Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Е. А. Шапиро

Пружины электрических аппаратов

с 930901

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

6П2.14
Ш23

Выпуск 4

Е. А. ШАПИРО

ПРУЖИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1959 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-3-3

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Демков Е. Д., Долгов А. Н., Ежков В. В., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

В настоящей работе в сжатой форме изложены методы изготовления, испытания и расчета цилиндрических винтовых пружин, применяемых в конструкциях электрических аппаратов.

В работе рассмотрены только пружины, сделанные из проволоки круглого сечения.

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства 3
1. Назначение пружин 4
2. Конструкции пружин 5
3. Материалы, применяемые для изготовления пружин 7
4. Технология изготовления пружин 10
5. Рабочий чертеж пружины 13
6. Расчет пружины 15
7. Методы испытания пружин 20
8. Причины неудовлетворительного качества пружин 24
9. Справочные данные 27
Литература 33

Шапиро Ефим Аронович

ПРУЖИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Редактор *Я. Л. Нейфельд* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 16/II 1959 г. Подписано к печати 31/III 1959 г.
Т-03950. Бумага 84×108¹/₃₂. 2 печ. л. Уч.-изд. л. 1,9
Тираж 9 500 экз. Цена 95 коп. Зак. 99

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

С 930901

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ
Библиотека
им. В.Г. Белинского
г. Свердловск

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Необходимость выпуска литературы для многочисленного отряда электромонтеров, ведущих ответственную работу по электрификации народного хозяйства нашей Родины, в последние годы чувствуется очень остро.

Госэнергоиздат приступает к выпуску «Библиотеки электромонтера» и выражает уверенность, что массовое распространение электротехнических знаний среди рабочих, бригадиров и мастеров будет способствовать выполнению исторических задач по строительству коммунизма, принятых XXI съездом КПСС.

В «Библиотеку электромонтера» войдут брошюры как для квалифицированных монтеров, имеющих большой практический опыт, так и для монтеров, имеющих необходимую теоретическую подготовку, но не имеющих достаточного опыта работы.

Цель этой библиотеки—объяснить, как работают электрические устройства и аппараты, показать, как выполняются простейшие элекртотехнические расчеты, почему в данных условиях приняты те или иные решения в части конструкций, схем и методов монтажа и эксплуатации, а также отразить передовой опыт изобретателей и рационализаторов по монтажу, наладке и эксплуатации электротехнических установок.

Издательство просит читателей присылать в редакцию свои замечания по вышедшим брошюрам и предложения о желательной тематике «Библиотеки электромонтера».

Предложения об издании брошюр вместе с кратким их содержанием следует направлять по адресу: Москва Ж-114, Шлюзовая набережная, д. 10, Госэнергоиздат, «Библиотека электромонтера».

1. НАЗНАЧЕНИЕ ПРУЖИН

В электрических аппаратах применяется много разнообразных пружин. Пружина может быть использована для создания контактного нажатия, для регулирования напряжения или тока включения аппарата, для возврата подвижной системы в первоначальное положение. Некоторая часть пружин работает в электрических аппаратах в виде буфера, сглаживающего вредное действие ударных нагрузок.

По внешнему виду пружина такая же простая деталь, как болт, рычаг или валик, однако в действительности пружина — это сложная тяжело нагруженная и ответственная деталь.

Тот факт, что пружина является источником нагрузки, показывает, что от прочности пружины зависит работа всего аппарата. Прочность пружины, ее неразрушаемость — условие необходимое, но не достаточное. От пружины, помимо прочности, требуется еще стабильность: постоянство нагрузки, отсутствие остаточных деформаций в течение от нескольких тысяч до нескольких сотен тысяч включений аппарата.

По виду нагружения пружины подразделяются на следующих три типа:

Пружины сжатия (рис. 1,*а*) навиты с большими зазо-

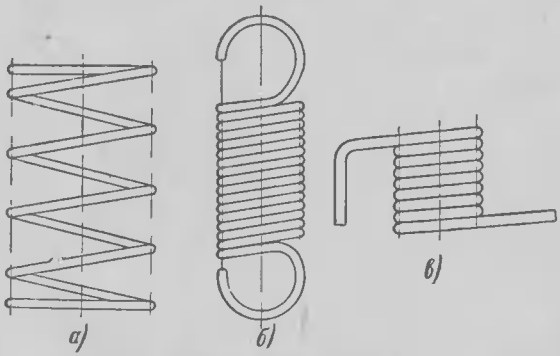


Рис. 1. Типы пружин.
а — сжатия; *б* — растяжения; *в* — кручения.

рами между витками. В этих пружинах проволока работает на кручение.

Пружины растяжения (рис. 1,*б*) чаще всего навиваются с нулевым зазором между витками. В пружинах растяжения проволока работает на кручение.

Пружины кручения (рис. 1,*в*) навиваются в большинстве случаев с нулевыми зазорами. В пружинах на кручение проволока работает на изгиб.

2. КОНСТРУКЦИИ ПРУЖИН

Витые пружины по своей форме подразделяются на две разновидности: 1) цилиндрические и 2) фасонные (конические, параболоидные и др.). Наибольшее применение в электрических аппаратах получили цилиндрические витые пружины, изготовленные из стальной круглой пружинной проволоки.

Основные конструктивные различия пружин сводятся к разнообразным способам отделки концевых витков.

Пружины сжатия всю нагрузку воспринимают на торцовые витки. Поэтому к торцовым виткам предъявляются следующие требования:

а) торцовые витки должны представлять собой надежную опорную плоскость;

б) плоскость торцового витка должна быть перпендикулярна оси пружины.

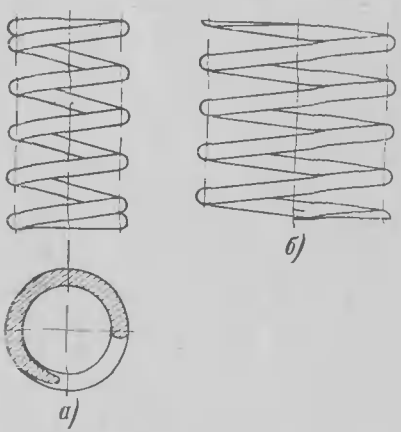


Рис. 2. Пружины сжатия.

а — торцовые витки поджаты и шлифованы; *б* — торцовые витки не поджаты, но шлифованы.

Торцовые витки могут быть поджаты с последующей шлифовкой (рис. 2,*а*) и не поджаты, но шлифованы (рис. 2,*б*).

Торцовый виток поджимается на $^3/_4$ окружности, т. е. всего на пружину расходуется на торцовые витки 1,5 витка, которые являются нерабочими витками, все остальные витки пружины — это рабочие витки.

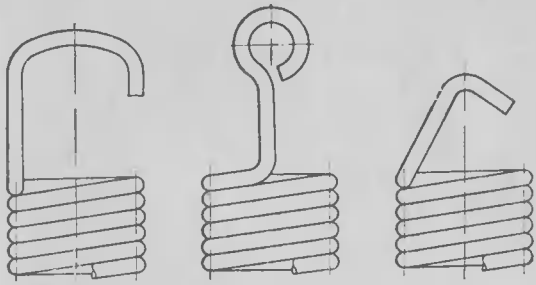


Рис. 3. Пружины растяжения с отогнутыми концевыми витками.

Для пружин растяжения приняты разные способы крепления концевых витков.

Крепление пружин растяжения выполняется в трех вариантах:

1) Отогнутый концевой виток служит прицепом для соединения пружины с соответствующими деталями (рис. 3). Такой способ отделки концевого витка применяется для пружин из проволоки диаметром до 5 *мм*.

2) На концевые витки навертывается стальная пластина,

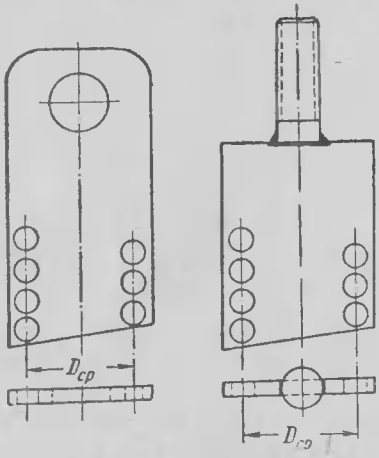


Рис. 4. Пластины для навертывания на пружины растяжения.

