

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СИЛЬФОНОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т И ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ1-0**

© 2006 О.Ю. Давыдов, В.Г. Егоров, В.А. Танский

ФГУП «НИИ автоматизированных средств производства и контроля», г. Воронеж

Описываются сравнительные испытания опытных образцов сильфонов, изготовленных из титанового сплава ВТ1-0 и из нержавеющей стали 12Х18Н10Т штамповкой эластичной средой из раскатных заготовок. Полученные результаты позволяют рекомендовать широкое применение двухслойных компенсаторов, изготовленных из титанового сплава и нержавеющей стали, в трубопроводах воздушных систем.

В настоящее время трубопроводные системы летательных аппаратов в большинстве случаев выполняются с применением облегченных высокопрочных элементов, изготовленных из титановых сплавов и нержавеющей сталей. Это позволяет добиться минимальной массы с сохранением требуемой прочности и долговечности как отдельных деталей, так и трубопровода в целом.

В данной статье описываются сравнительные испытания опытных образцов сильфонов, изготовленных из титанового сплава ВТ1-0 и из нержавеющей стали 12Х18Н10Т штамповкой эластичной средой из раскатных заготовок. Для испытаний изготавливались по 3-5 натуральных образцов на каждый вид испытаний.

Целью испытаний являлась оценка опытного технологического процесса штамповки сильфонов эластичной средой из раскатных заготовок, определение технологических и конструктивных особенностей и возможности использования двухслойных компенсаторов из титанового сплава и нержавеющей стали в трубопроводах воздушных систем. Для испытаний изготавливались по 3-5 натуральных образцов компенсаторов из материалов ВТ1-0 и 12Х18Н10Т на каждый вид испытаний и марку материала.

Партии натуральных образцов подвергались следующим испытаниям. Проверке качества изготовления внешним осмотром подвергалось 100% изготовленных образцов. При этом проверялось наличие рисок, забоин, вмятин, следов от разъема матриц. Образцы с дефектами выбраковывались. Затем производился рентгеноконтроль сварных швов 100% отштампованных сильфонов. Качество сварных швов соответствовало требованиям ПИ 1.4.287-86, ПИ 1.4.748-80.

Проверке на герметичность были подвергнуты 100% изготовленных натуральных об-

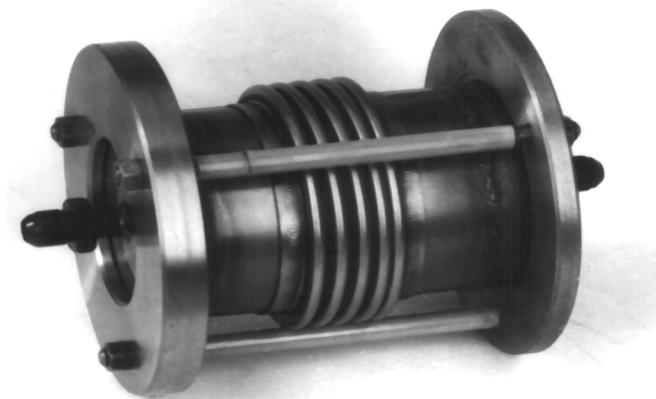
разцов компенсаторов. Герметичность образцов проверялась в нормальных климатических условиях при комнатной температуре, давление  $P_y = 0,8$  МПа в течение 5...6 мин на стандартном испытательном стенде. При этом утечек воздуха из внутренней полости компенсаторов не обнаружено и герметичность их соответствовала группе 2-7 ОСТ 100128-74.

Далее производились испытания образцов на прочность. Прочность проверялась в нормальных климатических условиях опрессовкой водой давлением  $P_{исп.} = 1,0$  МПа в течение 5...6 мин на стандартном стенде для опрессовки. После опрессовки визуальным осмотром не обнаружено изменение общей длины, диаметра и деформации компенсаторов.

После этого по 2-3 натуральных образца компенсаторов из ВТ1-0 и 12Х18Н10Т были испытаны на прочность до разрушения (потери устойчивости гофров). Опытные образцы компенсаторов устанавливались в специальное приспособление, исключающее осевое перемещение гофров сильфонов (рис. 1) и подключались к источнику давления. Испытания проводились при нормальных климатических условиях, комнатной температуре с применением индустриального масла. Испытательное давление в полости компенсатора повышалось с интервалом 0,1 МПа. Фиксировалось давление, при котором компенсатор терял устойчивость – резко искривлялась ось гофрированной оболочки или нарушалась форма отдельных гофров.

