

**Секция 1 «ФИЗИКА, РАДИОФИЗИКА И ФИЗИЧЕСКАЯ  
ЭЛЕКТРОНИКА»**

**Секция 8 «РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА, ЦИФРОВАЯ И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА,  
ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАУКИ»**

**РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ, ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СЕЧЕНИЙ БРУСА,  
РАБОТАЮЩЕГО НА РАСТЯЖЕНИЕ**

**С.В. Василевич**

**Научный руководитель - Ю.В. Вихров**  
**Белорусский государственный технологический  
университет**

Обычно при изучении студентами раздела "деформации бруса при растяжении" вызывают определенные трудности для понимания определения перемещений различных сечений бруса.

Нами была сконструирована и изготовлена демонстрационная установка, наглядно показывающая перемещение любого сечения ступенчатого бруса. В качестве брусков использовались резиновые стержни. При проведении эксперимента нагрузка осуществлялась гирями, которые при помощи захватов могли крепиться в различных сечениях стержня. Стержень был смонтирован на фоне миллиметровой бумаги, по которой определялось перемещение сечения. Затем это перемещение высчитывалось по соответствующим формулам.

Так как брус был ступенчатым, было необходимо рассмотреть ряд вариантов изменения его формы при переходе от одной ступени к другой. Резкое изменение формы (под прямым углом) вызывало концентрацию напряжений, которая искажала результаты экспериментов. Поэтому нами были рассмотрены три варианта изменения формы. Первый вариант – по радиусу окружности. Второй вариант – по линии гиперболы. Третий вариант – по прямой наклонной линии под углом 30 градусов. Первый вариант был нами отброшен, так как приводил к сложностям при вычислении деформации.

Так как изменение формы стержня осуществлялось не ступенчато, а по прямой наклонной линии и по линии гиперболы, нами были разработаны два варианта расчета.

В качестве исходной формулы был использован закон Гука:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}, \quad (1)$$

где  $\Delta l$  - перемещение сечения,

$F$  - нагрузка на стержень,

$l$  - длина стержня;

$E$  - модуль упругости стержня,

$A$  - площадь сечения стержня.

Данная форма записи закона Гука справедлива только для стержней с постоянной площадью поперечного сечения  $A$ . Для стержней, у которых площадь поперечного сечения переменная (изменяется с изменением длины) нами предложен следующий способ записи закона Гука:

$$\Delta l = \int_0^l \frac{F \cdot dl}{E \cdot A_l} \quad (2)$$

В данной формуле значение площади поперечного сечения стержня может быть значением переменным, зависящим от длины стержня.

При расчетах мы вначале определили зависимости площади  $A$  от длины для двух переходов от одной ступени к другой. Затем проинтегрировали по длине и получили расчетные значения деформаций для двух случаев переходов. Эти значения практически совпадают с экспериментальными.

Полученные формулы оказались достаточно сложными, поэтому для вычисления деформаций при растяжении стержней целесообразно пользоваться ПЭВМ.

Предлагаемый нами метод определения перемещений сечений бруса, работающего на растяжение, является более общим и позволяет с достаточно высокой точностью рассчитывать брусья переменного сечения. Он может использоваться в учебных занятиях и в лабораториях, занимающихся деформациями.

Разработанная и изготовленная нами установка позволяет студентам наглядно изучить деформацию стержней работающих на растяжение. Данную установку и методику рекомендуется включить в лабораторные занятия. Это позволит студентам лучше усвоить раздел "деформации бруса при растяжении".

## **УПРУГИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ УПРОЧНЕНИИ И ГОЛОГРАФИЯ**

***Е.В. Пржевальская***

***Научный руководитель – Л.И. Гречихин  
Белорусский национальный технический  
университет***

В качестве конструкционного материала в машиностроительном производстве часто применяют композиционные алюминиевые сплавы, которые работают при больших механических и тепловых нагрузках. В таких условиях к конструкционным материалам предъявляются следующие требования. Они должны обладать достаточно высокой надежностью, иметь максимальную износостойкость, выдерживать высокие механические и тепловые нагрузки, коррозионная стойкость при этом должна быть максимальной, а массогабаритные характеристики - минимальные. Вся эта совокупность требований обеспечивается путем нанесения разного рода упрочняющих покрытий. В процессе нанесения упрочняющих покрытий возникают внутренние напряжения, которые могут достигать значительных величин [1]. Возникающие нормальные и тангенциальные напряжения в упрочняющем слое определяют механическую прочность покрытия. В этой связи особое внимание было обращено на кинетику протекания химических реакций в упрочняющем слое [2], возникновение двойного электрического слоя [1] и термоупругость [3,4]. Причем считается, что химические связи являются определяющими при формировании энергии сцепления и возникающих напряжений в таком покрытии. Анализ химических связей при сцеплении покрытия с основой с привлечением квантовой механики был проведен в [2].

Однако работу [2] следует рассматривать как постановку задачи, поскольку была рассмотрена только физическая адсорбция мономолекулярных слоев без учета объемного формирования упрочняющего слоя. В случае многослойных покрытий ситуация значительно усложняется. В работе подробно рассмотрен квантово-механический подход при упрочнении металлов многослойными упрочняющими покрытиями и выяснен механизм возникновения нормальных и тангенциальных напряжений в процессе нанесения многослойных упрочняющих покрытий в соответствии с разработанной физической моделью формирования энергии связи в металлах. Конкретно рассмотрен физический механизм упрочнения материалов и возникновения упругих деформаций с целью получения необходимых механических, физических и химических свойств в заданных условиях эксплуатации применительно к алюминиевым сплавам.

Разработана физическая модель формирования энергии связи с основой одинаковых и разнородных атомных (молекулярных) частиц. Ковалентная связь определяется квантово-механически с применением вариационного метода, а волновые функции использовались в водородоподобном приближении с введением эффективного главного квантового числа и эффективного заряда с учетом взаимодействия уровней энергии однократной, двукратной и трехкратной ионизации. При взаимодействии разнородных частиц учитывалась ионная связь и диполь-дипольное взаимодействие. Доля ионной связи для атомарных частиц определяется по разно-