

Б.И. Штейнберг

**Справочник молодого
инженера-конструктора**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 62-63
ББК 30.6
Б11

Б.И. Штейнберг
Б11 Справочник молодого инженера-конструктора / Б.И. Штейнберг – М.: Книга по Требованию, 2024. – 174 с.

ISBN 978-5-458-35375-5

В справочнике приведены краткие общие рекомендации по проектированию изделий и технологической оснастки, применяемых в машиностроении, с учетом физико-механических свойств и технологических особенностей различных конструкционных материалов, помещены сведения по расчету элементов механизмов и машин, термической и химико-термической обработке, защитно-декоративным покрытиям, допускам и посадкам, взаимозаменяемости, шероховатости поверхностей. Второе издание переработано с учетом данных новых ГОСТ по машиностроению, существенно дополнено новыми сведениями о высокоэффективных процессах обработки. Рассчитан на молодых инженеров-конструкторов, а также может быть полезен техникам и студентам вузов соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-458-35375-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

$= 3\alpha V_0 (T_2 - T_1)$, где α — коэффициент линейного расширения, K^{-1} (значения α при 293 K приведены в табл. 6—11;

избегать открытых механизмов и передач, предотвращать проникновение грязи, пыли и влаги на трущиеся поверхности;

предотвращать самоотвинчивание резьбовых соединений (глухим способом — рис. 1, *а—г*; позитивным — рис. 1, *д—з*; способом фрикционного стопорения — рис. 1, *и—р*);

предусматривать блокирующие устройства, устраняющие возможность поломки и аварий в результате неумелого или небрежного обращения;

учитывать рекомендации эргономики и технической эстетики, существующие ГОСТы, а также действующие отраслевые, ведомственные нормы и стандарты, ограничительные нормы предприятия-изготовителя.

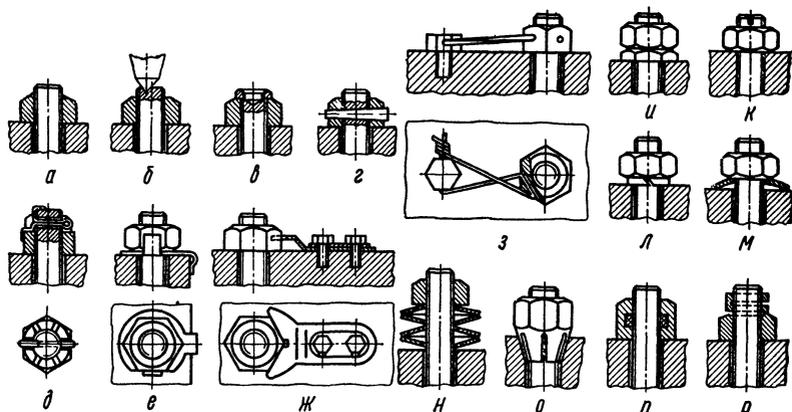


Рис. 1. Способы предотвращения самоотвинчивания резьбовых соединений:

а — сварка; *б* — кернение; *в* — развальцовка; *г* — использование штифта; *д* — шплинта; *е* — шайбы с отгибными лапками; *ж* — пластинчатого стопора; *з* — проволоки; *и*, *к* — контргайки; *л* — разрезной пружинной шайбы (шайбы Гровера); *м* — цилиндрической пружинной шайбы прямоугольной формы; *н* — набора конических пружинных шайб; *о* — конической самоконтращей гайки; *п* — самоконтращей гайки с пластмассовым вкладышем; *р* — самоконтращей прорезной гайки.

Кроме вышеизложенных рекомендаций, при конструировании необходимо также помнить, что придаваемые новому изделию или узлу свойства могут быть в значительной мере изменены, если менять (инверсировать) функции, форму либо расположение составляющих его деталей. Такой прием называется методом инверсии. Например, иногда бывает целесообразно ведомую деталь сделать ведущей, направляющую — направляемой или наружный корпус сделать внутренним, выпуклую сферическую поверхность сделать вогнутой и т. п. При этом конструкция приобретает новые свойства. В табл. 1 приведены некоторые примеры инверсирования типовых машиностроительных узлов.