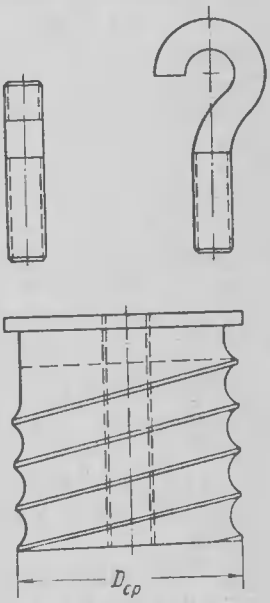


Рис. 5. Пробка для ввертывания в пружину растяжения.

оканчивающаяся резьбовым стержнем или отверстием под штифт, болт, ось (рис. 4). Этот вид крепления применяется для пружин из проволоки диаметром до 6 *мм*.

3) В концевые витки пружины ввертывается пробка (рис. 5), к которой крепится крючок либо шпилька. Пробки применяются для пружин из проволоки от 6 *мм* и выше.

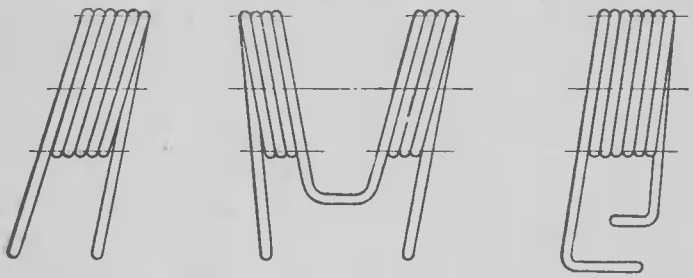


Рис. 6. Конструкции пружины кручения.

В пружинах растяжения нерабочими витками являются все те витки, которые выполняют роль прицепа либо навернуты на пробки и пластины. Концевые витки пружин кручения изготовляются отогнутыми в соответствии с конфигурацией и размерами деталей, воспринимающих нагрузку от данной пружины (рис. 6).

3. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУЖИН

Для изготовления пружин применяются материалы, имеющие высокие упругие свойства и хорошую пластичность.

Упругие свойства характеризуются способностью металла возвращаться к первоначальным размерам после снятия нагрузки. Пружинные материалы должны обладать также и пластичностью, необходимой для хорошей навиваемости пружины на оправку без разрушения проволоки.

Пружинные металлы изготовляются в виде проволоки, прутков и лент различных размеров. Материалами для пружин служат черные металлы (стали) и цветные металлы (бронзы). Такие металлы и сплавы, как медь, алюминий, латунь, мягкая сталь, оловянные сплавы, для изготовления пружин не годны.

Чаще всего пружины делаются из пружинных сталей. Для этой цели применяются две категории сталей: углеродистые и легированные.

На рис. 7 схематически показаны металлы, употребляемые для изготовления пружин. В табл. 1 приведены химический состав и механические свойства пружинных сталей и бронз.

Металлургические заводы поставляют пружинные материалы в двух состояниях: горячекатаные и холоднотянутые.

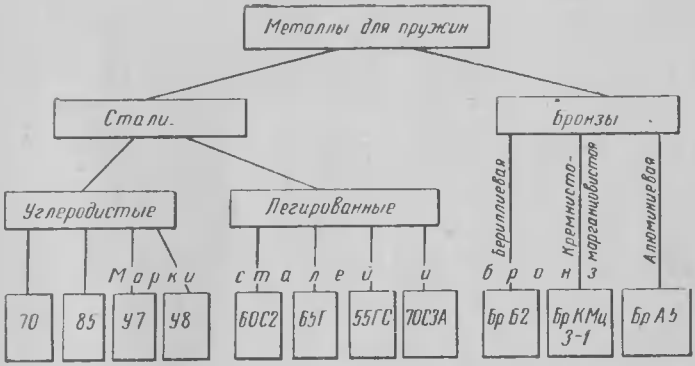


Рис. 7. Металлы для изготовления пружины.

Горячекатаные металлы применяются для изготовления пружин из проволоки больших диаметров (от 9 *мм* и выше). Эта проволока мягкая (отожженная) и после навивки пружины необходимо сделать закалку и отпуск.

Для винтовых пружин электрических аппаратов в большинстве случаев применяется углеродистая холоднотянутая проволока (диаметром от 0,2 до 8,0 *мм*), изготовляемая по ГОСТ 5047-49. В табл. 2 даны механические свойства проволоки, свидетельствующие о высоких прочностных и пластических свойствах стали. Навитые из этой проволоки пружины не требуют закалки. Более того, закалка может только лишь ухудшить свойства проволоки. Поэтому такие пружины подвергаются только отпуску, цель которого — снять внутренние напряжения, полученные пружиной в результате навивки.

Пружины изготовляются из бронзы в тех случаях, когда, помимо механических свойств, требуются также и немагнитные свойства, хорошая электропроводимость и тепло-

Таблица 1

Химический состав и механические свойства пружинных сталей и бронз

Марка стали	Химический состав, %							Механические свойства при растяжении после термической обработки			
	Углерод	Кремний	Марганец	Никель	Хром	Сера	Фосфор	Предел прочности при растяжении, 1 кг/мм²	Предел текучести при растяжении, кг/мм²	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
						Не более					
70	0,67—0,75	0,17—0,37	0,50—0,80	⩽0,25	⩽0,25	0,04	0,04	105	85	8	30
85	0,82—0,90	0,17—0,37	0,50—0,80	⩽0,30	⩽0,30	0,045	0,04	115	100	7	30
У7	0,60—0,74	⩽0,35	⩽0,40	⩽0,25	⩽0,20	0,03	0,04	100	80	10	30
У8	0,75—0,85	⩽0,35	⩽0,40	⩽0,25	⩽0,20	0,03	0,04	110	90	8	30
60С2	0,57—0,65	1,50—2,00	0,60—0,90	⩽0,40	⩽0,30	0,04	0,04	140	110	5	25
65Г	0,62—0,70	0,17—0,37	0,90—1,20	⩽0,25	⩽0,25	0,04	0,04	100	80	10	35
55ГС	0,52—0,60	0,50—0,80	0,60—0,90	⩽0,40	⩽0,30	0,045	0,04	130	120	6	30
70С3А	0,66—0,74	2,40—2,80	0,60—0,90	⩽0,40	⩽0,30	0,03	0,035	180	160	5	25

Марка бронзы	Алюминий	Кремний	Марганец	Бериллий				
БР А5	4,0—6,0				70		3	
БР КМц 3-1		2,75—3,5	1,0—1,5		65		5	
Бр Б2				2,0—2,3	130		0,5	

Таблица 2

Предел прочности, число перегибов и скручиваний пружинной проволоки по ГОСТ 5047-49

Диаметр проволоки, *мм*	Проволока повышенной прочности (класс П)			Проволока высокой прочности (класс В)		
	Предел прочности при растяжении, *кг/мм²*	Число перегибов проволоки	Число скручиваний проволоки	Предел прочности при растяжении, *кГ/мм²*	Число перегибов проволоки	Число скручиваний проволоки
0,2	220	—	26	265	—	30
0,5	220	—	19	265	—	16
1,0	195	8	17	250	9	16
2,0	175	9	16	200	8	14
3,0	155	5	13	170	4	10
4,0	145	6	13	160	4	6
5,0	130	4	9	150	3	4
6,0	120	6	4	140	3	2
7,0	120	6	—	—	—	—
8,0	120	5	—	—	—	—

проводимость, а также в тех случаях, когда от пружины требуется сравнительно небольшое изменение силы при значительных деформациях.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРУЖИН

Винтовые пружины изготовляются методом навивки проволоки на оправки нужного диаметра.

Пружины из проволоки диаметром 12 *мм* и более навиваются в горячем состоянии. При этом проволока подвергается нагреву до температуры 800—900° С. Нагрев проволоки может производиться в нагревательных печах или контактным способом, когда через проволоку пропускают ток большой силы при малых напряжениях. В нагретом состоянии проволока подается на навивальный станок, закрепляется на оправке и навивается в соответствии с заданной геометрией пружины.

