

Д. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО, С. В. МЕРЛЯН

Украина, Одесский национальный политехнический университет

E-mail: aiefimen@gmail.com, stasmerlyan@gmail.com

РАСЧЕТ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГИБКИХ ПЕЧАТНЫХ КАБЕЛЕЙ

Приведена методика определения конструктивных параметров элементов разъемных и неразъемных соединителей на основе гибкого печатного кабеля. Решена проблема перехода от единиц измерения твердости, указанных в технических условиях на резины, к величине модуля упругости, который используется при расчетах конструктивных параметров соединителей. Приведены примеры расчета величины сжатия эластомерного вкладыша, необходимой для обеспечения надежного контактирования, при заданной величине переходного сопротивления соединителя.

Ключевые слова: электрический соединитель, эластомерный вкладыш, переходное сопротивление, твердость, упругость, гибкий печатный кабель, усилие сочленения-расчленения.

Характерной особенностью электрических соединителей, в которых в качестве групповых контактов используются гибкие печатные кабели, является применение эластомерных вкладышей, выполняющих роль групповой пружины [1].

Как известно, в контактной паре электрических соединителей должно быть создано определенное давление, и чем оно больше, тем меньше переходное контактное сопротивление, а также надежнее и стабильнее контакт. Однако, с другой стороны, увеличение давления приводит к увеличению усилия сочленения-расчленения контактов, которое является важным эксплуатационным показателем соединителей. То есть очевидно, что при проектировании соединителей должно быть найдено оптимальное соотношение между величинами контактного сопротивления и давления, обеспечивающее надежный контакт при допустимом усилии сочленения-расчленения контактных пар. Для того чтобы это соотношение было реализовано в конструкции электрического соединителя, необходимо иметь метод расчета элементов конструкции, в частности упругих элементов, которыми являются эластомерные вкладыши. Методы расчетов для соединителей с дискретными металлическими контактами детально разработаны достаточно давно [2, 3], в отличие от соединителей на основе гибких печатных кабелей, для которых соответствующие методы расчетов не получили должного развития.

Целью настоящей работы является разработка методов, позволяющих производить конструктивные расчеты упругих элементов на основе эластомерных материалов в сочетании с определением размеров корпусных элементов электрических соединителей.

При проектировании соединителей с использованием гибких печатных кабелей (ГПК) и эла-

стомерных вкладышей могут решаться различные инженерные задачи, к тому же в разной последовательности. Однако с учетом того, что зависимости для расчета переходного контактного сопротивления для заданных контактных пар в электрических соединениях с плоскими контактами (рис. 1) уже имеются [4], расчеты конструктивных элементов целесообразно производить в такой последовательности:

- определение требуемого переходного контактного сопротивления на основании исходных данных [4];

- вычисление параметров жесткости упругих элементов (вкладышей);

- установление размеров вкладышей и корпусов соединителей, определяющих жесткость и, соответственно, давление на контакты в них.

Так как давление P на контакты создается за счет сжатия вкладыша, необходимо определить

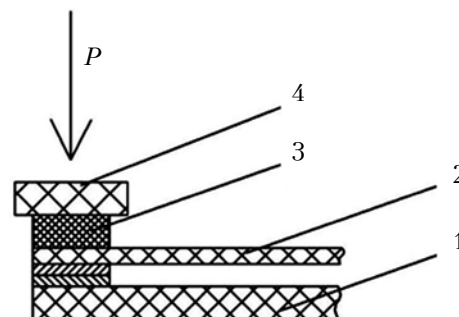


Рис. 1. Схема контактирования в электрических соединениях с плоскими контактами:

1 — жесткая печатная плата с контактной площадкой; 2 — ГПК с контактной площадкой; 3 — эластомерный вкладыш; 4 — пластина (элемент корпуса соединителя)

зависимость P от размеров вкладыша при его сжатии, когда осуществляется установка контактирующих частей.