Качество изделия в значительной степени зависит от качества конструкторской документации. Основные требования к рабочим чертежам регламентированы соответствующими ГОСТами. При выполнении рабочих чертежей необходимо учитывать следующие рекомендации: на рабочих чертежах указываются размеры, предельные отклонения, обозначения шероховатости поверхностей и другие технические требования, относящиеся к деталям перед сборкой или перед дополнительной обработкой по чертежам других изделий; количество размеров на чертежах должно быть минимальным, но достаточным для однозначного чтения чертежа; каждый размер должен указываться только один раз, причем должна обеспечиваться возможность его выполнения и кон-

1. Схемы инверсии некоторых типовых узлов

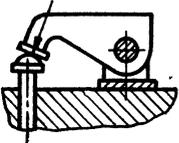
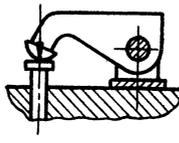
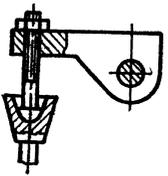
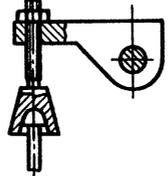
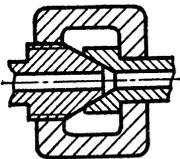
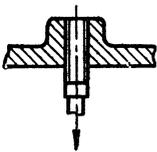
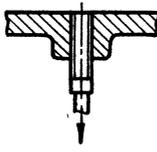
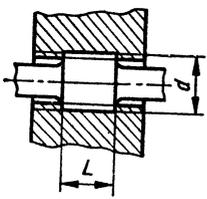
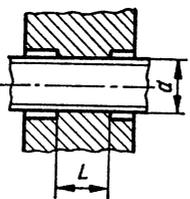
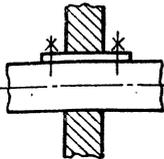
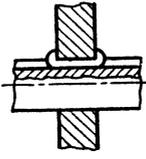
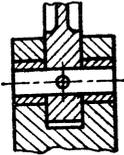
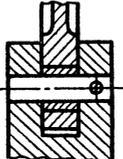
Схема		Результат инверсии
исходная	инверсированная	
		Устранены поперечные нагрузки на толкатель
		Улучшены условия смазки (масло может скапливаться в чаше тяги)
		Уменьшены осевые габаритные размеры
		Повышена прочность резьбового соединения, так как податливость бобышки у начальных витков способствует более равномерному распределению нагрузки по виткам
		Увеличена прочность винта (при одинаковых d и L), повышена технологичность (нарезание длинной резьбы в отверстии затруднительно)

Схема		Результат инверсии
исходная	инверсированная	
		Облегчено изготовление узла и улучшены условия движения вала
		Улучшены условия работы подшипника скольжения, так как увеличена его жесткость и получено более благоприятное отношение длины подшипника к диаметру
		Значительно увеличена точность установки клапана, так как направляющее отверстие и седло обрабатываются с одного установка

троля при изготовлении детали или изделия; для всех размеров должны быть указаны (или оговорены в технических требованиях) предельные отклонения; при простановке размеров необходимо учитывать, что наиболее точный из них должен иметь наименьшую накопленную погрешность при изготовлении; выбранная для простановки размеров конструктивная база должна обеспечивать минимальные погрешности изготовления и быть удобной для контроля; в деталях, имеющих оси симметрии, размеры рекомендуется проставлять не от осей симметрии, а от поверхностей детали; дополнительные данные по изготовлению деталей указываются в технических требованиях.