Пружины электрических аппаратов в подавляющем большинстве случаев изготовляются методом холодной навивки на токарных станках. Оправка устанавливается в патрон станка и поджимается центром задней бабки. Закрепление проволоки на оправке производится клиновыми зажимами (рис. 8). Для того чтобы проволока навивалась на оправку плотно (с некоторым натягом) делаются натяжные

приспособления в виде глазков и роликов (рис. 9). После навивки пружина увеличивается в диаметре за счет упругих деформаций проволоки. Поэтому диаметр оправки всегда следует принимать меньше внутреннего диаметра пружины. В табл. 3 дана ориентировочно величина уменьшения

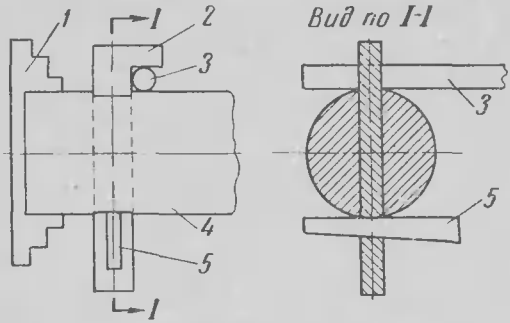


Рис. 8. Закрепление проволоки на оправке с помощью клинового зажима.
1 — патрон станка; *2* — зажим; *3*—проволока; *4*—оправка; *5* — клин.

диаметра оправки в зависимости от диаметра проволоки. Для более точного определения диаметра оправки необходимо произвести опытную навивку пружины. С одной установки навивается заготовка для нескольких пружин, которая затем разрубается на отдельные пружины. После раз-

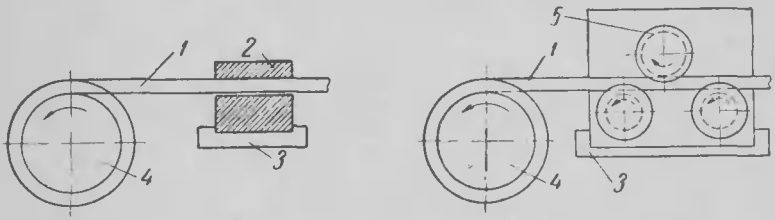


Рис. 9. Натяжные приспособления для навивки пружин.
1 — проволока; *2* — глазок; *3* — суппорт станка; *4* — оправка; *5* — разжимный ролик.

рубки заготовки производится заделка концов. Для пружин с малым диаметром проволоки (до 2 *мм*) заделка концов осуществляется с помощью клещей, плоскогубцев и т. д. Заделка концов пружины из проволоки диаметром более 2 *мм* зачастую сопровождается нагревом концевых витков с последующим исполнением нужных работ (поджим витка для пружин сжатия, отгибание витка для пружин растяже-

Таблица 3

Уменьшение диаметра оправки

Диаметр проволоки, *мм*	Величина уменьшения диаметра оправки по сравнению с внутренним диаметром пружины, *мм*
0,5	0,5
1,0	1,3
1,5	2,0
2,0	2,3
3,0	3,2
4,0	3,7
5,0	4,0
6,0	4,2
7,0	4,4
8,0	4,5

ния). Поджатый виток шлифуется до толщины на конце витка, равной $^1/_4$ диаметра проволоки.

Пружины подвергаются термической обработке в зависимости от марки стали. Если применена холоднотянутая стальная углеродистая проволока по ГОСТ 5047-49, то вся термическая обработка сводится только к отпуску, цель которого снятие внутренних напряжений. Отпуск пружин из проволоки диаметром до 3 *мм* производится при температуре 200—250° С, а для пружин из проволоки свыше 3 *мм* отпуск делается при температуре 400—450° С. Продолжительность отпуска от получаса до часа.

Пружины, изготовленные из легированных горячекатаных сталей, подвергаются закалке в масле и отпуску. Режим термической обработки назначается в зависимости от марки стали. После термической обработки твердость металла должна находиться в пределах 40—45 единиц по Роквеллу. Если твердость пружины будет менее 40 единиц, то такая пружина может давать остаточные деформации в процессе работы. Увеличение твердости свыше 45 единиц вызывает опасность разрушения пружин. После термической обработки пружины проходят антикоррозийные покрытия. Наиболее распространенные защитные покрытия пружин следующие: фосфатирование, цинкование, кадмирование и покрытие лаками. Перед нанесением покрытия производится гальваническое обезжиривание пружины, сопровождающееся выделением большого количества водорода на поверхности пружины. Водород диффундирует в металл, наводораживает его и пружина становится хрупкой. Для борьбы с водородной хрупкостью широко применяется отпуск пружин при температуре 120—150° С в течение 2—3 *ч*. Указанный отпуск производится после нанесения антикоррозийного покрытия.

Заключительной операцией технологии изготовления пружин является их испытание. Этот вопрос изложен в отдельном разделе.

5. РАБОЧИЙ ЧЕРТЕЖ ПРУЖИНЫ

На рис. 10 приведен рабочий чертеж пружины, работающей на растяжение. На чертеже указаны все параметры, необходимые для изготовления пружины, и дана ее характеристика.

Основными параметрами пружины являются:

1) тип навивки — правая или левая, на указанном чертеже пружина изготовлена правой навивкой;
2) конфигурация крайних витков;
3) внутренний или наружный диаметр пружины;
4) диаметр проволоки;
5) число рабочих витков;
6) общее число витков;
7) шаг пружины, при плотной навивке витков шаг равен диаметру проволоки;
8) общая длина пружины;
9) материал.

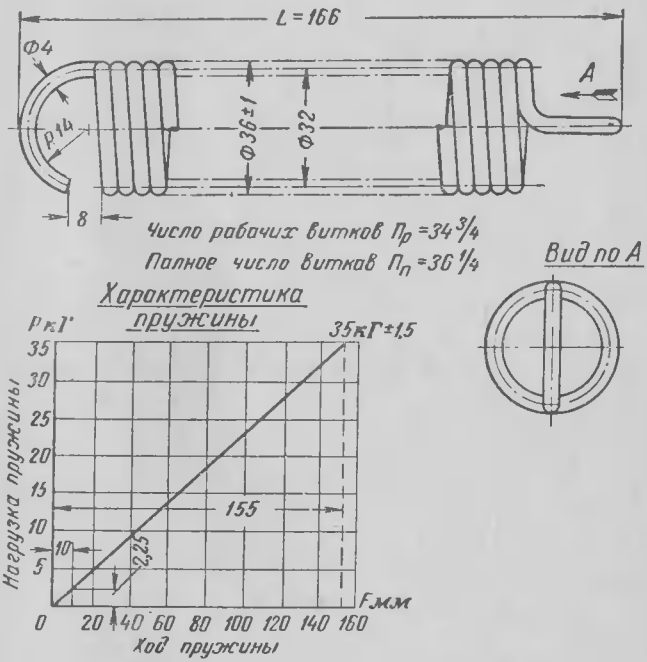
На чертеже пружины обычно указывается также необходимая термообработка ее и антикоррозийное покрытие.

Всех перечисленных данных достаточно, чтобы изготовить пружину.

Диаметр пружины и общая длина пружины зачастую имеют допуски, по которым устанавливается правильность изготовления пружины.

Характеристика пружины задается в большинстве случаев графиком. Характеристика определяет соотношение между ходом и нагрузкой пружины. Отношение величины нагрузки к величине хода пружины называется жесткостью пружин. В рассматриваемом чертеже пружины жесткость равна $\frac{35\ кГ}{155\ мм} = 0{,}23$. В технике для различных целей применяются пружины, имеющие жесткость от 0,001 до 1 000 и выше. Понятно, что чем выше число жесткости пружины, тем бо́льшую нагрузку можно получить при одном и том же ходе пружины.

На графике указываются предварительное и полное нагружения пружины. Пружины, которые должны быть изготовлены с повышенной точностью, имеют допуск на нагрузку. Например: $35^{\pm 1{,}5}\ кГ$. Это означает, что при ходе пружины в 155 *мм* нагрузка должна быть не менее 33,5 *кГ* и не более 36,5 *кГ*. На пружины, изготовленные с нормальной точностью, допуск не проставляется. В этом случае счи-



Проволока марки В гОСТ по ГОСТ 5047-49	Ф4 × 3580	0,358	
Материал	Заготовка	Вес, кг	
ПРУЖИНА			

Рис. 10. Рабочий чертеж пружины.