При избыточных давлениях в компенсаторах из 12Х18Н10Т: №5 – 3 МПа; №6 – 3,1 МПа и №7 – 3,1 МПа произошло однобокое смещение гофра с сохранением профиля. При этом потери герметичности компенсаторов не наблюдалось. После из-

вращения компенсаторов из приспособления обнаружена остаточная деформация компенсаторов: зазор между первым и вторым гофрами изменился от первоначальной величины на 2,3 мм.



*Рис. 1. Натурный образец компенсаторов с приспособлением для испытаний на прочность до разрушения*

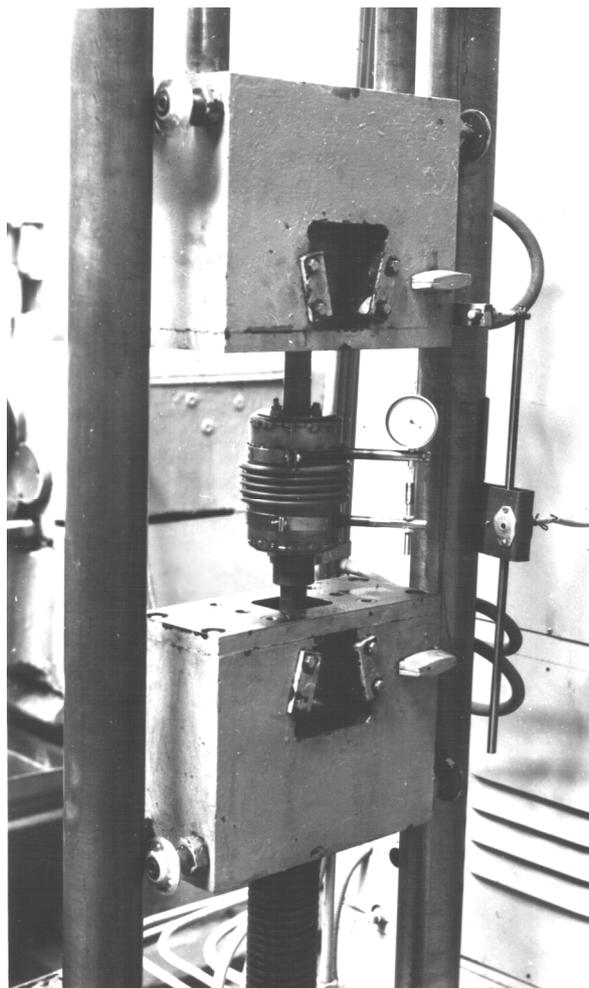
При избыточных давлениях в компенсаторах из сплава ВТ1-0: №5 – 4,8 МПа и №6 – 4,2 МПа произошла потеря устойчивости гофров компенсаторов – однобокое смещение второго гофра (компенсатор №5) и третьего гофра (компенсатор №6) с сохранением профиля гофров. При этом потери герметичности компенсаторов не наблюдалось. После извлечения компенсаторов из приспособления обнаружена остаточная деформация компенсаторов: зазор между вторым и третьим гофрами изменился от первоначальной величины на 2,5 мм.

Испытание податливости компенсаторов при сжатии-растяжении производилось по согласованной программе на серийной испытательной машине МР-03 с рабочей шкалой 300 кгс. Для замера хода использовались индикаторные часы ИЧ-1, закрепленные с помощью съемных хомутов на стаканах компенсаторов (рис. 2). Податливость компенсаторов определялась в нормальных климатических условиях и комнатной температуре: на сжатие до соприкосновения гофров с замером остаточной деформации через каждые 2 мм хода при осадке; на растяжение (до 50% хода от сжатия) с замером остаточной деформации через каждые 2 мм хода при растяжении.

Результаты испытаний компенсаторов из стали 12Х18Н10Т представлены в таблице 1, а компенсаторов из сплава ВТ1-0 – в таблице 2.

