету зубчатых передач, как показал опыт преподавания, наиболее оправдано методически.

А. Батурич

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Детали машин» является заключительной частью дисциплины, которая в учебном плане техникумов именуется технической механикой.

В курсе рассматриваются основные методы расчета и конструирования типовых деталей машин, т. е. таких деталей, которые встречаются в различных машинах вне зависимости от назначения и конструкции последних. Это в основном детали соединений — болты, винты, шпонки и т. п. и детали передач — зубчатые колеса, оси, валы и т. п.

Курс «Детали машин» как самостоятельная научная и учебная дисциплина в основном сформировался к концу прошлого столетия. До того времени вопросы расчета и конструирования деталей машин рассматривались в общих курсах «Практическая механика» и «Построение машин».

Лишь общее развитие машиностроения и успехи, достигнутые в области общей механики, теории механизмов и сопротивления материалов, привели к созданию новой, самостоятельной общетехнической дисциплины «Детали машин».

Первый курс «Детали машин», послуживший образцом для ряда последующих учебников по этому предмету, был написан проф. В. Л. Кирпичевым в 1881 г. Замечательный ученый и педагог, В. Л. Кирпичев много сделал для развития технического образования в России. Под его руководством или в сотрудничестве с ним работали многие выдающиеся русские инженеры-механики — профессора Д. С. Зернов, Л. В. Ассур, И. И. Бобарыков и ряд других.

Труды В. Л. Кирпичева «Сопротивление материалов», «Основания графической статики», «Лишние неизвестные в строительной механике», «Беседы о механике», по которым училось много поколений русских инженеров и техников, не утратили своего интереса до настоящего времени.

Для развития теоретических основ курса «Детали машин» большую роль сыграли работы проф. Н. П. Петрова «Влияние трения при передаче работы упругим ремнем», «Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости»; Н. Е. Жуковского «О скольжении ремня на шкиве», «Как распределяется усилие по виткам гайки»; Н. Е. Жуковского и С. А. Чаплыгина «О трении смазочного слоя между шипом и подшипником» и ряд других.

В создании отечественной школы расчета и конструирования машин весьма велика заслуга профессоров МВТУ П. К. Худякова и А. И. Сидорова. Их научная и педагогическая деятельность, созданные ими курсы и атласы по деталям машин во многом определили конструкторско-технологическое направление в области учения о деталях машин, сохранившееся до настоящего времени. В своих работах «Трубы и их соединения» (1912 г.) и «Основные принципы проектирования и конструирования машин» (1929 г.) проф. А. И. Сидоров выступал против упрощенчества, а также ложного теоретизирования; роль этих работ в формировании отечественной школы машиностроителей весьма значительна.

Советское правительство высоко оценило заслуги П. К. Худякова и А. И. Сидорова, присвоив первому звание героя труда, а второму — звание заслуженного деятеля науки и техники.

Наука о деталях машин получила в нашей стране особенно большое развитие после Великой Октябрьской социалистической революции, когда было издано множество отдельных работ и статей по различным разделам и вопросам учения о деталях машин, ряд капитальных курсов деталей машин (И. И. Бобарыкова, В. А. Добровольского и др.), многотомный труд — Энциклопедический справочник «Машиностроение», ряд томов которого посвящен вопросам расчета и конструирования машин и их деталей, изложенным на базе теоретических и экспериментальных исследований научно-исследовательских институтов и опыта передовых машиностроительных заводов.

Прогрессивные методы расчета и конструирования деталей машин успешно разрабатываются многими научно-исследовательскими институтами и кафедрами высших технических учебных заведений.

Работы Центрального научно-исследовательского института технологии и машиностроения (ЦНИИТМАШ) по зубчатым, ременным и фрикционным передачам, Института машиноведения Академии наук СССР по вопросам прочности, чистоты поверхности, трения и износа деталей машин сыграли большую роль в развитии теоретических основ машиностроения.

Изучение курса вводит учащихся в важнейшую область техники — **м а ш и н о с т р о е н и е**.

