

ИННОВАЦИОННАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА



Проект 1: инновационная среда университета в регионе и эффективное управление

Цель: развитие инноваций и инновационных образовательных программ на основе интеграции образования, науки и бизнеса для организации подготовки и переподготовки кадров по широкому спектру специальностей и направлений.

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет

С. Н. МАРЫЧЕВ

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРОВ

Учебное пособие

Владимир 2008

УДК 681.2.002(075)

ББК 34.9я7

М25

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент зав. кафедрой
технико-технологических дисциплин

Владимирского государственного педагогического университета

Л.Н. Шарыгин

Кандидат технических наук,
доцент кафедры конструирования и технологии
радиоэлектронных средств

Владимирского государственного университета

Г.Ф. Долгов

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Марычев, С. Н.

М25 Технология изготовления упругих элементов приборов :
учеб. пособие / С. Н. Марычев ; Владим. гос. ун-т. – Влади-
мир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 36 с.
ISBN 978-5-89368-881-8

В основу положена часть курса „Технология приборостроения”, в которой рассматриваются технологические процессы изготовления упругих элементов приборов.

Предназначено для студентов 4 – 5-го курсов специальности 200101 – приборостроение очной формы обучения.

Ил. 30. Библиогр.: 5 назв.

УДК 681.2.002(075)

ББК 34.9я7

ISBN 978-5-89368-881-8

© Владимирский государственный
университет, 2008

Введение

Повышение эффективности производственных процессов связано с ростом технических требований к измерительным приборам и датчикам, которые являются неотъемлемой частью информационно-измерительных систем и систем управления. Многие первичные измерительные приборы имеют в своем составе измерительные преобразователи, представляющие собой упругие чувствительные элементы.

К таким элементам относят винтовые, спиральные и плоские пружины, сильфоны, мембраны, трубки Бурдона. Измеряемыми величинами, действующими на упругий элемент, могут быть сила, давление, крутящий момент, а выходными – линейная или угловая деформация элемента, выражающаяся в перемещении, прогибе или угле поворота. Основная характеристика упругого элемента – его упругая характеристика, под которой понимают зависимость изменения выходной величины от изменения входной измеряемой величины. Стабильность упругой характеристики, а также погрешности, вызванные несовершенством упругих свойств материалов (гистерезис, упругое последствие, релаксация напряжений, ползучесть), определяют качество работы упругого элемента.

Упругие элементы применяют также в качестве кинематических устройств: упругих опор, направляющих, гибких связей. Отсутствие трения и люфтов в этих элементах позволяет значительно улучшить качество приборов. Во многих приборах имеются натяжные пружины, предназначенные для осуществления силового контакта между деталями и выбора зазоров в кинематической цепи. Упругие элементы могут служить также источником энергии, например в часовых механизмах.

Таким образом, применение упругих элементов в современном приборостроении достаточно разнообразно. Качество их работы во многом определяется технологическими процессами изготовления, которые и рассматриваются в настоящем учебном пособии.

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН

Винтовые пружины находят широкое применение в приборах благодаря компактной конструкции и простоте изготовления. Их часто применяют в качестве натяжных для обеспечения натяга между деталями прибора. Высокие упругие свойства позволяют использовать винтовые пружины в качестве измерительных, преобразующих измеряемое усилие в перемещение. В зависимости от допусков на осевую силу при заданной деформации различают обычные и прецизионные пружины. Обеспечить высокую точность осевой силы сложно из-за отклонения действительных параметров пружины от расчетных, поэтому приходится применять доводочные операции, что удлиняет технологический процесс.

По характеру воспринимаемой нагрузки различают пружины растяжения и сжатия (рис. 1). Около 80 % изготавливаемых прецизионных пружин предназначены для работы на сжатие, 15...20 % – на растяжение и незначительное количество – для работы при других видах нагрузок.

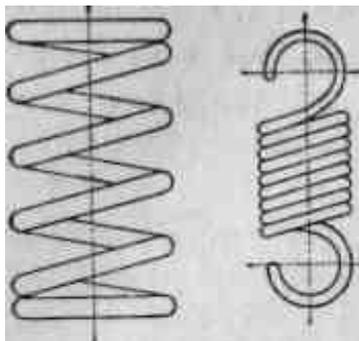


Рис. 1

Пружины разделяют также по конструкции крепления (с отогнутыми концами или плоскими торцами); направлению навивки (правая или левая); характеру навивки (плотная или навивка с шагом); технологическому оформлению торцов (со шлифованными и нешлифованными торцовыми витками).

1.1. Применяемые материалы

Материал пружины выбирают с учетом условий эксплуатации, ее назначения, характера приложения и цикличности нагрузки, состояния и температуры окружающей среды, технологии изготовления.

В зависимости от назначения для изготовления винтовых пружин используют круглую холоднотянутую стальную углеродистую проволоку I и II классов. Наиболее пригодны для ответственных пружин углеродистые и легированные стали с содержанием 0,5...0,7 % С. Для

изготовления ответственных пружин сжатия, работающих при циклических нагрузках и в диапазоне температур от -60 до $+180$ °С, используют проволоку из стали 50ХФА; для тяжелых условий эксплуатации – коррозионно-стойкую и жаропрочную проволоку из стали 1Х18Н9Т, 3Х13, 0Х7Н13ГТ, К40НХМ и другие; для изготовления прецизионных и антимагнитных пружин – холоднотянутую проволоку из нейзильбера и бронзы.

Для пружин, работающих при больших напряжениях, применяют кремнистую сталь. Пружины, подвергающиеся динамической нагрузке и работающие с высокими напряжениями усталости, изготавливают из высокомарганцовистых и высококремнистых сталей. Для пружин, работающих при повышенных температурах и в условиях быстродействующих динамических нагрузок, применяют хромованадиевые стали или специальные сплавы типа элинвара.

Неответственные мелкие пружины могут изготавливаться из дешевых сортов сталей с малым содержанием углерода.

Из цветных сплавов используют главным образом бронзы различных типов. Однако вследствие сравнительно высокой стоимости и трудности термической обработки проволока из цветных сплавов не находит широкого применения для изготовления пружин.

1.2. Технологический процесс

В общем виде технологический процесс изготовления стальных пружин включает следующие операции: подготовку материала; навивку пружин; отделку концов пружин; правку; термическую обработку; доводку; стабилизацию свойств (старение); покрытие и контроль.

1.2.1. Подготовка материала. Исходный материал для изготовления пружин – проволока круглого сечения, которая поступает на завод в мотках. Для устранения остаточных напряжений и повышения пластичности ее подвергают термической обработке, после чистят, промывают и сушат.

1.2.2. Навивка заготовок пружин. Пружины навивают на оправку и без оправки. Навивку пружин на оправку производят:

- а) вплотную (рис. 2, а), без образования шага;

- б) индивидуально с шагом (рис. 2, б), без образования или с образованием опорных витков;
- в) группой с шагом, без образования или с образованием опорных витков.

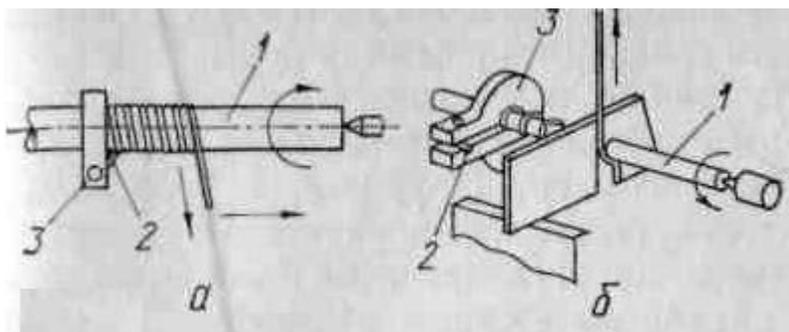


Рис. 2

Указанными способами пружины навивают на обычных токарных станках или на специальных станках-автоматах. Навивка на оправку 1 малопроизводительна и не обеспечивает высокой точности. При каждой новой партии проволоки 2 диаметр оправки устанавливают опытным путем, т. е. навивкой пробных пружин. Необходимость корректирования размеров оправки вызывается тем, что у пружины, снятой с оправки, в силу крепления в зажиме 3 и упругих свойств материала увеличивается диаметр, изменяется шаг и, следовательно, свободная длина

(см. рис. 2).

