

ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ КУКСОПРИЙМАЛЬНИХ ГІЛЬЗ ПРОТЕЗІВ ЗА МЕТОДОМ ШОРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі проведено експериментальне дослідження твердості куksоприймальних гільз протезів нижніх кінцівок, виготовлених з акрилової смоли з різними значеннями міцності на вигин стінки. Результати показують незначні відмінності у величині твердості зразків.

Ключові слова: твердість, протези, термопласти, акрилові смоли, вимірювання, метод Шора.

Abstract

The paper presents an experimental study of the hardness of the stump-receiving sleeves of lower limb prostheses made of acrylic resin with different values of wall bending strength. The results show insignificant differences in the hardness of the samples.

Keywords: hardness, prostheses, thermoplastics, acrylic resins, measurements, Shore method.

Вступ

Твердість матеріалу – це його стійкість до проникнення всередину нього іншого, більш міцного матеріалу [1]. Для визначення твердості матеріалу використовують різні методи – вдавнення, втискування, ударного навантаження, склерометрії, ультразвукової твердометрії.

Визначення твердості матеріалу та можливість порівняння матеріалів за показником твердості є запорукою коректного синтезу механічних конструкцій з урахуванням явищ тертя, тиску та зношення.

У першій половині XX ст. Альберт Шор розробив метод вимірювання твердості матеріалу, який базується на спеціальній шкалі та реалізується за допомогою спеціального засобу – дюрометра [2].

Метою роботи є визначення твердості куksоприймальних гільз протезів нижніх кінцівок на основі акрилових смол за методом Шора (втискування).

Результати дослідження

Дюрометри бувають двох типів: типу А для м'яких полімерів та еластомерів (навантаження 822 г) та типу D для твердих полімерів та еластомерів (навантаження 4536 г).

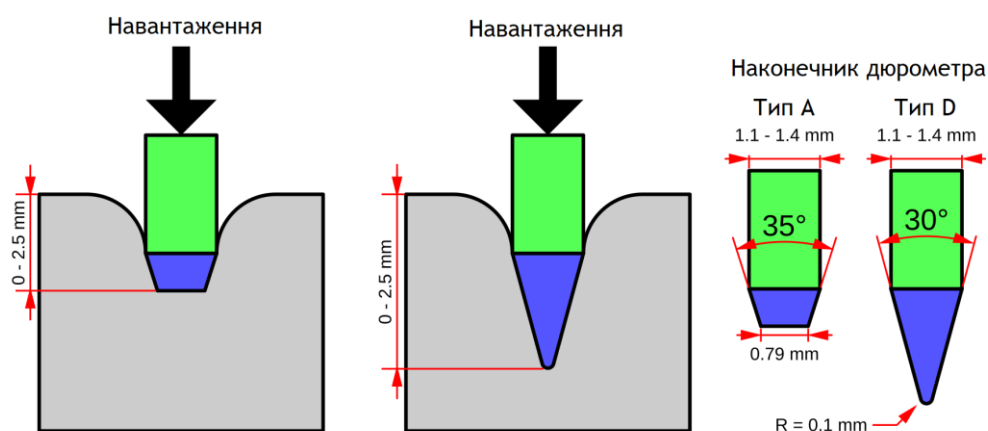


Рис. 1 – Візуалізація принципів вимірювання твердості за Шором (методом втискування) [3]

Вимірювання за Шором здійснюється наступним чином: наконечник дюрометра вдавлюють у матеріал під дією певної визначеної сили, після чого вимірюють глибину його проникнення. Цей спосіб є основним для вимірювання твердості каучуків, термопластів та термореактивних пластиків.

До основних шкал вимірювання твердості матеріалу за Шором відносять наступні: А, В, С, D, O та OO [4]. Кожну з них поділено на 100 поділок, які чисельно відображають твердість матеріалу: чим більшим є експериментально одержане значення, тим твердішим є матеріал [4].

Принцип визначення твердості матеріалу за Шором ґрунтується на тому, що експериментальний результат залежить від в'язко-еластичних властивостей матеріалу та його модуля пружності. Також він є обернено пропорційним до глибини втиснення: максимальне (2,5 мм) втиснення дюрометра у матеріал відповідає значенню 0 за Шором, а мінімальне (0 мм) – 100.

Найбільш поширені шкали вимірювання – шкали А та D [3]. Вони найкраще підходять для точного визначення твердості м'яких та твердих матеріалів відповідно.