Пятигофровые двухслойные сильфоны из стали 12Х18Н10Т с толщиной стенки сильфонов 0,5 (2x0,25) мм имеют хорошую податливость при осевом сжатии или растяжении. При этом перемещение гофров на 1 мм производится увеличением усилия сжатия или растяжения до 10 кгс. Остаточная деформация стальных сильфонов величиной до 0,1 мм наблюдается при растяжении сильфона на 5,5...6,0 мм или сжатии сильфона на 2,0...2,5 мм.

Пятигофровые двухслойные сильфоны из сплава ВТ1-0 с толщиной стенки 0,5 (1x0,25) мм имеют удовлетворительную податливость при осевом растяжении или сжатии. При этом перемещение гофров на 1 мм производится с увеличением усилия сжатия или растяжения на 13...18 кгс. Остаточная деформация сильфона свыше 0,1 мм наблюдается при растяжении компенсаторов на 8 мм и более или сжатии сильфонов на 9 мм и более.



*Рис. 2. Испытание натуральных образцов на податливость при растяжении и сжатии*

Таблица 1. Результаты испытаний компенсаторов из стали 12X18H10T

Сжатие до соприкосновения гофров						Растяжение 50% хода сжатия					
Компенсатор №1			Компенсатор №2			Компенсатор №3			Компенсатор №4		
Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм
2,0	290	0	2,0	275	0,04	1,0	165	0,05	1,0	135	0,03
4,0	535	0,06	4,0	500	0,06	3,0	440	0,24	3,0	400	0,12
6,0	725	0,12	6,0	700	0,10	5,0	610	1,03	5,0	610	0,73
8,0	925	0,18	8,0	920	0,25	7,0	770	2,10	7,0	785	1,77
10,0	1130	0,24	10,0	980	0,40	9,0	940	3,32	9,0	930	3,09
12,0	1315	0,56	12,0	1235	0,84	–	–	–	–	–	–
14,0	1435	1,17	14,0	1380	1,74	–	–	–	–	–	–
16,0	1600	2,45	16,0	1550	3,27	–	–	–	–	–	–
–	–	–	17,0	1660	4,10	–	–	–	–	–	–

Таблица 2. Результаты испытаний компенсаторов из сплава ВТ1-0

Сжатие до соприкосновения гофров						Растяжение 50% хода сжатия					
Компенсатор №1			Компенсатор №2			Компенсатор №3			Компенсатор №4		
Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм	Ход, мм	P, Н	Ост. деформ., мм
2,0	260	0	2,0	280	0	1,0	120	0	1,0	140	0
4,0	530	0	4,0	580	0	3,0	370	0	3,0	450	0
6,0	820	0	6,0	900	0	5,0	690	0	5,0	770	0
8,0	1160	0,07	8,0	1200	0,07	7,0	980	0,05	7,0	1110	0
10,0	1390	0,47	10,0	1430	0,21	9,0	1190	0,95	9,0	1420	0,30
12,0	1600	1,00	12,0	1630	0,85	11,0	1450	1,80	11,0	1670	1,15
14,0	1790	1,96	14,0	1750	2,18	13,0	1600	2,35	13,0	1880	2,55
16,0	1950	3,11	16,0	1890	3,42	–	–	–	–	–	–

Испытанию компенсаторов на прочность при относительном перемещении торцев подвергались натурные узлы в количестве 3 шт. из стали 12X18H10T с двухслойными сильфонами с толщиной стенки 0,5 (2x0,25) мм. Натурные узлы компенсаторов для испытаний показаны на

рис. 3. Испытания проводились на специальном стенде с нагревательным устройством при осевом перемещении в циклическом режиме. При этом величина сжатия сильфонов относительно нейтрального положения была в пределах  $4^{+0,15}$  мм, а растяжения –  $2,5^{+0,15}$  мм.