Развитие машиностроения имеет особо важное значение у нас, ибо оно способствует разрешению важнейшей задачи современного общества — переходу от социализма к коммунизму.

В зависимости от назначения машины имеют самое различное устройство; особенно большим разнообразием отличаются машины-орудия. Число различных машин, выполняющих разнообразные функции, трудно поддается учету; по мере развития техники число их непрерывно растет.

Машины завоевывают все новые и новые области применения и непрерывно совершенствуются.

Детали, из которых составлены машины, можно разделить на две группы:

а) детали, которые по своей форме, характеру движения и работе присущи лишь данной группе машин и составляют отличительную особенность этой группы;

б) детали, встречающиеся не только в машинах данной группы, но и в машинах другого назначения.

К группе «б» относятся, например, такие распространенные детали, как болт и гайка. Едва ли можно встретить машину, в которой не нашли бы применения эти детали. К данной группе надо отнести и такие детали, как оси, зубчатые колеса, шкивы и т. д.

Курс «Детали машин» имеет в виду изучение устройства, условий работы и определение основных размеров частей машин, наиболее часто встречающихся в машинах разного назначения; изучение деталей группы «а» относится к специальным курсам.

Основная цель, которая преследуется изучением курса «Детали машин», — ознакомить учащихся с принципами расчета и конструирования деталей машин и несложных узлов. Конструирование заключается в выполнении проекта детали или узла машины с указанием материала, размеров, точности и чистоты обработки отдельных частей.

Борьба за экономию металла, за уменьшение веса машин, за увеличение их надежности, экономичности и долговечности является при этом важнейшей задачей советских конструкторов.

Спроектированная деталь должна иметь достаточную прочность при минимальном весе, необходимую жесткость, достаточную износостойкость и по возможности простую форму, должна быть удобной и безопасной в эксплуатации и находиться в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ).

При проектировании каждого из узлов машины необходимо предусмотреть возможность замены вышедших из строя деталей с минимальной затратой времени. В первую очередь это, конечно, относится к быстро изнашиваемым деталям. Сборка и разборка узла должна быть по возможности простой.

Достижение достаточной прочности требует точного знания не только величины действующих на деталь нагрузок, но и характера их действия. Применение расчетных формул сопротивления материалов осложняется тем, что в ряде случаев не вполне точно известны действующие на деталь нагрузки; форма детали и способы ее опорных закреплений отличны от рассматриваемых в сопротивлении материалов простейших форм (брус), типов опор (шарнирная опора, жесткая заделка).

Задача конструктора состоит в том, чтобы выбрать такую упрощенную схему, которая была бы доступна расчету и в то же время наиболее близко соответствовала бы действительным условиям работы детали.

Анализируя эти условия работы, конструктор должен определить наиболее опасный случай действия внешних сил и принять его за основу для расчета, обеспечивая этим прочность детали в самых неблагоприятных условиях работы. При этом одним из важнейших расчетных факторов, от которого зависят и надежность расчета, и экономичность конструкции, является выбор допускаемого напряжения. Этот вопрос изложен в § 2.

Однако определения размеров детали только по условиям прочности в ряде случаев недостаточно, необходимо учесть и деформации, чтобы обеспечить расчетом достаточную жесткость детали. Пренебрежение расчетом на жесткость может привести машину к аварии. Проф. А. И. Сидоров приводит примеры таких случаев. При централизованном тросовом управлении стрелками ж.-д. путей в случае засорения (например, снегом) стрелок удлинение троса может явиться причиной неправильной сигнализации о переводе стрелки, когда она фактически не переведена, и привести к аварии. Большой угол закручивания вала, связывающего ходовые колеса мостового крана, может быть причиной схода одного из колес с рельсов и, следовательно, вызвать аварию крана и т. д.

