

4298663

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ФОМИН Марк Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОВОЛОЧНЫХ

УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

(специальность 05.02.02 - Машиноведение
и детали машин)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1976

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ФОМИН Марк Викторович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОВОЛОЧНЫХ
УПРУГО-ДЕМПФИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

(специальность 05.02.02 - Машиноведение
и детали машин)

17298663

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



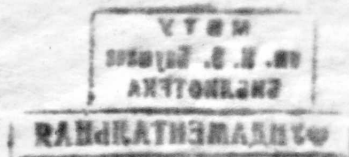
1298663

Фомин М.В. Исследование и

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1976



Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., профессор РЕШЕТОВ Д.Н.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор СВЕТИЦКИЙ В.А.,

к.т.н., доцент ИСТОМИН С.А.

Ведущая организация — ВНИИНМАШ

Автореферат разослан " " _____ 1976 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1977 г. на заседании Ученого Совета "Машиностроение" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени Высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу:

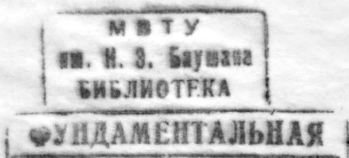
107005 Москва, 2-я Бауманская ул., дом 5.

Ваши отзывы в 2-х экз., заверенные печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана

Ученый секретарь Совета
к.т.н., с.н.с. ПОПОВ П.К.

Д-118868 от 3/XI-77. Объем I п.л. Тип.МВТУ.Зак.2081 Тир.100



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь. Создание все более мощных, производительных и надежных машин связано с непрерывным совершенствованием их конструкций, повышением скоростей и нагрузок. В связи с тем, что уровень вибрации становится одним из основных факторов, определяющих надежность и качество машин, возрастает роль упругих и упруго-демпфирующих элементов как средства снижения вредных динамических нагрузок и колебаний. Требуются новые упругие элементы с заданными свойствами, способные длительно и стабильно работать с высокими статическими и динамическими нагрузками в широком диапазоне температур, давлений и в присутствии агрессивных агентов. Большинству этих требований отвечают проволоочные упругие элементы (ПУЭ). Обладая высокой нагрузочной и демпфирующей способностью, ПУЭ удачно сочетают в себе свойства, характерные для металлических и полимерных элементов, и вместе с тем исключительно просты по конструкции. Напряжения сжатия при длительной динамической нагрузке в 3...5 раз превышают допускаемые напряжения для резин средней твердости, а при ударных — в 8...10 раз. Температурный диапазон, в котором ПУЭ сохраняют работоспособность практически без изменения своих свойств, составляет $-90...+300^{\circ}\text{C}$. Однако ПУЭ изучены недостаточно и еще не получили широкого распространения в нашей стране.

Отсутствие методов расчета жесткостных, прочностных и демпфирующих свойств сдерживает внедрение ПУЭ в промышленность. Поэтому теоретические и экспериментальные исследования этих элементов являются актуальными.

Задачи работы.

1. Разработка методов расчета прочностных, жесткостных и демпфирующих свойств ПУЭ.

2. Определение геометрических характеристик строения ПУЭ и параметров заготовок, получаемых методом винтовой укладки проволоочной спирали.

3. Разработка и исследование новой конструкции упруго-демпфирующей муфты привода с применением ПУЭ.

4. Экспериментальная проверка расчетных зависимостей.

Методы исследования. Для оценки статиче-

ской прочности ПУЭ использовался метод баланса энергии деформации проволоки.

Для аналитического описания жесткостных и демпфирующих свойств и оценки геометрических характеристик ПУЭ использованы вероятностные методы исследований — теория случайных процессов и геометрических вероятностей.

Экспериментальные исследования отдельных ПУЭ проводились на испытательном прессе типа "Шопер". Комплексные исследования проводились методами тензометрирования на специальном динамическом стенде.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Разработана модель процесса рассеяния энергии в материале, как реализация однородного марковского случайного процесса, что позволило аналитически описать жесткостные и демпфирующие свойства ПУЭ во всем диапазоне допустимых нагрузок. Показано, что данная модель с двумя параметрами, имеющими физическую интерпретацию, применима для многих сплошных материалов, в которых гистерезисные силы не зависят от скорости деформирования.

Получены уравнения, связывающие удельную нагрузку на упругий элемент и наибольшие эквивалентные напряжения в проволоке независимо от вида деформации, что позволило определить предельные значения нагрузок и упругих деформаций ПУЭ.

