

УДК 621.825.56

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.*Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru*

Статья посвящена описанию последовательности проведения экспериментальных исследований, ставящих своей целью определение физических свойств металлических упругих элементов, применяющихся во многих элементах конструкций различных типов машин. Интерпретация результатов проведенных исследований позволяет уточнить методики расчёта многих элементов машин, содержащих упругие элементы разного конструктивного исполнения, но изготовленных из металла. Данная проблема является актуальной и важной, так как при использовании металлических упругих элементов некоторые их физические свойства оказываются неучтёнными, что может привести к существенным ошибкам при проектировании конструкций, и даже к возникновению поломок и серьёзных аварий машин. В свою очередь, это может привести к значительным экономическим потерям на производстве. В статье предложена методика определения свойств металлических упругих элементов при разных видах нагружения. Проведены эксперименты над упругими элементами, состоящими как из одиночных металлических пластин, так и из пластин, собранных в пакеты. В результате обработки результатов эксперимента наглядно показано различие физических свойств одиночных пластин и пакетов, а также отличие жесткостных свойств при разных типах нагружения. Выработаны рекомендации по применению полученных экспериментальных результатов при расчёте элементов машин.

Ключевые слова: упругий элемент, пластинчатая муфта, упругая пластина, пакет металлических пластин, виброизолятор, амортизатор

PILOT STUDY OF PROPERTIES OF METAL ELASTIC ELEMENTS

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru*

Article is devoted to the description of the sequence of conducting the pilot studies setting as the purpose of determination of physical properties of the metal elastic elements which are applied in many elements of a design of various types of machines. Interpretation of results of the conducted researches allows to specify method of calculation of many elements of the machines containing elastic elements of different design, but made by metal. This problem is relevant and important as when using metal elastic elements, some of their physical properties turn out unaccounted that can lead to essential mistakes at design of structures, and even to emergence of breakages and serious failures of machines. In turn, it can bring with considerable to economic losses on production. In article the technique of determination of properties of metal elastic elements at different types of loading is offered. Experiments with the elastic elements consisting both of single metal plates, and of the plates collected in packages are made. As a result of processing of results of an experiment the distinction of physical properties of single plates and packages and also difference of rigidity properties at different types of loading is visually shown. Recommendations about use of the received experimental results when calculating elements of machines are developed.

Keywords: elastic element, lamellar coupling, elastic plate, package of metal plates, vibroinsulator, shock-absorber

В различных элементах машин, в частности в отрасли энергомашиностроения, применяются упругие элементы, позволяющие реализовать взаимное перемещение соединяемых деталей при сохранении связи между ними.

Обеспечение относительных осевых и радиальных смещений валов необходимо при их тепловых расширениях, в тех случаях, когда приводной механизм не допускает смещений ротора относительно статора, например, когда осевые усилия воспринимаются упорным подшипником, для компенсации расцентровок валов и для уменьшения взаимовлияния валов в роторных системах.

Упругие элементы применяются также в качестве элементов виброизоляторов и амортизаторов.

Упругие элементы могут выполняться из резинового массива, но такие конструк-

ции, как правило, позволяют нести лишь небольшие нагрузки при значительной их деформации. Применение резиновых упругих элементов становится нежелательным или неприемлемым для тяжело нагруженных элементов конструкции, например таких, как муфты, соединяющие роторы турбо- или электропривода и приводных механизмов (насосов, компрессоров и др.), опоры крупных машин с малой опорной поверхностью лап. Даже в случаях, когда нагрузка на резиновом амортизаторе не превышает допустимого значения, но приближается к нему, сильно сокращается срок службы резинового элемента, а также в значительной мере ухудшаются его виброизолирующие свойства.

Муфты с металлическими упругими элементами обладают такими достоинствами, как высокая нагрузочная способность

и возможность работы в широком интервале температур [1, 2], которыми не обладают резиновые амортизаторы. Также металлические упругие элементы отличаются повышенной долговечностью, из-за более высоких прочностных характеристик металла по сравнению с резиной. Однако недостатком использования металла является то, что в случае необходимости обеспечения малой жёсткости конструкции, металлические упругие элементы должны иметь малую толщину. При этом нагрузочная способность муфты может оказаться недостаточной. Для повышения допустимой нагрузки, передаваемой металлическими упругими элементами, их собирают в пакеты из нескольких пластин (рис. 1).