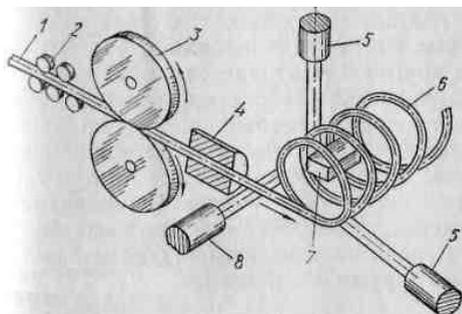


Рис. 3

Наиболее эффективна безоправочная навивка пружин на автоматах. Ее принципиальная схема показана на рис. 3. Автоматы могут выполнять следующие виды работ: сматывание проволоки 1 с мотка; правку и подачу роликами 2, 3 через втулку 4;

навивку пружины с заданным шагом упорами 5, шаблоном 7 и пальцем 8; прекращение подачи материала и отрезку изготовленной пружины 6.

1.2.3. Отделка концов пружин. Торцы концевых нерабочих витков пружин, работающих на сжатие, шлифуют для создания плоских опорных поверхностей, перпендикулярных к оси. Такие опорные поверхности позволяют правильно устанавливать пружины в приборах и обеспечивают нормальную ее деформацию под действием нагрузки. Пружина, претерпевая сложную деформацию кручения, изгиба, сжатия, поворачивается вокруг своей оси, и торцовые витки скользят по установочным поверхностям. При шлифовании торцов опорных витков выдерживают заданную чертежом свободную длину пружины. Это достигается одновременным шлифованием обоих торцов пружины на специальных станках. Станок имеет два электродвигателя, на осях которых посажены шлифовальные круги 1 и 2 (рис. 4). Электродвигатель с кругом 1 монтируется на основании станка неподвижно, а электродвигатель с кругом 2 помещен на подвижных салазках, что позволяет устанавливать необходимое расстояние между шлифовальными кругами, которое

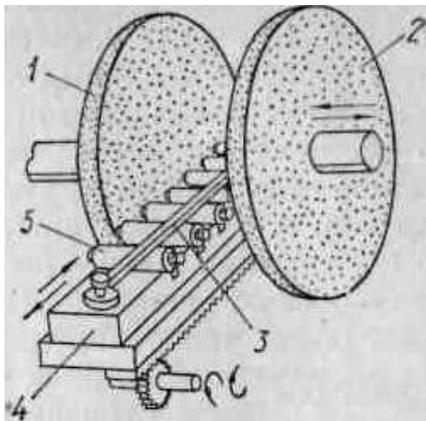


Рис. 4

соответствует свободной длине пружины. Обрабатываемые пружины вставляют в сменные втулки 5, которые устанавливаются в призмах подушки 4 и крепятся планкой 3. Подушка, прикрепленная к рейке, перемещается относительно кругов при помощи зубчатого колеса. Станок производителен, обеспечивает высокую точность свободной длины пружины и параллельность ее торцов.

Пружины малой жесткости (менее $8 \cdot 10^{-4}$ Н/м), а также с малыми допусками на перпендикулярность торцов к оси ($0^\circ 30' \dots 1^\circ 30'$) шлифуют в специальных цангах (рис. 5). Пружина надевается на оправку 1,

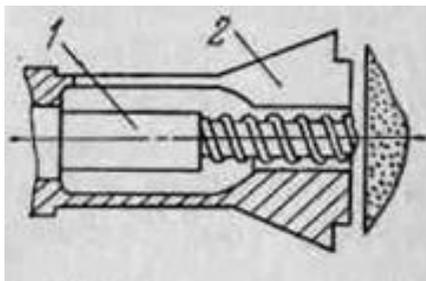


Рис. 5

а по наружному диаметру «схватывается» цангой 2. При этом крайние витки, расположенные вблизи шлифуемого торца, сжимаются, чем и увеличивается жесткость пружин.

У пружин, работающих на растяжение, концевые витки выполняют в виде прицепов специальной формы, необходимой для крепления пружины. При массовом производстве пружин прицепы стандартной формы получают на автоматах. Прицепы нестандартной формы или при отсутствии автоматов получают изгибанием при помощи специальных приспособлений или вручную.

1.2.4. Термическая обработка. Для обеспечения постоянства характеристики пружины, повышения предела упругости ее материала, устранения внутренних напряжений и стабилизации основных механических свойств материала применяют термическую обработку.

Для пружин из стальной, термически обработанной проволоки этого можно достичь кратковременным отпуском. При этом улучшается качество пружин (повышается точность размеров и формы, улучшается качество поверхностного слоя). Отпуск пружин производится после механических операций. Чистые сухие пружины закладывают в корзину из металлической сетки и погружают в селитровую ванну (250...320 °С). Время выдержки зависит от диаметра проволоки (до 2 ч). После необходимой выдержки корзину с пружинами вынимают, встряхивают для удаления расплавленной жидкой соли и погружают для промывки в кипящий содовый раствор. Потом прополаскивают в ванне с чистой горячей водой и погружают на 1...2 мин для удаления капелек воды в горячее масло (80...100 °С). Из горячего масла пружины переносят в холодное масло, после чего направляют на покрытие.

Пружины из сталей марок 50ХФА, 60С2А и других подвергают закалке и отпуску, а пружины из бериллиевой бронзы БрБ2 и сплава ЭИ 702 – дисперсионному твердению.

Термическая обработка влияет на геометрические размеры пружин. При отпуске ее наружный диаметр уменьшается на 2 %, высота пружины – до 1,5 %, а число витков увеличивается на 1,5...2 %. Относительная величина сжатия после отпуска зависит от размера проволоки (обратно пропорциональна ее диаметру). Эти изменения размеров у точных пружин необходимо учитывать при навивке.

1.2.5. Доводка осевой силы. Для точных пружин после термической обработки производят доводку по осевому усилию. Осевая сила в зависимости от конструкции и технических требований доводится различными способами. Иногда заданные пределы изменения осевой силы могут быть обеспечены электрополированием, в результате которого уменьшается диаметр проволоки. Необходимая осевая сила пружины при заданной деформации может быть получена путем шлифования ее торцов в свободном состоянии или уменьшения числа витков.

1.2.6. Стабилизация свойств пружины. Стабилизация свойств осуществляется раскачкой (старение) или заневоливанием. Механическое старение производят периодическим растяжением (для пружин растяжения) или сжатием (для пружин сжатия) в течение 1...2 ч при числе циклов 30...40 в минуту. Заневоливание заключается в сжатии пружин до соприкосновения витков или растяжении усилием, превышающим рабочее, и выдерживании в таком состоянии от 6 до 48 ч. Время может быть уменьшено, если операция выполняется при температуре 120 °С. При заневоливании в материале пружины возникают остаточные напряжения, имеющие знак, противоположный рабочим, благодаря чему истинные напряжения при работе пружины получаются меньшими.

1.2.7. Антикоррозионное покрытие. Покрытие пружин против коррозии – заключительная операция. Покрытия должны удовлетворять следующим основным требованиям: быть прочно сцепленными с основным металлом и иметь мелкокристаллическую структуру; быть гладкими и плотными (беспористыми); не должны увеличивать остаточную деформацию и способствовать образованию трещин.

В качестве антифрикционного покрытия применяют оксидирование, цинкование, кадмирование или фосфатирование. Наиболее распространены оксидные и кадмиевые покрытия. Оксидирование не вызывает хрупкости и изменения других механических свойств, но недостаточно предохраняет от коррозии. При кадмировании происходит некоторое насыщение пружины водородом, но его можно устранить без ухудшения антикоррозионных свойств покрытия ступенчатой термической обработкой. Сущность процесса состоит в том, что после кадмирования пружины прогревают при температуре 110 °С в течение 30 мин, а затем в течение 1,5...2 ч выдерживают при температуре 150 °С. При таком режиме водород удаляется из металла постепенно и покрытие не отслаивается.

