

Janusz Kolenda
Lesław Kyzioł
Akademia Marynarki Wojennej

PORÓWNAWCZA MIARA DYNAMICZNEJ TWARDOŚCI METALI

STRESZCZENIE

Artykuł dotyczy oszacowania dynamicznej twardości metali na podstawie badań przy użyciu węgelnika. Jako porównawczą miarę tej właściwości zaproponowano wartości ilorazu energii kinetycznej młota i objętości wgłębienia. Zdefiniowano warunki pomiarów.

Słowa kluczowe:

uderzenie, wgłębienie, twardość metali.

WSTĘP

Właściwości mechaniczne metali są ważnymi cechami decydującymi o możliwości ich zastosowania do budowy określonego typu maszyn i konstrukcji. Z tego względu metale poddaje się badaniom, które mają na celu między innymi stwierdzenie ich odporności na działanie obciążeń mogących wystąpić w trakcie eksploatacji. Z uwagi na statyczny, dynamiczny i/lub cykliczny charakter różnych obciążeń opracowano szereg metod badawczych. Do ważniejszych badań statycznych należą próby rozciągania, ściskania, zginania i twardości, do badań dynamicznych – próby udarności, a do cyklicznych – próby zmęczeniowe [7].

Z powodu mniejszej dokładności pomiaru twardości twardościomierze dynamiczne wykorzystuje się rzadziej aniżeli twardościomierze statyczne [2]. Dzieli się je na twardościomierze, którymi określa się twardość poprzez pomiar kąta wychylenia młota po uderzeniu oraz twardościomierze, za pomocą których uzyskuje się trwałe odciski. W tej grupie wyodrębnić można twardościomierze porównawcze (np. młotek Poldiego), których zasada działania polega na równo-

czesnym dynamicznym wgniataniu stalowej kulki w badany materiał i w próbkę wzorcową o znanej twardości statycznej.

Rozpowszechnienie statycznych pomiarów twardości tłumaczy się łatwością ustalenia związku między wynikami pomiarów twardości a wynikami prób innych właściwości mechanicznych oraz szybkością i dokładnością prób twardości wykonywanych w bardzo małej objętości metalu. Próba ta polega na wgniataniu wgłębnika poprzez określony czas i przy określonym obciążeniu w gładką powierzchnię metalu, co powoduje miejscowe odkształcenie trwałe w kształcie odcisku wgłębnika. Tak więc, twardość można określić jako miarę oporu metalu przy wciskaniu weń wgłębnika lub miarę oporu metalu przeciw trwałemu odkształceniu powstającemu wskutek wciskania wgłębnika. Brak ścisłej definicji twardości jest przyczyną powstania różnych metod i odmian jej pomiaru. Idealna metoda, która wyparłaby wszystkie inne, nie została dotychczas wynaleziona [1]. Zależnie od wartości obciążenia, materiału i kształtu wgłębnika oraz wymiaru odcisku rozróżnia się pomiary twardości metali sposobami Brinella, Rockwella i Vickersa. Przy pomiarze sposobem Brinella wg PN-91/H-04350 twardość metalu HB wyznacza się jako stosunek obciążenia wgłębnika (kulki ze stali hartowanej lub z węglików spiekanych) siłą F do powierzchni czaszy odcisku ze wzoru:

$$HB = \frac{0,102 F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad (1)$$

gdzie: F – obciążenie wgłębnika [N];
 d – średnica odcisku [mm];
 D – średnica kulki [mm].

Z kolei przy pomiarze sposobem Vickersa wg PN-91/H-04360 twardość metalu HV określa się stosunkiem siły F przyłożonej do wgłębnika w kształcie ostrosłupa o podstawie kwadratowej do powierzchni poboczniczy odcisku ze wzoru:

$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}, \quad (2)$$

gdzie d – średnia arytmetyczna wartości przekątnych odcisku [mm].

Należy podkreślić, że tak zdefiniowana twardość nie jest stałą metalu i porównywanie twardości różnych metali jest możliwe tylko z pewnymi zastrzeżeniami [7].

Wynika to między innymi z prawa Meyera [1], które wiąże siłę F obciążającą wgłębnik w kształcie kulki ze średnicą odcisku d wzorem:

$$F = a d^n, \quad (3)$$

gdzie: a, n – stałe zależne od materiału.

Podobne zastrzeżenia dotyczą znanych twardościomierzy dynamicznych oraz zaproponowanego w niniejszej pracy sposobu określenia dynamicznej twardości metali. Tym niemniej, sposób ten może stanowić źródło dodatkowej informacji, której ocenę ułatwi poniższy opis próby udarności.