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ, ЖЕСТКОСТИ И НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ. МЕТОД БОМБИРОВАНИЯ

На всех стадиях проектирования необходимо стремиться к созданию максимально прочных и надежных конструкций, обладающих высокой работоспособностью. Прочность детали определяется механическими свойствами материалов и геометрическими размерами сечения и характеризуется способностью выдерживать нагрузку без разрушения. Основными механическими характеристиками материала, определяющими его прочность, являются

предел прочности (временное сопротивление) σ_b , Па — напряжение, возникающее в материале при максимальной нагрузке, предел пропорциональности σ_p , Па — наибольшее напряжение, до которого практически сохраняется прямая пропорциональная зависимость между напряжениями и деформациями, вызванными ими, предел текучести σ_t , Па — наименьшее напряжение, при котором деформация материала растет без заметного увеличения нагрузки. Показатели прочности для различных материалов приведены на с. 16—17.

Предел прочности применяется при расчетах на прочность деталей из хрупких материалов, предел текучести — из пластичных. Предел пропорциональности используется при расчетах на деформирование.

В процессе выполнения расчетов на прочность деталей определяются такие величины: допускаемая нагрузка, при которой обеспечивается прочность конструкции; поперечные размеры деталей, при которых обеспечивается прочность последних (проектный расчет); фактический коэффициент запаса прочности для имеющейся конструкции при заданных нагрузках (проверочный расчет).

Ряд деталей и конструкций испытывает действие переменных напряжений. В этом случае разрушение может произойти при напряжениях ниже предела прочности. Напряжение в таких деталях изменяется во времени, как правило, циклично — от некоторого максимального значения σ_{max} до минимального σ_{min} . Способность материала выдерживать без разрушения определенное число циклов нагружений характеризуется его циклической прочностью, а наибольшая величина напряжений при таком нагружении — предел выносливости материала.

Циклическая прочность деталей зависит от местных напряжений, возникающих вблизи так называемых геометрических концентраторов напряжения: отверстий, выточек, шпоночных канавок, галтелей, резьбы, рисок, лысок, а также в местах внутренних дефектов материала (технологических концентраторов напряжений — трещин, включений и т. п.). Для повышения циклической прочности рекомендуется устранить или свести к обоснованному минимуму количество геометрических концентраторов напряжения, а также искусственно усилить места, ослабленные из-за наличия концентраторов. Это достигается, например, путем применения плавных переходов и галтелей, введения центрирования в резьбовых соединениях, увеличения диаметра вала на участке резьбы, размещения концентраторов в различных плоскостях сечения и т. п.

Для повышения циклической прочности можно также рекомендовать термическую, химико-термическую и термо-механическую обработку сталей (см. с. 86), в результате которой в поверхностных слоях появляются предварительные напряжения сжатия; полирование, притирку, суперфиниширование поверхностей детали с целью уменьшения высоты микронеровностей; дробеструйную обработку, накатывание роликами, алмазное выглаживание, ультразвуковое упрочнение, импульсный гидронаклеп с целью упрочнения поверхностного слоя пластической деформацией. Прочность деталей из пластмасс может быть повышена в результате их термообработки, в процессе которой меняется структура полимерного материала и снимаются внутренние напряжения, путем их армирования, введения волокнистого наполнителя, совмещения с другими полимерами. Существенное влияние на прочность пластмассовых деталей оказывает точность соблюдения технологических режимов при их изготовлении.

В проектируемых конструкциях действительные напряжения не должны доходить до опасного предела. Отношение предела прочности или предела текучести к наибольшему фактическому напряжению в детали называется фактическим коэффициентом запаса прочности. Значение этого коэффициента зависит, прежде всего, от методики расчета, т. е. от степени соответствия принятых в расчетной схеме предположений действительным условиям работы. Коэффициент запаса прочности должен учитывать неточность в экспериментальном или расчетном определении величин напряжений и нагрузок,

неточность принятых методов расчета, неточность изготовления деталей, степень однородности материала, его качество и другие факторы.

Прочность оценивается путем сравнения фактического значения коэффициента запаса прочности с допусаемым для различных условий. При предварительной оценке коэффициентов запаса прочности могут быть использованы данные табл. 2.