Упругим элементом в традиционных конструкциях контактных пар электрических соединителей чаще всего являются элементы гнездовой части контактов т. е. контакты и упругие элементы одновременно. В рассматриваемых соединителях эти функции разделены — ГПК выполняет роль контактов, а роль пружины отводится эластомерному вкладышу, изготавливаемому из силиконовой резины. Очевидно, что свойства металлических упругих контактов и резиновых вкладышей существенно различаются.

Следует отметить, что одним из достоинств групповой резиновой пружины и гибкого печатного кабеля является то, что вкладыш выжимает кабель, благодаря чему увеличивается эффективная площадь контактирования.

Рассмотрим два варианта конструкции соединителей, в которых контактное давление создается посредством эластомерного вкладыша.

1. *Неразъемные или условно разъемные соединения (рис. 2).* В этих случаях усилие сочленения-расчленения не является эксплуатационным параметром соединителей, а значит не нормируется. Контактное давление создается

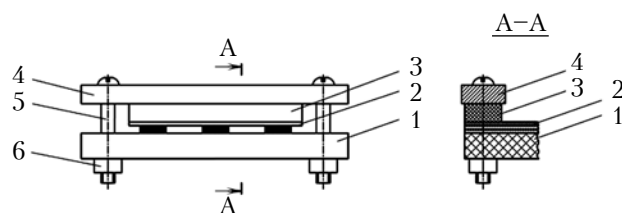


Рис. 2. Условно разъемное контактное соединение: 1 — жесткая печатная плата; 2 — ГПК; 3 — вкладыш; 4 — планка; 5 — винт; 6 — гайка

ся сжатым вкладышем, зафиксированным в заданном положении с помощью различных механических соединений (винтовых, заклепочных, защелками) в зависимости от свойств, отвечающих за ремонтопригодность, и показателей технологичности, которые необходимо получить. В данной конструкции поперечное сечение вкладыша имеет простую форму, например прямоугольную, круглую, овальную и т. п.

2. *Разъемные контактные пары (рис. 3).* В этих случаях необходимо не только обеспечить достаточное контактное давление, но и минимизировать усилие сочленения-расчленения. Для выполнения такой задачи создание контактного давления за счет только упругих сил сжатого вкладыша простой формы является неэффективным, поскольку:

— давление, создаваемое таким образом, приводит к большим усилиям сочленения-расчленения;

— накапливается значительная остаточная деформация вкладыша;

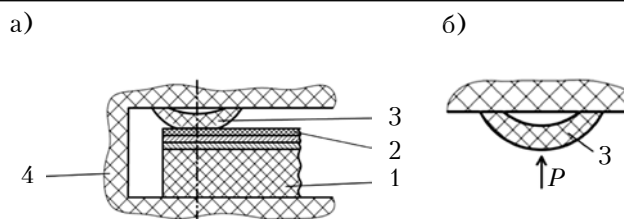


Рис. 3. Конструкция разъемного соединителя в сборе (а) и фрагмент вкладыша до сборки (б): 1 — жесткая печатная плата; 2 — ГПК; 3 — вкладыш; 4 — корпус соединителя

— определение относительно небольшого сжатия вкладыша, требуемого для создания необходимого контактного давления, может происходить с существенными погрешностями, особенно если учесть, что имеется большой разброс значений такого параметра материала вкладыша, как твердость по Шору A , и, соответственно, модуля упругости.

Этих недостатков лишена конструкция, представленная на рис. 3, которая позволяет более точно рассчитывать давление, благодаря использованию вкладыша специальной формы: при приложении усилия P он не только сжимается в объеме, но и деформируется, как пружина.

В обоих рассмотренных вариантах конструкции соединителей при сжатии и деформации вкладышей создается определенное усилие. В рамках рассматриваемой задачи проектирования соединителей оно задается, а искомой является величина деформации, которая и будет определять форму и размеры вкладышей и корпусов.