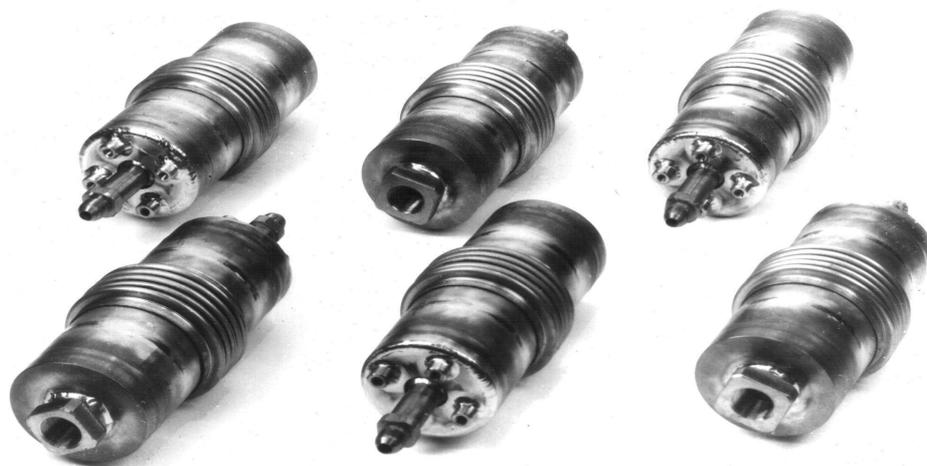


Рис.3. Натурные узлы компенсаторов для циклических испытаний при осевом перемещении сильфонов

Давление воздуха внутри компенсаторов при испытаниях  $P_{исп} = 0,6 \pm 0,025$  МПа. Температура испытания  $t_{исп} = 250 \pm 10$  °С. Частота перемещений при растяжении или сжатии сильфонов компенсаторов 0,55 Гц. При ис-

пытании через каждые 10000...20000 циклов производилась проверка на герметичность давлением  $P = 0,8$  МПа в течение 5 мин. при температуре  $t = 20$  °С. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты испытаний компенсаторов на прочность при относительном перемещении торцов

№№ ком-пенсаторов	Марка материала компенсатора	Количество отработанных циклов до потери герметичности	Место утечки
1	BT1-0	23130	Между 2 и 3 гофрами
2		75000	В двух местах между 2 и 3 гофрами и по гофрам
3		68796	Из-под разреза кольца заделки сильфонов
4		135000	Между 2 и 3 гофрами и из-под кольца
5		142657	Не разрушился
1	12X18H10T	90956	Из-под кольца заделки сильфонов
2		190000	По сварному шву гофров
3		100000	По сварному шву гофров

Двухслойные сильфоны с толщиной стенки 0,5 (2x0,25) мм из стали 12X18H10T имеют удовлетворительную циклическую долговечность при осевом перемещении торцов компенсаторов.

Циклическая долговечность двухслойных сильфонов с толщиной стенки 0,5 (2x0,25) мм из титанового сплава BT1-0 при осевом перемещении торцов компенсаторов несколько ниже, чем у остальных сильфонов. Для повышения циклической долговечности и податливости двухслойных

сильфонов из титанового сплава BT1-0 рекомендуется уменьшить толщину стенок сильфонов до 0,4 (2x0,2) – 0,3 (2x0,15) мм.

Полученные в ходе испытаний результаты позволяют дать положительную оценку опытному технологическому процессу штамповки сильфонов эластичной средой из раскатных заготовок и рекомендовать широкое применение двухслойных компенсаторов, изготовленных из титанового сплава и нержавеющей стали, в трубопроводах воздушных систем.

## COMPARATIVE TRIALS OF PRE-PRODUCTION SYLPHONES MODELS, MADE OF TITANIC ALLOY BT1-0 AND FROM STAINLESS STEEL 12X18H10T

© 2006 O.J. Davidov, V.G. Egorov., V.A. Tanskiy

The Scientific research institute of the automatized means of production and monitoring, Voronezh

Now pipeline systems of flying devices are in most cases executed with application of the facilitated high-strength elements made of titanic alloys and stainless steels. It allows to achieve minimum mass with saving demanded durability and longevity both separate details, and the pipeline as a whole.

In a paper comparative trials of pre-production sylphones models, made of titanic alloy BT1-0 and from stainless steel 12X18H10T by punching by the elastic environment from rolled preforms are described. The purpose of trials was the estimation of experimental technological process of punching sylphones the elastic environment from rolled preforms, definition technological and design features and an opportunity of use of two-layer equalisers from a titanic alloy and stainless steel in pipelines of air systems.

The results received during trials allow to state a positive estimation to experimental technological process of punching sylphones the elastic environment from rolled preforms and to recommend wide application of the two-layer equalisers made of a titanic alloy and stainless steel, in pipelines of air systems.