

УДК 539.383

А.А. Попов

Архангельский государственный технический университет

Попов Андрей Анатольевич родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Архангельский государственный технический университет, инженер-механик, аспирант кафедры теоретической механики АГТУ. Имеет одну печатную работу по теории удара.
Тел.: (8182) 21-61-64



МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ ПО КОНТАКТНОМУ СЖАТИЮ ДВУХ ТЕЛ

Приведена методика выполнения опытов по контактному сжатию двух упругопластичных тел. Предложены расчетные выражения для определения параметров силовой функции на стадиях нагрузки и разгрузки взаимодействующих тел.

Ключевые слова: удар, деформация, силовая функция, коэффициенты пластичности и нелинейности.

Одним из основных способов решения задач на соударение двух тел является разработанная Г. Герцем [4] контактная теория удара, согласно которой при определении деформации двух соударяющихся тел предложено рассматривать их сжатие.

При выводе зависимости силовой функции $F = B\alpha^n$ от деформации α используют две основные величины. Для упругих тел это коэффициент упругости $B = K$ и показатель нелинейности $n = 3/2$. Их значения определяют аналитически [4]. Для пластичных тел в расчете применяют аналогичный коэффициент пластичности B и показатель нелинейности n , которые находят экспериментально. Серия таких экспериментов первоначально была предложена Г. Герцем и затем продолжена другими учеными [1, 2].

В настоящее время большое внимание уделяется совершенствованию методики экспериментов. Оригинальную методику разработал Д.Н. Шостенко [3]. В ее основе лежит использование универсального измерительного микроскопа УИМ-21, дополненного ручным прессом. Микроскоп предназначен для точного измерения элементов профиля резьбовых изделий, фрез, лекал, кулачков, разных сложных шаблонов и др. Перемещение тел в продольном и поперечном направлениях измеряют с помощью микрометров.

Микроскоп состоит из следующих частей (рис. 1): чугунная плита 1; продольные 3 и поперечные 2 направляющие; продольные 12 и поперечные 13 салазки; микроскопические винты для точной установки салазок 4 и 14; прямолинейные шкалы (цена деления 1 мм) 5 и 11; микроскопы со спиральным нониусом (цена деления 0,001 мм) 6 и 7; стойка 10; центральный микроскоп 8; угломерная окулярная головка 9.

Ручной пресс (рис. 2) включает: верхнее 5 и нижнее 1 основания, четыре стержня 2, нагружающий винт 6, гильзу 10, два прессовых цилиндра 9, верхнюю 7 и нижнюю 8 шайбы, шарик 4 и динамометр 3. Верхнее основание имеет резьбовое отверстие, в которое ввинчивается нагружающий

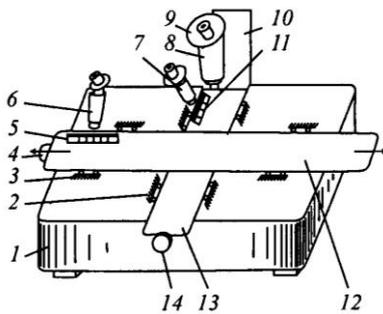


Рис. 1. Кинематическая схема универсального измерительного микроскопа УИМ-21

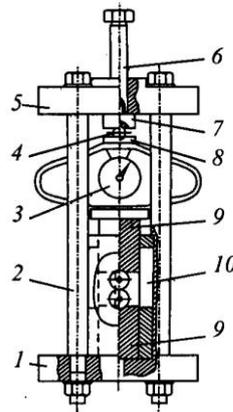


Рис. 2. Принципиальная схема ручного пресса

винт. Нижнее основание служит для установки и центровки гильзы с прессовыми цилиндрами. Небольшие конические выточки в каждом прессовом цилиндре позволяют точно зафиксировать образцы внутри гильзы. Последняя имеет три прорези, две из которых служат для установки образцов, а через третью измеряют деформации. С помощью нагружающего винта можно менять нагрузку от 0 до 10 кН.

