

ний  $Ax = b$ . Решение такой системы можно найти с помощью функционала А.Н. Тихонова:

$$\Omega(x, \lambda) = |Ax - b|^2 + \lambda |x - x_0|, \quad (2)$$

где:  $\lambda$  – положительный параметр регуляризации, значение которого нужно подбирать из некоторого условия оптимальности;

$x_0$  – априорный вектор решения.

При  $\lambda \rightarrow 0$  задача переходит в исходную, плохо обусловленную, а при больших значениях  $\lambda$  становится хорошо обусловленной с решением, совпадающим с  $x_0$  [1].

В программе ГеоАРМ планируется реализация подобного метода решения для торových поверхностей путем модификации минимизируемой функции за счет включения в нее отклонений определяемых параметров от их номинальных значений. При этом функция приобретает вид:

$$\Phi(R, r, P_0, V) = F(R, r, P_0, V) + w_1(R - R_{ном})^2 + w_2(r - r_{ном})^2 + w_3(P_0 - P_{0ном})^2 + w_4(V - V_{ном})^2, \quad (3)$$

где:  $R_{ном}, r_{ном}, P_{0ном}, V_{ном}$  - номинальные значения параметров;

$w_1, \dots, w_4$  - веса параметров (коэффициенты регуляризации).

Существует ряд различных методик выбора коэффициентов регуляризации. Они отличаются объемом необходимой априорной информации, критериями принятия решения и количеством вычислений [3].

Таким образом, остается открытым вопрос о нахождении весов параметров. Оптимальный подбор весовых коэффициентов сделает задачу хорошо обусловленной и обеспечит успешное и адекватное нахождение параметров измеряемых объектов. Решение данного вопроса позволит производить на КИМ измерения малых секторов торových поверхностей, в том числе беговых дорожек шариковых подшипников.

#### Литература

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач – М., «Наука» 1979.
2. Суслин В.П. Новый метод определения геометрических параметров объектов при измерениях на малых областях/ В.П. Суслин, А.В. Джунковский, М.Г. Шутер // Законодательная и прикладная метрология. - 2008. - № 6.
3. Kilmert M.E., O'Leary D.P. Choosing Regularization Parameters in Iterative Methods for Ill-Posed Problems., Society for Industrial and Applied Mathematics. Vol. 22, No. 4, pp. 1204–1221, 2001.

#### **Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала**

к.т.н. доц. Типалин С.А., проф. к.т.н. Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В.  
МГТУ «МАМИ»  
8(495) 223-05-23, доб. 1393

*Ключевые слова:* многослойный материал с упруго-вязким соединительным слоем, деформация на сдвиг соединительного слоя.

Снижение веса автомобильных кузовов при сохранении безопасности пассажиров и улучшение эргономических показателей автомобиля является одной из основных задач ведущих автомобильных фирм. Традиционные способы защиты от вибрации и шума, к которым относится обклеивание панелей автомобиля шумопоглощающими материалами, приводит к дополнительным затратам и увеличивает вес транспортного средства. Наиболее перспективными материалами, которые успешно решают данный комплекс задач, являются многослойные демпфирующие листовые материалы. Данные листы состоят из стальных и

полимерных слоев (сталь-полимер-сталь), где полимерная прослойка является демпфирующим элементом, способным гасить вибрационные и звуковые колебания. Из данных листовых материалов штампуются такие кузовные детали, как поддон картера двигателя, клапанная крышка, капот легкового автомобиля и другие наружные и внутренние панели кузова автомобиля.

За рубежом материалы данного типа нашли свое применение в ряде легковых автомобилей. Наиболее известным материалом, используемым в кузовной штамповке, является так называемый «Антифон», производимый швейцарской фирмой. Целью проведенных исследований является нахождение параметров деформирования листового материала «Антифон».

В Институте механики МГУ на одноосной электромеханической машине Zwick/Roell Z-100 (Германия) проведены испытания плоских образцов из листового материала «Антифон» и его отдельных слоев на растяжение.

Подвижная траверса перемещается по направляющим колоннам с помощью шариковых винтовых пар. Винты шариковых винтовых пар приводятся во вращение с помощью электродвигателя, расположенного в основании машины. Скорость перемещения подвижной траверсы регулируется с помощью электронного блока управления. Испытываемый образец устанавливается в клиновых захватах между подвижной и неподвижной траверсами. Нагрузка, прикладываемая к испытываемому образцу, преобразуется тензорезисторным датчиком силы в электрический сигнал, который обрабатывается в электронном блоке и отображается в единицах силы на дисплее ЭВМ. Тензорезисторный датчик силы размещен на траверсе. С подвижной траверсой связан индикатор перемещения, выходной сигнал которого обрабатывается электронным блоком и выводится на дисплей. Машина укомплектована оптическим и индуктивным датчиками продольной деформации для измерения деформации на базе испытываемого образца. Проведение экспериментов на испытательной машине Zwick/Roell Z100 возможно только с помощью программы «TestXpert» с набором различных прикладных подпрограмм для проведения различных типов испытаний (растяжение, сжатие, изгиб, ползучесть, высокотемпературное растяжение и др.). При исследовании механических свойств Боксила использовалась подпрограмма B069015.00.