тается, что отклонения по нагрузке не должны превосходить ±10% номинального значения нагрузки. Для приведенной пружины (при условии отсутствия допуска) величина отклонения составит ±3,5, т. е. пружина может создавать нагрузку в пределах от 31,5 до 38,5 *кГ*.

6. РАСЧЕТ ПРУЖИНЫ

При проектировании какого-либо механизма всегда известна нагрузка, требуемая от пружины, также известен ход, который желательно получить на пружине. Поэтому расчет пружин сводится к нахождению основных параметров пружины по заданной характеристике.

Расчет пружин, работающих на растяжение и сжатие, производится одинаково по следующей формуле:

$$F = \frac{8PD_{ср}^3 n_р}{Gd^4}, \qquad (1)$$

где F — ход, *мм*;
P — нагрузка, *кГ*;
$D_{ср}$ — средний диаметр, *мм*;
$n_р$ — число рабочих витков;
G — модуль упругости при кручении; для пружинных сталей равен 8 000 *кГ/мм*^{2};
d — диаметр проволоки, *мм*.

В формулу (1) входят три основных геометрических параметра пружины: средний диаметр пружины, диаметр проволоки и число рабочих витков, которые должны быть определены. Следовательно, имеется одно уравнение с тремя неизвестными. Для решения этого уравнения необходимо задаться двумя геометрическими параметрами пружины. Обычно задаются средним диаметром пружины и числом рабочих витков, так как эти данные зависят от того объема в механизме, который может быть отведен для пружины. Последнее неизвестное — диаметр проволоки — находят по формуле

$$d = \sqrt[4]{\frac{8PD_{ср}^3 n_р}{FG}}. \qquad (1а)$$

Если же задаться диаметром проволоки и числом рабочих витков, то средний диаметр пружины определится:

$$D_{ср} = \sqrt[3]{\frac{FGd^4}{8Pn_р}}. \qquad (1б)$$

В формуле (1) следует обратить внимание на линейную зависимость между ходом, усилием и числом рабочих витков пружины, так как эти величины входят в формулу в первой степени. Для того, чтобы увеличить, например, усилие пружины в 2 раза, нужно увеличить ход пружины тоже в 2 раза. Или, например, чтобы увеличить или уменьшить в 2 раза ход пружины при определенной нагрузке, нужно соответственно увеличить или уменьшить число рабочих витков тоже в 2 раза.

В формулу расчета пружин не входят такие геометрические параметры, как шаг пружины, длина и тип навивки пружины. Следовательно, эти данные непосредственно не влияют на характеристику пружины.

Пример. Рассчитать пружину, показанную на рис. 10.

Пусть требуется определить диаметр проволоки при условиях нагрузка $P = 35$ *кГ*, ход $F = 155$ *мм*; принимаем средний диаметр $D_{ср} = 32$ *мм* и число рабочих витков $n_р = 32$:

$$d = \sqrt[4]{\frac{8PD_{ср}^3 n_р}{FG}} = \sqrt[4]{\frac{8 \cdot 35 \cdot 32^3 \cdot 32}{155 \cdot 8\,000}} = 3{,}93 \text{ мм}.$$

По расчету получен диаметр проволоки, равный 3,93 *мм*, однако пружинная проволока такого диаметра не изготовляется, а поэтому нужно принять диаметр проволоки, равный 4,0 *мм*. Поскольку диаметр проволоки входит в формулу в четвертой степени, то даже такое незначительное увеличение диаметра проволоки (всего лишь на 0,07 *мм*) приведет к изменению характеристики пружины. По условиям работы механизма требуется, чтобы при нагрузке 35 *кГ* ход пружины был 155 *мм*. Для решения этой задачи нужно принять такое число рабочих витков, при котором будет выполнено поставленное требование. Поэтому следующим действием в расчете пружин явится определение числа рабочих витков:

$$n_р = \frac{FGd^4}{8PD_{ср}^3} = \frac{155 \cdot 8\,000 \cdot 4^4}{8 \cdot 35 \cdot 32^3} = 34{,}7. \qquad (1в)$$

Принимаем $n_р = 34\,^3/_4$.

Окончательно геометрия пружины будет: $D_{ср} = 32$ *мм*; $d = 4$ *мм*; $n_р = 34\,^3/_4$ витка; такая пружина при нагрузке 35 *кГ* дает ход 155 *мм*, что требуется от данной пружины.

Расчет пружины на этом еще не закончен. Необходимо также определить работоспособность пружины, ее надежность в эксплуатации. Для этой цели следует вычислить напряжения от кручения (τ) в металле пружины, возникающие при наибольшей нагрузке. Рабочие напряжения в пружине не должны превышать максимально допустимых напряжений при кручении ($\tau_{доп}$):

$$\tau \leqslant \tau_{доп}. \qquad (2)$$

Напряжение (τ) определяется по следующей формуле:

$$\tau = \frac{8PD_{ср}}{\pi d^3}. \qquad (3)$$

Напряжения в рассматриваемой пружине будут:

$$\tau = \frac{8PD_{ср}}{\pi d^3} = \frac{8 \cdot 35 \cdot 32}{\pi \cdot 4^3} = 44{,}6.$$

Для проволоки марки В $\tau_{доп} = 60$ *кГ/мм²*, а поэтому условие (2) выполнено.

В ряде случаев, особенно для пружин сжатия, более целесообразно расчет пружины начинать с определения диаметра проволоки по условиям прочности. Для этого нужно принять рабочие напряжения, которые по величине не должны превосходить допускаемые напряжения. В рассматриваемом примере расчет пружин будет произведен в следующем порядке.

Приняв $\tau = 50$ *кГ/мм²*, по формуле (3) определяем диаметр проволоки:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8PD_{ср}}{\pi \cdot \tau}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 35 \cdot 32}{\pi \cdot 50}} = 3{,}88 \text{ мм}.$$

Полученную величину диаметра проволоки округляем до 4,0 *мм*, а затем по формуле (1в) рассчитываем число рабочих витков:

$$n_р = \frac{FGd^4}{8PD_{ср}^3} = \frac{155 \cdot 8\,000 \cdot 4^4}{8 \cdot 35 \cdot 32^3} = 34\,{}^3/_4.$$

Округление диаметра проволоки произведено нами в сторону увеличения, а поэтому нет надобности определять напряжения по формуле (3).

Когда диаметр проволоки округляется в сторону уменьшения, необходимо сделать проверку напряжений по формуле (3), чтобы не допустить превышения рабочих напряжений по сравнению с допускаемыми напряжениями.

Величина $\tau_{доп}$ зависит не только от марки проволоки, но и от степени ответственности пружины, характера ее работы конфигурации пружины. В тех случаях, когда от пружины зависит работа сложных и дорогостоящих механизмов, $\tau_{доп}$ ограничивают меньшей величиной. Это же относится к пружинам, несущим динамическую нагрузку в течение большого периода времени.

Известно, что у пружин с малым отношением $\frac{D_{ср}}{d}$ на внутренних волокнах, расположенных по внутреннему диаметру пружины, возникают большие перенапряжения, которые могут быть в 1,5 раза выше вычисленных по формуле (3).

Для определения таких максимальных напряжений ($\tau_{макс}$) вводится коэффициент (k)

$$\tau_{макс} = k\tau. \qquad (4)$$

Государственная
Библиотека
им. В.Г. Белинского
г. Свердловск

С 930901

Коэффициент k зависит от $\frac{D_{ср}}{d}$:

$$k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0{,}615}{c}. \qquad (5)$$

Определение коэффициента k и максимальных напряжений ($\tau_{макс}$) для рассматриваемой пружины:

$$c = \frac{D_{ср}}{d} = \frac{32}{4} = 8; \quad k = \frac{4c - 1}{4c - 4} + \frac{0{,}615}{c} = \frac{4 \cdot 8 - 1}{4 \cdot 8 - 4} + \frac{0{,}615}{8} = 1{,}18.$$

Полученное максимальное напряжение отвечает условию по формуле (2)

$$\tau_{макс} = k\tau = 1{,}18 \cdot 44{,}6 = 52{,}6 \ кГ/мм^2;$$

$$\tau_{макс} \leqslant \tau_{доп}.$$

Следовательно, пружина рассчитана верно. При работе эта пружина не разрушится и не даст остаточных деформаций.

