

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-47>

**DETERMINATION OF THE CRITICAL PENETRATION  
VELOCITY OF ALUMINUM ALLOY TARGETS  
BY INDENTATION**

**ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДОМ ІНДЕНТУВАННЯ  
КРИТИЧНОЇ ШВИДКОСТІ ПРОБИТТЯ МІШЕНЕЙ  
З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ**

**Goncharuk V.A.,**

*PhD (Physics and Mathematics),  
Frantsevich Institute for Problems  
of Materials Science of the National  
Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

**Гончарук В.А.,**

*к.ф.-м.н., Інститут проблем  
матеріалознавства імені  
І.М. Францевича Національної  
академії наук України,  
м. Київ, Україна*

**Iefimov M.O.,**

*PhD (Physics and Mathematics),  
Frantsevich Institute for Problems  
of Materials Science of the National  
Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

**Єфімов М.О.,**

*к.ф.-м.н., Інститут проблем  
матеріалознавства імені  
І.М. Францевича Національної  
академії наук України,  
м. Київ, Україна*

**Goncharova I.V.,**

*PhD (Physics and Mathematics),  
Frantsevich Institute for Problems  
of Materials Science of the National  
Academy of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

**Гончарова І.В.,**

*к.ф.-м.н., Інститут проблем  
матеріалознавства імені  
І.М. Францевича Національної  
академії наук України,  
м. Київ, Україна*

**Tsivilitsin V.Yu.,**

*Researcher, Frantsevich Institute  
for Problems of Materials Science  
of the National Academy  
of Sciences of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine*

**Цивіліцин В.Ю.**

*науковий співробітник, Інститут  
проблем матеріалознавства імені  
І.М. Францевича Національної  
академії наук України,  
м. Київ, Україна*

Авторами запропонована методика визначення критичної швидкості пробиття мішеней  $v_{cr}$  в процесі статичних випробувань. Ця методика спрощує процес досліджень, оскільки балістичні випробування є досить складною процедурою і потребують досить багато коштів.

З метою прогнозування критичної швидкості пробиття  $v_{cr}$  матеріалу авторами було використано методику вимірювання твердості за Мартелем. В 1895 р. Мартелем було впроваджено поняття динамічної твердості. В експериментах використовувались сталеві кульки, які падали з певної висоти на гладку металеву поверхню і залишали сферичні відбитки на поверхні зразку. Було показано, що

$$\frac{A}{V} = const ,$$

де  $A$  – кінетична енергія кульки, а  $V$  – об'єм відбитку.

Це співвідношення має розмірність тиску – Па, тому його можна розглядати як динамічну твердість металів [2,3].  $HMR$  твердість за Мартелем визначають зі співвідношення:

$$HMR = \frac{A}{V} , \quad (1)$$

де  $A$  – робота інденування,  $V$  – об'єм відбитку.

Твердість за Мартелем  $HMR$  та твердість за Меїром  $HM$  (середній контактний тиск під час вдавнення) характеризують однаковий процес та співвідносяться як:

$$HMR = K \cdot HM , \quad (2)$$

де  $K$  – безрозмірний параметр.

В роботі процес проникнення кінетичного ударника (КЕР) в мішень розглядається як "глибоке" інденування за умовою, що КЕР не деформується. В статичних умовах твердість за Мартелем визначали за допомогою методу інструментального інденування. Досліджували проникнення КЕР в мішені з трьох алюмінієвих сплавів. Товщина листа мішені становила 25 мм. Маса КЕР  $m = 7,9$  г, а діаметр каналу проникнення практично співпадав з діаметром КЕР  $d = 7,62$  мм.

Об'єм каналу проникнення ( $V$ ) визначався за формулою:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h , \quad (3)$$

де  $d$  – діаметр каналу проникнення,  $h$  – товщина мішені.