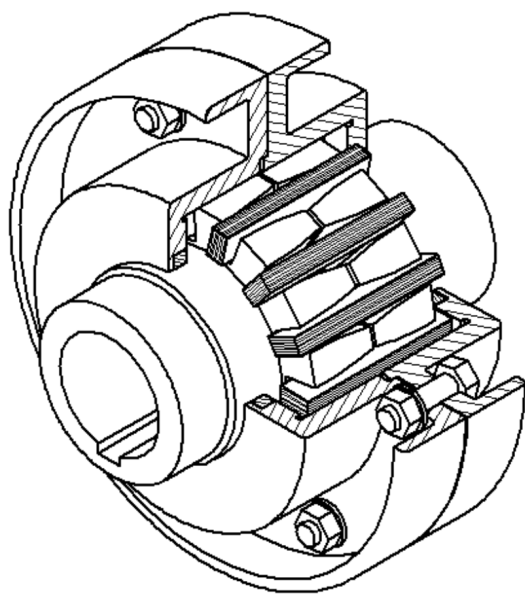


Рис. 1. Пример выполнения упругих элементов соединительной муфты привода в виде пакетов металлических пластин

При проведении расчётов упругого элемента, выполненного в виде пакета тонких металлических пластин, принято считать, что жёсткость пакета равна сумме жёсткостей отдельных пластин. Однако при этом не учитывается такое физическое явление, как трение между пластинами в пакете, по аналогии с внутренним трением (демпфированием), которым характеризуются резиновые упругие элементы. Влияние данного явления на свойства пакетов металлических пластин было проверено в ходе выполнения экспериментов, описанных в данной работе.

Определение демпфирующей способности пакетов пластин также необходимо в случае их использования в качестве виброизоляторов, так как коэффициент демпфи-

рования напрямую характеризует качество поглощения вибрации упругим элементом.

Другое предположение, проверяемое в ходе эксперимента – это различие статической (при очень медленном нагружении) и динамической (при вибрационном нагружении) жёсткостей пакетов металлических пластин, а также наличие гистерезиса (различия) статической жёсткости при нагружении и разгрузке, по аналогии с указанными свойствами резиновых упругих элементов.

Материалы и методы исследования

Измерения производились на специальном приспособлении, которое подробно описано в работе [3].

Статическая жёсткость пакетов пластин, а также отдельных пластин размером $110 \times 30 \times 1$ мм, выполненных из стального листа, определялась для случая их опирания по концам. Известная нагрузка прикладывалась посередине пакета; деформация измерялась индикаторами часового типа. Показания индикаторов записывались только после полного установления значений (так как необходимо было снять результаты именно статических измерений). Результаты измерений приведены на рис. 2, где показаны зависимости деформации металлических упругих элементов от величины прикладываемой нагрузки при разном количестве пластин в пакете.

Динамическая жёсткость пакетов пластин определялась также для случая опирания пакетов по концам. Посередине пакета устанавливалась известная масса, которая раскачивалась вибратором для нахождения резонансной частоты, а также записывались затухающие колебания после ударного возбуждения массы.

Динамическая жёсткость вычислялась по значению измеренной резонансной частоты, которая практически сохранялась при обоих способах возбуждения массы.

Коэффициенты демпфирования определялись по скорости затухания установленной на упругом элементе массы.

Результаты измерений динамической жёсткости и демпфирования упругих элементов приведены на рис. 3.

Результаты исследования и их обсуждение

Как и ожидалось, из-за наличия трения между пластинами в пакете, графики деформации при нагружении и разгрузке (прямого и обратного хода) не совпадают, образуя гистерезисную петлю (рис. 2). При увеличении количества пластин в пакете ширина петли гистерезиса увеличивается. При нагружении и разгрузке одиночных металлических пластин различия деформации не наблюдается.

Для проведения практических расчётов принято осреднять величины статической жёсткости, полученные при нагружении и разгрузке. Эти осреднённые значения приведены на рис. 3.

СТАТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ПАКЕТОВ ПЛАСТИН

Нагрузка Р, кг	исло пластин в пакете							
	13		7		3		1	
	прям. ход	обрат. ход	прям. ход	обрат. ход	прям. ход	обрат. ход	прям. и обрат. ход	
0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0.03	0.05	0.06	0.06	0.1	0.1	0.12	
10	0.06	0.1	0.11	0.13	0.19	0.19	0.25	
15	0.1	0.14	0.17	0.19	0.27	0.28	0.36	
20	0.14	0.18	0.22	0.25	0.35	0.37	0.49	
25	0.18	0.22	0.27	0.3	0.43	0.45	0.62	
30	0.22	0.25	0.32	0.35	0.5	0.51	0.73	
35	0.26	0.28	0.38	0.4	0.57	0.58	0.85	
40	0.31	0.31	0.44	0.44	0.65	0.65	0.97	