Прогиб ГПК вместе с эластомерным вкладышем в общем случае определяется как [3]

$$f = f_{\text{п}} + f_{\text{сж}} + f_{\text{изн}}, \quad (1)$$

где $f_{\text{п}}$ — прогиб оси упругого элемента;

$f_{\text{сж}}$ — величина сжатия эластомерного вкладыша в месте контактирования;

$f_{\text{изн}}$ — величина износа контактирующих поверхностей при сочленении-расчленении контактов.

Перейдем к разработке методов расчета величины сжатия эластомерных вкладышей, обеспечивающей заданное давление в контактных парах обоих рассмотренных вариантов.

Соединение, в котором давление на контакты создается только за счет сжатия вкладыша

Рассмотрим неразъемное или условно разъемное соединение, конструкция которого представлена на рис. 2. В этом случае эластомерный вкладыш, имеющий форму бруска, зажимается между двумя жесткими параллельными пластинами без смещения, поэтому прогиб его оси и износ (стирание) отсутствуют, и тогда формула (1) принимает вид

$$f = f_{\text{сж}}. \quad (2)$$

В такой конструкции сжатие выполняется равномерно (усилие распределено) по всей длине вкладыша. Таким образом, от величины сжатия зависит напряженность вкладыша и, соответственно, давление на контактные группы.

В соответствии с принятыми условиями давление задается исходя из обеспечения стабильности контакта и допустимого значения усилия сочленения-расчленения. В этом случае необходимая величина сжатия определяется в соответствии с законом Гука [5, с. 128]

$$\Delta l = \frac{Pl}{ES}, \quad (3)$$

где P — равнодействующая распределенного усилия;

l — первоначальная толщина вкладыша (размер, в соответствии с которым определяется величина сжатия, см. **рис. 4**);

E — модуль упругости первого рода материала вкладыша (модуль Юнга);

S — площадь поперечного сечения вкладыша в плоскости, перпендикулярной действию сил сжатия.

Из **рис. 4** видно, что

$$\Delta l = l - l_1,$$

где l_1 — размер вкладыша после его сжатия в результате сочленения электрического соединителя.

Отметим, что в технических условиях (**ТУ**) на силиконовые резины, как правило, приводится не модуль упругости, значение которого необходимо для расчета величины сжатия по формуле (3), а твердость в единицах Шора А. Взаимосвязь между этими величинами была определена нами следующим образом. На основании приведенной в [7] экспериментальной зависимости между значениями твердости по шкале Шора А и значениями по шкале *IRHD* (**рис. 5**) был проведен пересчет твердости из единиц Шора А в международные единицы *IRHD*. Затем с использованием приведенной в [6] зависимости твердости резины в *IRHD* от $\lg E$ были рассчитаны значения модуля упругости. Результаты расчетов сведены в **табл. 1** (часто встречающиеся значения 30 и 35 твердости по Шору А были получены экстраполяцией имеющихся на **рис. 5** данных).

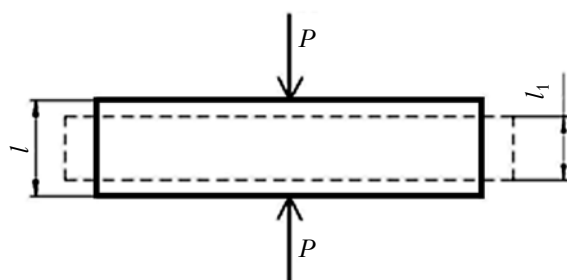


Рис. 4. Сжатие эластомерного вкладыша

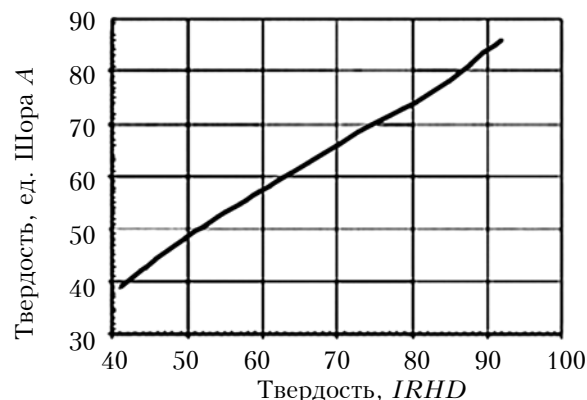


Рис. 5. Соотношение между значениями твердости силиконовых резин по шкале Шора А и по шкале *IRHD*

