



Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej
Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska



www.imio.polsl.pl



fb.com/imiopolsl



twitter.com/imiopolsl

LABORATORIUM WYTRZYMAŁOŚCI MATERIAŁÓW

Próby uderowe

1. CEL ĆWICZENIA

- ♦ Zapoznanie się ze sposobami przeprowadzania i opracowania wyników prób udarowych:
 - a) udarowej próby zginania (próby udarności);
 - b) udarowej próby rozciągania.
- ♦ Rozpoznawanie i określanie rodzajów złomów.

2. WPROWADZENIE

Obciążenia, jakim poddawane są układy mechaniczne – maszyny, elementy maszyn, konstrukcje budowlane itp. – mają często charakter szybkozmienny, dynamiczny. Doświadczenie uczy, że różne materiały wykazując przy obciążeniach statycznych podobne własności wytrzymałościowe przy obciążeniu udarowym mogą wykazywać zasadniczo różne skłonności do pęknięcia, a przez to ich charakterystyki statyczne tracą swą ważność dla oceny zdolności przenoszenia tego typu obciążeń. Z tego względu jako bardziej miarodajne dla oceny własności wytrzymałościowych w warunkach obciążeń udarowych przyjmuje się wyniki prób prowadzonych na umownie przyjętych próbkach obciążanych udarowo – wyniki tzw. prób udarowych.

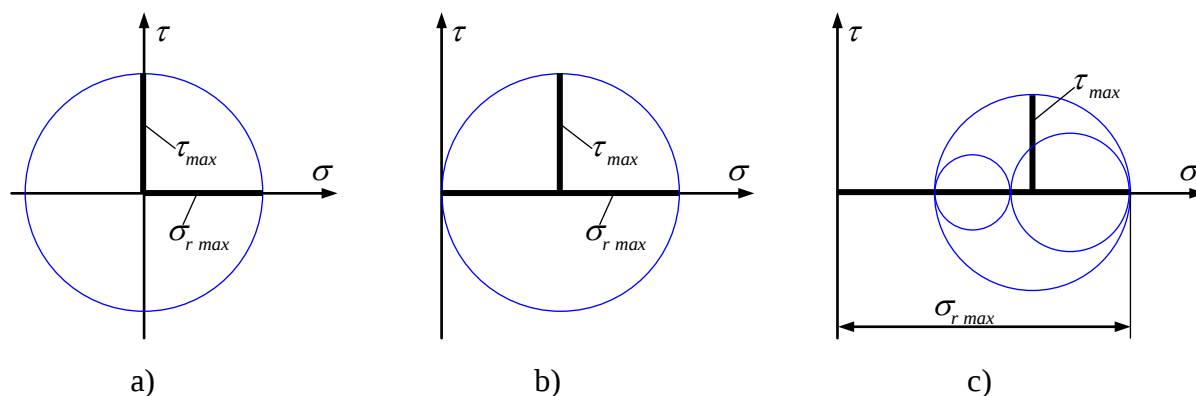
W zależności od rodzaju wywołanego w badanej próbce stanu naprężenia wyróżnia się próby udarowe:

- zginania;
- rozciągania;
- ściskania;
- skręcania.

Wynikiem próby jest zniszczenie próbki mające charakter złomu. Złomy klasyfikuje się na rozdzielcze, plastyczne i mieszane.