Изложенный метод расчета применяется для пружин, работающих в течение многих миллионов нагружений.

Пружины высоковольтных аппаратов, как правило, отличаются тем, что за весь период эксплуатации аппарата пружина подвергается нагружению не более 20 000—25 000 раз. Это позволяет весьма существенно увеличить допускаемые напряжения. Так, например, для пружинной проволоки марки В диаметром 4—6 *мм* можно принять допускаемое напряжение 75 $кГ/мм^2$.

В табл. 4 дано сравнение двух отключающих пружин ВМГ-133, имеющих одинаковую характеристику (при ходе 100 *мм* они дают нагрузку 140 *кГ*).

Таблица 4

Сравнение двух отключающих пружин ВМГ-133

Размеры, напряжения и вес пружины	Пружина работает при нормальных напряжениях	Пружина работает при повышенных напряжениях
Диаметр проволоки d, *мм*	6	5
Средний диаметр пружины $D_{ср}$, *мм*	24	22
Общее число витков $n_{общ}$	78	50
Средние касательные напряжения $\tau_{ср}$, $кГ/мм^2$	40	62,7
Максимальные касательные напряжения $\tau_{макс}$, $кГ/мм^2$	56	85,4
Вес пружины, *кг*	1,31	0,53

Повышение допускаемых напряжений позволяет значительно уменьшить габариты и вес пружины. Повышение допускаемых напряжений явилось результатом пересмотра формулы (4), которая совершенно справедлива только для упругого состояния материала пружины, т. е. когда во внутренних волокнах пружины нет пластической деформа-

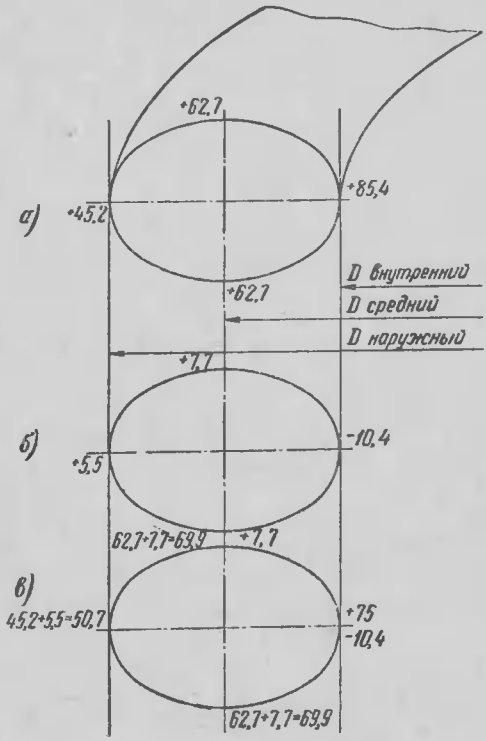


Рис. 11. Перераспределение напряжений по сечению проволоки.

ции. В действительности же принятие повышенных напряжений неизбежно сопровождается появлением пластических деформаций из-за большого перенапряжения внутренних волокон. Но при этом все остальные участки проволоки нагружены нормально, а наружные волокна даже недогружены. На рис. 11 показан процесс перераспределения напряжений в сечении проволоки для пружины с повышенными напряжениями. Рис. 11,*а* показывает величины напряжений по внутреннему, среднему и наружному диаметрам пружи-

ны, рассчитанных по формуле (4) для упругого состояния. На рис. 11,*б* даны величины остаточных напряжений после разгрузки пружины. Остаточные напряжения возникли в результате того, что предел текучести данного материала равен всего лишь 75 *кГ/мм*², а поэтому нагружение металла выше этой величины неизбежно приводит к появлению остаточной деформации. Следовательно, наружные и средние волокна пружины работают при напряжениях ниже предела текучести, а внутренние волокна — перенапряжены и получили остаточные деформации. При разгружении пружины упругие деформации на наружных и средних волокнах будут стремиться полностью вернуть пружину в исходное ненагруженное состояние.

Возвращению пружины в исходное состояние препятствуют остаточные пластические деформации на внутренних волокнах, стремящиеся зафиксировать на пружине остаточные деформации. Взаимодействие между упругими и пластическими деформациями приведет к появлению остаточных напряжений со знаком минус на внутренних волокнах. Уравновешивание минусовых остаточных напряжений происходит за счет появления остаточных напряжений со знаком плюс на средних и наружных волокнах пружины. На рис. 11,*в* даны результаты перераспределения напряжений (наибольшие напряжения по средним и наружным волокнам увеличились).

Метод расчета пружин, работающих при повышенных напряжениях, изложен схематично. Применять этот метод расчета можно для пружинных сталей, имеющих высокие пластические свойства (например, пружинная сталь по ГОСТ 5047-49).

7. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ПРУЖИН

Испытаниям пружин предшествует определение геометрических параметров пружины: измерение диаметра проволоки, наружного диаметра пружины, числа рабочих витков.

В условиях электротехнического завода испытания пружин производятся на испытательных машинах, дающих возможность измерить нагрузку пружины при заданной деформации. Ответственные пружины электрических аппаратов проходят 100%-й контроль на соответствие указанной в чертеже характеристике.

Для построения характеристики пружины нужно определить нагрузку и ход пружины не менее чем в двух точках,

если характеристика пружины изображается прямой линией. В тех случаях, когда характеристика отличается от прямой линии (эти случаи изложены в следующем разделе), для построения характеристики необходимо измерить столько точек, чтобы была возможность точно построить весь криволинейный участок характеристики.

Определение точек характеристики чаще всего производится следующим методом: в соответствии с требованиями чертежа пружине дается нужный ход, затем на испытательной машине измеряют величину нагрузки при данном ходе пружины.

Измеренную нагрузку сравнивают с заданной на чертеже и делают заключение о годности пружины.

Возможно применение другого метода — по приложенной нагрузке определяется величина хода пружины. В этом случае допуски на отклонения характеристики должны проставляться на величину хода пружины.

В процессе испытания пружин определяется также величина остаточных деформаций, которая после второго или третьего нагружения должна быть равна нулю.

Помимо контрольных испытаний, производятся также и типовые испытания пружин. В программу типовых испытаний входят испытания многократной нагрузкой и длительное нагружение. При испытаниях многократной нагрузкой пружины устанавливаются на специальных испытательных установках, воспроизводящих условия работы пружины в эксплуатации. Цель таких испытаний — определение стабильности показаний пружины после 50—100 тыс. растяжений или сжатий, а также измерение величины остаточных деформаций.

На рис. 12 показан график зависимости остаточных напряжений от числа нагружений. Испытания производились на испытательной машине конструкции автора. Испытаниям подвергались отключающие пружины ВМГ-133, работающие при повышенных напряжениях (см. табл. 4). Результаты испытания показывают, что наибольшие остаточные деформации наблюдаются при первых двух тысячах нагружений (участок *1—2*). Для этого периода работы пружины характерны остаточные деформации, равные 2 *мм* за каждую тысячу нагружений. Второй этап работы пружины начинается после 2 000 нагружений и длится до 80 000 нагружений (участок *2—3*). В течение второго этапа работы пружины возникают остаточные деформации, равные 0,02 *мм* за каждую тысячу нагружений, т. е. во втором этапе рабо-

ты пружина наиболее стабильна. Третий этап работы пружины (участок *3—4*) начинается после 80 000 циклов и продолжается вплоть до окончательного разрушения пружины от усталости. Этот этап характерен появлением повышенных остаточных напряжений — 1 *мм* за каждую тысячу нагружений. Изложенные результаты испытаний пружин показывают, что наибольшее внимание при эксплуатации электрических аппаратов следует уделять в начальный период работы аппарата, когда возникновение остаточных деформаций на пружине наиболее вероятно.