1.2.8. Контроль. Контроль готовых пружин включает внешний осмотр, измерение геометрических размеров и испытание. Внешний осмотр имеет целью выявить поверхностные дефекты. Измерение должно установить соответствие размеров пружины указанным на чертеже. Измерению обычно подлежат следующие параметры: свободная длина пружины, наружный диаметр, равномерность шага, перпендикулярность опорной плоскости к оси пружины, диаметр проволоки. Испытания пружин определяются их назначением. У измерительных пружин контролируют упругую характеристику, натяжные – испытывают на выносливость.

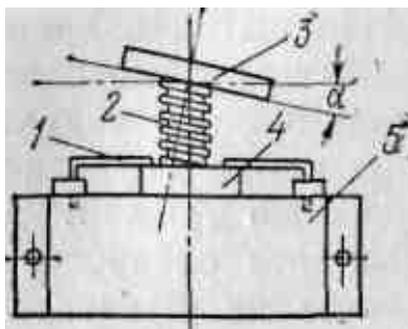


Рис. 6

Для измерения элементов пружин применяют рычажные микрометры, пассаметры, штангенциркули, предельные пробки и скобы, индикаторы, оптические приборы, а также различные автоматические приспособления. Для определения перпендикулярности сошлифованных торцов крайних витков оси пружины используют универсальный микроскоп (рис. 6). Поворачивая пружину 2 с зеркалом 3 вокруг стержня оправки 4, прикрепленной прихватами 1 к основанию 5, и наблюдая в окуляр микроскопа за положением торца пружины, определяют наибольший наклон α шлифованной плоскости торца к оси.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ПРУЖИН

Спиральные пружины предназначены для создания противодействующего момента, который уравнивает вращающий момент подвижной части прибора. Их широко применяют в приборах, имеющих зубчатые передачи. Они предназначены для выбора зазоров между зубьями, в результате чего уменьшается погрешность показания прибора. В балансовых приборах времени точность хода зависит главным образом от стабильности работы волосков. Объ-

единенная в паре с балансом спиральная пружина (волосок) должна обеспечивать постоянство периода колебания узла баланса при изменении температуры, положения часового механизма и других факторов. Обеспечение указанных требований во многом зависит от технологии изготовления волосков.

2.1. Применяемые материалы

Пружины, которые должны обладать высокими антикоррозионными свойствами, изготавливают из кремнемарганцовистой бронзы марки БрКМцЗ – 1, оловяноцинковой бронзы марки БрОЦ4 – 3, бериллиевой бронзы марок БрБ2 и БрБ2,5 и др. Для изготовления пружин применяют также стали марок У8А, У10А, 65С2А и др. Для изготовления волосков большинства часов и часовых механизмов – специальный сплав Н41ХТА.

2.2. Технологический процесс

Основные операции технологического процесса изготовления плоской спиральной пружины – подготовка материала, волочение проволоки, прокатка, навивка пружины, термическая обработка, стабилизация, покрытие и контроль.

2.2.1. Подготовка материала. Исходным материалом для получения заготовок может быть лента или проволока.

Поверхность ленты должна быть чистой, без трещин и следов окалины. Заготовительные операции заключаются в разрезке материала на полосы требуемой ширины, правке полос и снятии заусенцев на их ребрах. После этого полосы разрезают на отдельные заготовки. Перед навивкой концы заготовок отжигают на небольшом участке и загибают (для обеспечения возможности крепления).

Если заготовкой для ленты служит проволока, то ее перед прокаткой термообработывают. Чтобы предупредить выгорание компонентов при термообработке, проволоку нагревают в защитной среде продуктов диссоциации аммиака. Обработанная таким способом проволока имеет светлую блестящую поверхность. Установка для закалки проволоки (рис. 7) действует следующим образом. Аммиак из баллона 1 по резиновому шлангу поступает в змеевик диссоциатора 2, оттуда продукты диссоциации аммиака через охладитель 3

по шлангу и металлической трубке поступают в камеру 4. Эта камера, во внутреннее отделение которой закладывают мотки проволоки, помещается в печь 5. После нагрева камеру подводят к поверхности воды и приводят в вертикальное положение. Крышка под действием груза открывается, и мотки проволоки падают в бак 6 с водой.

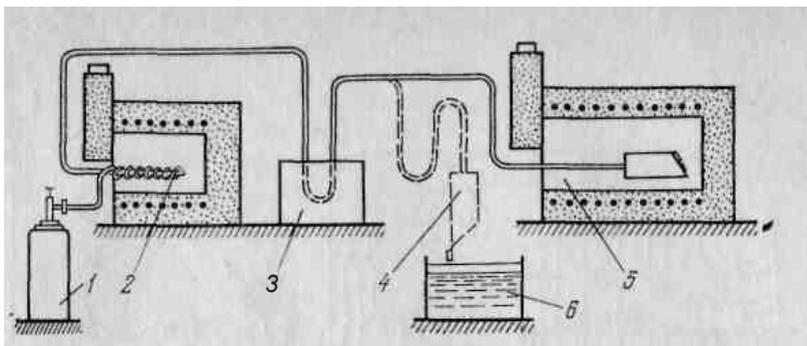


Рис. 7

2.2.2. Волочение проволоки. Волочение применяют для получения проволоки необходимого диаметра с определенными механическими свойствами. Оно заключается в последовательном пропускании материала через

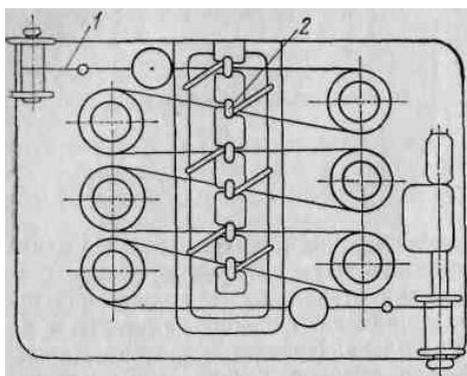


Рис. 8

волоки с постепенно уменьшающимися диаметрами отверстий. Для волочения проволоки 1 диаметром 0,3 мм и менее применяют волокна из алмаза, а для больших диаметров – из твердого сплава. Процесс волочения производится одновременно через несколько волокон 2 (рис. 8). Скорость волочения составляет 15...18 м/мин. В

качестве смазок применяют вазелиновое масло, мыльную эмульсию и др. Волочение осуществляют в холодном состоянии, после каждой операции производят термическую обработку – отжиг, как и первоначально.

2.2.3. Прокатка (плющение). Производится для превращения проволоки в ленту нужных размеров. Прокатка осуществляется на специальных станках с двумя цилиндрическими валиками, изготовленными из легированной стали. Скорость прокатки составляет 0,2...0,3 м/с. Прокатка осуществляется за несколько переходов с соответствующими поджимами валиков.

2.2.4. Навивка пружин. Пружины навивают на оправках в приспособлениях с ручным или механическим приводом. При навивке применяют кассеты с прорезями для лент. Количество прорезей определяется числом навиваемых лент. При вращении оправки 1 кассета 2 остаётся неподвижной (рис. 9).

