

**ОБОСНОВАНИЕ ФОРМЫ ИНДЕНТОРА
ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ИССЛЕДОВАНИИ СПОСОБНОСТИ ТКАНИ
ПРЕДОХРАНЯТЬ ОТ УДАРА**

**JUSTIFICATION OF INDENTER SHAPE
DURING EXPERIMENTAL INVESTIGATION
OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF FABRICS**

М.С. НЕХОРОШКИНА, П.Н. РУДОВСКИЙ, Г.К. БУКАЛОВ, Е.В. КРИВОШЕИНА
M.S. NEKHOROSHKINA, P.N. RUDOVSKY, G. K. BUKALOV, E.V. KRIVOSHEINA

(Костромской государственный технологический университет)
(Kostroma State University of Technology)

E-mail: tmchp@kstu.edu.ru; sopromat@kstu.edu.ru

В статье приводится обзор предметов, травмирующих при ударе. Аналогии типовых инденторов или их комбинации подобраны для каждого предмета в зависимости от формы его поверхности. Обоснован выбор сферического индентора для решения задачи поглощения энергии тканью.

The article provides an overview of subject traumatic impact. On form of surface, for each subject selected analogue of a standard indenter or combinations thereof. Justified choice of a spherical indenter for solving the problem of energy absorption cloth.

Ключевые слова: производственный травматизм, защитная одежда, энергия, удар, индентор, площадь поверхности.

Keywords: industrial injuries, protective clothing, energy, punch, indenter, surface area.

Вопросы защиты от травм при ударах в процессе преимущественно ручного труда носят весьма актуальный характер. Промышленные рабочие многих профессий, таких как слесари-ремонтники, уборщики, ткачи и другие, связаны с ручным трудом. Известно, что удары по телу человека в производственных условиях ведут к травмированию и являются причиной значительного экономического ущерба. Часто удары способствуют возникновению микротравм, которые не приводят к потере трудоспособности или вызывают ее на срок менее одного дня по основной работе и не требуют перевода на другую работу. Микротравмы не регистрируются в государственной или отраслевой системах учета производственного травматизма. Они должны расследоваться непосредственным руководителем работ для выявления и устранения их причин с целью предупреждения повторных микротравм, а также воз-

можности возникновения более тяжелых травм по этим же причинам. Вопросы выбора, создания и оценки защиты от ударов представляются актуальными.

Теоретические методы оценки демпфирующей способности тканей [1...4] позволяют выявить основные факторы, влияющие на указанное свойство и оценить их воздействие, однако для реальной сравнительной оценки указанных свойств необходимо разработать метод инструментальной оценки.

Для предотвращения травм от механических ударных воздействий, как правило, используется спецодежда и средства защиты рук в виде рукавиц и перчаток. Существующие стандарты на эти изделия предусматривают оценку эффективности защиты от целого ряда воздействий, но не предусматривают оценку эффективности от удара. Основой для создания такой методики является моделирование удара по

телу через слой защитной ткани [5]. Причем условия нанесения такого удара должны, с одной стороны, быть близки к реальным условиям, встречающимся в производственных условиях, а с другой – должны быть нормированы, для обеспечения возможности сравнения результатов испытаний.

Энергия удара, который может быть нанесен рабочим инструментом, определена в ходе работы [6], что позволяет принять нормированное значение для разрабатываемой методики.

Для выбора формы индентора, которым должен наноситься удар в ходе эксперимента, необходимо идентифицировать предметы, которыми могут быть нанесены ударные воздействия по телу человека в ходе производственного процесса, и затем классифицировать основные виды вне-

дряющихся поверхностей и виды воздействия, которые будут моделироваться при экспериментальном исследовании способности текстильной ткани предохранять от удара.