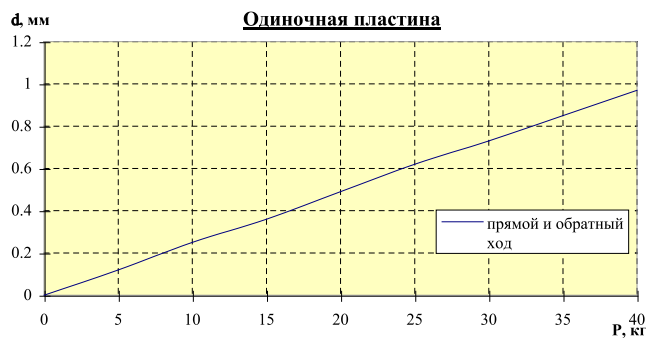
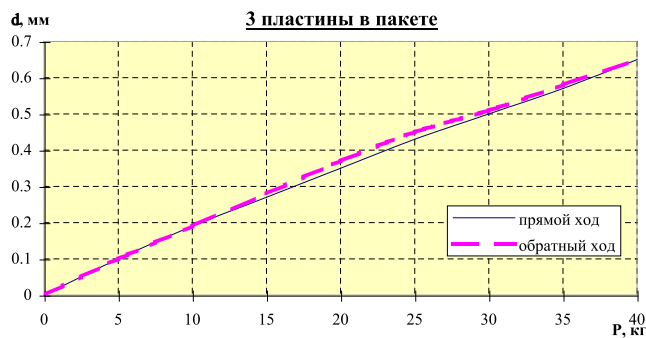
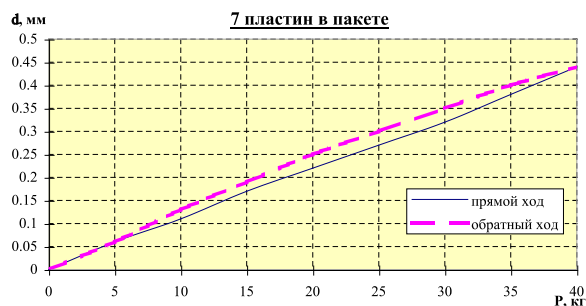
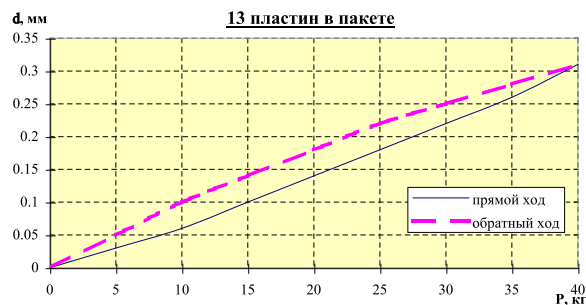


Рис. 2. Результаты измерения деформации металлических упругих элементов при нагружении и разгрузке

№ п/п	Число пластин	Масса груза	Период колебаний	Частота колебаний	Декремент затухания	Коэф. демпфирования	Динамич. жёсткость	Статич. жёсткость	$\frac{c_D}{c_c}$
		$m, \text{ кг}$	$\tau_D, \text{ с}$	$f_D, \text{ Гц}$	δ	$\mu, \text{ Н·с/м}$	$c_D, \text{ Н/м}$	$c_c, \text{ Н/м}$	
1.	13	39	0,018	55,6	1,37	5937	$4,76 \cdot 10^6$	$1,23 \cdot 10^6$	3,87
2.	7	39	0,024	41,7	0,87	2828	$2,68 \cdot 10^6$	$8,18 \cdot 10^5$	3,28
3.	3	12	0,019	52,6	0,75	947	$1,31 \cdot 10^6$	$5,77 \cdot 10^5$	2,27
4.	1	12	0,035	28,6	0,37	254	$3,88 \cdot 10^5$	$4,09 \cdot 10^5$	0,95