2. Ориентировочные значения коэффициентов запаса прочности

Условия изготовления	Условия расчета	Требования к надежности и экономичности		
		пониженные	средние	повышенные
Повышенные	Повышенные	(1,0—1,1)	1,1—1,2	1,2—1,4
	Средние	(1,2—1,4)	1,4—1,6	1,5—1,8
	Пониженные	(1,4—1,7)	1,6—2,0	1,8—2,3
Пониженные	Повышенные	2,2—2,9	2,6—3,5	(3,0—4,0)
	Средние	2,4—3,2	2,8—3,9	(3,3—4,5)
	Пониженные	2,6—3,5	3,1—4,2	(3,6—5,0)

Примечания: 1. Условия изготовления считаются повышенными, если стабильность механических свойств материала и уровень технологии высокие.

2. Условия расчета тем выше, чем более достоверны данные о нагрузках и напряжениях и чем более расчетная схема соответствует действительному распределению нагрузок.

3. Данные в скобках по возможности не применять.

В процессе конструирования изделий из пластмасс рекомендуется для определения допустимых напряжений при кратковременных статических нагрузках понижать пределы прочности для реактопластов в 1,2—1,5 раза, для термопластов — в 1,8—2,0 раза. При кратковременных ударных нагрузках допустимые напряжения рекомендуется дополнительно снижать для реактопластов на 50—60 %, для термопластов — на 20—30 %.

Многие детали механизмов и машин работают в условиях линейного или плоскостного контакта под большой нагрузкой при наличии трения. Поверхности этих деталей рекомендуется делать слегка выпуклыми, в результате чего обеспечивается центральное приложение нагрузки, устраняются повышенные кромочные давления, возникающие из-за неточностей изготовления и монтажа, и повышается прочность деталей. Такой прием называется бомбированием.

На рис. 2 для примера показано применение этого принципа для ролика подшипника качения. Построенные эпюры показывают, что у ролика с острыми кромками (рис. 2,а) возникают повышенные кромочные давления, особенно в случае перекоса или внецентрового приложения нагрузки (рис. 2,б). При снятии фасок на торцах (рис. 2,в) положение не исправляется, но перемещается место приложения максимальной нагрузки. В результате введения галтелей (рис. 2,г) снижаются кромочные давления, но при внецентровом приложении нагрузки все же возникает пик давления, хотя и меньший, чем в предыдущих случаях. Конструкция бомбированного бочкообразного ролика (рис. 2,д) обеспечивает наиболее благоприятное распределение нагрузки при перекосах (рис. 2,е), а следовательно, и максимальную прочность.

Одной из важных характеристик конструкций является жесткость, т. е. способность сопротивляться образованию деформаций под действием

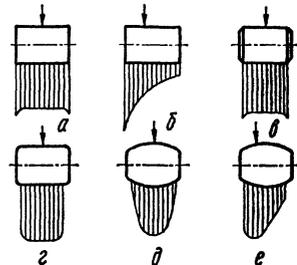
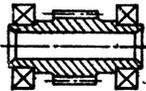
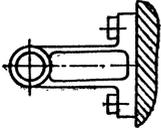
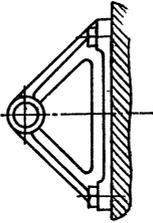
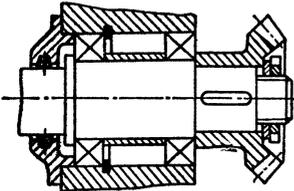
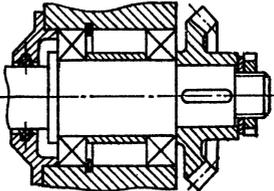
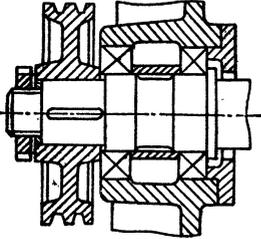
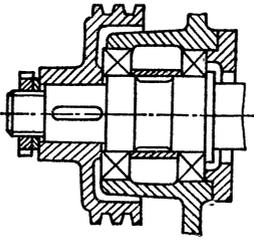


Рис. 2. Бомбирование ролика подшипника качения.