Получены аналитические зависимости для вероятностной оценки геометрических характеристик, необходимых для уточненных расчетов ПУЭ.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. Получены аналитические зависимости, которые позволяют производить расчет ПУЭ для амортизаторов, демпферов, муфт, упоров и т.д.

Разработана и исследована новая конструкция упруго-демпфирующей муфты с применением ПУЭ.

Определено влияние различных факторов на жесткостные, прочностные и демпфирующие свойства ПУЭ, что позволяет их проектировать с заданными свойствами.

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные положения работы обсуждались на заседании кафедры "Детали машин" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1976 г. и были доложены на Всесоюзной научно-технической конференции "Масштаб машиностроительных конструкций"

в г. Брянске в 1976 г.

П у с л и к а ц и и. По материалам диссертации опубликовано четыре работы и получено решение ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства на конструкцию упругой муфты с использованием ПУЭ.

О б ъ е м и с т р у к т у р а р а б о т ы. Диссертация изложена на 132 стр., включая 43 рисунка и 9 таблиц, содержит введение, 5 глав, заключение и 63 наименования литературных источников.

Во введении дан краткий анализ современного состояния вопросов, подлежащих рассмотрению в работе, обосновывается актуальность темы и формулируются общие направления исследований.

Наибольший вклад в теоретические и экспериментальные исследования ПУЭ отечественного производства сделан сотрудниками КуАИ им.С.П.Королева, А.М.Сойфером, Д.Р.Личутиным, В.Н.Бузицким, А.А.Тройниковым, Э.Н.Кузьминым, Г.Я.Егоровым и др. Некоторые характеристики ПУЭ, выпускаемых отечественной промышленностью, приводятся в работах В.С.Ильинского. Однако большинство работ пока носит экспериментальный характер, что объясняется сравнительной новизной ПУЭ и сложностью происходящих в них процессов.

В первой главе анализируются различные способы изготовления ПУЭ, приведены результаты исследований по оптимизации параметров заготовок для ПУЭ, полученных методом винтовой укладки проволоочной спирали на автоматическом приспособлении, разработанном автором.

Рассмотрен способ двухэтапного прессования заготовок с целью уменьшения явления ползучести.

Получена эмпирическая формула, связывающая давление прессования (с учетом трения в пресс-форме) и объемную плотность γ (отношение объема проволоки к объему ПУЭ):

$$\gamma = 0,036 \sqrt[3]{p_n},$$

где p_n - давление прессования, $\frac{\text{даН}}{\text{см}^2}$.

Во второй главе вероятностными методами исследуются геометрические характеристики строения ПУЭ. Получены аналитические зависимости для вероятностной оценки числа контактов

между проволочками в единичном объеме ПУЭ

$$\nu = \frac{4\gamma^2}{\pi d^3},$$

где d — диаметр проволоки.

Показано, что распределение длин проволочек l между соседними контактами является экспоненциальным

$$\frac{2\gamma}{d} \exp\left\{-\frac{2\gamma l}{d}\right\} dl.$$

Третья глава посвящена оценке статической прочности ПУЭ. В нагруженном элементе проволока находится в сложном нагруженном состоянии под действием системы сил, произвольно расположенной в пространстве. Точками приложения сил являются контакты между проволокой. Считая, что при данной внешней нагрузке все силы в контактах одинаковы и расстояния между точками их приложения равны, принята следующая расчетная схема работы произвольного участка проволоки (рис. I). Силы трения не учитываются. Для условно распрямленной проволоки принимается, что векторы сил P расположены в двух взаимно перпендикулярных плоскостях и равномерно чередуются так, что для любого направления $\sum \vec{P} = 0$. Силы в контактах нагруженного элемента считаем малыми по сравнению с силами, возникающими от полной (внешней) нагрузки. Равная вероятность закрутки проволоки как в одну, так и другую стороны, отсутствие сосредоточенных крутящих моментов и некоторая цикличность изменения кривизны проволоки после прессования позволяют принять допущение, что крутящий момент плавно изменяется по длине проволоки с прохождением через ноль. Если принять, что изменение крутящего момента происходит по закону синуса, то энергия деформации проволоки от изгиба и кручения в единичном объеме ПУЭ

$$u = \frac{L}{E_1 E J} \int_0^{l_1} M_n^2 \left(\frac{z}{l_1}\right)^2 dz + \frac{L}{2 E_2 G J_K} \int_0^{l_2} M_K^2 \sin^2\left(\frac{\pi z}{l_2}\right) dz,$$

где M_n — наибольшее значение изгибающего момента в одной из плоскостей действия сил; M_K — наибольшее значение крутящего

моментов; L - длина проволоки в единичном объеме; l_1 и l_2 - длины соответствующих пролетов; EJ , GJ_k - жесткости проволоки на изгиб и кручение.