Затухающие колебания массы, закреплённой на пакетах пластин

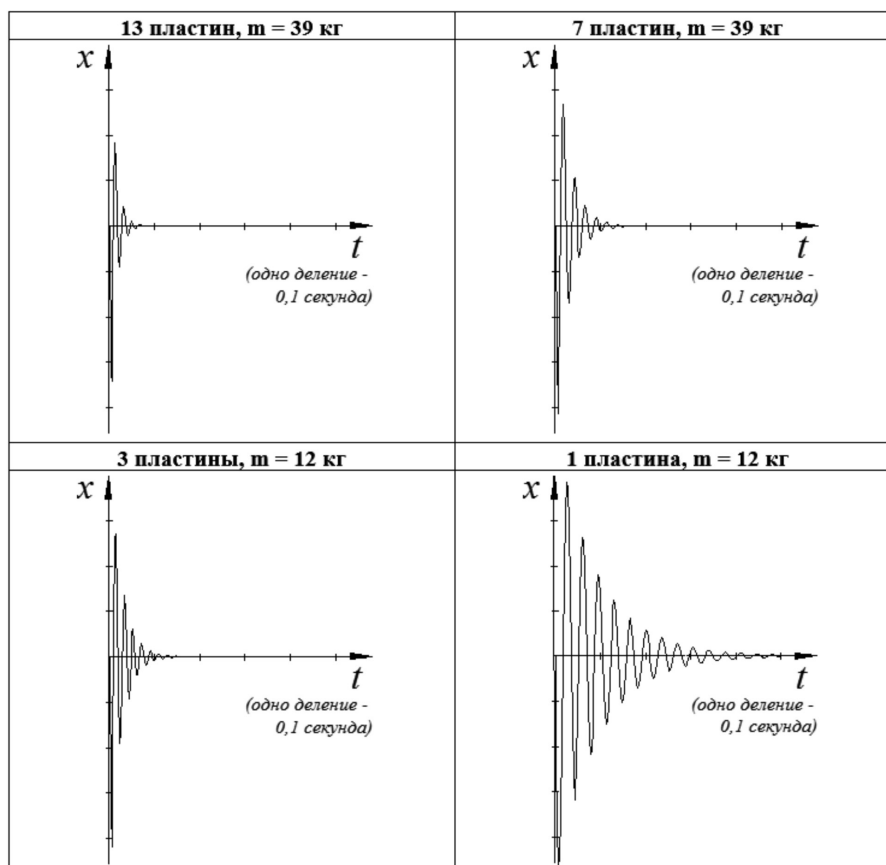


Рис. 3. Результаты определения жёсткостей и коэффициентов демпфирования металлических упругих элементов

Возникновение петли гистерезиса указывает на то, что между металлическими пластинами, собранными в пакеты, есть значительное трение. Это «внутреннее» трение упругого элемента учитывается коэффициентами демпфирования, которые были определены в ходе описанных экспериментальных исследований. Из рис. 3 видно, что внутреннее трение возрастает при увеличении количества пластин, составляющих пакет. Это можно объяснить увеличением площади поверхностей трения.

Это внутреннее трение (демпфирование) может быть полезным в случае, когда упругий элемент применяется в качестве амортизатора или виброизолятора. Если же пакеты металлических пластин применяются в соединительных муфтах приводов, повышенное демпфирование нежелательно, так как может привести к возникновению постоянных и переменных сил и моментов, действующих на элементы муфт и соединяемых валов, как это было показано в работах [4, 5]. В та-

ком случае оправданным может являться снижение количества металлических пластин в пакете или размещение между пластинами вставок, обладающих малым коэффициентом трения, изготовленных, например, из фторопласта.

Выводы

Таким образом, была отработана методика экспериментального определения физических свойств металлических упругих элементов, выполненных в виде одиночных пластин, а также пакетов пластин.

Полученные данные экспериментальных исследований показали наличие так называемого упругого статического гистерезиса жесткостных свойств пакетов (при очень медленном нагружении и разгрузке упругих элементов) из-за наличия трения между пластинами, а также различие жесткостей при разных видах нагружения. Эти свойства необходимо учитывать при проектировании элементов машин – муфт, амортизаторов и виброизоляторов, содержащих данные элементы.

Например, при проектировании соединительных муфт подбором нужных жесткостных и демпфирующих свойств упругих

элементов можно добиться существенного снижения переменных сил и моментов, возникающих при несоосностях валов.

Также статический гистерезис приводит к возникновению потерь энергии внутри пакетов металлических пластин, что может быть использовано при оценке эффективности существующих типов виброизоляторов и при проектировании новых. Однако в некоторых случаях данные потери энергии могут оказаться нежелательными, так как они уменьшают КПД системы.

Список литературы

1. Поляков В.С., Барбаш И.Д., Ряховский О.Я. Справочник по муфтам. Ленинград: Машиностроение, 1979. 343 с.
2. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Кирп А.В. и др. Детали машин и основы конструирования / Под ред. М.Н. Ерохина. 2 изд. перераб. и доп. М.: Колос, 2011. 512 с.
3. Ильичев В.Ю., Витчук П.В. Исследование динамических характеристик пластинчатых муфт. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 4. С. 217–225.
4. Гроховский Д.В. Основы рационального конструирования муфт и их влияние на динамику соединяемых валов машинных агрегатов // Вестник машиностроения. 2011. № 2. С. 3–15.
5. Абрамов Б.Н. Влияние конструкции муфт механизма передвижения мостовых кранов на динамику их нагружения // Подъемнотранспортное дело. 2015. № 5–6. С. 13–16.