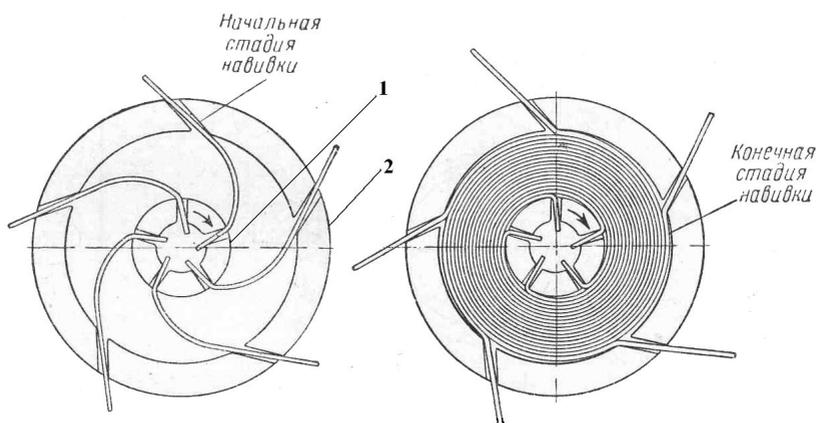


Рис. 9

2.2.5. Термическая обработка. После навивки необходимо закрепить спиральную форму ленты. Это достигается термической обработкой в кассете. В процессе термообработки устраняются также внутренние напряжения. Для фиксации спиральных пружин, изготовленных из бронз БрОЦ4 – 3, БрБ2, применяют электрические печи. Кассеты с навитыми в них пружинами укладывают в специальную гильзу-обойму. Гильзу закладывают в патрон, плотно закрывают крышкой и загружают в печь, в которой и выдерживают установленное время. Затем патрон вынимают из печи и охлаждают на воздухе. Пружины удаляют из кассеты легким встряхиванием и отделяют друг от друга пинцетом. Термическая обработка пружин из сталей У8А, У10А, 65Г заключается в закалке и отпуске.

2.2.6. Стабилизация. В целях стабилизации формы спирали и упругой характеристики пружину подвергают заневоливанию. Для этого ее закручивают до соприкосновения витков и помещают в обойму. В таком состоянии пружины выдерживают до 24 ч.

В качестве антикоррозионного покрытия применяют оксидирование с последующим покрытием лаком.

2.2.7. Контроль. Готовые пружины проверяют по внешнему виду (форма спирали, цвет, качество поверхности), на правильность геометрических форм и размеров, на хрупкость, слипание и величину крутящего момента. Пружины должны иметь блестящий золотистый цвет, не иметь царапин и других дефектов. Витки должны быть расположены в одной плоскости. Проверка на хрупкость проводится путем пяти прогибов на 180° в приспособлении с радиусом закругления губок $0,5...0,6$ мм. Проверку на слипание проводят в специальном приспособлении с закручиванием волоска на максимальный рабочий угол, при этом наблюдается слипание или выпучивание. Величина крутящего момента проверяется на специальных динамометрах.

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ПРУЖИН

Плоские пружины применяют в качестве измерительных упругих элементов при небольших перемещениях, когда их упругая характеристика линейна. В качестве натяжных пружины используют в храповых механизмах и различных фиксаторах. Плоские пружины

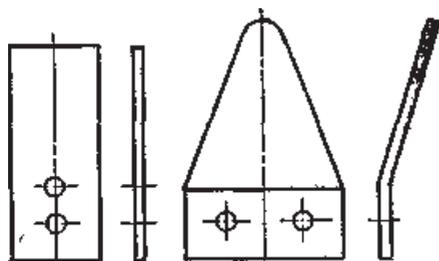


Рис. 10

часто применяют в качестве упругих опор и направляющих, которые практически не имеют трения и люфтов, не нуждаются в смазке, не боятся загрязнений и надежны в работе. Широкое применение находят плоские пружины в различных электроконтактных устройствах. На рис. 10 представлены плоские пружины, которые обычно имеют один конец закрепленный, а другой – свободный.

3.1. Применяемые материалы

Плоские пружины изготавливают из инструментальных и пружинных сталей марок У8А, 65Г, 65С2А и др. Для плоских пружин и пружинящих контактов широко используют бериллиевые бронзы. Высокими антикоррозионными свойствами обладают пружины из кремнемарганцовистой бронзы.

3.2. Технологический процесс

Изготовление плоских пружин включает следующие основные операции: заготовительные, штамповочные, термообработку и покрытие.

3.2.1. Заготовительные операции заключаются в резке материала на полосы. Полосы из бериллиевой бронзы подвергают закалке. Заготовка при штамповке своей длинной стороной должна располагаться в направлении проката.

3.2.2. Штамповочные операции – вырубку по контуру и пробивку отверстий – производят на эксцентриковых прессах. После зачистки заусенцев в случае необходимости заготовки подвергают изгибанию.

3.2.3. Термическая обработка пружин из сталей У8А, У10А, 65Г и других состоит в закалке и отпуске. Для пружин из бронзы (БрБ2,5 и др.) термическая обработка заключается в дисперсионном твердении, которое повышает твердость, упругость, износостойкость и значительно увеличивает сопротивление усталости пружин. Дисперсионное твердение осуществляется в контейнере вакуумной печи при температуре 320 °С в течение 3...3,5 ч. Охлаждаются пружины под вакуумом до комнатной температуры. Для получения стабильных характеристик пружины подвергают старению.

3.2.4. Защитное покрытие стальных пружин от коррозии производится хромированием. Готовые пружины подлежат контролю по внешнему виду, геометрическим размерам и упругой характеристике.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СИЛЬФОНОВ

Сильфоном называется гофрированная металлическая трубка, способная упруго изменять свою форму в зависимости от действия приложенных сил. Сильфоны применяют как в качестве чувствительных элементов приборов, так и в качестве элементов, преобразующих потенциальную энергию давления в работу перемещения. Общий вид сильфона показан на рис. 11. Сильфоны можно классифицировать: по характеру работы – работающие на сжатие и растяжение; по количеству слоев материала – однослойные и многослойные; по типу гофров – кольцевые и спиральные.

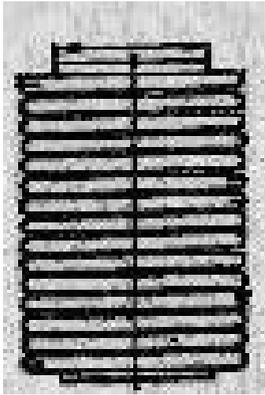


Рис. 11.

Как и всякий чувствительный элемент, сильфон должен обладать высокой упругостью, иметь малый температурный коэффициент модуля упругости; наименьшие остаточные деформации и гистерезис; обладать устойчивостью против коррозии; иметь достаточную механическую прочность и герметичность.

4.1. Применяемые материалы

Сильфоны изготавливают из тонкостенных однослойных и многослойных цельнотянутых металлических трубок. Толщина стенки составляет 0,08...0,8 мм. Изготовление цельнотянутой трубки со стенками равномерной толщины возможно только из металла с хорошей пластичностью. Сильфоны изготавливают как из чистых металлов – серебра, меди, никеля, так и из сплавов – латуни, бронзы, нейзильбера, нержавеющей стали и т. д. Выбор материала обуславливается эксплуатационными требованиями.

4.2. Технологический процесс

Изготовление сильфонов включает операции подготовки материала, формования, проверки герметичности, термообработки и контроля.

4.2.1. Подготовка материала. У готовой тонкостенной трубки проверяют разностенность, отсутствие внешних дефектов и точность размеров. Для придания однородных свойств металлу и

снятия нагартовки (внутренних напряжений) обрезанная по длине трубка (заготовка) термообрабатывается в шахтной электропечи с защитной аммиачной средой при температуре 760... 780 °С. После термообработки сильфон профилируют механическим, гидравлическим или смешанным способом.

4.2.2. Профилирование. Наиболее прогрессивный – гидравлический способ, при котором обеспечиваются одинаковые размеры и механические свойства сильфонов. Кроме того, при этом способе можно обнаружить случайные дефекты заготовки и обеспечить герметичность сильфонов. Он наиболее производительен и может широко применяться в серийном и массовом производстве.

Внутренний диаметр заготовки при гидравлическом способе гофрирования должен быть равен внутреннему диаметру готового сильфона. Устройство для гофрирования показано на рис. 12. Процесс гофрирования состоит из нескольких этапов. Вначале устройство подготавливают к закладыванию заготовки (рис. 12, *а*): пластинчатые матрицы 5 устанавливают на равном расстоянии друг от друга с помощью клиньев 2. Далее в устройство закладывают заготовку 6 открытым концом к зажиму 3. Открытый конец заготовки крепят в зажиме, а пластинчатые матрицы подводят так, чтобы они плотно охватывали заготовку. В заготовку подается давление, при этом она несколько расширяется, чем достигается более плотное прилегание ее к пластинчатым матрицам. Далее выводят клинья. Давление поступившей в цилиндр жидкости вызывает перемещение штока 1, что приводит к деформации заготовки. Последняя, испытывая созданное таким образом осевое давление при одновременном действии давления изнутри, сокращается по длине и заполняет свободные промежутки между пластинчатыми матрицами (рис. 12, *б*). В процессе сокращения длины заготовки матрицы перемещаются по направляющим 7, установленным на кронштейнах 4, и трубка складывается в гофры. Избыточное давление жидкости, создаваемое в трубке благодаря уменьшению ее объема в процессе изготовления, сбрасывается предохранительным клапаном, а лишняя жидкость стекает в бак. На этом заканчивается гофрирование сильфона. Давление жидкости снимается, и шток устройства возвращается в исходное положение. Конец заготовки освобождают из зажима, открывают пластинчатые матрицы и извлекают изготовленный сильфон.