3. Рекомендуемые варианты увеличения жесткости конструкций

Конструкция		Сущность изменения
исходная	измененная	
		Уменьшение пролета между опорами
		Замена напряжений изгиба напряжениями растяжения и сжатия
		Уменьшение вылета консоли
		Ликвидация консоли

нагрузок. При недостаточной жесткости в конструкции могут возникнуть повышенные деформации, являющиеся причиной нарушения равномерного распределения нагрузки и появления опасных местных напряжений, интенсифицируются трение и износ подвижных соединений, нарушаются нормальные условия эксплуатации. Вследствие недостаточной жесткости может возникнуть фрикционная коррозия или произойти сварка контактирующих поверхностей. Существуют такие основные пути повышения жесткости: замена напряжений изгиба напряжениями сжатия и растяжения; оптимальная расстановка опор для деталей, работающих на изгиб; исключение видов нагружения, при которых возникают повышенные деформации; обоснованное увеличение моментов инерции сечений; применение рациональных форм сечений, фасонного проката, гнутых профилей; введение в конструкцию ребер жесткости; усиление мест заделки; применение материалов, обладающих повышенной жесткостью.

Для некоторых материалов, в частности термопластических полимеров кристаллической группы (полипропилен, полиформальдегид, полиамиды), повышение жесткости отформованных деталей может быть достигнуто в результате их термообработки. Увеличить жесткость пластмасс можно также путем их армирования и введения волокнистых наполнителей. Рекомендации по возможному увеличению жесткости конструкций представлены в табл. 3.

Комплексным показателем, характеризующим изделие в целом, является надежность. В соответствии с ГОСТ 13377—75, надежность определяется как вероятность безотказной работы изделия с заданными функциями при сохранении его эксплуатационных показателей в течение требуемого срока службы. Надежность прежде всего зависит от конструктивных особенностей машины или механизмов, правильности выбора технических решений. Повышению надежности способствуют упрощение конструкции, автоматическая смазка, защита от абразивного износа и вредных воздействий окружающей среды, применение более совершенных материалов.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ МАССЫ КОНСТРУКЦИИ

Наиболее действенными средствами снижения массы конструкций и уменьшения расхода материалов, т. е. металлоемкости, являются рациональная компоновка изделия, выработка новых принципиальных решений по упрощению кинематики машины или механизма, обоснованное применение пустотелых, ребристых, гнутых и других облегченных профилей, проката периодического профиля, сварных конструкций, легированных конструкционных сталей, специальных сплавов и пластмасс.

Снижению массы способствует также рациональный выбор сечения. Для сечений различной формы, имеющих одну и ту же площадь, значения прочности и жесткости различны. Например, для круглого сечения диаметром $d = 0,2$ м (рис. 3, а) с площадью $F = \pi d^2/4 = 3,14 \cdot 10^{-2}$ м² осевой момент сопротивления $W_x \approx 0,1 d^3 = 0,8 \cdot 10^{-3}$ м³, момент инерции $I_x \approx 0,05 d^4 = 0,8 \cdot 10^{-4}$ м⁴, полярный момент сопротивления $W_p \approx 0,2d^3 = 1,6 \cdot 10^{-3}$ м³, полярный момент инерции $J_p \approx 0,1 d^4 = 1,6 \cdot 10^{-4}$ м⁴.

Для кольцевого сечения (рис. 3, б) той же площади $F = 3,14 \cdot 10^{-2}$ м² при $a = \frac{d_1}{d} = 0,9$ значение $d = \sqrt{\frac{4F}{(1-a^2)\pi}} = 0,46$ м, $W_x \approx 0,1 d^3 (1-a^4) =$