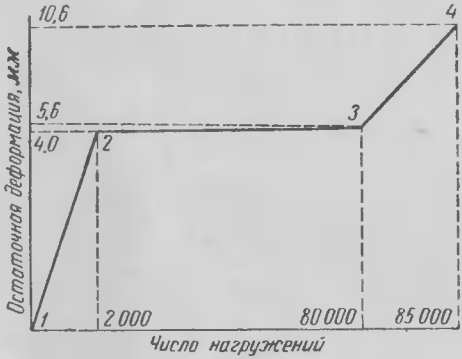


Рис. 12. График зависимости остаточных деформаций от цикла пружины.

Испытания пружин при длительной нагрузке производятся методом растяжения (сжатия) пружины в соответствующем устройстве, удерживающем пружину в нагруженном состоянии в течение нужного отрезка времени. Длительные испытания могут продолжаться от нескольких суток до нескольких лет. В результате таких испытаний определяется величина остаточной деформации. Испытание на длительное нагружение называется заневоливание пружины, цель которого сделать пружину наиболее стабильной.

В условиях монтажа и эксплуатации аппаратов возникает необходимость испытать пружины. Учитывая, что службы эксплуатации электрических аппаратов не оснащены соответствующим оборудованием для испытания пружин, можно рекомендовать следующий простой и надежный способ испытания пружин. К стене прикрепить кронштейн (рис. 13), имеющий опорную поверхность для пружин сжатия и крюк либо вилку для пружин растяжения. С помощью стержня, снабженного опорным диском для гирь, создается

на пружине нужная нагрузка, ход пружины измеряется линейкой или штангенциркулем. Остаточные деформации определяются путем измерения длины пружины до испытания и после испытания.

Испытания пружин сжатия, длина которых в несколько раз более наружного диаметра, производятся на оправке. Установка пружины на оправку устраняет возможность появления продольного изгиба, искажающего действительную характеристику пружины. При испытаниях пружин на

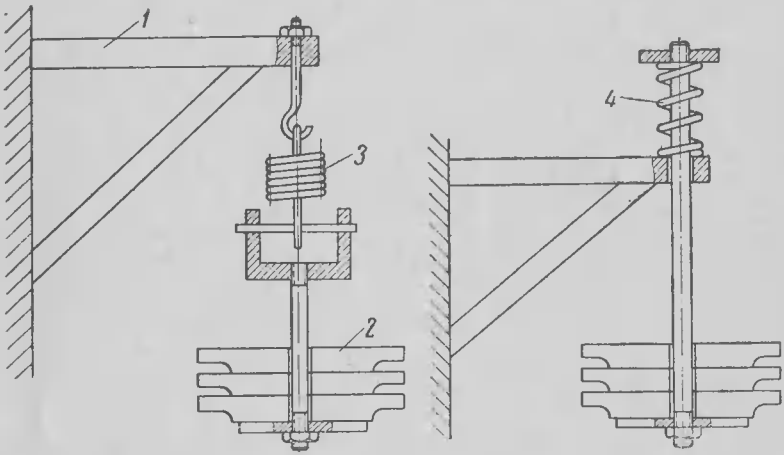


Рис. 13. Приспособления для испытания пружин с помощью гирь.
1 — кронштейн; *2* — гири; *3* — пружина растяжения; *4* — пружина сжатия

оправке следует учитывать потери нагрузки на трение витков по оправке. Оценка величины потерь на трение производится путем перегрузки пружины на 10—12% с последующим уменьшением нагрузки до заданной величины. Таким образом, для одной и той же точки нагрузки будут получены два значения хода пружин. Первая величина хода пружины соответствует прямому нагружению пружины, а вторая — обратному нагружению, когда произведено изменение нагрузки от большего значения к меньшему. Среднее между величинами хода пружины при прямом и обратном нагружении будет представлять действительный ход пружины без потерь на трение.

Например, пружина при прямом нагружении имеет ход 100 *мм* при нагрузке 50 *кГ*. При обратном нагружении пру-

жины до величины нагрузки 50 *кГ* ход равен 120 *мм*. Действительный ход пружины при нагрузке 50 *кГ* в случае отсутствия потерь на трение будет:

$$\frac{100 + 120}{2} = 110 \text{ мм}.$$

8. ПРИЧИНЫ НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОГО КАЧЕСТВА ПРУЖИН

Неудовлетворительное качество пружин прежде всего проявляется в несоответствии действительной характеристики пружины заданной по чертежу характеристике.

На рис. 14 показана характеристика пружины, заданная в чертеже. Из указанной характеристики следует, что пру-

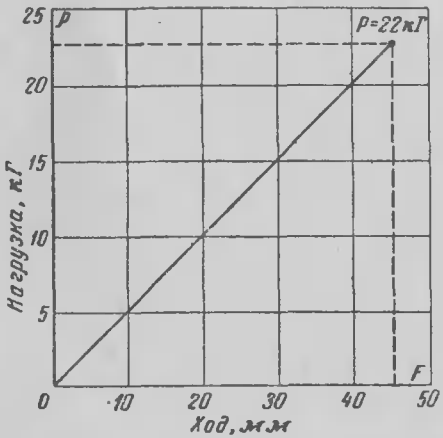


Рис. 14. Заданная характеристика пружины.

жина при нагрузке 22 *кГ* должна иметь ход 45 *мм*. На рис. 15,а приведены действительные характеристики двух пружин, отличающиеся от заданной характеристики.

Пружина *1* при нагрузке 22 *кГ* имеет ход 34 *мм*, а пружина *2* при той же нагрузке имеет ход 56 *мм*.

Причины, вызвавшие отклонение характеристики пружины *1*, следующие:

а) Пружина изготовлена из проволоки большого диаметра.

б) Диаметр пружины меньше, чем это задано в чертеже.

в) Пружина имеет меньшее число рабочих витков.

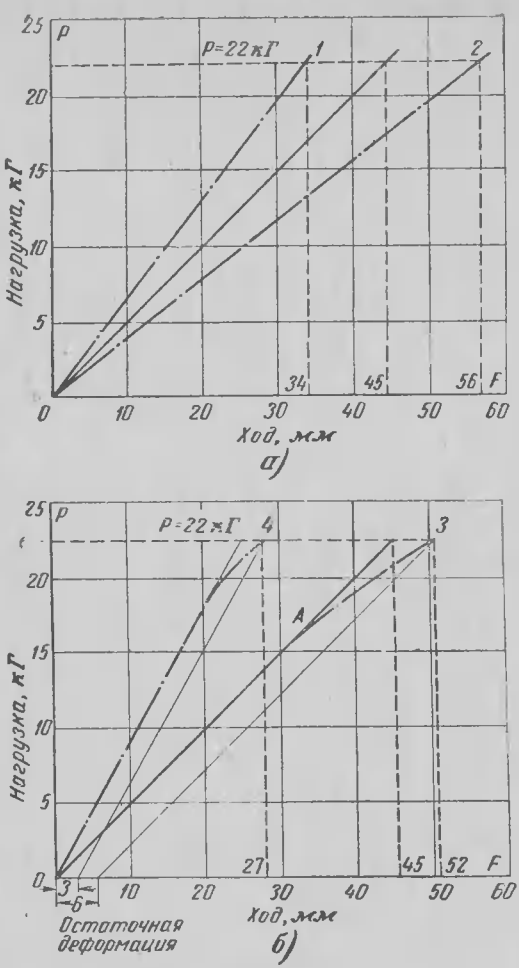


Рис. 15. Действительные характеристики.
а — пружины *1* и *2*; *б* — пружины *3* и *4*.

В одной и той же пружине могут иметь место все три причины, действующие в разной степени, но приводящие к одному результату — пружина выполнена более жесткой, чем это требуется.

Причины, вызвавшие отклонение характеристики пружины *2*, следующие:

а) Пружина изготовлена из проволоки меньшего диаметра.

б) Диаметр пружины больше, чем это задано в чертеже.

в) Пружина имеет большее число рабочих витков.

В этом случае действие перечисленных причин привело к обратному результату — пружина выполнена менее жесткой, чем это требуется по чертежу.

Следует указать, что рассмотренные пружины имеют также и общие черты: характеристики пружины *1* и пружины *2* изображены прямыми линиями; все перечисленные причины носят чисто геометрический характер.

