

Roman Jędrzejewski
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi

WZORCOWANIE MŁOTÓW WAHADŁOWYCH CHARPY'EGO

W pracy omówiono:

- metodę „bezpośrednią” sprawdzania młotów wahadłowych Charpy'ego,
- parametry mające wpływ na próbę udarności i sposób ich obliczania,
- wyznaczanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu młotów wahadłowych.

1. WSTĘP

Materiały stosowane w produkcji muszą spełniać określone wymagania wytrzymałościowe. Obok najczęściej sprawdzanych własności mechanicznych jak wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, zginanie czy twardość odbiorcy materiału niejednokrotnie stawiają wymagania dotyczące udarności. Najbardziej rozpowszechnionym urządzeniem do sprawdzania udarności jest młot wahadłowy Charpy'ego.

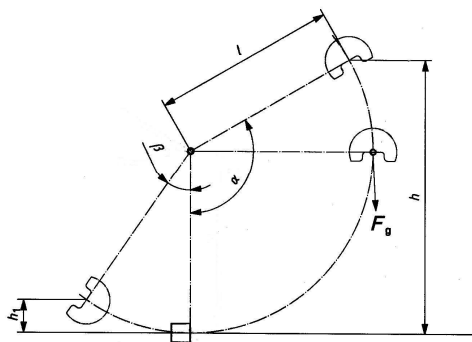


Rys.1 Młot wahadłowy Charpy'ego

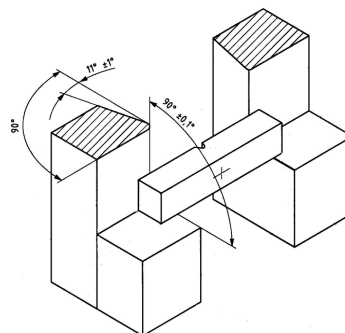
W Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi od lat dokonujemy pomiarów tychże młotów, a w ubiegłym roku uzyskaliśmy akredytację Polskiego Centrum Akredytacyjnego na wzorcowanie młotów wahadłowych Charpy'ego.

2. WZORCOWANIE MŁOTÓW WAHADŁOWYCH CHARPY'EGO

Próba udarowa Charpy'ego polega na przełamaniu próbki (rys.3) wykonanej ze sprawdzanego materiału po uderzeniu spadającym łbem wahadła młota (rys.2).



Rys.2 Schemat działania młota Charpy'ego



Rys.3 Miejsce ułożenia próbki

Wahadło w pozycji początkowej (podniesione) posiada pewną energię potencjalną. Opadając wahadło zamienia energię potencjalną na kinetyczną i uderza w próbkę. Część energii zostaje pochłonięta przez próbkę przy jej przełamaniu, natomiast pozostała pozwala na dalszy obrót wahadła o kąt β , który stanowi miarę odporności próbki na uderzenie. Im mniejszy kąt β , tym więcej energii pochłonięła próbka. Odczyt następuje na tarczy młota wahadłowego (rys.4) wyskalowanej w jednostkach kąta lub najczęściej od razu w jednostkach pochłoniętej energii.



Rys.4 Tarcza z podziałką

Naszym zadaniem jest sprawdzenie wskazań młota Charpy'ego. Dokonujemy tego metodą określoną przez normę jako „bezpośrednią” tzn. przez bezpośredni pomiar wszystkich parametrów młota mających wpływ na jego wskazania.

Energię pochłoniętą jako różnicę energii potencjalnej wahadła między położeniem początkowym (kąt α – zazwyczaj 150° - 160°) a końcowym (kąt β) możemy obliczyć z równania:

$$K = F_g \cdot l \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (1)$$

gdzie: (patrz rys. 2)

F_g – siła ciężkości wahadła

l – długość wahadła

α – kąt opadania wahadła

β – kąt uniesienia wahadła

Dokonyjemy pomiaru siły ciężkości F_g , długości l , kąta α oraz w kilku punktach kąt β (gdy wahadło podniesione jest o taki kąt, że wskazania na tarczy z podziałką wynoszą odpowiednio 0%, 10%, 20%, 30%, 50% i 80% energii nominalnej młota. Energia nominalna jest to energia określona przez producenta, powinna być równa energii potencjalnej wahadła w położeniu początkowym (najczęściej używanymi młotami Charpy’ego są młoty o energii nominalnej 300J). Wskazania młota uznajemy za poprawne, jeśli różnice między energią wyliczoną na podstawie naszych pomiarów z równania (1), a wartościami na tarczy z podziałką nie przekraczają wartości określonych wzorami:

$$|K - K_S| \times 100\% \leq 0,5\% K_N \quad \text{dla } K_S < 50\% K_N \quad (2)$$

$$|K - K_S| \times 100\% \leq 1\% K_S \quad \text{dla } 50\% K_N \leq K_S \leq 80\% K_N \quad (3)$$

gdzie:

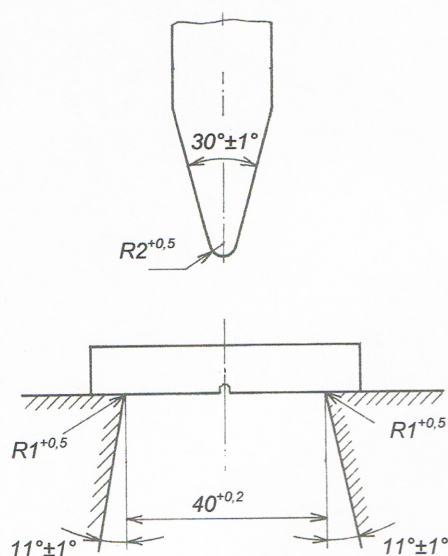
K_S – energia wskazywana na tarczy z podziałką

K_N – energia nominalna młota

Z reguły wskazania młota spełniają powyższy warunek. Przekroczenie dopuszczalnej odchyłki może być wynikiem np. przypadkowego przekręcenia tarczy z podziałką.

Pomiary siły ciężkości, długości i kąta położenia wahadła pozwalają nam na określenie energii pochłoniętej przy przełamaniu próbki. Natomiast dla określenia uderzalności materiału potrzeba ustalenia szeregu innych parametrów. Wiadomo, że próbka musi odpowiadać swoim kształtem i wymiarami wymaganiom odpowiedniej normy. Również parametry geometryczne poszczególnych elementów młota wahadłowego nie mogą przekraczać dopuszczalnych odchyłek. Sprawdzeniu podlegają między innymi wypoziomowanie płaszczyzny, na której leży próbka, równoległość do niej osi obrotu wahadła, prostokątność płaszczyzny przejmującej uderzenie i płaszczyzny obrotu wahadła itd.

Ściśle określone są również: rozstaw tzw. kowadeł podpierających próbkę, ich promień zaokrąglenia oraz wymiary noża wahadła uderzającego w próbkę (rys. 5)



Rys.5 Kowadła i nóż wahadła

Ponadto wpływ na próbę uderzeniową mają prędkość uderzenia wahadła w próbkę, długość zredukowana wahadła, straty energii spowodowane tarciami.

Prędkość uderzenia wynika z wysokości h (rys. 2) zawieszenia wahadła i określona jest wzorem:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} \quad (4)$$

g – przyspieszenie ziemskie w miejscu ustawienia młota

l – długość wahadła tzn. odległość od osi obrotu do punktu na nożu uderowym, który uderza w środek próbki

Aby wynik próby był miarodajny wyliczona prędkość uderzenia powinna się zawierać w granicach określonych przez normę dla danego materiału, np. dla metali jest to 5 m/s do 5,5 m/s.

Długość zredukowaną będziemy mogli określić znając okres t wahań. Po wychyleniu wahadła z pozycji pionowej o kąt nie większy niż 5° dokonujemy pomiaru stu lub pięćdziesięciu wahań i obliczamy średni czas jednego wahań. Teraz możemy wyznaczyć długość zredukowaną stosując wzór:

$$l_1 = \frac{gt^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

Obliczenie długości zredukowanej jest istotne ze względu na to, że jest to jednocześnie odległość od osi obrotu do tzw. środka uderzenia. Jest to punkt na próbce, na który działa wypadkowa siły uderzenia. Powinien znajdować się blisko środka próbki. Norma określa to poprzez warunek:

$$l_1 = 0,995 \cdot l \pm 0,005 \cdot l \quad (6)$$

Kolejnym krokiem, który musimy wykonać przy wzorcowaniu młotów wadlowych jest oszacowanie strat energii. Podczas obrotu wahadła powstają pewne straty energii wywołane oporem powietrza, tarciami w łożyskach wahadła i obrotem wskazówki biernej zabieranej przez wahadło po przełamaniu próbki. Pomiarów tych dokonujemy pozwalając na swobodny obrót wahadła, bez udziału próbki.