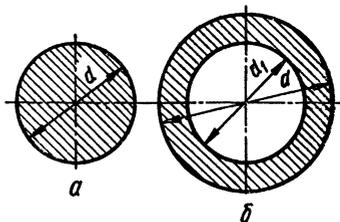
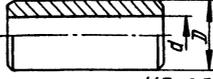
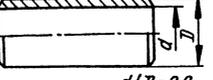
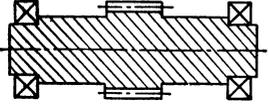
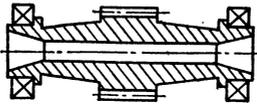
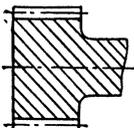
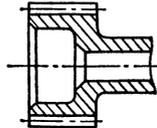
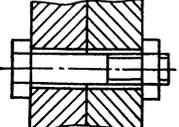
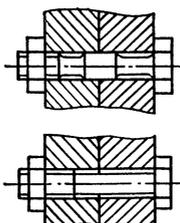


Рис. 3. Сечения одинаковой площади.

4. Некоторые рекомендуемые варианты снижения массы конструкций

Нерациональная форма детали	Рациональная форма равнопрочной детали	Отношение массы детали рациональной формы к массе равнопрочной детали нерациональной формы
	 $d/D=0,5$	0,78
	 $d/D=0,9$	0,39
		0,8
		0,8
		0,9

$$= 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, I_x \approx 0,05 d^4 (1 - a^4) = 7,68 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4, W_p \approx 0,2 d^3 (1 - a^4) = 6,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, I_p \approx 0,1 d^4 (1 - a^4) = 15,36 \cdot 10^{-4} \text{ см}^4.$$

Значения моментов инерции и сопротивления для второго сечения значительно больше, т. е. прочность и жесткость его выше жесткости сплошного

круглого. Но в случае применения кольцевого сечения увеличивается габаритный размер сечения, что не всегда возможно по конструктивным соображениям.

При одинаковых значениях моментов сопротивления и моментов инерции можно подобрать сечения меньшей массы. Например, для круглого сплошного сечения при $W_x = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ диаметр $d = \sqrt[3]{\frac{W_x}{0,1}} = 0,3 \text{ м}$, площадь сечения $F = \pi d^2/4 = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. Для кольцевого сечения при том же значении момента сопротивления и $a = 0,9$ диаметр $d \approx \sqrt[3]{\frac{W_x}{0,1(1-a^4)}} = 0,43 \text{ м}$, $F = \frac{\pi d^2}{4}(1-a^2) = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. В данном случае при одной и той же прочности масса снизилась, но габаритный размер увеличился.

Из приведенных примеров видно, что вопрос снижения массы конструкций должен решаться в комплексе с другими вопросами, в том числе и с учетом компоновки деталей в изделии.

В табл. 4 приведены некоторые рекомендуемые варианты снижения массы конструкций за счет придания равнопрочным деталям более рациональной формы.

Как указывалось выше, снижению массы конструкций способствует применение специальных легких сплавов, например алюминиевых или магниевых. Характерную для легких сплавов пониженную прочность и жесткость компенсируют увеличением сечений, моментов инерции и моментов сопротивления деталей, а также рациональным расположением ребер жесткости.

При проектировании деталей из легких сплавов необходимо учитывать следующие рекомендации:

- детали целесообразно соединять с помощью стяжных болтов (рис. 4,а) или на шпильках (рис. 4,б), при этом длина резьбового отверстия должна быть не менее $(2...2,5)d$;
- при необходимости использования свертных болтов отверстие под резьбу следует армировать стальными втулками (рис. 4,в);
- под головки болтов и гайки необходимо устанавливать стальные подкладные шайбы увеличенного диаметра (рис. 4,а,б,в);
- подшипники качения целесообразно устанавливать на промежуточных стальных гильзах, закрепленных с исключением проворота (рис. 3,з);
- глубина запрессовки штифтов в отверстия должна быть не менее $(2...2,5)d$ (рис. 4,д);
- в часто разбираемых соединениях отверстия под штифты следует армировать стальными втулками (рис. 4,д);
- пружины, особенно работающие при циклических нагрузках, должны опираться на стальные шайбы (рис. 4,е);