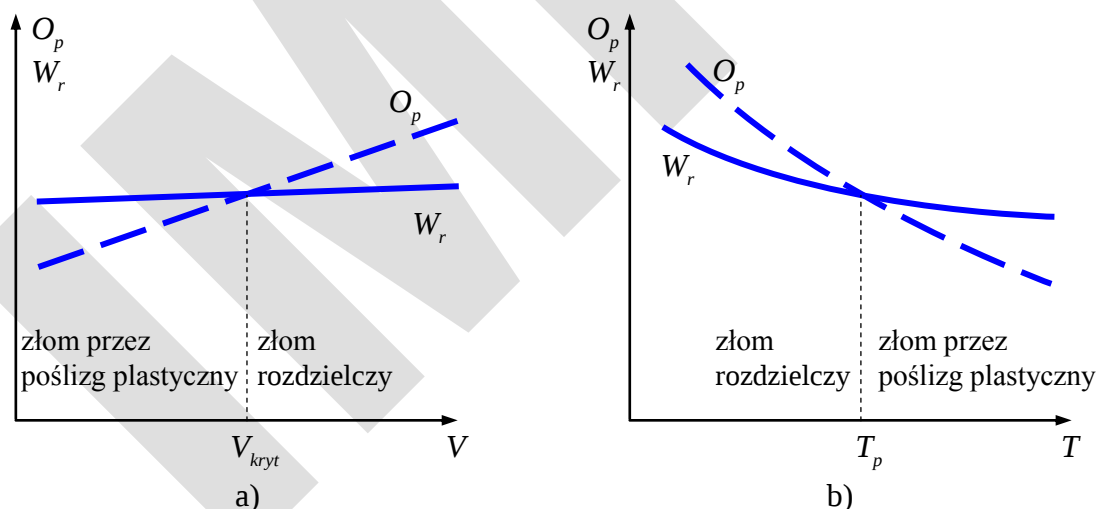
Ze *złomem rozdzielczym* mamy do czynienia, gdy naprężenia rozciągające osiągną wartość odpowiadającą wytrzymałości granicznej na rozciąganie, zanim naprężenia styczne osiągną wartość graniczną wytrzymałości na odkształcenia postaciowe. Powierzchnia pęknięcia rozdzielczego przebiega najczęściej w płaszczyznach łupliwości wewnątrz kryształu, jest błyszcząca i ma charakter ziarnisty. Gdy naprężenie styczne wcześniej przekroczy opór poślizgu, następuje trwałe plastyczne odkształcenie próbki, któremu towarzyszy umocnienie, przy którym opory poślizgu rosną szybciej niż wytrzymałość rozdzielcza. Jeżeli dalszy wzrost naprężeń mimo to powoduje wcześniejsze przekroczenie granicznej wytrzymałości na odkształcenie postaciowe niż na rozciąganie, to następuje zniszczenie przez poślizg, wynikiem którego jest *złom plastyczny* – ciągliwy. Powierzchnia złomu ma strukturę włóknistą. Jednoczesne występowanie lokalnych złomów rozdzielczych i plastycznych stanowi *złom mieszany*. Na rodzaj występującego złomu istotny wpływ ma rodzaj obciążenia. Na rys. 1 przedstawione są koła Mohra odpowiadające stanom naprężenia w pręcie skręcanym (a), rozciągany (b) i poddanym złożonemu stanowi obciążenia (c).

Widoczne jest, że w pierwszym przypadku największa wartość naprężeń stycznych jest równa największej wartości naprężeń normalnych, w drugim wartość ta jest równa połowie największej wartości naprężeń normalnych, w trzecim przypadku stosunek ten może być jeszcze mniejszy. Stąd też niebezpieczeństwo złomu rozdzielczego kolejno w tych przypadkach jest coraz znaczniejsze.



Rys.1. Koła Mohra odpowiadające stanom naprężenia w pręcie:
a) skręcanym; b) rozciągającym; c) w złożonym stanie obciążenia

W metalach wraz ze wzrostem prędkości odkształcenia V znacznie rośnie opór poślizgu O_p . Wiąże się to z ruchem dyslokacji, który towarzyszy temu zjawisku. Niewielki natomiast jest wpływ prędkości odkształcenia na wytrzymałość rozdzielczą. Stąd też należy się spodziewać pewnej krytycznej wartości prędkości odkształcenia V_{kryt} , powyżej której nastąpi złom rozdzielczy (rys. 2a). W stalach nieaustenicznych i stopach cynku spadek temperatury próby wiąże się ze znaczniejszym wzrostem granicznych naprężeń stycznych niż naprężeń normalnych. Stąd graniczna temperatura T_p , poniżej której następuje złom rozdzielczy (rys. 2b). Miedź, mosiądz, brąz, aluminium, stal austeniczna nie wykazują kruchości na zimno. Na rodzaj złomu ma również wpływ sposób obróbki badanego materiału.