Таблица 1

Твердость, ед. Шора А	Твердость, <i>IRHD</i>	$\lg E$	E , МН/м ²
30	32	0,05	1,12
35	37	0,12	1,32
40	42	0,24	1,73
45	47	0,33	2,11
50	51,5	0,38	2,4
55	57,5	0,48	2,99
60	63	0,56	3,63
65	69	0,7	5,01
70	74	0,8	6,3
75	82	1,04	10,84
80	86,5	1,18	15,14
85	92	1,4	25,12

Для удобства использования полученной экспериментальной зависимости модуля упругости от твердости по Шору А было найдено аналитическое выражение, наиболее точно ее описывающее. Для этого по табличным данным был построен график зависимости E от твердости по Шору А, приведенный на **рис. 6**. При использовании программного обеспечения получен ряд

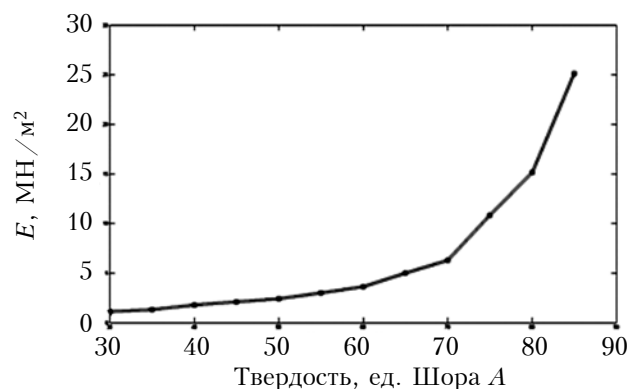


Рис. 6. Экспериментальная зависимость модуля упругости от твердости по шкале Шора А

формул различного вида, описывающих эту зависимость с той или иной степенью приближения. Далее на основании визуального анализа были отобраны те из них, графики которых наиболее приближены к графику на рис. 6. Для каждой из m отобранных формул была найдена средняя ошибка аппроксимации

$$\bar{A}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_{ki}}{y_i} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где k — номер формулы, $k=1, \dots, m$;

n — количество аппроксимируемых значений;

$y_i, \hat{y}_{ki}$ — соответственно, экспериментальное значение E , соответствующее i -му значению твердости в единицах Шора A из табл. 1, и расчетное значение модуля упругости, определенное по выбранной формуле.

Таким образом был выбран вид аналитической зависимости, для которой средняя ошибка аппроксимации была наименьшей, а именно:

$$\hat{y} = a \cdot \exp(bx) + c \cdot \exp(dx), \quad (5)$$

где x — известная твердость по Шору A .

С помощью программного обеспечения MATLAB рассчитаны коэффициенты регрессии, которые равны:

$$a = 0,5; b = 0,028; c = 6,8 \cdot 10^{-4}; d = 0,12.$$

Таким образом, искомое уравнение регрессии имеет вид

$$\hat{y} = 0,5 \cdot \exp(0,028x) + 6,8 \cdot 10^{-4} \cdot \exp(0,12x). \quad (6)$$

Для оценки качества аналитической зависимости найдем индекс корреляции, который ха-

рактеризует силу связи определяемых показателей, по формуле

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_{ki})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (7)$$

где $\bar{y}$ — среднее арифметическое выборки значений модуля упругости E .

Теперь можем найти индекс детерминации — коэффициент, характеризующий долю дисперсии, обусловленной регрессией:

$$D = R^2. \quad (8)$$

Оба эти коэффициента могут принимать значения от -1 до 1 . Чем ближе эти значения по модулю к 1 , тем теснее связь изучаемых параметров x и y . Величина коэффициента детерминации D служит важным критерием оценки качества моделей. Чем значительнее доля объясненной вариации, тем лучше найденная аналитическая зависимость аппроксимирует исходные данные.