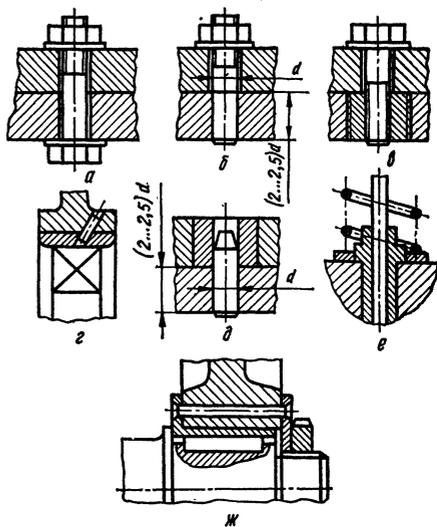


Рис. 4. Конструкции деталей из легких сплавов.

детали, передающие крутящий момент, необходимо армировать стальной втулкой (рис. 4, ж) с максимально возможным удалением элементов, передающих крутящий момент, от оси;

при сопряжении деталей из легких сплавов со стальными деталями следует учитывать различие их коэффициентов линейного расширения. В неподвижных сопряжениях в результате расширения детали из легкого сплава, ограниченной смежными стальными деталями, могут возникнуть высокие термические напряжения;

в подвижных сопряжениях, где охватываемая деталь выполнена из легкого сплава, а охватывающая — из стали, следует предусматривать увеличенные зазоры.

УЧЕТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

На всех стадиях проектирования необходимо стремиться к созданию таких конструкций, которые могут быть изготовлены с наименьшими затратами. Для этого особое внимание следует уделять правильному выбору материала и заготовки, конструктивных форм и размеров деталей, шероховатости поверхностей и точности обработки. Например, если материал без ущерба для эксплуатационных качеств проектируемой конструкции может быть заменен другим, то выбирают более дешевый материал, в результате чего снижаются суммарные затраты на изготовление изделия. Одним из перспективных путей повышения экономичности конструкций является обоснованное и рациональное применение прогрессивных полимерных материалов, пластмасс. Экономический эффект от применения 1 т пластмасс взамен металла в различных отраслях машиностроения и электротехнической промышленности составляет от 160 до 2260 р. (в среднем 520 р.). Коэффициент использования материала в процессе переработки пластмасс составляет 0,95 — 0,98, в случае применения металлов — 0,2 — 0,6 при механической обработке и 0,6 — 0,8 при литье. Поэтому там, где это возможно по условиям прочности, надежности и другим эксплуатационным показателям, применение пластмасс является целесообразным с экономической точки зрения.

Устанавливая размеры и форму деталей, конструктор должен учитывать, какими методами они могут быть изготовлены. От принятой формы и размеров деталей часто зависит метод их обработки и, наоборот, технологические возможности данного предприятия могут предопределить ту или иную форму деталей. Выбор рационального метода обработки деталей определяется с учетом объема их выпуска и возможности применения наиболее прогрессивной и экономичной технологии. Если объем выпуска изделия большой, то может быть оправдано применение более сложных деталей, несмотря на то что подготовка их производства потребует больших затрат. В каждом конкретном случае нужен соответствующий технико-экономический расчет.

При проектировании изделий необходимо укладываться в пределы лимитной цены, указываемой заказчиком на основе анализа существующих ценников и прейскурантов. Порядок разработки, утверждения и введения в действие технических условий и цен на продукцию машиностроения производственно-технического назначения устанавливается инструкцией РДИ 79—76 Госкомитета цен и Госкомитета стандартов Совета Министров СССР.

Экономическое обоснование создания нового изделия на стадиях разработки включает определение лимитной цены (на основе заявки заказчика), проектную цену (на основе проектной себестоимости) и экономический эффект. Экономический эффект, лимитная и проектная цены определяются в соответствии с ГОСТ 20779—75. Если при разработке новой продукции отсутствует основной заказчик (потребитель), то разработчик сам определяет исходные требования к ней, в том числе лимитную и проектную цены.

Предел лимитной цены может быть превышен только в том случае, если спроектированное изделие по своим эксплуатационным и техническим показателям превосходит базовые образцы.