В настоящее время для испытания материалов используется множество разных типов инденторов [7], [8] и др. Основными являются: конические, пирамидальные, сферические, цилиндрические, клиновидные. Отдельно следует выделить инденторы, имеющие формы трехгранной пирамиды с углом 90° между ребрами (так называемый кубический индентор), с углом $65,03^\circ$ между осью и гранью, а также специальные инденторы Виккерса и Кнупа, которые применяются при стандартных испытаниях материалов на микротвердость, твердость при царапании, предел текучести и т.д.

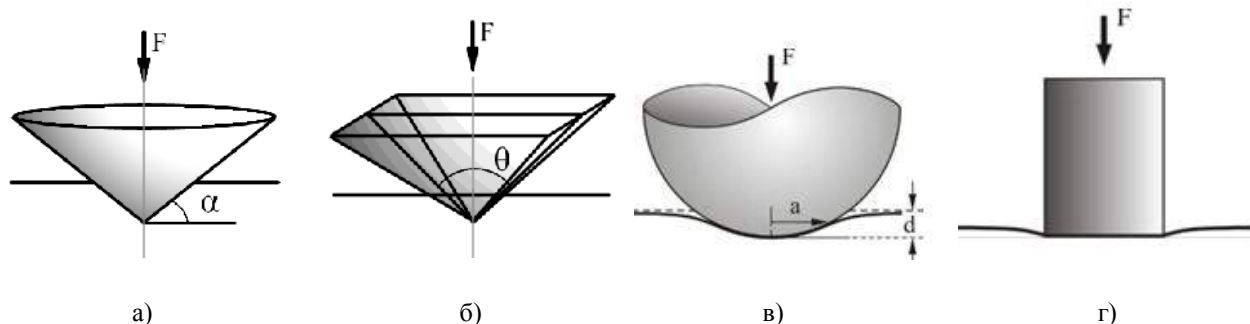


Рис. 1

Наиболее часто встречаются следующие типы инденторов (рис. 1): конус с углом при вершине 120° (а) пирамида с углом при вершине более 120° (б) сфера (в) и цилиндр (г).

Необходимо отметить, что большинству травмирующих поверхностей ручного инструмента можно найти аналог среди внедряющихся поверхностей типовых инденторов или их сочетаниях.

Значительное влияние на тяжесть травмы имеет направление движения травмирующей поверхности относительно поверхности тела: перпендикулярно, по касательной или под углом. Поэтому данный признак был взят вторым в качестве классификационного.

В табл. 1 представлена классификация предметов, травмирующих при ударе по

форме внедряющейся поверхности и направлению относительного движения. Кроме того, при выборе индентора для испытаний способности текстильных материалов предохранять от удара необходимо учитывать соотношение размеров индентора и элементов структуры ткани. Очевидно, что наличие острой вершины на инденторах в форме пирамиды или конуса, имеющей размеры меньше, чем расстояние между нитями в ткани, будет приводить к тому, что некоторый участок на образце, близкий к месту внедрения вершины, будет работать на раздвигаемость нитей, а участки, удаленные от вершины, в основном на сжатие. Это будет приводить к систематической ошибке, связанной с плотностью нитей по основе и утку.

		Форма внедряющейся поверхности					
		Вершина конуса	Вершина пирамиды	Клин (ребро призмы или пирамиды)	Цилиндр		Сфера
					Торец цилиндра	Боковая поверхность цилиндра	
Направление относительного движения	Перпендикулярно к поверхности	Кернер, чертилка, пробойник, шило	Ключ гаечный торцовый, чертилка	Отвертка шлицевая, зубило	Молоток с цилиндрическим бойком,	Гаечный ключ накидной	Молоток со сферическим бойком
	Параллельно поверхности	Кернер, чертилка, пробойник, шило	Ключ гаечный торцовый, чертилка	Отвертка шлицевая, зубило	нет	Гаечный ключ накидной	нет
	Под углом к поверхности	Кернер, чертилка, пробойник, шило	Ключ гаечный торцовый, чертилка	Отвертка шлицевая, зубило	Молоток с цилиндрическим бойком,	Гаечный ключ накидной	Молоток со сферическим бойком

Наличие вершин (конус, пирамида) и ребер (пирамида, цилиндр) на поверхности индентора приводит к тому, что распределение напряжений по площадке имеет точки или линии сингулярности, в которых теоретические значения возрастают до бесконечности. В результате невозможно оценить, при каких максимальных значениях напряжений проводятся испытания. Единственной из рассмотренных форм индентора, лишенной указанных недостатков, является сферическая форма.