После преобразования и упрощений получаем

$$u \approx \frac{\gamma \sigma_2^2}{12E}, \quad (1)$$

где σ_2 - эквивалентное напряжение в наиболее напряженных точках проволоки. Таким образом, предельное значение потенциальной энергии при отсутствии пластических деформаций можно найти из уравнения (1), положив $\sigma_2 = \sigma_T$. С другой стороны эта же энергия u может быть определена через идеально-упругую деформационную характеристику упругого элемента. Если известна, например, зависимость $p = f(\varepsilon)$ между давлением сжатия и относительной деформацией ε ПУЭ, то

$$u = \int_0^{\varepsilon} f(\varepsilon) d\varepsilon. \quad (2)$$

Приравнивая (1) и (2), можно найти предельное значение упругой деформации ε_T . Используя зависимость, предложенную А.М. Сойфером

$$p = f(\varepsilon) = C[\varepsilon(1 - a\varepsilon)]^{-3}, \quad (3)$$

где C - постоянная, $a \approx (1 - \sqrt[3]{\gamma})^{-1}$, получим

$$\varepsilon_T = \left(\frac{E}{\sigma_T} \sqrt{\frac{6C}{\gamma n}} + a \right)^{-1}.$$

Здесь n - постоянный коэффициент, учитывающий отличие действительного взаимодействия проволоки в реальном изделии по сравнению с расчетной схемой.

В связи с тем, что характер взаимодействия между проволокой в ПУЭ не меняется от вида деформации, можно получить аналогичную формулу и для элементов, работающих на сдвиг, при условии равномерности структуры и напряженного состояния.

В четвертой главе приводится разработанный автором совме-

стно с Д.Н. Решетовым вариант аналитического описания контура петли гистерезиса при упругом деформировании материалов. Отмечаются работы И.Л. Корчинского, Н.Н. Давиденкова, Е.С. Сорокина, Я.Г. Пановко, Г.С. Писаренко и других авторов, посвященные различным гипотезам для описания формы петель гистерезиса.

Не касаясь физической природы явления рассеяния энергии, которую в настоящее время еще нельзя считать в полной мере установленной, для пояснения гипотезы рассмотрим модель сплошного упругого тела. Реальные тела не являются однородными. Всегда можно указать величину элементарного объема, на уровне которого тело уже нельзя рассматривать как однородное. Например, в поликристаллических телах множества хаотично расположенных кристаллов имеют химическую неоднородность, различные собственные напряжения, дислокации, поры и анизотропию упругих свойств. Это приводит к тому, что явления, характеризующие необратимое рассеяние энергии при деформировании материала, не могут происходить во всех микрообъемах равномерно и одновременно. Они происходят в первую очередь там, где для этого имеется необходимое сочетание различных условий. Разбив тело на элементарные объемы, будем считать, что каждый объем может находиться в двух состояниях: либо в состоянии i , в котором явление рассеяния энергии весьма мало или отсутствует, либо в состоянии j с рассеянием энергии. При изменении деформации тела каждый объем может перейти с некоторой вероятностью из состояния i в j . Если допустить, что при этом данный объем достигает состояния идеальной пластичности, то неупругое сопротивление деформированию объема не зависит от деформации и гистерезисные силы могут быть приняты пропорциональными числу объемов в состоянии j . Поэтому в случае однородного напряженного состояния (в обычном смысле) нагрузочную и разгрузочную ветви замкнутой петли, например, при деформации растяжения - сжатия в пределах упругости можно записать

$$\bar{\sigma}(\epsilon) = \epsilon E \pm a \nu(\epsilon) + \bar{\sigma} \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}$ - напряжение; ϵ - деформация; E - модуль упругости; $\nu(\epsilon)$ - число элементарных объемов в состоянии j в единичном