Оборудование, показанное на рис. 1 и 2, Д.Н. Шостенко [4] использовал при сжатии двух установленных горизонтально стальных шариков из шарикоподшипниковой стали ШХ15 диаметром от 10,319 до 22,225 мм (рис. 3, а). В наших опытах один из шариков был заменен металлическим диском (рис. 3, б).

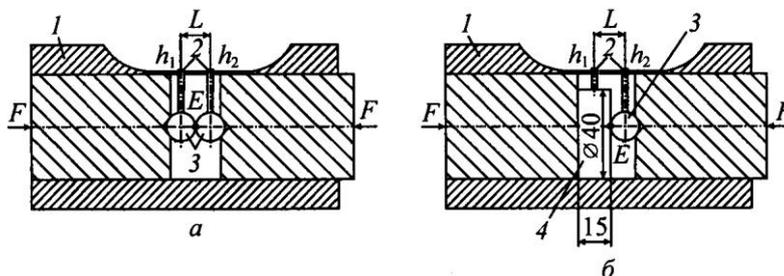


Рис. 3. Схема проведения замеров: а – по опытам Д.Н. Шостенко; б – по нашим опытам; 1 – гильза; 2 – направляющие стержни; 3 – шарик; 4 – металлический диск

Направляющие металлические стержни диаметром 2,5 мм приклеены к поверхности шарика (или диска) клеем «Супер момент». Их положение обозначено буквами h_1 и h_2 . Значения h_1 и h_2 определяли по прямолинейной шкале с помощью микроскопа УИМ-21 со спиральным нониусом, точность 0,001 мм. Разность между h_1 и h_2 дает расстояние L , т. е. $L = |h_1 - h_2|$. Разность между начальными L_0 и последующими значениями в процессе нагружения силой F равна контактной деформации тел α в точке E . Пары значений F и α аппроксимируют уравнением $F = B\alpha^n$, например по методу наименьших квадратов, и вычисляют значения B и n . После снятия силы F на каждой ступени разгрузки находят также остаточную деформацию α_1 .

Методика проведения опытов состоит из следующих этапов.

1. Выбор материала и подготовка образцов к экспериментам.
2. Размещение испытуемых образцов (шарик и пластина) внутри гильзы с последующей установкой внутри корпуса ручного пресса.
3. Выравнивание направляющих стержней, предназначенных для снятия показаний. Установка динамометра в корпусе ручного пресса.
4. Установка ручного пресса в горизонтальное положение на продольных салазках микроскопа.
5. Проведение первого этапа – нагрузка. К образцам прикладывают сжимающую силу F , значения которой изменяют от 0 до 10 кН с шагом 1 кН. Для каждой ступени определяют деформацию α .

6. Проведение второго этапа – разгрузка. После достижения сжимающей силой F максимального значения 10 кН ее начинают плавно (ступенчато) снижать до нуля. Через каждый 1 кН замеряют остаточные контактные деформации α_1 .

При проведении опытов на сжатие (рис. 3, а) для достижения достоверных результатов требовалось обеспечить точное центрирование шариков. При малейшем смещении их относительно друг друга результаты опытов становились недостоверными, что требовало большой обработки данных. В опытах по схеме рис. 3, б центрирование шарика и пластины происходило автоматически. Графики на стадиях нагрузки и разгрузки приведены на рис 4.

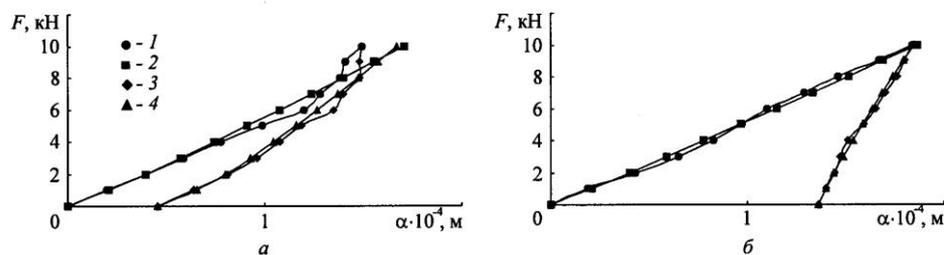


Рис. 4. График зависимости $F(\alpha)$: а – для шариков диаметром 12,005 и 15,075 мм; б – для шарика диаметром 19,045 мм и металлического диска (Ст. 3); 1, 2 – нагрузка; 3, 4 – разгрузка; 1, 3 – экспериментальные; 2, 4 – теоретические кривые