Для нахождения рассмотренных показателей по формулам (4), (7), (8) составим таблицу вспомогательных величин (табл. 2) со следующими обозначениями:

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i;$$

$$A_i = \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|;$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{77,76}{12} = 6,48.$$

Значения рассматриваемых индексов составили $R = 0,999$ и $D = 0,998$, что удовлетворяет

Таблица 2

i	x_i	y_i	$\hat{y}_i$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	ε_i	ε_i^2	A_i
1	30	1,12	1,18	-5,36	28,73	-0,06	0,004	0,06
2	35	1,32	1,42	-5,16	26,63	-0,09	0,009	0,07
3	40	1,78	1,66	-4,7	22,09	0,12	0,013	0,06
4	45	2,11	1,98	-4,37	19,1	0,13	0,018	0,06
5	50	2,4	2,38	-4,08	16,65	0,02	0,0004	0,008
6	55	2,99	2,93	-3,49	12,18	0,06	0,003	0,019
7	60	3,63	3,73	-2,8/5	8,12	-0,1	0,01	0,03
8	65	5,01	4,94	-1,47	2,16	0,07	0,005	0,014
9	70	6,3	6,86	-0,18	0,03	-0,56	0,32	0,09
10	75	10,84	10,05	4,36	19,01	0,79	0,63	0,07
11	80	15,14	15,49	8,66	74,99	-0,35	0,12	0,02
12	85	25,12	25,006	18,64	347,45	0,11	0,01	0,005
Σ	—	—	—	—	577,139	0,14	1,14	0,52

заданным условиям использования выбранного уравнения регрессии (6). В данном случае индекс детерминации равен 99,8%, т. е. уравнение регрессии объясняет 99,8% дисперсии результативного признака, тогда как остаточная дисперсия составляет всего 0,2%. Согласно уравнению (4), средняя ошибка аппроксимации $\bar{A}$ при использовании уравнения регрессии (6) составляет 4,31%, что также является приемлемым.

Уравнение регрессии (6) в графическом виде приведено на рис. 7, что также можно использовать для нахождения значений модуля упругости по известным значениям твердости по шкале Шора А.

Таким образом, получена аналитическая зависимость, позволяющая с определенной точностью установить связь между приводимыми в технических условиях и справочных данных значениями твердости в единицах Шора А и модулем упругости E , который входит в формулу для определения величины сжатия эластомерных вкладышей.

Пример расчета. Рассчитаем величину сжатия вкладыша, необходимую для обеспечения надежного электрического контакта ГПК и жесткой печатной платы (ЖПП) в конструкции соединителя, приведенной на рис. 2.

Пусть в качестве вкладыша используется брусок размерами 30×5×5 мм из силиконовой резины, твердость которой по шкале Шора А составляет 75 единиц; покрытие контактных элементов на ГПК и ЖПП — серебро.

Предварительный анализ устройства, в котором будет использоваться соединитель, показал, что для его стабильной работы достаточно обеспечить переходное сопротивление 0,5 мОм. С помощью полученных в [4] зависимостей (см. рис. 4 или формулу (2) в [4]) было определено, что такое сопротивление достигается при величине удельного давления 0,12 кг/мм²

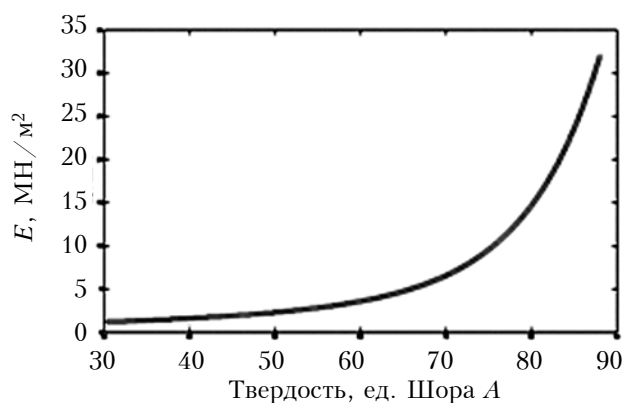


Рис. 7. Аналитическая зависимость модуля упругости от твердости по шкале Шора А

или 1,18 Н/мм² (размеры в мм используем для удобства).