«Статичну» твердість за Мартелем  $HMR_s$  визначали на приладі «Мікрон-Гамма» за кривими інденування тригранним пірамідальним інденатором в координатах «навантаження – глибина занурення інденатору» [4]. Робота інденування визначалася як площа під відповідною кривою. Об'єм інденування визначався:

$$V = \frac{Sh}{3} ,$$

де  $S$  – площа проекції відбитку,  $h$  – глибина занурення інденатору.

Кінетична енергія КЕР визначалась як:

$$E = \frac{mv^2}{2},$$

де  $v$  – швидкість КЕР перед зіткненням з мішенню.

Таким чином, динамічну твердість за Мартелем визначали:

$$HMR_d = \frac{mv^2}{2V}. \quad (4)$$

Приймаючи до уваги формули (3) та (4) можна визначити критичну швидкість пробиття, вважаючи глибину проникнення рівною товщині мішені:

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{HMR_d \pi d^2 h}{2m}}. \quad (5)$$

За формулою (6) за відомою швидкістю КЕР ( $v$ ) можна визначити критичну товщину мішені ( $h_{cr}$ ):

$$h_{cr} = \frac{2mv^2}{HMR_d \pi d^2}. \quad (6)$$

Результати досліджень зведені в таблицю 1.

Таблиця 1

**Хімічний склад, твердість за Меїром ( $HM$ ) та Мартелем (статична ( $HMR_s$ ) та динамічна ( $HMR_d$ )) та критична швидкість пробиття мішеней  $v_{cr}$  (експериментальна та розрахункова за формулою (5))**

№	Хімічний склад	$HM$ , ГПа	$HMR_s$ , ГПа	$HMR_d$ , ГПа	$v_{cr}$ , м/с	
					експериментальна	розрахункова
#1	Al-4,45Mg-0,7Mn-0,13Cr	0,99	1,03	1,00	545	562
#2	Al-4,45Mg-0,4Mn-0,3Sc-0,1Zr	1,48	1,42	1,38	638	654
#3	Al-6Zn-2,3Mg-1,5Cu-0,3Sc-0,1Zr	2,07	2,07	2,0	780	756

Таким чином, проникнення недеформівним кінетичним індентором (КЕР) в цілому можна розглядати як “глибоке” індентування. На прикладі алюмінієвих сплавів було показано, що динамічна твердість за Мартелем  $HMR_d$  може бути використана для описання цього процесу. Можна досить

точно розрахувати критичну швидкість пробиття  $v_{cr}$  мішені із заданою товщиною. Відносне відхилення експериментальних значень критичної швидкості пробиття від розрахованих не перевищує 3 %.

#### Перелік використаних джерел

1. Martell R. Commission de Methodes d'Essai des Materiaux de Construction. Paris, 1895. 261 p.
2. Tabor D. The hardness of metals. Oxford: Clarendon Press, 1951. 130 p.
3. Kohlhöfer W., Penny R. K. Dynamic hardness testing of metals. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 1995. Vol.61. P. 65–75.
4. Ігнатович С.Р., Закієв І.М. Прилад для дослідження фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалів в манометричному діапазоні. *Приладобудування 2005: стан і перспективи*. Збірник доповідей 4-ої наук. техн. конф. (Київ, 26-27 квітня 2005 р.). Київ, НТТУ «КПІ», 2005. С. 225.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-48>

## REVIEW OF 3D PRINTING TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

### ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ В МАШИНОБУДУВАННІ

**Gorobets D.S.,**

*Student (group PM2211), Ukrainian  
State University of Science and  
Technology, Dnipro, Ukraine*

**Горобець Д.С.,**

*студент гр. ПМ2211, Український  
державний університет науки  
і технологій, м. Дніпро, Україна*

**Plitchenko S.O.,**

*PhD (Engineering),  
Associate Professor, Ukrainian State  
University of Science and Technology,  
Dnipro, Ukraine*

**Плітченко С.О.,**

*к.т.н., доцент,  
Український державний  
університет науки і технологій,  
м. Дніпро, Україна*

На сьогоднішній день однією з найперспективніших технологій по створенню елементів деталей у машинобудуванні вважається 3D-друк. Принцип створення тривимірних виробів за цієї технології заснований