Для уменьшения стоимости машины и продления срока ее службы необходимо обращать серьезное внимание на упрощение конструкции без ущерба для ее надежности, сохранение при этом технически целесообразной формы, а также на выбор наиболее пригодного материала для деталей с учетом современных методов обработки. Так, применение сварки позволяет в ряде случаев заменить массивные литые чугунные детали более легкими стальными сварными, а применение цементации и других способов термической и термохимической обработки металлов дает возможность увеличить поверхностную твердость деталей и тем обеспечить износостойкость трущихся частей машины и удлинение срока их службы.

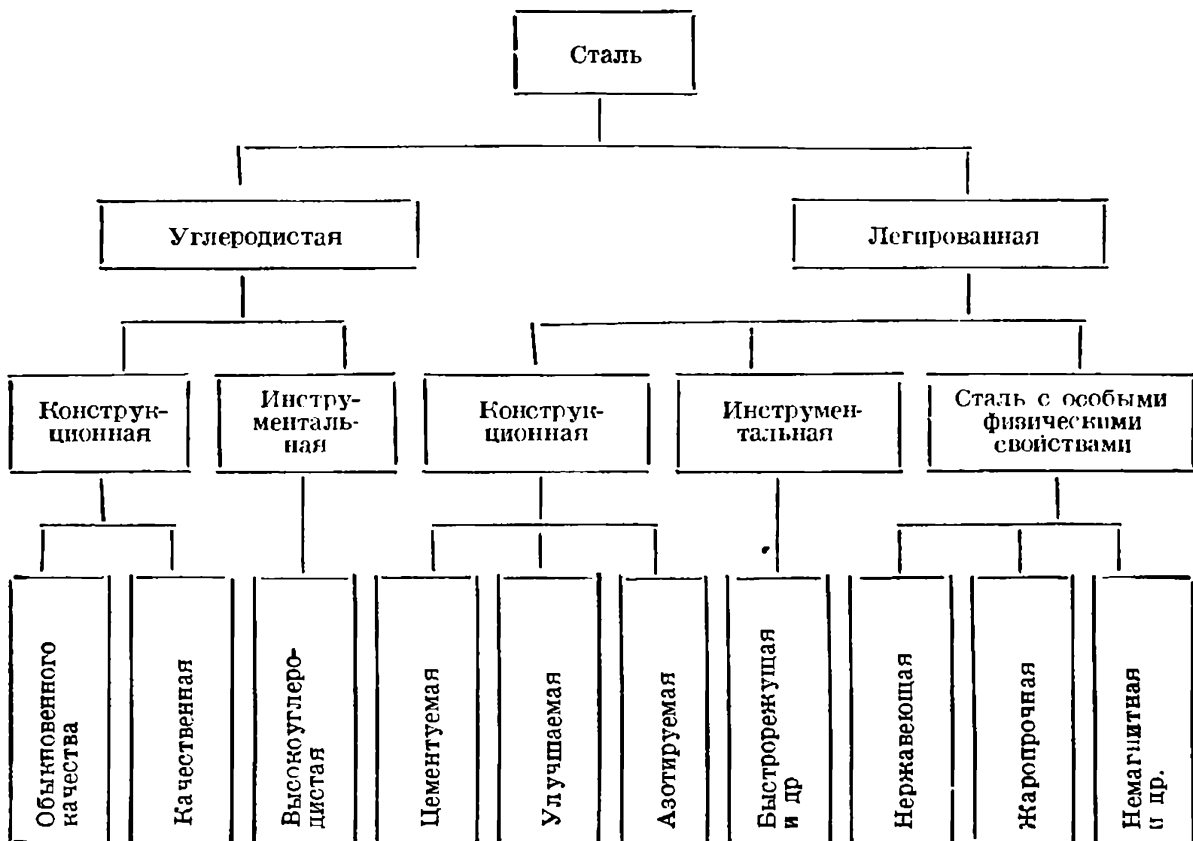
Как известно, по соображениям экономического порядка каждый завод специализируется на выпуске какого-либо определенного рода машин. Изготовление на одном заводе разнообразных машин требует применения большого количества чертежей, моделей, приспособлений, инструментов, станков и пр., что увеличивает стоимость выпускаемой продукции; более того, изделия даже одного рода не строятся произвольных размеров, а для них устанавливаются нормализованные размеры. Нормализацией отдельных частей машин достигается возможность быстрой замены изношенных частей, что создает благоприятные условия для эксплуатации. Нормализация ряда наиболее часто применяемых деталей, например болтов, шпонок, заклепок и т. п., а также размеров элементов конструкций — диаметров валов, резьб и т. д., проведена в общесоюзном масштабе: на эти детали разработаны государственные общесоюзные стандарты (ГОСТ). Этими стандартами должен руководствоваться конструктор в своей практической работе. Таковы основные задачи и требования, которые ставятся при проектировании деталей машин.

§ 1. ВАЖНЕЙШИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Наиболее распространенными материалами в машиностроении являются сталь разных марок, чугун, бронза.

Кроме того, для изготовления ряда деталей находят применение различные пластмассы (текстолит, гетинакс, различные древопластики и т. д.), причем их использование с каждым годом расширяется. Многие неметаллические материалы — резина, кожа, стекло, технические ткани и т. д. — также довольно широко применяются как в общем, так особенно в специальном машиностроении.

Важнейшим материалом является сталь. Классификация стали по назначению и химическому составу может быть схематически представлена в следующем виде:



От содержания углерода в углеродистой стали зависят ее свойства и структура. Кроме углерода, эта сталь содержит марганец, кремний, серу, фосфор. Добавляя к углеродистой стали никель, вольфрам, молибден, ванадий, титан, получают легированную сталь, маркам которой присваиваются названия в зависимости от введенного легирующего элемента: никелевая сталь, хромо-никелевая и т. д.

Конструкционная углеродистая сталь идет на изготовление различных машинных частей и маркируется Ст. 0, Ст. 1,

Ст. 2,... Ст. 6, Ст. 7 (обыкновенного качества) и сталь 10, 15, 20, ..., 70 (качественная). К группе качественной стали относится также сталь с повышенным содержанием марганца, маркируемая 15Г, 30Г и т. д. или 30Г2, 35Г2 и т. д.

Инструментальная сталь углеродистая идет на изготовление резцов, фрез, калибров, штампов и пр.; эта сталь обладает значительной твердостью и износостойкостью; она маркируется, например, так: У9, что означает — углеродистая сталь с содержанием углерода примерно 0,9%.

В тех случаях, когда свойства углеродистой стали не обеспечивают требуемого качества изготавливаемых деталей машин и инструментов (достаточной прочности, износостойкости, жароупорности и т. п.), переходят к применению легированной стали.

Введение легирующих элементов улучшает механические свойства стали, изменяет физико-химические свойства и увеличивает глубину прокаливания.

Легирующие элементы в марках сталей по ГОСТ обозначаются: Н — никель, Х — хром, Г — марганец, С — кремний, В — вольфрам, Ф — ванадий, Ю — алюминий, М — молибден, К — кобальт, Т — титан.

Маркировка легированной стали по ГОСТ дается в виде комбинаций букв и цифр: первые две цифры означают содержание углерода в сотых долях процента, далее буквой указывается легирующий элемент и его примерное содержание в процентах, например марка 12Х2Н4А расшифровывается так: сталь с содержанием углерода ~0,12%, хрома ~2%, никеля ~4%; буква А ставится для обозначения высокого качества стали (с пониженным содержанием вредных примесей — серы и фосфора).

Если содержание легирующего элемента составляет примерно 1%, то после соответствующей буквы в марке стали никаких цифр не ставится. Например, в хромоникелевой стали 20ХН содержится примерно 1% хрома и столько же никеля.

В табл. 1 приведены механические характеристики ряда марок конструкционной стали и примерная область их применения.

Механические свойства стали можно улучшить, применяя термообработку: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск.

Отжиг уменьшает структурную неоднородность стали (обуславливает получение равновесной структуры), повышает пластичность и вязкость, снижает твердость и улучшает обрабатываемость резанием.

Нормализация, выравнивая структурную неоднородность стали, снижает твердость и улучшает обрабатываемость резанием.