объеме тела; α - осредненный вклад ρ неупругое напряжение, создаваемый одним объемом в состоянии j ; θ - некоторая постоянная, учитывающая достигнутый уровень неупругого напряжения в момент смены знака скорости деформации $\dot{\epsilon}$. Здесь и далее верхние знаки относятся к нагрузочной (восходящей) ветви, нижние - к разгрузочной (нисходящей). Если предположить, что описанная выше эволюция системы представляет собой однородный марковский случайный процесс с двумя возможными состояниями для каждого микрообъема и единственно возможным переходом из i в j с интенсивностью (плотностью) перехода λ , то случайная величина $N(\epsilon)$ имеет распределение Пуассона с параметром $\lambda \epsilon$

$$P\{N(\epsilon) = k\} = e^{-\lambda \epsilon} \frac{(\lambda \epsilon)^k}{k!}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots),$$

где ϵ - изменение деформации после смены знака скорости $\dot{\epsilon}$. При этих условиях для произвольного асимметричного цикла (рис. 2) уравнения (4) принимают вид

$$\bar{\sigma}(\epsilon) = \epsilon E - \frac{\theta}{2} (1 - 2e^{-\lambda(\epsilon_1 - \epsilon)} + e^{-2\lambda\epsilon_1}),$$

$$\bar{\sigma}(\epsilon) = \epsilon E + \frac{\theta}{2} (1 - 2e^{-\lambda(\epsilon - \epsilon_2)} + 2e^{-\lambda(\epsilon_1 - \epsilon_2)} - e^{-2\lambda\epsilon_1}),$$

а уравнения для симметричного цикла с амплитудой ϵ_0 соответственно

$$\bar{\sigma}(\epsilon) = \epsilon E \pm \frac{\theta}{2} (1 - 2e^{-\lambda(\epsilon_0 \pm \epsilon)} + e^{-2\lambda\epsilon_0}).$$

Показано, что линия первого нагружения ОА (рис. 2) (из недеформированного состояния) описывается уравнением

$$\bar{\sigma}(\epsilon) = \epsilon E + \frac{\theta}{2} (1 - e^{-2\lambda\epsilon}), \quad \theta = \text{Const.}$$

Установлено, что для рассматриваемой модели справедлив принцип Мазинга.

Логарифмический декремент может быть вычислен по формуле

$$\delta = \frac{2\theta}{\alpha \sigma_1} [\alpha \sigma_1 (1 + e^{-\alpha \sigma_1}) - 2(1 - e^{-\alpha \sigma_1})], \quad (5)$$

где $\alpha = 2\lambda E^{-1}$, σ_1 - амплитуда напряжения. На рис. 3 приведены

некоторые расчетные зависимости логарифмического декремента от амплитуды напряжений при продольных колебаниях стальных образцов. Точками указаны экспериментальные значения по данным Института проблем прочности АН УССР.

Коэффициенты α и β могут иметь следующую физическую интерпретацию: α — характеризует интенсивность появления в теле микрообъемов с рассеянием энергии, а β — с точностью до постоянного множителя характеризует вклад в неупругое сопротивление одного микрообъема в состоянии j .

Эта же гипотеза используется для описания уравнений петли гистерезиса при сжатии ПУЭ. Например, для нагрузочной ветви ОА (рис.4) в координатах давление-деформация уравнение имеет вид

$$\bar{p}(\varepsilon) = f(\varepsilon) [1 + \kappa(1 - e^{-\lambda \varepsilon})],$$

для АО

$$\bar{p}(\varepsilon) = f(\varepsilon) [1 + \kappa(1 - e^{-\lambda \varepsilon_1}) - 2\kappa(1 - e^{-\lambda(\varepsilon_1 - \varepsilon)})],$$

где $f(\varepsilon)$ — идеально-упругая характеристика сжатия, κ и λ — постоянные коэффициенты для данного элемента. Для контура СА

$$\bar{p}(\varepsilon) = f(\varepsilon) [1 + \kappa(1 - e^{-\lambda \varepsilon_1}) - 2\kappa(1 - e^{-\lambda(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}) + 2\kappa(1 - e^{-\lambda(\varepsilon - \varepsilon_2)})].$$

Здесь λ характеризует интенсивность появления в ПУЭ контактов, в которых реализуются силы трения, а κ — величину этих сил.