Формование производят с использованием чистой воды, различных эмульсий или масла.

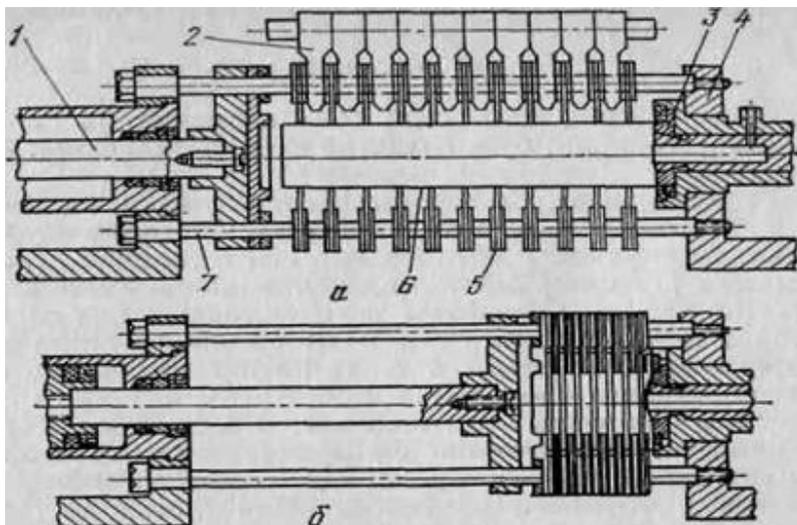


Рис. 12

Прогрессивными и более точными методами гофрирования сильфонов следует считать методы штамповки резиной при повышенных давлениях. В этом случае роль пуансона играет эластичная или эластично-жидкостная среда, а разъемная матрица выполнена жесткой и является носителем геометрии детали. На рис. 13 представлена принципиальная схема формообразования гофрированной трубы эластичным пуансоном. Последовательность процесса следующая: гофры 3 один за другим последовательно оформляются в жесткой разъемной матрице 4 посредством давления изнутри, со стороны резинового пуансона 2, на который давит поршень 1. На схеме показаны две позиции – до и после гофрирования.

На рис. 14 представлена схема, где внутреннее давление для формообразования создает жидкость 3, под давлением подаваемая по каналу 1 в резиновый мешок (оболочку) 2. Отличительная особенность данного метода – то, что образование волны гофра производится не одновременно по всей длине трубки, а последовательно, один гофр за другим. При этом образование волны гофра происходит не за счет двухосного растяжения материала заготовки на участ-

тках гофрирования, а за счет втягивания свободной части заготовки в полость матрицы. При таких условиях формования почти отсутствует уменьшение толщины стенки трубы, а за счет равномерного давления не наблюдается вмятин, наклепа и порывов поверхности. По мере того как один гофр отформован, формирующий пуансон перемещается на один шаг в сторону свободной части заготовки (вверх) и формовка повторяется. Для того чтобы не происходило утяжки материала из отформованного гофра и не искажалась его геометрия, высота формирующей головки пуансона должна быть равной двойному шагу. В таком случае всякий раз в выполненный гофр при формовке повторно затекает эластичный пуансон и прочно фиксирует его относительно матрицы, одновременно осуществляя его калибровку.

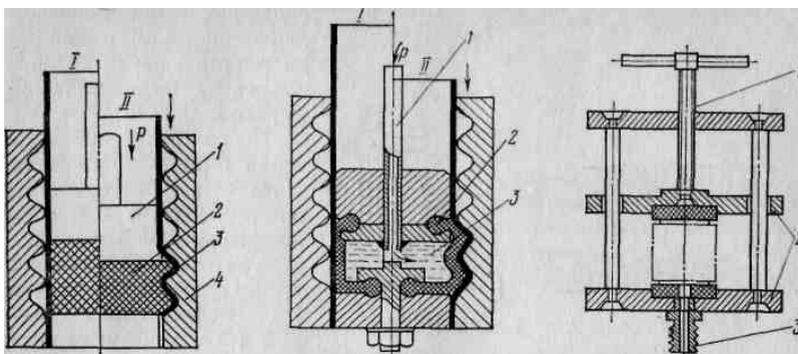


Рис. 13

Рис. 14

Рис. 15

Описанная штамповка производится на полуавтоматических установках с большой производительностью и точностью.

После формования сильфоны промывают в горячей воде и сушат в термостате при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2.3. Проверка герметичности. Если гидравлический способ гофрирования обеспечивает герметичность сильфонов, то после механического способа необходима проверка на герметичность в специальных приспособлениях (рис. 15). При проверке сильфон зажимают между двумя фланцами 2 винтом 1. Под давлением $1,47 \cdot 10^5 \dots 1,96 \cdot 10^5$ Па воздух подают через штуцер 3 внутрь сильфона. Затем приспособление опускают в ванну с дистиллированной водой и следят за выделением пузырьков.

После первичной проверки герметичности сиффоны сушат в термостате при температуре 80 °С, обезжиривают в 20%-м растворе каустической соды при температуре 80 °С в течение 1 ч с последующей промывкой в холодной и горячей воде, отбеливают в растворе хлористого ангидрида и пассивируют.

4.2.4. Термообработка. Для придания сиффонам высоких упругих и механических свойств их укладывают в приспособления, фиксирующие конфигурацию изделия, шаг и длину. Термообработка выполняется при температуре (320 ± 10) °С в течение 2 ч с последующим охлаждением сиффона в приспособлении на воздухе.

4.2.5. Контроль. Контрольные операции включают проверку герметичности, качества пассивирования и жесткости. Жесткость

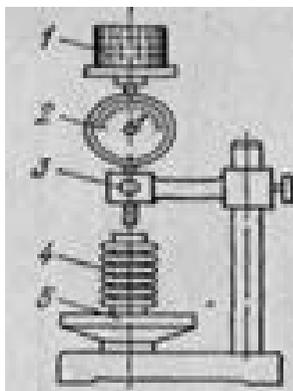


Рис. 16

проверяют на приспособлениях, аналогичных показанному на рис. 16. Сиффон 4 закрепляют на столе 5 и сжимают сосредоточенной нагрузкой 1, приложенной к шпинделю индикатора 2. Величина сжатия измеряется индикатором, укрепленным на кронштейне 3.

Для обеспечения определенной характеристики сиффона при заданной его длине производят калибровку. При калибровании сиффон сжимают до соприкосновения гофров: операция выполняется вручную или на ручном прессе. После сжатия

проверяют длину и характеристику сиффона.

5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕМБРАН И МЕМБРАННЫХ КОРОБОК

Мембрана – основной элемент большого числа приборов (высотометров, указателей скорости, вариометров и др.). Компактность, простота конструкции и невысокая стоимость изготовления мембран обуславливают применение их в качестве чувствительного элемента. Мембрана представляет собой тонкостенную пластинку с концентрически нанесенными, волнообразными складками

(рис. 17), которые позволяют получать мембраны с большим прогибом без остаточных деформаций. Для увеличения перемещения мембраны попарно соединяют в коробки. Если необходимо получить сложную характеристику чувствительного элемента, то применяют комбинированные мембранные коробки, составленные из мембран различной жесткости.