Закалка обеспечивает получение требуемых физико-механических свойств¹.

¹ Термообработка, заключающаяся в закалке с последующим высокотемпературным отпуском, обычно называется улучшением.

Таблица 1

Механические характеристики конструкционной стали

Марка стали	ГОСТ	Механические характеристики в кг/мм ²			Примерное назначение
		Предел прочности σ_B не менее	Предел текучести σ_T не менее	Предел выносливости при симметричном цикле изгиба σ_{-1}	
Ст. 2	380-57	34	22	17	Дымогарные и жаровые трубы: заклепки, болты, валики, оси, кулачки, не испытывающие больших напряжений
Ст. 3		38	24	18	Детали металлоконструкций; болты, гайки, тяги, крюки, шатуны, клинья, оси, валики, свариваемые детали
Ст. 4		42	26	22	Детали металлоконструкций: тяги, валы, оси
Ст. 5		50	28	24	Ответственные болты, тяги, крюки, клинья, шатуны; оси, валы, пальцы; зубчатые колеса
Ст. 6		60	31	28	Шпонки, муфты кулачковые и фрикционные, пластины сцеп. тормозные ленты, шестерни и валы
10	1050-57	34	21	14	Детали, изготавливаемые штамповкой в холодном состоянии; свариваемые детали; детали, подлежащие цементации, в частности прокладки, шайбы, трубки, вилки, тяги
15		37	22	16	Детали, изготавливаемые ковкой и штамповкой в горячем состоянии, штамповкой в холодном состоянии, (с вытяжкой); детали подлежащие цементации; свариваемые детали, болты, винты, гайки, ключи, рычаги, фланцы
20		41	25	17	То же, что и из стали 15, а также кованые и штампованные тяги, крюки, рычаги, серьги, иголки, вкладыши
25		44	26	19	То же, что и из стали 20, а также оси, валы, соединительные муфты, болты, шпильки, гайки, винты и шайбы, не испытывающие высоких напряжений

Продолжение табл. 1

Марка стали	ГОСТ	Механические характеристики в кг/мм ²			Примерное назначение
		Предел прочности σ_b не менее	Предел текучести σ_T не менее	Предел выносливости при симметричном цикле изгиба σ_{-1}	
30	1050-57	48	29	21	Детали с повышенной вязкостью, изготавливаемые ковкой и штамповкой в горячем состоянии, оси, валы, тяги, цилиндры, маховики
35		52	31	23	Кованые тяги, оси, валы, болты, винты, гайки, шайбы, балансиры, диафрагмы
40		57	32	25	Оси, штоки, коленчатые валы, зубчатые колеса, фланцы, диски в нормализованном состоянии
45		60	34	26	Плунжеры, зубчатые колеса и рейки, муфты, втулки, валики, фрикционные диски; болты, шпильки, гайки
50		63	35	28	Штоки, оси, валы, шестерни, неотвественные пружины
15Г		40	23	18	Детали, изготавливаемые ковкой и штамповкой в горячем состоянии; детали подлежащие цементации; в частности кулачковые валики, тяги, шарниры муфт
50Г		65	37	29	Детали подвергающиеся истиранию: диски трения, шлицевые валы, шестерни постоянного зацепления
60Г		70	38	29	Пружинные шайбы, тормозные диски, фрикционные диски, упорные кольца
65Г	4543-57	75	40	30	Пружинные кольца, пружинные шайбы, спиральные пружины, рессоры
15X 20X		70 80	50 60	33 35	Шестерни, валики, поршневые пальцы, кулачковые муфты; детали, подвергающиеся цементации
30X		90	70	38	Оси, катки, валики, балансиры, шестерни
40X		100	80	42	То же, что и из стали 30X, а также коленчатые валы
20XH		80	60	40	Шестерни, шлицевые валики, шпонки
40XH		100	80	45	Валы, шестерни, диски, роторы

Примечание. Для качественной углеродистой стали механические характеристики получены при испытании нормализованных образцов, а для легированной стали — образцов, подвергнутых улучшению.