Полученные уравнения достаточно хорошо подтверждаются экспериментами и позволяют описать как замкнутые, так и разомкнутые петли гистерезиса ПУЭ во всем диапазоне допустимых нагрузок, а также определить как средний модуль упругости данного цикла $\bar{E}$, так и величину рассеиваемой за цикл энергии ΔW . Например, для петли АСА (рис.4), используя первые члены разложения уравнения (3) в степенной ряд в окрестности $\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2}$, можно получить

$$\bar{E} \approx [f'(\bar{\varepsilon})(1 + \kappa e^{-2\lambda \varepsilon_0}) + \frac{\kappa f(\bar{\varepsilon})}{\varepsilon_0} (1 - e^{-2\lambda \varepsilon_0})],$$

$$\Delta W \approx \frac{4\kappa f(\bar{\varepsilon})}{\lambda} [(1 + e^{-2\lambda \varepsilon_0})\lambda \varepsilon_0 - (1 - e^{-2\lambda \varepsilon_0})],$$

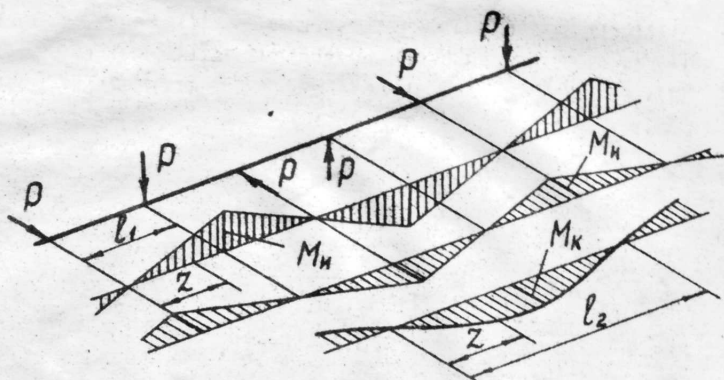


Рис. 1. Расчетная схема работы проволоки

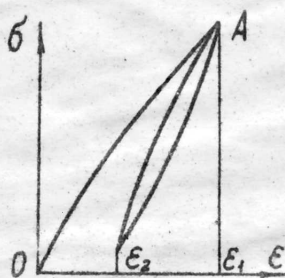


Рис. 2. Петля гистерезиса

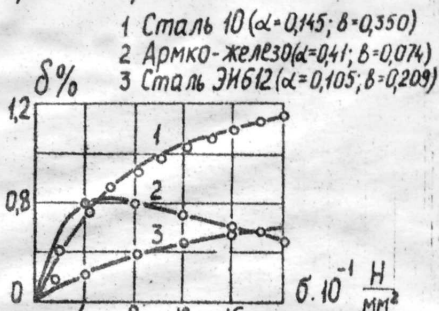


Рис. 3. Зависимость δ от σ для сталей

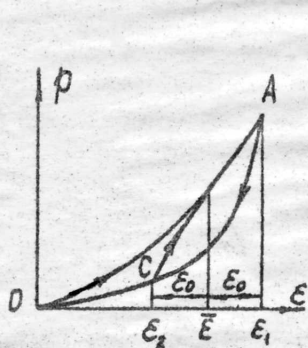


Рис. 4. Петля гистерезиса РЧЗ

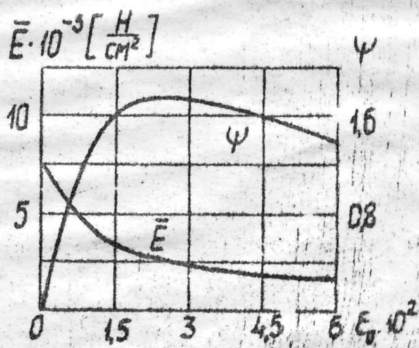


Рис. 5. Значения $\bar{\epsilon}$ и ψ при $\bar{\epsilon} = \text{const}$

где $\bar{\epsilon}$ и ϵ_0 — среднее и амплитудное значения деформации ПУЭ.

Коэффициент относительного рассеяния энергии

$$\Psi = \frac{2\Delta W}{\bar{\epsilon} \epsilon_0^2} = \frac{8}{\lambda \epsilon_0} \frac{\lambda \epsilon_0 (1 + e^{-2\lambda \epsilon_0}) - (1 - e^{-2\lambda \epsilon_0})}{\lambda \epsilon_0 (1 + \kappa e^{-2\lambda \epsilon_0}) \Omega + (1 - e^{-2\lambda \epsilon_0})},$$

где

$$\Omega = \frac{f'(\bar{\epsilon})}{\kappa \lambda f(\bar{\epsilon})}.$$

В связи с тем, что в рабочем диапазоне нагрузок $\Omega \approx \text{const}$, то Ψ мало зависит от $\bar{\epsilon}$. При данной относительной амплитуде ϵ_0 средний модуль упругости цикла пропорционален нагрузке, т.е. выполняется условие, необходимое для получения равночастотных опор. Вид функций $\bar{\epsilon}(\epsilon_0)$ и $\Psi(\epsilon_0)$ показан на рис.5.