#### **Испытательная машина имеет следующие технические данные:**

Максимальная нагрузка	100 kN
Ширина рабочего пространства	640 мм
Высота нижнего рабочего пространства без оснастки	1360 мм
Скорость перемещения траверсы	0,0005 – 200 мм/мин
Точность установок скорости	0,003 % от $V_{ном}$
Разрешение перемещения траверсы	0,0206 мкм
Точность повторного позиционирования	< 1,0 мкм

Для получения графиков кривой упрочнения были апробированы несколько методик.

Демпфирующий материал неоднородный по своей толщине. Можно предположить, что полимерный слой может повлиять на кривую напряжение-деформация, если производить измерение толщины образцов. В связи с этим ставилась задача сравнения кривых упрочнения полученных разными способами:

1. деформация образца измеряется по приращению его длины;
2. деформация образца измеряется по изменению площади его поперечного сечения.

Сравнение экспериментальных данных с растяжением позволило судить о том, что полимерный слой оказывает незначительное влияние на показатели кривой упрочнения, если производить измерения деформации вторым способом. Размеры многослойных образцов составляют по толщине материала 1,2; 1,5 и 2 мм, по ширине 20мм и длине (расстояние между захватами) 200мм, а величина связующего слоя составлял около 0,05мм.

Образцы зажимались в клиновых захватах, после чего производилось их нагружение с постоянной скоростью перемещения траверсы на отрыв.

## Раздел 2. Технология машиностроения и материалы.

Измерение деформации до величины 10% проводилось внешним экстензометром на базе с помощью лапок с оптическими датчиками, а после этой величины до разрушения – по захватам. Полученные диаграммы деформирования слоев и самого материала были близки между собой и характеризовались большим монотонным упрочнением и значением деформации разрушения более 25 %.

Кривые упрочнения представлены на рисунке 1.

В дальнейшем проводились опыты по обтяжке с растяжением данного материала. Для этого были изготовлены образцы шириной 50 мм и производились их испытания на растяжение с измерением величины деформации. Характер растяжения образцов показал, что изменение масштабного фактора изменило напряженно-деформируемое состояние образца. Удерживаемый захватами металл препятствует одноосному течению (краевой эффект) в связи с относительно небольшой базой. Поэтому характер кривой изменяется (рисунок 1).