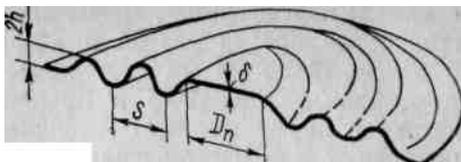


Рис. 17

При использовании нескольких коробок, собираемых в пакет, можно увеличить суммарный прогиб, который возрастает приблизительно пропорционально числу мембран. Для измерения абсолютного давления служат anerоидные коробки, внутренняя полость которых изолирована от внешней среды, и воздух из них откачан. Манометрические коробки служат для измерения разности двух давлений. Внутренняя полость коробок соединяется со средой, давление которой измеряется. Когда необходимо получить изменение показаний прибора при изменении температуры, anerоидную коробку наполняют газом, жидкостью. Чувствительный элемент прогибается под действием давлений, вызываемых изменением температуры наполнителя, т. е. прогиб – функция температуры.

5.1. Технические требования

Основные технические требования, предъявляемые к мембранам и мембранным коробкам: 1) определенная величина хода и линейный закон изменения прогиба; 2) минимальная величина гистерезиса; 3) герметичность и сохранение ее во времени; 4) устойчивость против коррозии; 5) циклическая прочность и долговечность; 6) виброустойчивость и вибропрочность.

Комплексное обеспечение указанных требований – довольно сложная задача. В зависимости от чувствительности мембраны выбирают вид профиля: полуволновой, пилообразный, трапециевидальный.

5.2. Применяемые материалы

Материалы для изготовления мембран должны обладать следующими свойствами: 1) достаточно высоким удлинением; 2) достаточным пределом прочности при разрыве; 3) однородностью механических свойств; 4) устойчивостью против коррозии; 5) способностью хорошо спаиваться или свариваться; 6) хорошей пластичностью; 7) малым температурным коэффициентом модуля упругости.

Материалы, поступающие на приборостроительные заводы, обычно не удовлетворяют всем перечисленным требованиям, поэтому их подвергают различной термической и механической обработке, что позволяет значительно изменять их физические и механические свойства по сравнению с исходными.

В зависимости от метода обработки материалы могут быть разделены на две группы.

К первой группе относят материалы, у которых полный цикл обработки заканчивается до гофрирования мембраны: фосфористая бронза БрОФ6,5 – 0,4, оловянистая бронза БрОЦ4 – 3, латунь Л62, нейзильбер ПМЦ65 – 20, нержавеющие стали 4Х13, 1Х18Н9Т, 36НХТ и др. Мембраны из бронз БрОЦ4 – 3 и БрОФ6,5 – 0,4 отличаются высоким пределом прочности на разрыв, значительным удлинением и твердостью, стойкостью против ударов и вибраций, постоянством характеристики и относительно малым гистерезисом и упругим последствием. Кроме того, бронзы БрОЦ4 – 3 и БрОФ6,5 – 0,4 хорошо поддаются пайке, сварке и имеют высокую устойчивость против коррозии. Латунь Л62 применяют для изготовления неотчетственных мембран. Нержавеющие стали используют для изготовления мембран, работающих в агрессивных средах.

Ко второй группе относят материалы, у которых цикл обработки заканчивается после гофрирования мембран: бериллиевая бронза БрБ2,3 – 2,6 и стали марок У8А, У10А, 65Г и др. Мембраны, изготовляемые из бериллиевой бронзы, имеют более стабильные характеристики. Стали У8А, У10А и 65Г применяют для изготовления мембран в тех случаях, когда требуется, чтобы мембрана выдерживала большую нагрузку.

В последнее время для изготовления мембран применяют сплав элинвар (0,7...0,8 % С; 33...35 % Ni; 7...9 % Cr; остальное – Fe), который благодаря незначительному коэффициенту модуля упругости сохраняет упругость независимо от температуры окружающей среды.

5.3. Технологический процесс

Типовой технологический процесс изготовления мембран и мембранных коробок состоит из следующих операций: подготовка материала к прокатке; прокатка; термическая обработка; вырубка заготовок; формование (гофрирование); соединение мембран в коробку; стабилизация и контроль.

5.3.1. Подготовка материала к прокатке. Материал для изготовления мембран поступает на завод в лентах толщиной 0,15...1,5 мм и шириной 1200 мм. Каждая партия материала подвергается контролю по внешнему виду, химическому составу и механическим свойствам. Ленты, прошедшие испытания и осмотр, режутся на полосы определенной ширины. Для придания пластичности материал подвергают термической обработке. Перед прокаткой производят механическую и химическую очистку полос, а иногда и электрополирование.

5.3.2. Прокатка производится для получения необходимых механических свойств материала и однородной структуры, необходимой толщины материала.

Прокатку осуществляют на точных вальцах, позволяющих прокатывать полосы толщиной от 1,5 до 0,02 мм с точностью до 2 мкм. Производится прокатка в несколько переходов; их количество зависит от необходимой степени обжатия материала и толщины полосы. Толщину полосы контролируют микрометрами со сферическими насадками (до 0,1 мм) и индикаторами с ценой деления 0,001 и 0,002 мм.

5.3.3. Термическую обработку до гофрирования производят для придания материалу пластичности. Нагрев осуществляют в электрических или электровакуумных печах. Термическая обработка материалов первой группы сводится к отжигу. Бериллиевую бронзу для придания ей свойств пластичности подвергают закалке. Последнюю производят в печах с защитной атмосферой. После закалки для устранения загрязнения и окислов полосы бериллиевой бронзы проходят химическую и механическую очистку. Химической очисткой снимают окалину. Такая очистка называется отбелом. При отбеле полосы помещают в концентрированную соляную кислоту на 5... 10 мин. Для придания поверхности блестящего вида полосы погружают в раствор хромового ангидрида и серной кислоты. Затем

их необходимо тщательно промыть в проточной воде, просушить в древесных опилках лиственных пород и обдуть сжатым воздухом. Вырубку заготовок производят на прессах в точных штампах.

5.3.4. Методы формования мембран используют в зависимости от типа производства. В условиях единичного производства применяют ручное формование на токарно-давилных станках. При

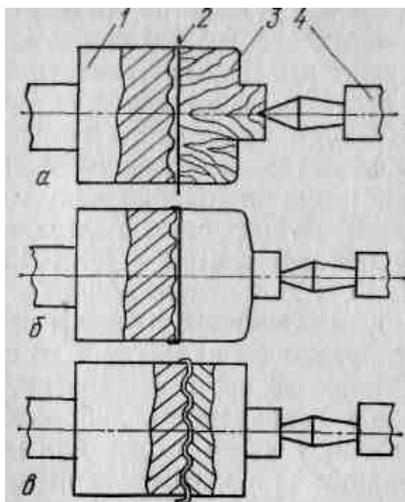


Рис. 18

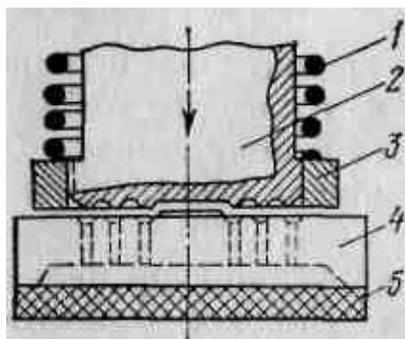


Рис. 19

этом заготовку 2 укладывают на торцовую поверхность патрона 1 и прижимают шайбой 3 при помощи центра 4 (рис. 18, а). Сначала делают отбортовку (рис. 18, б), а затем меняют шайбу и гофрируют мембрану (рис. 18, в). Для мембран невысокой точности применяют механическое формование стальным пуансоном на матрице из свинца, олова или резины.

Наиболее часто формование осуществляют в штампах и на специальных гидравлических прессах. Гофрирование мембран в штампах может выполняться в одну или несколько операций. Гофрирование в одну операцию при изготовлении мембран с малой высотой гофров показано на рис. 19. Формирующий узел штампа состоит из матрицы 4, пуансона 2 и резинового амортизатора 5. Пуансон снабжен пружиной 1 и прижимным кольцом 3, исключая образование складок.

Последовательность формования за две и три операции показана на рис. 20. Первая операция – вытяжка краевого гофра и образование борта; вторая и третья – формование всех остальных гофров.