PRÓBA UDARNOŚCI

W badaniach dynamicznej wytrzymałości materiałów najczęściej stosowana jest próba udarności. Próbę tę wykonuje się na młotach wahadłowych typu Charpy, przeznaczonych do udarowego łamania/zginania próbek podpartych swobodnie na obu końcach. Próbkę z karbem umieszcza się na podporach młota tak, aby oś karbu leżała w płaszczyźnie ruchu młota, karb był skierowany w stronę podpór, a próbka przylegała do podpór. W czasie próby początkowa energia wahadła młota, wychylnego o zadany kąt, przy jego swobodnym spadku zostaje zużyta na złamanie próbki i na zamianę w energię kinetyczną, powodującą wychylenie wahadła młota po złamaniu próbki na drugą stronę pionowej płaszczyzny, względem której było początkowo wychylone wahadło. Należy przy tym zaznaczyć, że opór uderzanej próbki przenosi się na jej podpory, powodując deformacje sprężyste (drgania) i dynamiczne obciążenie podstawy młota, a związana z tym energia nie jest uwzględniana w obliczeniach pracy uderzenia i udarności. Jako udarność KC przyjmuje się pracę uderzenia K odniesioną do powierzchni początkowej S_0 przekroju poprzecznego próbki w miejscu karbu:

$$KC = \frac{K}{S_0}, \quad [J / cm^2], \quad (4)$$

gdzie: $K = K_0 - K_1$ (5)

K_0 – początkowa energia wahadła;

K_1 – energia wahadła po złamaniu próbki.

Tak przyjęte określenie udarności nie ma podstaw fizycznych, a przy badaniu próbek z karbem nie występuje prawo podobieństwa. Stąd udarność można porównywać jedynie w odniesieniu do jednego rodzaju i wymiarów próbek. Ten niedostatek jest przyczyną braku metod obliczeń konstrukcji, w których w sposób bezpośredni wykorzystano by udarność. Dlatego aktualnie często wyznacza się tylko wartość K dla danego rodzaju i wymiarów próbek [7].

W równości (5) pominięto straty energii kinetycznej wahadła wynikające ze sprężystych ugięć (drgań) elementów młota. Dlatego koniecznym jest, aby impuls uderzenia nie był przekazywany w osi wahadła, co nastąpi wówczas, gdy środek ostrza młota będzie się znajdował w środku uderzenia. W związku z tym winna zachodzić zależność [3]:

$$y_D = \frac{i_z^2}{y_C}, \quad (6)$$

gdzie: y_D – odległość ostrza noża od osi obrotu wahadła;
 y_C – odległość środka ciężkości wahadła od osi obrotu wahadła;
 i_z – promień bezwładności wahadła względem osi obrotu.

Spełnienie zależności (6) nie eliminuje jednak przekazywania impulsu uderzenia podporom próbki i podstawie młota.

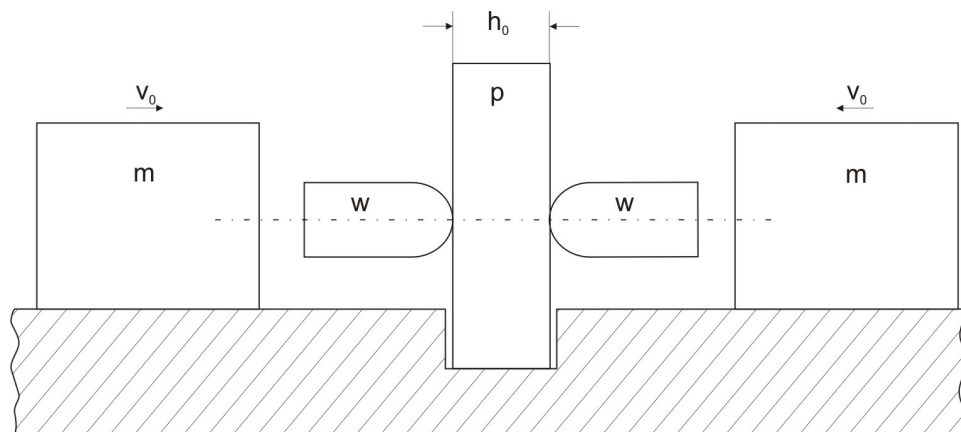
SPOSÓB OSZACOWANIA DYNAMICZNEJ TWARDOŚCI METALI PRZY UŻYCIU WGLĘBNIKA

Brak jednoznacznej definicji statycznej twardości pociąga za sobą niemożność ścisłego określenia pojęcia dynamicznej twardości metali. Dodatkowymi czynnikami komplikującymi próby scharakteryzowania zachowania się metali przy dynamicznych obciążeniach przy wykorzystaniu wartości powierzchni trwałego odcisku jest nie tylko wpływ różnych stałych materiałowych, lecz także prędkości deformacji i kształtu wglębniaka [4, 5, 8]. W celu umożliwienia porównawczej oceny dynamicznej twardości różnych metali przy użyciu młota i wglębniaka ustala się warunki prób, a w szczególności:

- prędkość uderzenia młota we wglębniak, v_o ;
- energię kinetyczną młota w chwili uderzenia we wglębniak, K_o ;

- wielkość i kształt węgelnika;
- wymiary i kształt próbki;
- temperaturę.