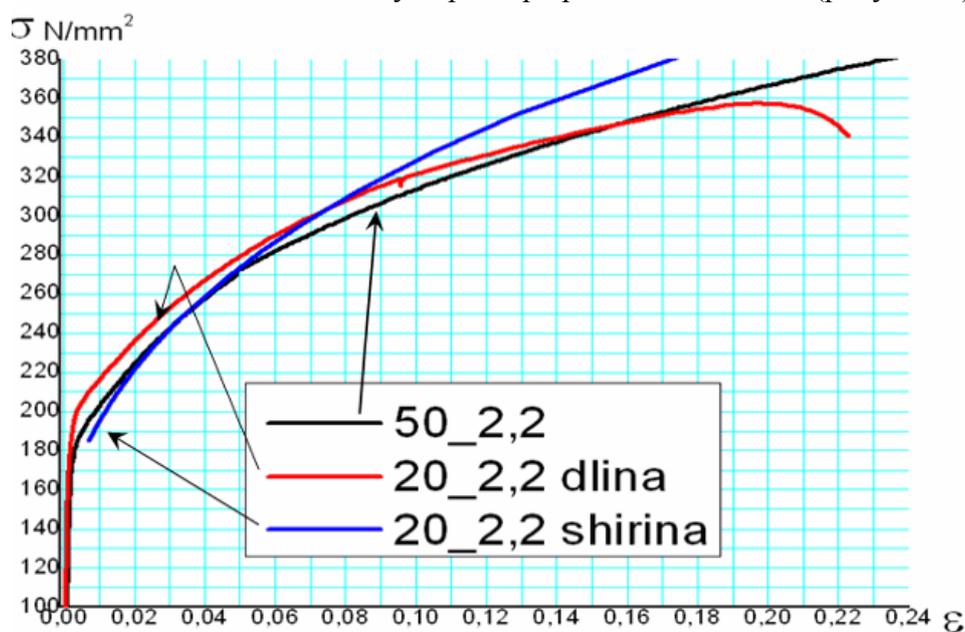


Рисунок 1 – Сравнение экспериментальных кривых упрочнения

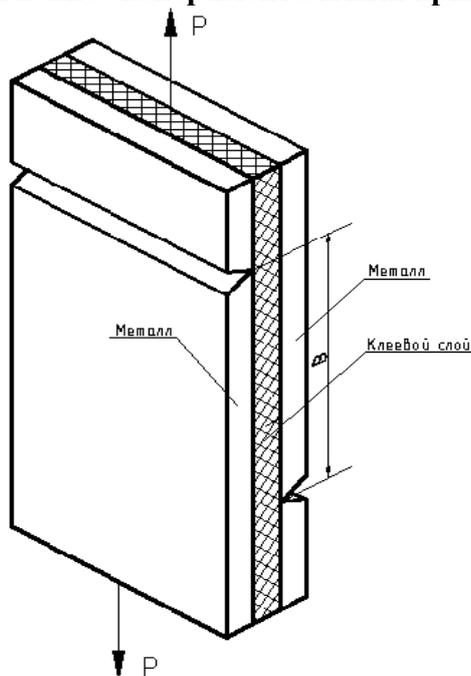


Рисунок 2 – Схема испытания материала типа «Антифон» при испытании на сдвиг упруго-вязкого слоя

Для исследования свойств полимерного слоя на сдвиг были использованы образцы с поперечными пропилами с разных сторон по ширине металлических листов (рисунок 2). Ширина образцов составляла 20 мм, а расстояние между пропилами равнялось 50 мм.

В процессе нагружения производились измерения перемещения траверсы и возникающая при этом нагрузка. Первоначальное расстояние между траверсами принималось постоянным для всех образцов и составляло 120 мм.

В процессе сдвига клеевого слоя суммарная абсолютная деформация составляла от 2 до 5 мм при толщине клеевой прослойки 0,05 мм.

В процессе нагружения происходит постепенное возрастание силы с последующем ее падением. В ходе экспериментов измерялась сила и перемещение траверсы. Преобразование силы в напряжение и перемещения в деформацию сдвига производилось по формулам:

$$\tau = \frac{P}{F} \quad - \text{касательное напряжение сдвига} \quad \left( \frac{H}{\text{мм}^2} \right),$$

$$\gamma = \frac{\Delta \ell}{z} \quad - \text{сдвиговая деформация,}$$

где:  $P$  – сила растяжения (Н);

$F$  – площадь образца испытываемая на сдвиг ( $\text{мм}^2$ );

$\Delta \ell$  - перемещение траверсы (мм);

$z$  - толщина полимерного слоя (мм).

Обобщенные результаты влияния скорости на касательные напряжения сдвига представлены на рисунке 3.

Из графиков  $\tau = f(\gamma)$ , представленных на рисунке 3, видно, что падение напряжения происходит при различной величине  $\gamma$ , в зависимости от скорости, а разрушение целостности происходит, когда еще около 90-95% площади испытываемого образца находится в сцеплении. Возможно, данного дефекта можно было бы избежать, если обеспечить постоянное нормальное давление на плоскость листов.