Разработаны методы экспериментального определения коэффициента λ .

Далее в этой же главе рассмотрена совместная работа ПУЭ, собранных с преднатягом в двустороннем упруго-гистерезисном упоре. Необходимость использования данной конструкции вызвана тем, что ПУЭ плохо работает на растяжение. Получены расчетные зависимости, характеризующие прочность, жесткость и демпфирующую способность данного упора.

Пятая глава посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию жесткостных и демпфирующих свойств муфты привода с использованием ПУЭ. Впервые конструкция упруго-демпфирующей муфты с ПУЭ была предложена в МВТУ им.Баумана Д.Н.Решетовым и О.А.Ряховским (авт.свид.№ 327337). Дальнейшим совершенствованием конструкции явилась муфта, изображенная на рис.6. Муфта состоит из двух одинаковых полумуфт 1 с тремя торцовыми выступами 2. Шесть упругих элементов 3 в виде цилиндров с коническими торцами расположены между секторами 4, которые крепятся к выступам с помощью винтов 5. В связи с тем, что ПУЭ плохо работает на растяжение, установка упругих элементов в данной муфте производится с предварительным натягом. Величина натяга регулируется и зависит от начальной длины элемента и толщины набора прокладок 6. При отсутствии смещений и перекосов валов упругие элементы работают на сжатие.

Установлено, что с помощью прокладок можно изменять кру-

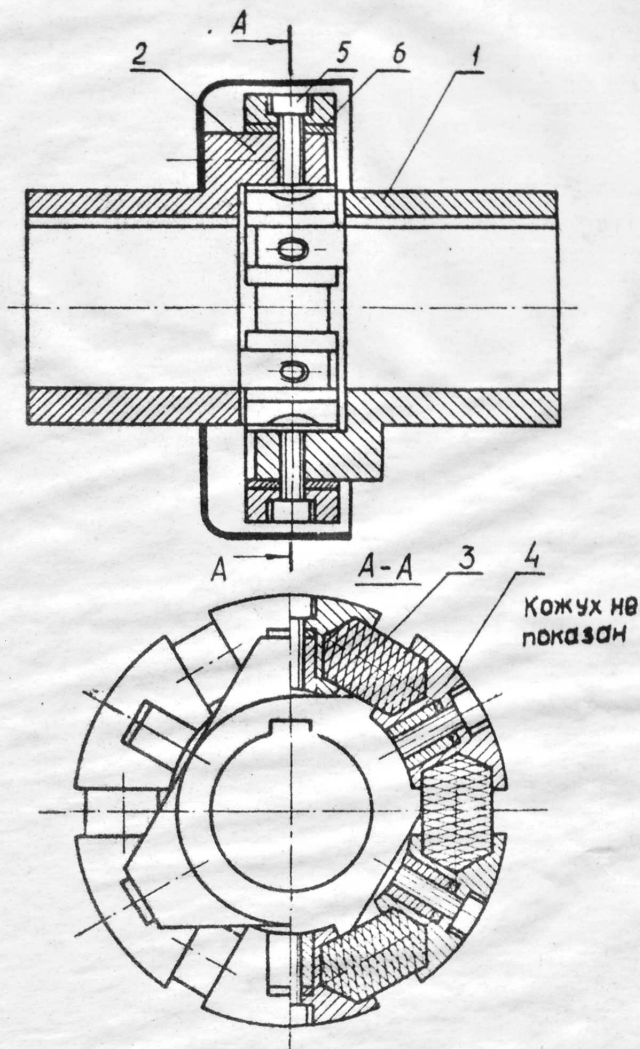


Рис. 6. Конструкция муфты

тильную жесткость муфты в достаточно широких пределах.

Выводы. В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. ПУЭ обладают высокими прочностными и демпфирующими свойствами и являются весьма перспективными для работы в тяжелых условиях, при низких и высоких температурах и в ряде агрессивных сред.