Наши опыты проведены при сжатии двух стальных шариков диаметрами 12,005; 15,075; 19,045 мм и шарика с металлическим диском диаметром 40 мм и толщиной 15 мм, изготовленного из разных материалов: сталь (Ст. 3), медь (М1Т), бронза (БрОЦС-555) и алюминий (АМГ-5).

Экспериментальные данные на стадии нагрузки аппроксимировали по методу наименьших квадратов с помощью уравнения

$$F_n = B\alpha^n,$$

где F_n – сжимающая (контактная) сила;

B – коэффициент пластичности;

n – коэффициент нелинейности;

α – контактная деформация тел.

При обработке опытных данных использовали следующие расчетные выражения:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N \ln \alpha_i \sum_{i=1}^N \ln F_i - N \sum_{i=1}^N \ln \alpha_i \ln F_i}{\left(\sum_{i=1}^N \ln \alpha_i \right)^2 - N \sum_{i=1}^N (\ln \alpha_i)^2};$$

$$B = \exp \left[\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \ln F_i - n \sum_{i=1}^N (\ln \alpha_i) \right) \right],$$

где N – число ступеней нагрузки.

На стадии разгрузки использовали уравнение

$$F_p = B_1(\alpha - \alpha_1)^{n_1},$$

где F_p – сжимающая (контактная) сила;

B_1 – коэффициент пластичности;

n_1 – коэффициент нелинейности;

α_1 – остаточная контактная деформация тел.

Здесь имеем

$$n_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \ln(\alpha_i - \alpha_1) \sum_{i=1}^N \ln F_i - N \sum_{i=1}^N \ln(\alpha_i - \alpha_1) \ln F_i}{\left(\sum_{i=1}^N \ln(\alpha_i - \alpha_1) \right)^2 - N \sum_{i=1}^N (\ln(\alpha_i - \alpha_1))^2};$$

$$B_1 = \exp \left[\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N \ln F_i - n_1 \sum_{i=1}^N (\ln(\alpha_i - \alpha_1)) \right) \right].$$

Таким образом, рассмотренная методика позволяет с достаточно высокой точностью найти параметры B и n , характеризующие силовую функцию для материалов упругопластичных тел при сжатии и соударении, и определить текущую и остаточную деформации тел с точностью до 0,001 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Динник, А.Н.* Удар и сжатие твердых тел [Текст] / А.Н. Динник // Избр. тр. – Киев: АН СССР, 1952. – Т. 1. – С. 13–144.
2. *Морозов, С.И.* Соударение тел. Контактная и универсальная теории удара [Текст] / С.И. Морозов, В.С. Морозов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 123.
3. *Шостенко, Д.Н.* Экспериментальное определение параметров силовой функции при контактном ударе двух тел [Текст] / Д.Н. Шостенко // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2004. – С. 136–139.
4. *Hertz, H.* Über die Berührung fester elastischer Körper [Text] / H. Hertz // Crell'es Journ. – 1881. – Bd 92.

Поступила 28.02.07

A.A. Popov
Arkhangelsk State Technical University

Technique of Experiment Conduction on Contact Compression of Two Bodies

Technique of experiments on contact compression of two elasto-plastic bodies is provided. Design equations are offered for determining parameters of the force function at load and unload stages of interacting bodies.

Keywords: stroke, deformation, force function, coefficients of plasticity and nonlinearity.