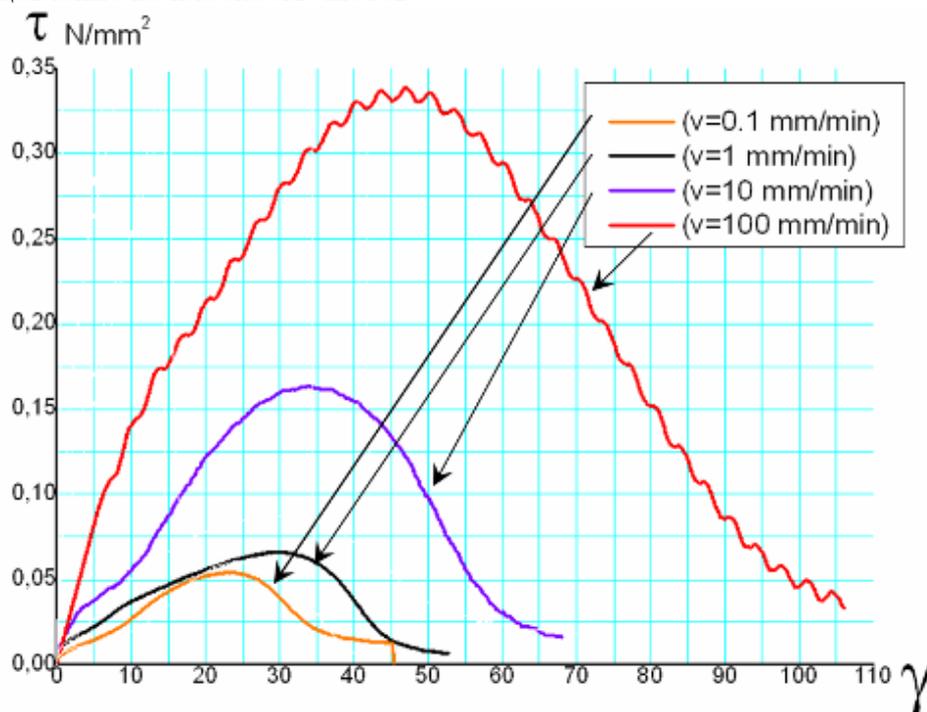
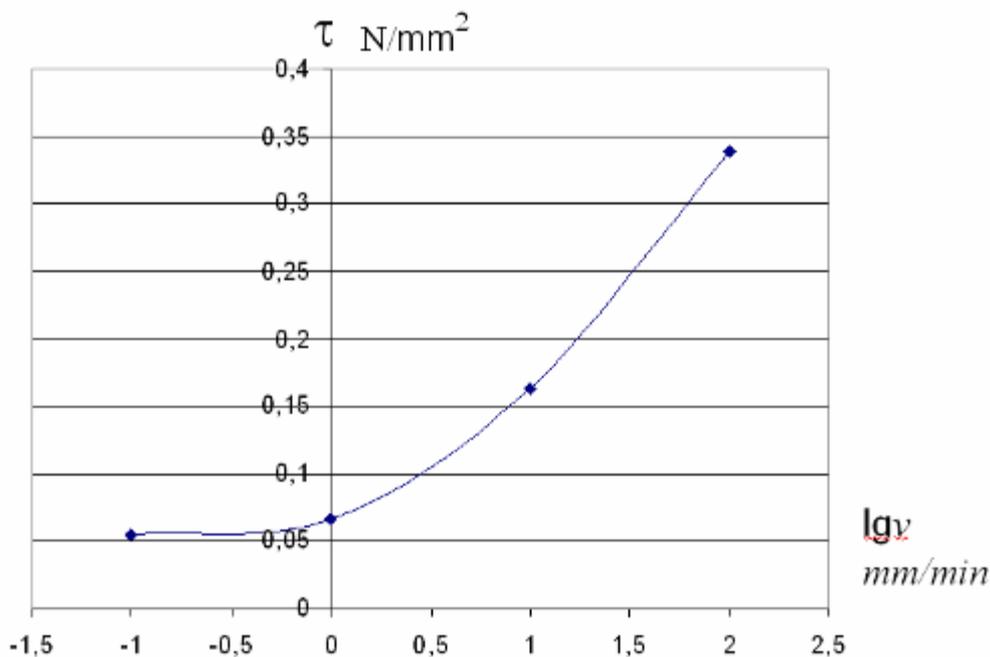


Рисунок 3 – Результаты испытаний антифона на сдвиг при разных скоростях перемещения траверсы

Проведенные испытания позволили также определить влияние скорости деформации на величину напряжений сдвига. Испытания на сдвиг производились при скорости перемещения траверсы 0,1, 1, 10 и 100 мм/мин. Результаты испытаний представлены на рисунке 3, на котором представлена зависимость максимального напряжения сдвига от десятичного логарифма скорости деформации.



**Рисунок 4 – Зависимость напряжения сдвига упруго-вязкого слоя материала «антифон» от логарифма скорости деформации**

### **Очистка сточных вод машиностроительных предприятий**

Тарасова Е.В.

*Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы  
lencom17@mail.ru*

*Ключевые слова: очистка сточных вод, характеристика загрязнения стоков, метод расчета загрязнений.*

Машиностроительные предприятия являются одним из основных источников загрязнения гидросферы. Наиболее эффективно решать проблему очистки сточных вод на этапе проектирования очистных сооружений, для чего необходимо установить характер загрязнений и существующие методы очистки.

Сточные воды машиностроительных предприятий можно разделить на три основные категории:

- производственные сточные воды, образующиеся в технологическом процессе;
- бытовые сточные воды (от санитарных узлов производственных и непромышленных помещений, от душевых установок, имеющих на территории промышленных предприятий);
- поверхностные сточные воды (дождевые, талые и поливомоечные).

Бытовые сточные воды машиностроительных предприятий чаще всего не подвергаются очистке на самом предприятии и отводятся на очистку на городские станции аэрации.

Производственные и поверхностные сточные воды должны подвергаться очистке на предприятии перед сбросом в водосточные городские сети или в водные объекты.