Целесообразно применение ПУЭ в качестве виброизолирующих опор прецизионных станков, ДВС и компрессоров, агрегатов авиационной и космической техники, подводных лодок, в приборостроении, а также в качестве демпферов и упоров. Перспективно применение ПУЭ в упруго-демпфирующих муфтах, так как это позволяет повысить их нагрузочную способность и уменьшить массу.

2. Показано, что деформационная характеристика ПУЭ удовлетворяет условию получения равночастотных опор.

3. В результате испытаний ПУЭ с различной объемной плотностью γ получены наибольшие значения упругой деформации $\epsilon_T = 0,33$ ($\gamma = 0,125$), напряжения сжатия $- 68 \frac{\text{тан}}{\text{см}^2}$ ($\gamma = 0,466$) и коэффициента относительного рассеяния энергии $- \psi = 1,8$ ($\gamma = 0,29$).

4. Оптимизированы параметры заготовок для промышленного производства ПУЭ методом винтовой укладки.

5. Разработан метод вероятностной оценки числа контактов в ПУЭ и определен закон распределения для проволок между контактами.

6. В результате теоретических исследований разработана модель процесса рассеяния энергии в конструкционных материалах, которая пригодна для описания петель гистерезиса как для сплошной среды при условии независимости гистерезисных сил от скорости деформирования, так и ПУЭ. В отличие от известных вариантов описания петель гистерезиса данная модель характеризуется только двумя параметрами, которые могут иметь физическую интерпретацию.

Получено достаточно хорошее совпадение расчетных значений логарифмического декремента от амплитуды напряжений при продольных колебаниях для сталей.

Для ПУЭ данная модель позволила создать расчетные зависи-

мости для определения жесткостных и демпфирующих свойств во всем диапазоне допустимых нагрузок и определить влияние различных факторов на эти свойства.

7. С помощью полученных автором зависимостей теоретически установлены и подтверждены экспериментально следующие особенности ПУЭ:

а) при данной величине средней нагрузки на ПУЭ жесткость цикла уменьшается с ростом амплитуды деформирования, а коэффициент относительного рассеяния энергии, увеличиваясь проходит через максимум;

б) при данной амплитуде деформирования жесткость цикла растет с увеличением среднего давления, а коэффициент относительного рассеяния меняется незначительно.

8. Экспериментально установлено, что жесткость и демпфирующая способность ПУЭ практически не зависят от скорости деформирования.

9. Разработан метод оценки статической прочности ПУЭ независимо от вида деформации, который позволяет провести сравнительную оценку различных ПУЭ и установить обоснованные запасы прочности.

10. Разработана новая конструкция упруго-демпфирующей муфты с применением ПУЭ. Получены аналитические зависимости, характеризующие работу данной муфты. Установлено, что муфта позволяет регулировать в широких пределах крутильную жесткость.

При постоянной амплитуде циклического момента крутильная жесткость практически не зависит от величины среднего момента. (При значительных углах закручивания жесткость с ростом нагрузки увеличивается).

При постоянной величине средней нагрузки жесткость муфты с увеличением амплитуды циклического момента несколько уменьшается.

11. Все полученные зависимости и коэффициенты могут быть использованы для динамических расчетов систем, содержащих ПУЭ в виде прокладок, втулок, шайб и двусторонних упоров, а также для проектирования новых элементов и создания нормальных раз-

мерных рядов амортизаторов, упоров, демпферов и муфт, содержащих ПУЭ.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Фомин М.В., Ряховский О.А. Геометрические характеристики структуры изделий из спрессованной проволоки. Изв. вузов. "Машиностроение", 1976, № 4.

2. Решетов Д.Н., Ряховский О.А., Фомин М.В. Расчет прочности упругих элементов из спрессованной проволоки. Изв. вузов. "Машиностроение", 1976, № 6.

3. Фомин М.В. Рассеяние энергии в упругих элементах из спрессованной проволоки. Изв. вузов. "Машиностроение", 1976, № 7.

4. Фомин М.В. Жесткость и демпфирующая способность пресованных проволоочных упругих элементов. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции "Жесткость машиностроительных конструкций", Брянск, 1976.

5. Фомин М.В., Ряховский О.А. "Упругая муфта". Решение ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства на изобретение по заявке № 2105614/27 от 18 февраля 1975 г.

6. Решетов Д.Н., Фомин М.В. "Описание контуров петли гистерезиса при упругом деформировании материалов". Машиноведение, АН СССР, 1977, № 1.