Для расчета необходимой величины сжатия вкладыша Δl воспользуемся формулой (3), определив сначала входящие в нее величины:

$S=150 \text{ мм}^2$; $l=5 \text{ мм}$; $P=177 \text{ Н}$; $E=10,84 \text{ МН/мм}^2$ (или $10,84 \text{ Н/мм}^2$).

Тогда получим

$$\Delta l = \frac{177 \text{ Н} \cdot 5 \text{ мм}}{10,84 \text{ Н/мм}^2 \cdot 150 \text{ мм}^2} = 0,54 \text{ мм}.$$

Соединение, в котором давление на контакты создается за счет сжатия и упругой деформации пружины (вкладыша)

Рассмотрим разъемное соединение, конструкция которого представлена на рис. 3. В этом случае величиной износа контактирующих поверхностей можно пренебречь, поскольку ее значение значительно меньше других возникающих составляющих прогиба. Например, если величина прогиба со сжатием будет равна 1 мм, то даже при полном износе покрытий на обеих контактирующих поверхностях величина износа составит примерно 10 мкм, т. е. не более 1%.

Таким образом, в соответствии с формулой (1), для рассматриваемого типа контактирования прогиб ГПК с вкладышем будет определяться, как

$$f = f_{\text{п}} + f_{\text{сж}}. \quad (9)$$

Это значит, что усилие P в контактной паре определяется жесткостью c вкладыша и величиной его перемещения $f_{\text{п}}$ в местах приложения усилий [3]:

$$P = c f_{\text{п}}, \quad (10)$$

$$c = n E J_x / l^3, \quad (11)$$

где n — коэффициент, зависящий от вида балки и расположения точки приложения контактного усилия (для рассматриваемого случая, когда балка расположена на двух опорах с приложенной силой в центре вкладыша, $n = 48$);

J_x — момент инерции поперечного сечения вкладыша, мм⁴;

l — активная длина вкладыша (по поперечному сечению), мм.

Для принятой формы поперечного сечения вкладыша — сектора толстостенного кольца (рис. 8) — момент инерции рассчитывается по формуле [3, табл. 6.2]

$$J_x = J_{x1} - F y_c^2, \quad (12)$$

где

$$J_{x1} = \frac{R^4 - r^4}{8} \left(\pi \frac{\alpha}{180^\circ} + \sin \alpha \right); \quad (13)$$

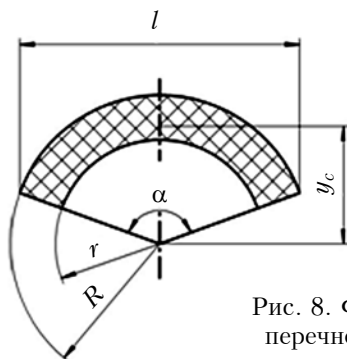


Рис. 8. Форма и параметры поперечного сечения вкладыша

$$F = \pi(R^2 - r^2) \frac{\alpha}{360^\circ}, \quad (14)$$

$$y_c = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{180^\circ}{\pi \alpha}, \quad (15)$$

где α приводится в градусах.

Как говорилось выше, величина усилия P задается на основании результатов исследований [4], и после определения жесткости можно определить величину прогиба вкладыша $f_{\text{п}}$ в соответствии с выражением (10):

$$f_{\text{п}} = P/c. \quad (16)$$

Одновременно с прогибом вкладыша происходит его сжатие, величина которого $f_{\text{сж}}$, как и в предыдущей конструкции соединителя, определяется по формуле (3). При этом величину поперечного сечения вкладыша (рис. 8) можно определить по формуле

$$S = \pi D_{\text{ср}} d \frac{\alpha}{360^\circ}, \quad (17)$$

где $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр сектора толстостенного кольца;

d — длина вкладыша.