Na początku szacujemy straty spowodowane tarciami wskazówki biernej. Przy pierwszym obrocie wahadło zabiera wskazówkę bierną ustawiając ją w pobliżu maksymalnego kąta podniesienia, przy drugim, gdy nie ma już oporów tarcia wskazówki, podpycha ją nieco wyżej. Różnica energii wskazywanej przy pierwszym i drugim położeniu wskazówki określa jej opory tarcia:

$$p = K_1 - K_2 \quad (7)$$

Pozostawiamy wskazówkę w jej ostatnim położeniu, po czym zwalniając wahadło, pozwalamy na wykonanie dziesięciu półwahań. Gdy rozpocznie się jedenaste półwahań, przestawiamy wskazówkę o 5% maksymalnej wartości wskazania, pozwalając na ponowne podepchnięcie wskazówki. Różnica energii między obecnym, a poprzednim wskazaniem, podzielona przez 10 stanowi o stratach tarcia powietrza i łożysk wahadła:

$$p' = 1/10(K_3 - K_2) \quad (8)$$

Całkowite straty $p + p'$ nie powinny przekroczyć 0,5% energii nominalnej K_N .

Ponadto należy uwzględnić straty, wprowadzając korektę do wyliczonej uprzednio energii pochłoniętej. Przyjmując zasadę proporcjonalności tzn. że straty są proporcjonalne do kąta obrotu jakie wykonało wahadło, możemy dla danego kąta podniesienia β wyliczyć korektę strat wg równania:

$$p_{\beta} = p \frac{\beta}{\alpha} + p' \frac{\alpha + \beta}{2\alpha} \quad (9)$$

3. SZACOWANIE NIEPEWNOŚCI POMIARU

Na błąd wskazania młota wahadłowego wpływ mają wszystkie omówione w poprzednim punkcie czynniki. W teorii niepewność złożona błędów jest wypadkową niepewności określenia wszystkich tych wielkości. W praktyce przyjmuje się, że o ile parametry geometryczne, prędkość uderzenia, odległość od środka uderzenia mieszczą się w granicach określonych przez normę, ich wpływ na niepewność złożoną jest pomijalny. Jako podstawowy wynik pomiaru przyjmujemy odchyłkę wskazania młota wahadłowego określoną równaniem:

$$S = K_s - K \quad (10)$$

Energię pochłoniętą K wyznaczamy wg równania (1) poprzez pomiar F_g , l , β i α . Niepewność pomiaru $u(K)$ możemy zatem przedstawić w następujący sposób:

$$u(K)^2 = c_F \cdot u^2(F_g) + c_L \cdot u^2(l) + c_{\beta} \cdot u^2(\beta) + c_{\alpha} \cdot u^2(\alpha) \quad (11)$$

gdzie $u(F_g)$, $u(l)$, $u(\beta)$, $u(\alpha)$ są to niepewności pomiaru siły, długości i kąta, natomiast współczynniki wrażliwości odpowiednio:

$$c_F = \frac{\partial K}{\partial F_g} = l \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (12)$$

$$c_l = \frac{\partial K}{\partial l} = F_g \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (13)$$

$$c_{\beta} = \frac{\partial K}{\partial \beta} = -F_g \cdot l \cdot \sin \beta \quad (14)$$

$$c_{\alpha} = \frac{\partial K}{\partial \alpha} = F_g \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (15)$$

Niepewność energii wskazywanej związana jest z dokładnością odczytu i zależy od rozdzielczości podziałki umieszczonej na tarczy młota wahadłowego. Wyznaczamy ją z równania:

$$u(K_s) = \frac{a}{2\sqrt{3}} \quad (16)$$

gdzie a – rozdzielczość podziałki

Po obliczeniu powyższych składowych niepewność pomiaru odchyłki wskazania młota wahadłowego wyznaczamy jako niepewność złożoną z równania:

$$u(S) = \sqrt{u(K_s)^2 + u(K)^2} \quad (17)$$

4. PODSUMOWANIE

Wyniki pomiarów udarności młotem wahadłowym Charpy'ego zależą od szeregu czynników – parametrów geometrycznych, prędkości uderzenia, odległości od środka uderzenia, oporów tarcia . Aby były porównywalne z wynikami uzyskanymi na innych młotach wszystkie zmierzone i obliczone wielkości powinny mieścić się w granicach określonych przez normę.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 148-2 : 2009 - „Metale-Próba udarności Charpy'ego – część 2: Sprawdzanie młotów wahadłowych”
2. Zarządzenie nr 144 Prezesa GUM w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o młotach wahadłowych typu Charpy'ego