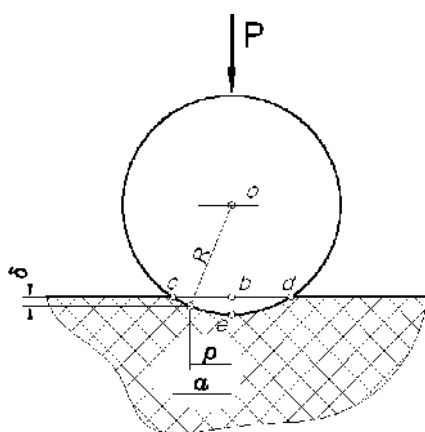


Рис. 2

При внедрении сферического индентора в тело в качестве показателя, характеризующего энергию, затраченную на проникновение, можно использовать:

– радиус отпечатка – a (рис. 2 – к расчету энергии, необходимой для внедрения индикатора);

– площадь его проекции на недеформированную поверхность образца, то есть площадь круга с радиусом a и центром, расположенным в точке b , которую можно рассчитать по формуле:

$$S_1 = \pi a^2; \quad (1)$$

– площадь сферического сегмента отпечатка sed , которая рассчитывается по формуле:

$$S_2 = \pi R(R - \sqrt{R^2 - a^2}). \quad (2)$$

Для обоснования выбора соответствующего показателя рассмотрим зависимости:

$$W = f(a), \quad W = f(S_1) \quad \text{и} \quad W = f(S_2), \quad (3)$$

где W – энергия, требуемая для внедрения индентора.

Согласно [9] радиус контактной площадки под сферическим штампом можно рассчитать по формуле:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3(1-\nu^2)}{4E} PR}, \quad (4)$$

где E и ν – модуль упругости и коэффициент Пуассона тела, в которое внедряется штамп; P – сила, действующая на штамп; R – радиус внедряемого тела.

Давление под штампом согласно [4] распределено по закону:

$$p(\rho) = \frac{3P}{2\pi a^3} \sqrt{a^2 - \rho^2}. \quad (5)$$

Как видно из рис. 2, перемещения под штампом можно определить по формуле:

$$\delta(\rho) = \sqrt{R^2 - \rho^2} - \sqrt{R^2 - a^2}. \quad (6)$$

$$W = \frac{3P}{2a^3} \left[\frac{(a^2 + R^2) a R}{4} + \frac{2}{4a^2 R^2 + (a^2 + R^2)^2} \ln \frac{R+a}{R-a} + \frac{a^3}{3} \sqrt{R^2 - a^2} \right]. \quad (8)$$

С использованием полученной формулы строились зависимости (3) для принятых при проектировании экспериментальной установки конструктивных параметров: радиус индентора 5 см, максимальная потенциальная энергия падающих частей 65 Дж.

В качестве тела, в которое внедрялся индентор, использовалась пластилиновая пластина с условным модулем упругости $E = 10^5$ Па при температуре 20°C и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$.

Результаты расчетов показали, что зависимость $W=f(a)$ имеет ярко выраженный нелинейный характер и поэтому в дальнейшем при разработке методики не рассматривалась.