Если использовать принятые на рис. 8 обозначения, то формулу (17) можно записать следующим образом:

$$S = \pi(R + r) \cdot \frac{\alpha}{360^\circ} \cdot d. \quad (18)$$

Таким образом, в соответствии с формулой (3) получим

$$f_{\text{сж}} = \Delta l = \frac{Pl \cdot 360^\circ}{E\pi(R + r)\alpha d}. \quad (19)$$

Пример расчета. Произведем расчет необходимой величины прогиба вкладыша, поперечное сечение которого показано на рис. 8.

В качестве исходных данных примем следующие:

$R = 10$ мм; $r = 5$ мм; $\alpha = 120^\circ$; $d = 30$ мм; $l = 14$ мм; $P = 20$ Н; $E = 2,4$ Н/мм² (что соответствует твердости, равной 50 единиц по Шору А).

Найдем величину прогиба вкладыша $f_{\text{п}}$ по формуле (16), предварительно определив его жесткость с помощью формул (11) — (15):

$$J_{x1} = \frac{10000 - 625}{8} (3,14 \frac{120}{180} + \sin 120^\circ) = 3476;$$

$$F = 3,14 \cdot (100 - 25) \frac{120}{360} = 78,9;$$

$$y_c = \frac{4}{3} \cdot \frac{1000 - 125}{100 - 25} \sin \frac{120}{2} \cdot \frac{180}{3,14 \times 120} = 6,48;$$

$$J_x = 3476 - 78,9 \cdot 6,48^3 = 163;$$

$$c = \frac{48 \cdot 2,4 \cdot 163}{2744} = 6,84 \text{ Н/мм};$$

$$f_{\text{п}} = \frac{20}{6,84} = 2,92 \text{ мм}.$$

Выполняем расчет величины сжатия вкладыша по формуле (19):

$$f_{\text{сж}} = \frac{20 \cdot 5 \cdot 360}{2,4 \cdot 3,14 \cdot (10 + 5) \cdot 120 \cdot 30} = 0,09 \text{ мм}.$$

Полная деформация вкладыша равна:

$$f = f_{\text{п}} + f_{\text{сж}} = 2,92 + 0,09 = 3,01 \text{ мм}.$$

Заключение

Таким образом, разработаны методы, которые позволяют проводить конструктивные расчеты упругих элементов (вкладышей) на основе эластомерных материалов, выполняющих роль групповой пружины в разъёмных и неразъёмных электрических соединителях на основе гибких печатных кабелей. Они могут быть использованы для нахождения величины усилия, необходимого для обеспечения заданного значения переходного сопротивления контакта.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Yefimenko A. A. Electrical connectors for surface solderless mounting // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2012. — № 4. — С. 9 — 15.
2. Белоусов А.К., Савченко В.С. Электрические разъёмные контакты в радиоэлектронной аппаратуре. — Москва: Энергия, 1975. — 320 с.
3. Левин А.П. Контакты электрических соединителей радиоэлектронной аппаратуры (расчет и конструирование). — Москва: Сов.радио, 1972. — 216 с.
4. Ефименко А.А., Мерляев С.В. Переходное контактное сопротивление в электрических соединениях с плоскими контактами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2013. — № 4. — С. 3 — 7.
5. Заблонский К.И., Беляев М.С., Телис И.Я. и др. Проектирование механизмов и приборов. — Киев: Вища школа, 1971. — 520с.
6. ГОСТ 20403-75. Резина. Метод определения твердости в международных единицах (от 30 до 100 IRHD).
7. http://ctborracha.com/?page_id=1590

Дата поступления рукописи
в редакцию 15.03 2016 г.