Wskazanim byłoby ponadto wyeliminowanie przenoszenia impulsu uderzenia na podpory próbki. Biorąc pod uwagę powyższe założenia, zaproponowano sposób i urządzenie do ich realizacji [6]. Sprowadza się to do jednoczesnego uderzenia dwóch młotów w identyczne węgelniki z obu stron próbki (rys. 1.).



Rys. 1. Konfiguracja młotów (m), węgelników (w) i próbki (p) w chwili przed uderzeniem

W wyniku uderzenia węgelniki zagłębiają się w próbkę, powodując, że jej początkowa grubość h_0 zmniejsza się do wartości h_1 w najcieńszym miejscu (w osi węgelników). Przyjmując kulisty kształt obu węgelników (lub cylindryczny kształt z zakończeniem kulistym), oznacza to dwa węgłnienia, każde o objętości:

$$V = \frac{2}{3} \pi r^2 h, \quad (7)$$

gdzie:
$$h = \frac{1}{2}(h_0 - h_1) \quad (8)$$

r – promień kulki.

Jako miarę dynamicznej twardości HD proponuje się wartość wyrażenia:

$$HD = \frac{K_o}{V}, [J / cm^3]. \quad (9)$$

Dla określenia warunków pomiaru można uzupełnić symbol HD liczbami oznaczającymi średnicę i materiał kulki, masę młota i prędkość uderzenia. Dla przykładu, zapis $HD_{5w/2/6}$ może oznaczać twardość dynamiczną zmierzoną przy użyciu kulki o średnicy 5 mm z węglików spiekanych, młota o masie 2 kg i prędkości uderzenia 6 m/s.

UWAGI KOŃCOWE

Zaproponowany w niniejszej pracy układ pomiarowy ma swe źródło w koncepcji dwuwahadłowego młota do pomiaru współczynnika restytucji [3]. Pozwala on na odizolowanie podstawy młota od uderzeń, a tym samym na wyeliminowanie dodatkowych (niemierzalnych) strat energii i, co za tym idzie, na zwiększenie dokładności pomiarów. Ograniczenie pomiarów do grubości próbki przed i po uderzeniu również służy temu celowi, gdyż pomiary powierzchni odcisku mogą być obciążone błędem wynikającym między innymi z wybrzuszeń na brzegach wgniecenia. Nie wyklucza to możliwości oszacowania powierzchni odcisku ze wzoru:

$$S = 2\pi r h, \quad (10)$$

a także zastąpienia próbki p na rysunku 1. przez dwie próbki – wzorcową i badaną.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Błazewski S., Mikoszewski J., *Pomiary twardości metali*, WNT, Warszawa 1981.
- [2] Boruszak A., Sykulski R., Wrześniowski K., *Wytrzymałość materiałów. Doświadczalne metody badań*, PWN, Warszawa – Poznań 1984.
- [3] Gryboś R., *Teoria uderzenia w dyskretnych układach mechanicznych*, PWN, Warszawa 1969.
- [4] Johnson J. N., *Dynamic fracture and spallation in ductile materials*, „Journal Applied Physics”, 1981, No 52, pp. 2812 – 2824.
- [5] Kim S. J., Goo N. S., *Dynamic contact response of laminated composite plates according to the impactors shapes*, „Int. Journal of Impact Engineering”, 1997, Vol. 65, No 1.
- [6] Kolenda J., Kyzioł L., *Sposób i urządzenie do badania odporności udarowej materiałów*, zgłoszenie patentowe AMW (w przygotowaniu).

- [7] *Metaloznawstwo*, red. M. Głowacka, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1996.
[8] Zukas J. A., *High velocity impact dynamics*, John Wiley & Sons Inc., U.K., 1990.

ABSTRACT

The paper deals with the assessment of dynamic hardness of metals on the basis of tests conducted with an indenter. As a comparative measure of this property, the dynamic indentation hardness is proposed which can be evaluated as the ratio of kinetic energy of the hammer and the indentation volume. The conditions of reliable measurements are defined.

Recenzent prof. dr hab. inż. Witold Precht