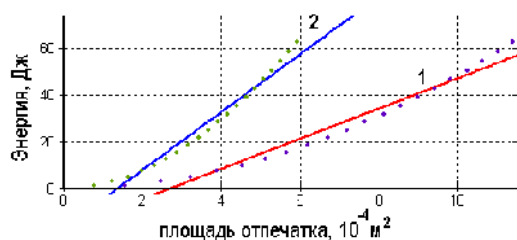


Рис. 3

На рис. 3 (зависимость энергии, необходимой для внедрения индентора, от площади отпечатка) точками показаны расчетные зависимости 1 – $W=f(S_1)$ и 2 – $W=f(S_2)$, а сплошными линиями – их аппроксимация линейными зависимостями. Статистическая обработка показала, что

Очевидно, что элементарная работа по деформации материала под штампом по окружности радиуса ρ будет следующей:

$$dW = \pi p \delta \rho d\rho. \quad (7)$$

Подставляя значения $p(\rho)$ и $\delta(\rho)$ из (5) и (6) и интегрируя полученное выражение в пределах от 0 до a , получим следующее выражение для расчета энергии, необходимой для внедрения индентора:

зависимость $W=f(S_2)$ имеет лучшее приближение к прямой линии. Поэтому площадь поверхности шарового сегмента была принята в качестве показателя для оценки энергии удара индентора при разработке метода оценки способности тканей поглощать энергию удара.

Необходимо отметить, что удобно судить о способности ткани предохранять от удара по изменению площади отпечатка после удара индентором по телу. Особенно это относится к случаю, когда характерный размер элемента индентора, внедряющегося в тело, защищенное тканью, значительно больше размеров элементов ткани, так как отпечатки элементов ткани вносят незначительную погрешность в площадь отпечатка после удара индентора. Соответственно в этом случае наиболее подходящей формой поверхности индентора для исследования способности ткани предохранять от удара является сфера.

ВЫВОДЫ

1. Предложена классификация предметов, травмирующих при ударе по форме внедряющейся поверхности, направлению относительного движения и характерным размерам элементов индентора, которая позволяет при экспериментальном исследовании способности ткани предохранять от удара, подобрать необходимую в каждом конкретном случае форму и размеры

внедряющейся поверхности и направление относительного движения.

2. Наиболее подходящей формой поверхности индентора для исследования способности ткани предохранять от удара, когда характерный размер элемента индентора, внедряющегося в тело, защищенное тканью, значительно больше размеров элементов ткани, является сфера.

3. Обосновано использование площади поверхности сферического сектора в качестве единичного показателя, характеризующего энергию удара, воспринимаемую телом при создании методики оценки способности тканей защищать от ударных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нехорошкина М.С., Дмитриев В.С. Расчет деформации ткани как сети Чебышева, находящейся в контакте двух тел // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2012, № 1 (28). С. 37...39.

2. Нехорошкина М.С. Анализ методов оценки демпфирования свойств ткани на основе моделирования ее структуры // Вестник Костромского государственного технологического университета. – 2012, № 2 (29). С. 40...42.

3. Рудовский П.Н., Букалов Г.К. Расчет потерь энергии на изменение формы ткани, находящейся в контакте двух тел // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.145..149.

4. Нехорошкина М.С., Рудовский П.Н. Исследование поглощения энергии при изменении формы ткани в процессе внедрения инородного тела // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 1 (30). С. 165...167.

5. Нехорошкина М.С., Михайлов А.С. Методика экспериментального определения потери энергии в ткани, расположенной между взаимно ударяющимися телами // Вестник Костромского государственного технологического университета. –2013, № 2 (31). С. 46...48.

6. Нехорошкина М.С. Оценка интенсивности механических воздействий при работе ручным инструментом, приводящих к травматизму // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 3 (345). С. 146...149.

7. Герман Дж., Либовиц Г. Разрушение / Пер. с англ. – Т. 7, ч. 2. – М., 1976.

8. Морозов Е.М., Зернин М.В. Контактные задачи механики разрушения. – М.: Машиностроение, 1999.

9. Галин Л.А. Контактные задачи теории упругости. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1980.

Рекомендована кафедрой инженерной графики, теоретической и прикладной механики. Поступила 30.09.14.