Часте використання цих шкал дозволило вивести певні закономірності їхнього застосування. У випадку, коли випробовуваний за шкалою А матеріал дає результат, більший за 90 одиниць, рекомендується визначати його дійсну твердість за шкалою D. У випадку, коли випробовуваний за шкалою D матеріал дає результат, менший за 20 одиниць, рекомендовано використовувати шкалу А. Також застосовують таблицю перетворень значень між шкалами А та D (табл. 1) [3]:

Таблиця 1 – Співвідношення шкал А та D при визначення твердості матеріалу за Шором

Шкала	Значення														
A	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
D	6	7	8	10	12	14	16	19	22	25	29	33	39	46	58

Результати вимірювання твердості матеріалу за Шором мають особливе позначення: буквена частина (Shore A, Shore D) вказує на використану під час вимірювання шкалу та метод вимірювання, а число – на одержаний результат. До прикладу, гума на олівці має твердість 55 Shore A, м'яч для гольфу – 50 Shore D.

Біопротезування – це створення штучних механічних конструкцій, призначених функціонально доповнити або замінити ушкоджену або відсутню частину тіла людини (орган або систему органів).

Для створення біопротезів кінцівок використовують термопласти. З-поміж них часто обирають акрилові смоли, виконані на основі поліметилметакрилату [5]. Існують два види акрилових смол: термопластичні (здатні до зміни форми, оскільки вони розм'якшуються під час нагрівання) та термореактивні (нездатні до зміни форми під впливом високих температур). До основних властивостей акрилових смол відносять високу твердість, стійкість до зношування, значну біосумісність та легкість виготовлення [6].

У рамках нашого експериментального дослідження чотири гільзи протезів з подібних за властивостями акрилових смол буде піддано тесту Шора на твердість.

Метод формування зразків – литтєве пресування, полімеризаційна усадка – 22 %, модуль пружності – не менше 2000 МПа, без модифікації еластомерами, тип ініціації полімеризації – термічний, товщина стінки гільзи – 3,5...4 мм.

Відрізнялась міцність на вигин стінки S, що становила для зразків від 60 до 72 МПа.

Результати застосування дюрометра до досліджуваних акрилових смол за вище описаною методикою визначення твердості за Шором відображено у табл. 2..

З огляду на порівняння результатів вимірювання твердості акрилових смол, можна переконатися, що використання шкали А за Шором у вимірюваннях із такими матеріалами є некоректним, адже в такому разі одержані результати не відобразатимуть дійсного значення твердості матеріалу, адже показники перебувають на краю шкали А.

Таблиця 2 – Усереднені експериментальні показники твердості за Шором для чотирьох дослідних зразків акрилових смол

Номер зразка	Значення S	Шкала A	Шкала D
I	60 МПа	95	70
II	60 МПа	93	71,5
III	67 МПа	87	74
IV	72 МПа	97	75

Як видно з отриманих даних, при зростанні значення міцності на вигин стінки S на 12 МПа (20 %) зростання значення міцності склало лише 5 одиниць (близько 7 %).

Висновок

В роботі було розглянуто засади використання методу Шора (втискання) для визначення твердості матеріалів, що використовуються у протезуванні нижніх кінцівок за допомогою дюрометра, описано експериментально одержані дані за шкалами Shore A та Shore D для чотирьох зразків акрилових смол. Встановлено, що для визначення твердості акрилових смол доцільно використовувати дюрометр типу D. Відмінності у значенні твердості виявились незначними, навіть зважаючи на різницю у значенні міцності куксоприймальних гільз на вигин стінки, що свідчить про стабільні значення твердості для різних зразків матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Долгов О. М., Колосов Д. Л. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / . Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 70 с.
2. Blobner U. 100 Years of Shore A Hardness Testing. URL: https://o-ring-prueflabor.de/wp-content/uploads/2024/10/expert_knowledge_-_100_years_of_shore_a_.pdf
3. Shore A vs D: How Can You Use Durometer Scales to Determine Material Hardness? URL: <https://blog.darwin-microfluidics.com/hardness-shore-a-vs-shore-d/>
4. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. URL: https://yiqi-oss.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/aliyun/900100940/technical_file/file_202386.pdf
5. Zainuddin, N. A. M. N., Razak, N. A. A., Karim, M. S. A., Osman, N. A. A. Surface profile analysis of laminated transfemoral prosthetic socket fabricated with different ratios of epoxy resin and acrylic resin. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13 (1). P. 2664.
6. Campbell, A. I., Sexton, S., Schaschke, C. J., Kinsman, H., McLaughlin, B., Boyle, M. Prosthetic limb sockets from plant-based composite materials. *Prosthetics and orthotics international*. 2012. Vol. 36 (2). P. 181–189.

Гончар Богдан Віталійович – студент групи БМІ-226, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bogdgonchar@gmail.com

Штофель Дмитро Хуанович – канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: shtofel@vntu.edu.ua

Bogdan Honchar – student of Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogdgonchar@gmail.com

Dmytro Shtofel, PhD (Biomedical Engineering), Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: shtofel@vntu.edu.ua