РОЗРАХУНОК ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У КОНСТРУКЦІЯХ ЕЛЕКТРИЧНИХ З'ЄДНУВАЧІВ НА ОСНОВІ ГНУЧКИХ ДРУКОВАНИХ КАБЕЛІВ

Наведено методику визначення конструктивних параметрів елементів роз'ємних та нероз'ємних з'єднувачів на основі гнучкого друкованого кабелю. Вирішено проблему переходу від одиниць виміру твердості, зазначених в технічних умовах на гуми, до величини модуля пружності, що використовується при розрахунках конструктивних параметрів з'єднувачів. Наведено приклади розрахунку необхідної для забезпечення надійного контакту величини стиснення еластомірного вкладиша при заданій величині перехідного опору з'єднувача.

Ключові слова: електричний з'єднувач, еластомірний вкладиш, перехідний опір, твердість, пружність, гнучкий друкований кабель, зусилля зчленування-розчленування.

DOI: 10.15222/TKEA2016.2-3.08
UDC 621.37:621.311

A. A. YEFIMENKO, S. V. MERLYAN

Ukraine, Odessa National Polytechnic University
E-mail: aiefimen@gmail.com, stasmerlyan@gmail.com

AN ELASTIC ELEMENTS CALCULATION IN THE CONSTRUCTION OF ELECTRICAL CONNECTORS BASED ON FLEXIBLE PRINTED CABLES

In this article we consider the method of constructive parameters calculation of the elastic elements, which are used in electrical connectors of flexible printed cables. Electrical connectors characterized by the fact that the contact pair is needed to provide pressure. It is also important to know the optimum ratio between stability of the contact connection and the necessary value of the transition resistance. These ratios are studied sufficiently for discrete electrical connectors, however for connectors of flexible printed cables this theme is not explored enough. The purpose of this work is to develop methods that will allow to carry out calculations for elastic elements, which provide communication, and to determine the size of case elements for electrical connectors. We consider two types of connectors. First are removable electrical connections where it is necessary to find a compromise between the resistance value and the separating (engaging) force. Second are permanent connections, where counts only the value of the transition resistance.

For the first type of connectors were considered a simple form of the liner, in the shape of a rubber block, as in this case, the pressure should be created only by the compression of the liner and fixing it. It is important to get accurate results of the pressure calculation for removable electrical connections, because in this case we consider especial shape of elastomeric liner, which allows to create the pressure not only by compression of the liner, but by deformation it as a spring.

For this task, the engaging force was specified on the basis of already known facts. It was important to set the amount of deformation that defines the shape and size of the liner and the case. We solved the problem of transition from the units of measuring hardness, specified in the technical specifications of rubber, to the value of the Young's modulus used in the calculations of constructive parameters of connectors. We got an analytic dependence that can be used to find the Young's modulus for a known value of hardness on a scale Shore A. We gave examples of the amount of compression calculation in the elastomeric liner to provide a reliable contact for specified values of the transition resistance for the removable and permanent connectors based on flexible printed cable.

Keywords: electrical connector, elastomeric liner, transient voltages, hardness, elasticity, flexible printed cable, connector mated set separating (engaging) force.

REFERENCES

1. Yefimenko A. A. Electrical connectors for surface solderless mounting. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2012, no 4, pp. 9-15.
2. Belousov A.K., Savchenko V.S. *Elektricheskie raz'emnye kontakty v radioelektronnoy apparature* [Electrical plug contacts in electronic equipment]. Moscow, Energiya, 1975, 320 p. (Rus)
3. Levin A.P. *Kontakty elektricheskikh soedinitelei radioelektronnoy apparatury (raschet i konstruirovaniye)* [Contacts electrical connectors electronics (calculation and design)]. Moscow, Sov. radio, 1972, 216 p.
4. Efimenko A. A., Merlyan S. V. [Transient contact resistance in electrical connections with flat pins]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature*, 2013, no 4, pp. 3-7. (Rus)
5. Zablonkiy K.I., Belyaev M.S., Telis I.Ya. et al. *Proektirovaniye mekhanizmov i priborov* [Design of mechanisms and instruments]. Kiev, Visch'a shkola, 1971, 520 p.
6. State Standard 20403-75. [Rubber. Method for determining the hardness in international units (30 to 100 IRHD)] (Rus).
7. http://ctborracha.com/?page_id=1590