Поэтому на практике, когда зафиксирован тот или иной вид отклонения характеристики пружины, следует в первую очередь произвести измерения размеров пружины и установить, таким образом, какой же именно геометрический параметр пружины вызвал отклонение характеристики.

В ряде случаев неудовлетворительное качество пружины проявляется в другой форме.

На рис. 15,*б* дана характеристика пружины *3* и пружины *4*. Характеристика пружины *3* не похожа на предыдущие характеристики пружин *1* и *2*. Отличительным является переход в точке *А* от прямой линии к кривой.

Наличие криволинейного участка характеристики указывает, что на пружине появились остаточные деформации, величина которых может быть определена графическим способом, т. е. непосредственно на графике. Для этого нужно из верхней точки кривой провести линию, параллельную прямолинейному участку характеристики. Проведенная параллель отсечет на оси деформаций отрезок, равный остаточной деформации пружины.

В данном случае остаточная деформация составила 6 *мм*.

Причину возникновения остаточной деформации следует искать не в размерах пружины, а в механических свойствах проволоки и величинах напряжений в пружине.

Остаточные деформации могут появиться, если мала прочность пружинной проволоки, и слишком велики напряжения.

Однако на практике остаточные деформации появляются чаще всего из-за того, что пружины, изготовленные из холоднотянутой проволоки, не подвергались отпуску. Пружину, не прошедшую отпуск, можно отличить по внешнему виду. Отпущенные пружины всегда имеют темный цвет, а неотпущенные пружины либо светлые, либо с омедненной поверхностью. Разумеется, все сказанное относится к пружинам, на которых нет какого-либо покрытия.

Характеристика пружины *4* представляет собой комби-

нацию характеристик пружин *1* и *3*, т. е. налицо наличие остаточных деформаций и отклонение характеристики. Следовательно, для пружины *4* свойственны отклонения по геометрии и недостаточная прочность материала либо завышенные напряжения в пружине.

Шаг пружины не входит в формулы расчета пружин, однако шаг также может влиять на характеристику пружины. Влияние шага проявляется только на пружинах сжатия. При этом шаг может в том случае изменить характеристику пружины, если имеет место значительная неравномерность по величине шага. Например, расстояния между витками одной и той же пружины таковы: у пяти витков расстояние равно 10 *мм*, а для остальных трех витков расстояние составляет 5 *мм* между каждыми соседними витками. В процессе нагружения пружины три витка с малыми межвитковым расстоянием придут в соприкосновение, т. е. эти витки полностью исчерпают возможный ход, а остальные витки еще имеют запас по ходу. Дальнейшее нагружение пружины будет происходить только за счет пяти витков, имеющих большое расстояние между витками. Однако теперь уже будет нагружаться пружина с меньшим числом рабочих витков, что незамедлительно скажется на характеристике пружины. Такая пружина покажет бо́льшую нагрузку, чем пружина, выполненная с равномерным шагом. Неперпендикулярность торцовых витков к оси пружины также вызывает искажение характеристики пружины в сторону завышения нагрузки.

9. СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Выбор материала для изготовления пружин производится в соответствии с величинами напряжений, действующих в металле пружины. В табл. 5 содержатся данные по механическим свойствам углеродистой стальной проволоки (ГОСТ 5047-49), применяемой для изготовления пружин. Эта пружинная проволока по прочности поставляется трех классов:

класс Н — проволока нормальной прочности;
класс П — проволока повышенной прочности;
класс В — проволока высокой прочности.

Проволока классов Н и В подразделяется по пластическим свойствам на I и II группы. Проволока класса П изготавливается I, II и III групп. Наиболее прочной и пластичной является проволока класса В группы I.

Таблица 5

Механические свойства углеродистой патентованной стали для пружин

Диаметр проволоки, мм	Проволока класса Н			Проволока класса II				Проволока класса В		
	Предел прочности при растяжении, кГ/мм²	Число перегибов проволоки		Предел прочности при растяжении, кГ/мм²	Число перегибов проволоки			Предел прочности при растяжении, кГ/мм²	Число перегибов проволоки	
		группы			группы				группы	
		I	II		I	II	III		I	II
0,2	170	—	—	220	—	—	—	265	—	—
0,3	170	—	—	220	—	—	—	265	—	—
0,5	170	—	—	220	—	—	—	265	—	—
0,8	160	11	9	200	10	9	8	260	11	9
1,0	155	8	6	195	8	7	6	250	9	6
1,2	150	6	5	190	6	5	4	240	7	5
1,5	140	15	12	190	15	13	10	220	15	11
2,0	130	10	9	175	9	8	7	200	8	7
2,5	130	8	7	165	7	6	5	180	6	5
3,0	120	7	6	155	5	4	3	170	4	3
3,5	120	5	4	150	5	4	3	165	3	2
4,0	110	6	5	145	6	6	5	160	4	3
4,5	110	5	4	140	5	5	4	150	4	3
5,0	100	4	3	130	4	4	3	150	3	2
5,5	100	6	4	125	6	4	3	140	5	3
6,0	100	6	4	120	6	4	3	140	3	2
7,0	95	6	4	120	6	4	2	—	—	—
8,0	95	5	3	120	5	3	2	—	—	—

Высокие механические свойства указанных классов проволоки достигаются за счет применения так называемого патентирования, заключающегося в закаливании проволоки в ванне расплавленного свинца с последующей протяжкой проволоки в холодном состоянии. Не рекомендуется подвергать проволоку нагреву до температуры выше 500° С, так как это существенно снижает прочность проволоки.

Степень навиваемости этой проволоки, т. е. ее неразрушаемость в процессе навивки на оправку, определяется методом испытания на разрыв. Найдя величину относительного сужения поперечного сечения, можно сделать заключение о годности проволоки. Заводской практикой установлено, что хорошо навивается та проволока, у которой относительное сужение поперечного сечения составляет не менее 40%.

Для приведенной категории пружинной стали можно принять наибольшие допустимые касательные напряжения

в пределах от 60 до 100 *кГ/мм²*. Величина допустимых касательных напряжений находится в прямой зависимости от предела прочности проволоки при испытании на растяжение.

Так, например, для проволоки с пределом прочности 200 *кГ/мм²* и более следует допускать касательные напряжения порядка 100 *кГ/мм²*, для проволоки с пределом прочности 150—200 *кГ/мм²* допускаемые касательные напряжения составят 80—100 *кГ/мм²*, а для проволок с пределом прочности 100—150 *кГ/мм²* допускаемые касательные напряжения будут 60—80 *кГ/мм²*. В соответствии с рекомендованными величинами допускаемых напряжений сделан расчет 60 пружин, наиболее часто встречающихся в практике.

Для удобства пользования данные расчета сведены в табл. 6, в которой по вертикали указан диаметр проволоки от 2 до 20 *мм*, а по горизонтали проставлены величины отношения среднего диаметра пружины к диаметру проволоки в пределах от 3 до 10. Эти геометрические параметры, как указывалось в предыдущих разделах, вполне определяют характеристику пружины.

В табл. 6 содержатся величины максимально допустимых нагрузок и соответствующий им ход на один виток пружины. Пользуясь таблицей, можно ориентировочно выбрать пружину с нужной нагрузкой, а требуемый ход получить за счет назначения необходимого числа рабочих витков.

Из таблицы видно, что одна и та же нагрузка может быть получена на различных пружинах. Так, например, нагрузка в 70 *кГ* создается пружиной с диаметром проволоки 3 *мм* при отношении $\frac{D_{ср}}{d}=3$, эту же нагрузку можно получить на пружине из проволоки диаметром 4 *мм* при отношении $\frac{D_{ср}}{d}=5$, а также из пружин с диаметрами проволоки 5 и 6 *мм* при отношениях $\frac{D_{ср}}{d}$, соответственно равных 8 и 10. Разница будет только в величинах хода пружины. В первых случаях ход пружин будет мал, а в последующих — значительно больше. Следовательно, пользуясь таблицей, выбирают наиболее близкую по характеристике пружину, обращая при этом внимание на ее ход и нагрузку.

В табл. 6 приведены данные для выбора пружин, работающих ограниченное число раз, как это имеет место в высоковольтной аппаратуре.

