

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. генерального директора ФГУП НИИ СУ  
к.т.н., профессор  
Н.В.Пальченко

### **ОТЗЫВ**

**ведущей организации Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации», г. Москва на диссертационную работу Полугрудовой Людмилы Степановны «Изменение напряжений и деформаций в цилиндрических пружинах из сплава TiNi в термоциклах под нагрузкой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела»**

#### **Актуальность темы**

Диссертационная работа Л.С. Полугрудовой посвящена решению вопросов проектирования параметров пружин из никелида титана, работа которых основана на эффекте памяти формы. Поскольку цилиндрические пружины из никелида титана и сплавов с памятью формы используются в качестве рабочих элементов приводов, датчиков перемещения и температуры развитие инженерного подхода к определению напряжений и деформаций, возникающих в процессе термоциклирования под постоянной осевой силой, является актуальной задачей. С этой целью в работе разработан расчетно-экспериментальный метод исследования напряженно-деформированного состояния пружин из сплава TiNi в температурном интервале фазовых переходов.

#### **Научная новизна**

Научной новизной обладают следующие основные результаты диссертации:

1. Получены расчетные формулы для определения касательных и нормальных напряжений, осевых и угловых деформаций во внешнем волокне при термоциклировании пружины под действием постоянной растягивающей силы. При расчете учитывается изменение диаметра витка и числа рабочих витков в процессе деформирования пружины.
2. Разработана методика определения диаметра пружины из никелида титана при термоциклировании под постоянной силой натяжения.
3. Обнаружен новый тип обратимого реверсивно-гистерезисного изменения осевой деформации, реализуемый при термоциклировании пружины из никелида титана под действием постоянной растягивающей силы.
4. Показано, что касательные и нормальные напряжения обратимо меняются гистерезисным образом при термоциклировании под постоянной осевой силой, при этом максимальные значения нормальных напряжений достигаются в мартенситном, а касательных – в аустенитном состоянии. В то время как минимальные значения

названных напряжений, наоборот, реализуются в аустенитном и мартенситном состояниях соответственно. Изменение напряженно-деформированного состояния материала пружины при нагреве происходит в обратной последовательности его изменения при охлаждении.

### **Достоверность и обоснованность результатов**

Для теоретического обоснования положений диссертационной работы, выносимых на защиту, использовались экспериментальные методы механики деформируемого твердого тела; классический курс сопротивления материалов; дифференциальная геометрия.

Достоверность полученных результатов подтверждается тщательной проработкой экспериментальной методики, соответствием полученных результатов данным других отечественных и зарубежных исследований и представлениям о физико–механических свойствах никелида титана.

Результаты диссертационной работы Л.С. Полугрудовой опубликованы в 12 научных статьях, в том числе 1 – в журнале, индексируемом в базе цитирования SCOPUS; 3 – в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки России, кроме того, получен 1 патент на изобретение.

### **Значимость полученных результатов диссертационной работы**

Научная значимость полученных результатов

1. Предложена расчетно-экспериментальная модель геометрически изменяемой винтовой пружины, позволяющая учитывать изменение диаметра пружины и числа рабочих витков в процессе термоциклирования через интервалы мартенситных переходов в условиях действия растягивающей силы.

2. Адаптированы формулы для определения касательных и нормальных напряжений, а так же получены аналитические выражения для угловой и осевой деформаций, возникающих в материале пружин растяжения при термоциклировании.

3. Экспериментально получены температурные зависимости перемещения свободного конца пружины и величины диаметра витка при различных значениях жесткости пружин и сил натяжения. При этом нагрев пружины осуществляли путем пропускания тока, что соответствует реальным условиям работы элементов из материалов СПФ.

4. Показано, что при изменении температуры материал пружины находится в условиях асинхронно меняющихся значений касательных и нормальных напряжений, при

этом температурная зависимость осевых деформаций для внешнего волокна имеет сложный реверсивный характер.

#### Практическая значимость полученных результатов

1. Полученные экспериментальные результаты по деформированию пружин из никелида титана при термоциклировании под действием осевой силы натяжения могут быть использованы при проектировании устройств различного назначения, содержащих пружинные элементы из никелида титана, например: приводы, датчики, усилители перемещений.

2. Получен патент Российской Федерации №2564771 РФ. Способ получения пружины из никелида титана.

3. Результаты работы внедрены и используются в учебном процессе при чтении лекций и в Сыктывкарском лесном институте при изучении дисциплин «Сопротивление материалов» и «Техническая механика» и научно-исследовательской работе студентов.

4. На основании полученных экспериментально-расчетных значений напряжений и деформаций выполнен проектировочный расчет параметров пружины из никелида титана.

#### Замечания по диссертационной работе

1. В работе не приводится сравнение с результатами, которые могут получиться на конструкционных стальных пружинах в аналогичных условиях деформирования.
2. При выводе формул для напряжения используется линейная зависимость напряжения от радиуса, что для никелида титана, как нелинейного материала, не может быть применимо.
3. В процессе деформирования изменяется угол наклона витка пружины, в работе не представлена зависимость угла наклона от действующего усилия.
4. Жесткость пружины из никелида титана при изменении температуры значительно изменяется, а для сравнения в работе используется постоянная жесткость.
5. При значениях относительных деформаций удлинения  $\sim 1200\%$ , которые получены в работе, пружина при растяжении должна превратиться в проволоку.

#### Заключение

Диссертация Полугрудовой Людмилы Степановны представляет собой законченную научную работу, в которой решается актуальная проблема расчета напряжений и деформаций в цилиндрической пружине из сплава с памятью формы,

нагруженной постоянной осевой нагрузкой, в процессе изменения температуры. В работе получены новые результаты, имеющие как научную, так и практическую ценность. Сделанные замечания не снижают ценности полученных результатов.

Диссертационная работа «Изменение напряжений и деформаций в цилиндрических пружинах из сплава TiNi в термоциклах под нагрузкой» соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Полугрудова Людмила Степановна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Доклад доложен, отзыв рассмотрен, одобрен и подготовлен на заседании отдела «Материаловедение и диагностика авиационных материалов».

Ученый секретарь НИИ СУ  
доктор технических наук, профессор

Д.Б. Чернов