Гофрирование мембран на резине выполняется в специальном штампе (рис. 21). Заготовка укладывается на основание 4, в которое вложен резиновый круг 3 толщиной 8... 10 мм, и прижимается к нему кольцом 2. Затем опускается пуансон 1, который придает мембране соответствующую форму.



Рис. 20

В настоящее время на заводах применяют гофрирование гидравлическим способом. Высокое качество мембран при изготовлении на гидравлических прессах обеспечивается равномерным распределением рабочего давления по всей поверхности заготовки. На рис. 22 приведена схема механизированного пресса. В системе, предварительно заполненной жидкостью с помощью ручного насоса 1, поршень 4, движущийся в цилиндре 2, приводится в действие двигателем 3 через редуктор 6 и винтовую пару 5.

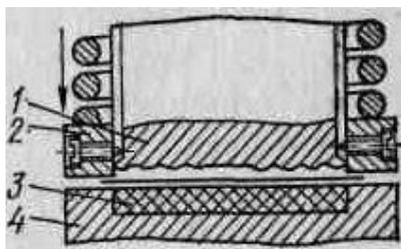


Рис. 21

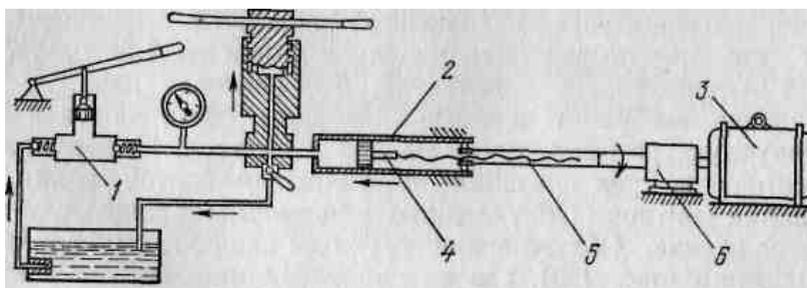


Рис. 22

5.3.5. Соединение мембран в коробку. Мембраны соединяют в коробку пайкой вручную, автоматической пайкой и сваркой.

Процесс пайки коробок состоит из трех операций: облуживания бортов, пайки по контуру и пайки центров. Облуживание произво-

дят вручную или на автоматическом станке. Облуживание вручную паяльником совершают на приспособлении (рис. 23), где на оправку 1 прижимом 2 закрепляют мембрану.

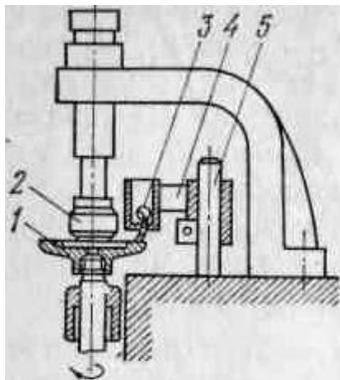


Рис. 23

На стойке 5 укреплен кронштейн 4, на конце которого имеется стаканчик с флюсом и фитилем 3. Более совершенный способ – облуживание на автоматических станках.

Перед соединением в коробку мембраны тщательно промывают бензином и сушат. Затем устанавливают в центрирующее приспособление (рис. 24) между двумя чашечками 3, закрепленными на вращающихся шпинделях 1 и 4. Чашечки зажимают мембрану пружиной 2.

Пайка производится электропаяльником. Припайку центров можно вести в приспособлении, показанном на рис. 25. При более крупных партиях целесообразна автоматическая пайка на специальных установках.

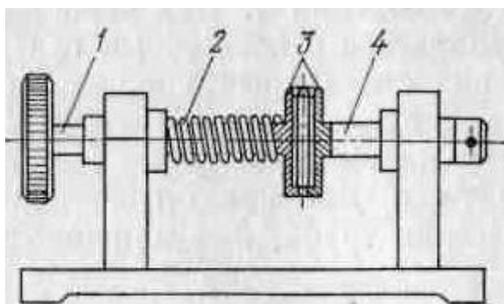


Рис. 24

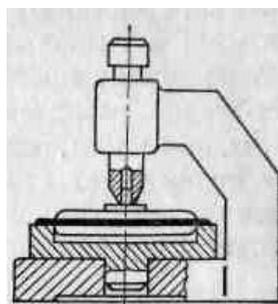


Рис. 25

Наиболее прогрессивный способ соединения мембран в коробку – сварка. Она может быть точечной или шовной.

После соединения мембран в коробку проверяют герметичность ее погружением в горячую воду при температуре $(90 \pm 10)^\circ\text{C}$ (по пузырькам воздуха). Затем подрезают борта, напаяют каплю припоя, сверлят в ней отверстие диаметром 0,3 мм и сушат в термокамере при температуре $(100 \pm 10)^\circ\text{C}$ и остаточном давлении.

После сушки отверстие запаивается на специальном приспособлении под вакуумом.

5.3.6. Стабилизация. При изготовлении коробок в материале мембран возникают местные напряжения, которые являются результатом неравномерности нагрева, различной степени упрочнения и других причин. С течением времени внутренние напряжения снимаются; одновременно с этим изменяются характеристики коробок. Для устранения этого недостатка изготовленные коробки подвергают температурной и механической стабилизации.

Температурная стабилизация производится в ваннах при температуре -60 и 100 °С многократным погружением коробок попеременно в ванну с той и другой температурой.

Механическая стабилизация заключается в периодическом циклическом нагружении – раскатке.

5.3.7. Контроль. Величины прогиба и гистерезиса определяют либо индикаторами часового типа, либо оптико-механическими приборами. Самый простой метод проверки анероидных коробок – проверка при помощи индикатора (рис. 26).

Неподвижный центр коробки 2 закрепляется в гнезде приспособления 4. Над коробкой установлен индикатор 3, ножка которого упирается в подвижный центр коробки. Все приспособление помещено под стеклянный колпак. При изменении давления под колпаком, контролируемого вакуумметром 1, коробка расширяется и перемещает стрелку индикатора. Более высокой точности измерений достигают бесконтактным методом оптико-механическими приборами.

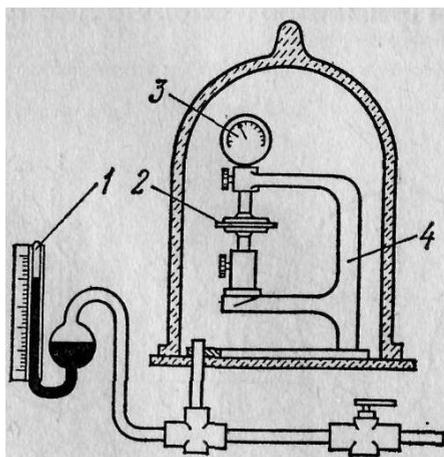


Рис. 26

6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПРУЖИН

Манометрическая трубчатая пружина представляет собой тонкостенную кривую трубку вытянутого поперечного сечения. Она обычно выполняется в виде одновитковых пружин (пружины Бурдона), ось которых представляет собой дугу окружности с центральным углом $200 - 270^\circ$. Манометрические трубчатые пружины применяют как измерительные преобразователи давления в показывающих, регистрирующих и регулирующих манометрических приборах. В приборах, где требуются большие перемещения упругих элементов, используют многовитковые трубчатые пружины.

6.1. Применяемые материалы

Для изготовления трубчатых пружин применяют латуни Л63 и Л68, бронзы Бр2,5 и БрБНТ1,9.

6.2. Технологический процесс изготовления трубчатых пружин включает следующие основные этапы: заготовительный, профилирование (навивку), термообработку и контроль.

6.2.1. Заготовительный этап заключается в изготовлении трубки определенной длины с профилированным сечением. Наибольшее распространение имеет способ изготовления манометрических трубчатых пружин из цельнотянутых профилированных трубок, получаемых волочением и прокаткой.