Для подбора пружин общего назначения (без ограничения числа нагружений) следует пользоваться табл. 7.

Таблица 6

Наибольшее допустимое нагружение пружин, изготовленных из проволоки марки В, для электрических аппаратов

Диаметр проволоки d, мм	Максимальная нагрузка пружины и ход на 1 виток при отношении $\frac{D_{ср}}{d}$											
	3		4		5		6		8		10	
	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм	Нагрузка P, кГ	Ход F, мм
2	34	0,46	27	0,86	22	1,37	18	1,94	15	3,84	11	5,5
3	70	0,63	58	1,23	48	2,0	39	2,81	29	4,95	23	7,68
4	125	0,84	100	1,6	76	2,38	67	3,62	51	6,53	41	10,2
5	170	0,92	145	1,85	120	3,0	100	4,32	75	7,68	60	12,0
6	230	1,03	180	1,92	150	3,13	130	4,68	115	9,82	85	14,15
8	400	1,35	330	2,64	270	4,22	230	6,22	170	10,9	140	17,5
10	700	1,89	600	3,84	450	5,63	360	7,78	270	13,8	230	23,0
12	950	2,14	800	4,27	650	6,77	525	9,9	400	17,1	325	27,1
16	1 700	2,86	1 450	5,8	1 150	9,0	950	12,8	700	22,4	575	35,9
20	2 750	3,71	2 200	7,04	1 800	11,3	1 450	15,7	1 100	28,1	900	45,0

Таблица 7

Подбор пружин общего назначения, работающих на растяжение и сжатие

Наружный диаметр пружины $D_н$, мм	Диаметр проволоки d, мм										
	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
	P — допустимая нагрузка, кГ; F — ход одного витка пружины, мм										
5	3,9 / 0,25										
8	2,24 / 0,77	3,99 / 0,6	8,15 / 0,44	14,8 / 0,34	20,9 / 0,28						
10	1,75 / 1,3	3,08 / 1,0	6,2 / 0,75	11,2 / 0,59	15,7 / 0,5	32,6 / 0,35					
12	1,43 / 1,9	2,51 / 1,52	5 / 1,14	9,1 / 0,92	12,6 / 0,79	26 / 0,57	47 / 0,43				
15	1,12 / 3,1	1,97 / 2,6	3,92 / 1,9	6,96 / 1,53	9,7 / 1,33	20 / 0,98	35 / 0,76	59 / 0,60	91 / 0,47		
20	0,83 / 5,7	1,43 / 4,62	2,85 / 3,56	5,05 / 2,9	7,0 / 2,5	14 / 1,9	25 / 1,5	41 / 1,23	63 / 1,0	131 / 0,7	
25		1,14 / 7,4	2,55 / 5,76	3,94 / 4,76	5,5 / 4,15	11 / 3,25	19 / 2,53	31 / 2,05	48 / 1,7	98 / 1,25	178 / 0,94
30			1,85 / 8,45	3,26 / 6,95	4,5 / 6,1	9,0 / 4,8	16 / 3,9	25 / 3,09	39 / 2,65	78 / 1,95	141 / 1,5
35				2,77 / 9,65	3,8 / 8,5	7,5 / 6,7	13 / 5,3	21 / 4,37	32 / 3,8	66 / 2,8	117 / 2,2
40					3,3 / 11,3	6,5 / 8,9	12 / 7,5	18,5 / 5,96	28 / 5,1	56 / 3,8	100 / 3,03
45						5,5 / 11,3	10 / 9,2	16 / 7,62	24,5 / 6,6	49 / 5,0	87 / 3,98
50						5 / 14,3	9 / 11,7	14,5 / 9,7	22 / 8,4	44 / 6,4	77 / 5,07

Таблица 8

Режимы термической обработки пружинных сталей

Марка стали	Температура закалки, °С	Закалочная среда	Температура отпуска, °С
70	810—830	Масло	380
85	810—820	Масло	380
97	820—830	Масло	330
98	810—820	Масло	380
60С2	850—860	Масло	450—480
65Г	810—820	Воздух	—
55ГС	820—830	Воздух	—
70С3А	840—850	Масло	450—480

В табл. 8 указаны режимы термической обработки для углеродистых и легированных сталей, применяемых для изготовления пружин. Полученные в результате термической обработки свойства сталей обеспечивают надежную эксплуатацию пружин. Контроль качества термической обработки производится измерением твердости по Роквеллу (пределы твердости 40—45 Rc) или методом испытания проволоки на растяжение.

В табл. 9 содержатся данные по стоимости пружинных сталей и бронз в соответствии с действующими ценниками.

Таблица 9

Стоимость пружинных сталей и бронз

Диаметр проволоки, *мм*	Цена за 1 *м* проволоки, руб.						
	Проволока по ГОСТ 5047-48 I группы класса			Холоднотянутая сталь марок		Бронза марок	
	Н	П	В	У7-У8	60С2	Бр Б2	Бр КМц 3-1
0,2	10 560	12 290	33 780	—	—	225 000	26 000
0,5	3 740	4 200	9 580	—	—	168 000	20 000
1,0	2 460	2 710	4 960	—	—	163 100	18 100
2,0	1 960	2 130	3 400	—	—	159 000	15 700
3,0	1 790	1 930	2 910	2 675	2 551	156 500	13 600
4,0	1 660	1 780	2 770	—	—	155 000	12 400
5,0	1 580	1 690	2 680	2 493	2 427	—	—
6,0	1 560	1 660	2 630	2 338	2 350	153 000	11 900
7,0—8,0	1 580	1 680	—	2 228	2 251	151 000	11 600
10,0	—	—	—	2 091	2 136	150 000	11 600
12,0	—	—	—	—	—	150 000	11 600
11,0—14,8	—	—	—	1 817	1 876	—	—
15,0—23,0	—	—	—	1 636	1 691	—	—

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев С. Д., Расчет и конструирование витых пружин, ОНТИ, 1938.

2. Батанов М. В. и Петров Н. В., Стальные пружины, Машгиз, 1950.

3. Энциклопедический справочник Машиностроения, т. 3, 1947.

4. Шапиро Е. А., Машина для испытания спиральных пружин на растяжение и сжатие, «Заводская лаборатория», 1951, № 9.

5. Сборник статей. Вопросы проектирования, изготовления и службы пружин, Машгиз, 1956.

6. Шапиро Е. А., Работа винтовых пружин при напряжениях выше предела текучести, «Вестник электропромышленности», 1958, № 4.

48802

Цена 95 коп.

„БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА"

Готовятся к печати

Амосов Б. В. — Устройство и эксплуатация сварочных генераторов и трансформаторов

Боярченков М. А. — Магнитные усилители и их работа в системах автоматики

Ильинский Н. В. — Расчет и выбор пусковых сопротивлений для электродвигателей

Каминский Е. А. — Изоляция оперативных цепей

Каминский Е. А. — Как сделать проект простейшей электроустановки

Камнев В. С. — Как работают подшипники электрических машин

Карпов Ф. Ф. — Как проверить допустимость подключения короткозамкнутого электродвигателя к сети

Карпов Ф. Ф. — Как выбрать сечение проводов и кабелей

Константинов Б. А. и Шулятьева Г. Н. — Коэффициент мощности (cos φ) и способы его повышения на промышленных предприятиях

Ларионов В. П. — Грозозащита сооружений и зданий

Лившиц Д. С. — Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1 000 *в*

Найфельд М. Р. — Что такое защитное заземление и как его выполнять

Образцов В. А. — Уход за контактами низковольтных аппаратов

Осколков К. Н. — Электроизмерительные приборы и как ими пользоваться

Ривлин Л. Б. — Как определить неисправность асинхронного электродвигателя

Рябикин Б. П. — Скрытые виды проводок

Славенчинский И. С. и Хромченко Г. Е. — Пробивка отверстий и борозд в бетоне

Федотов Б. Н. — Схемы включения электрических счетчиков

Харитонов М. Г. — Опыт обслуживания и ремонта КРУ Запорожского завода

Хромченко Г. Е. — Соединение и оконцевание медных и алюминиевых проводов и кабелей

Черепенин П. Г. — Монтаж асинхронных электродвигателей небольшой мощности