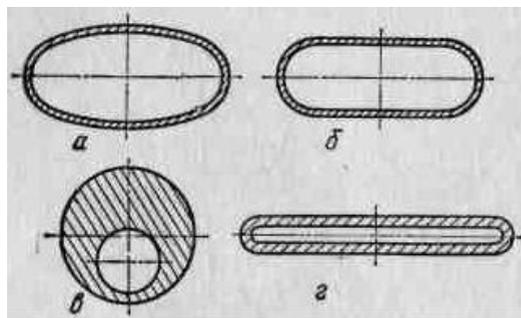


Рис. 27

Форма поперечного сечения трубчатых пружин бывает следующих видов: овальная (рис. 27, а), плоскоовальная (рис. 27, б), круглая с эксцентрично расположенным отверстием (рис. 27, в), плоскоплюсцованная (рис. 27, г).

Требуемую форму поперечного сечения получают путем сплюсывания на эксцентриковых прессах, вальцах, волочильных стан-

ках или автоматах с бункерной загрузкой. В условиях индивидуального производства латунные трубки изготавливают из листового материала обжатием на оправке с последующей пайкой серебряным припоем. Иногда трубку-заготовку получают сваркой из листового материала. Разброс характеристик пружин одной партии при этом может быть снижен, так как листовый материал имеет меньшие допуски на толщину по сравнению с допусками на цельнотянутые трубки. Расположение сварных швов по концам большой оси сечения (рис. 28) упрощает технологию: получаемые штамповкой профилированные полосы сваривают с последующей навивкой пружины.



Рис. 28

6.2.2. Профилирование заключается в навивке пружины и получении окончательной формы ее поперечного сечения. Применяют следующие методы профилирования.

1. Профилирование тремя роликами (рис. 29, а). В качестве наполнителя используют песок, соль или канифоль.

2. Профилирование двумя роликами (рис. 29, б). Заготовку закрепляют на неподвижном ролике 2 и сгибают вращающимся роликом 1. В качестве прокладки применяют висмутовый сплав.

3. Профилирование двумя роликами с применением стального сердечника (рис. 30). Трубку надевают на штифт 5 ведущего ролика 4. Сечение трубки б заполняют стальной гибкой лентой 2, свободный конец которой закрепляют на неподвижном зажиме 3. Нажимной ролик 1 прижимает трубку к ведущему ролику, при вращении которого трубка сходит с сердечника.

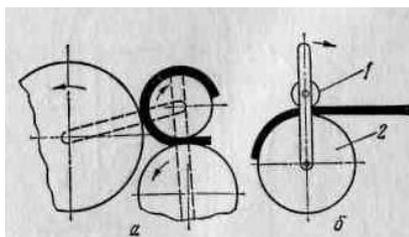


Рис. 29

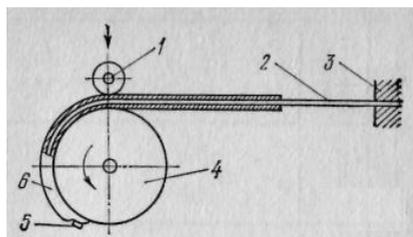


Рис. 30

Холодную навивку производят также на специальных полуавтоматах, что позволяет повысить производительность труда.

6.2.3. Термическая обработка после навивки предназначена для получения стабильных упругих свойств. Нагрев осуществляют в электропечах с нейтральной средой.

6.2.4. Контроль изготовленных пружин заключается во внешнем осмотре (выявление царапин, вмятин), а также проверке основных геометрических размеров и упругости. Сборка пружин со штуцером осуществляется пайкой, а при соединении пружин с арматурой из нержавеющей стали – сваркой.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение упругих элементов?
2. Какие материалы применяют для изготовления упругих элементов?
3. Какие операции входят в технологический процесс изготовления пружин?
4. Какие существуют способы навивки винтовых пружин?
5. Как происходит формирование и обработка концевых витков пружин?
6. Какие параметры контролируют в процессе изготовления винтовых пружин?
7. Как подготавливается материал для изготовления спиральных пружин?
8. Опишите гидравлический способ гофрирования сильфонов.
9. Опишите процесс формообразования сильфонов эластичным пуансоном.
10. Как проверяют упругую характеристику сильфонов?
11. Какие требования предъявляют к материалам для изготовления мембран?
12. Назовите методы формования мембран.
13. Как происходят пайка и сварка мембранных коробок?
14. Как осуществляют стабилизацию мембранных коробок?
15. Как осуществляют контроль прогиба и гистерезиса мембран?
16. Назовите формы поперечного сечения трубчатых пружин и способы их получения.
17. Как происходит навивка трубчатых пружин?

Заключение

Упругие элементы современных приборов достаточно многообразны по геометрической форме, назначению и принципу действия.

В настоящем учебном пособии рассмотрены технологические процессы изготовления основных упругих элементов: винтовых пружин растяжения и сжатия, спиральных и плоских пружин, мембран, сильфонов и манометрических трубчатых пружин.

В специальной литературе студенты могут самостоятельно изучить погрешности работы упругих элементов, вызванные нарушениями технологии их изготовления и действием внешних факторов, а также технологические процессы изготовления конических и фасонных винтовых пружин, пружин кручения и некоторых других упругих элементов.

Список рекомендуемой литературы

1. Остафьев, В. А. Технологические процессы изготовления деталей приборов : учеб. для вузов / В. А. Остафьев [и др.]. – Киев : Выща шк., 1983. – 208 с.

2. Ачкасов, Н. А. Технология точного приборостроения : учеб. для вузов / Н. А. Ачкасов [и др.]. – М. : Высш. шк., 1981. – 351 с.

3. Андреева, Л. Е. Упругие элементы приборов / Л. Е. Андреева. – М. : Машиностроение, 1981. – 392 с.

4. Гаврилов, А. Н. Технология авиационного приборостроения : учеб. для вузов / А. Н. Гаврилов. – М. : Оборонгиз, 1962. – 472 с.

5. Справочник технолога-приборостроителя / под ред. П. В. Сыроватченко. – М. : Машиностроение, 1980. – 607 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН	4
1.1. Применяемые материалы	4
1.2. Технологический процесс	5
1.2.1. Подготовка материала	5
1.2.2. Навивка заготовок пружин	5
1.2.3. Отделка концов пружин	7
1.2.4. Термическая обработка	8
1.2.5. Доводка осевой силы	9
1.2.6. Стабилизация свойств пружин	9
1.2.7. Антикоррозионное покрытие	9
1.2.8. Контроль	10
2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СПИРАЛЬНЫХ ПРУЖИН	10
2.1. Применяемые материалы	11
2.2. Технологический процесс	11
2.2.1. Подготовка материала	11
2.2.2. Волочение проволоки	12
2.2.3. Прокатка (плющение)	13
2.2.4. Навивка пружин	13
2.2.5. Термическая обработка	13
2.2.6. Стабилизация	14
2.2.7. Контроль	14
3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ПРУЖИН	14
3.1. Применяемые материалы	15
3.2. Технологический процесс	15
3.2.1. Заготовительные операции	15
3.2.2. Штамповочные операции	15
3.2.3. Термическая обработка	15
3.2.4. Защитное покрытие	15
4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СИЛЬФОНОВ	16
4.1. Применяемые материалы	16
4.2. Технологический процесс	16
4.2.1. Подготовка материала	16
4.2.2. Профилирование	17

4.2.3. Проверка герметичности.....	19
4.2.4. Термообработка	20
4.2.5. Контроль	20
5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕМБРАН И МЕМБРАННЫХ КОРОБОК....	20
5.1. Технические требования	21
5.2. Применяемые материалы	22
5.3. Технологический процесс	23
5.3.1. Подготовка материала к прокатке	23
5.3.2. Прокатка	23
5.3.3. Термическая обработка	23
5.3.4. Методы формования.....	24
5.3.5. Соединение мембран в коробку	25
5.3.6. Стабилизация	27
5.3.7. Контроль	27
6. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ПРУЖИН.....	28
6.1. Применяемые материалы	28
6.2. Технологический процесс	28
6.2.1. Заготовительный этап.....	28
6.2.2. Профилирование.....	29
6.2.3. Термическая обработка	30
6.2.4. Контроль	30
Контрольные вопросы	31
Заключение	32
Список рекомендуемой литературы	32

Учебное издание

МАРЫЧЕВ Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИБОРОВ

Учебное пособие

Подписано в печать 14.10.08.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.