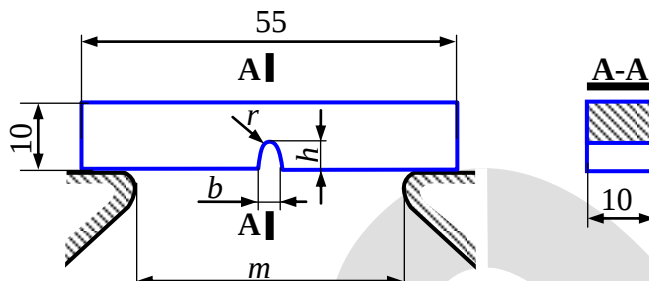
Rys. 2. Zależność oporu poślizgu O_p i wytrzymałości rozdzielczej W_r od:
a) prędkości odkształcenia V ; b) temperatury próby T

Próby udarowe prowadzi się najczęściej w celu określenia ciągliwości stali i odlewów stalowych, nadają się do kontroli jakości obróbki cieplnej i wykrywania skłonności do kruchego pęknięcia, a także do badania spoin czołowych. Wyniki prób nie stanowią podstawy obliczeń wytrzymałościowych. Wyniki te zależą od wielu warunków próby, umyślnie zaostrożonych warunków pomiarów i mają jedynie wartość porównawczą ze względu na przyjęte stałe warunki próby. W szczególności decydujący wpływ na wyniki prób mają kształt i wymiary próbki – nie jest słuszne, tak jak przy próbie rozciągania, prawo proporcjonalności.

3. PODSTAWY TEORETYCZNE

3.1 Próba udarności

Do próby udarności stosuje się próbki o wymiarach: 55×10×10 mm z karbem w kształcie litery U lub V. Próbkę taką wraz ze sposobem ustawienia przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Próбка do próby udarności wraz ze sposobem ustawienia karbu

Pomiędzy wynikami próby udarności, przeprowadzonej na różnych próbkach, nie zachodzi podobieństwo. Największy wpływ na wartość udarności mają kształt i głębokość karbu. Im karb jest głębszy i ostrzejszy, tzn. im promień zaokrąglenia karbu jest mniejszy, tym udarność jest mniejsza.

Wyniki prób udarnościowych mogą być porównywalne jedynie z wynikami dla próbek o tych samych wymiarach, kształtach i takim samym karbie, przy przeprowadzeniu prób w tych samych warunkach, tzn. w tej samej temperaturze, tej samej prędkości i sposobie obciążenia. Sposób pobierania i przygotowania próbek określa norma PN-79/H-0437.

Wprowadzenie karbu zaostża warunki pomiaru. Im ostrzejszy karb, tym większy jest wzrost naprężeń przy podstawie karbu. Występuje w tym miejscu trójosiowy stan naprężenia, co ułatwia powstanie złomu rozdzielczego.

Urządzenia do badań udarności

Próbie udarności przeprowadza się na młotach wahadłowych typu Charpy, przeznaczonych do badań próbek podpartych swobodnie na obu końcach. W zależności od rodzaju badanego materiału i rozmiarów próbki stosuje się młoty o zakresach 2500J, 750J, 300J, 150J, 100J, 70J, 30J, 10J, 5J i 0.4J, przy czym przeważnie każdy z nich można nastawić na dwa zakresy.

Zasadniczą częścią młota jest wahadło złożone z ramienia, na końcu którego zawieszony jest główny ciężar w postaci płaskiej tarczy. Wahadło przed próbą podnosi się ręcznie lub (przy dużych młotach) za pomocą silnika do górnego początkowego położenia określonego kątem α (rys. 4). Przy swobodnym opadaniu wahadła, w położeniu pionowym, posiada ono największą energię kinetyczną, której wartość jest cechą charakterystyczną danego młota, zależną od jego rozmiarów i konstrukcji. Pracę uderzenia, odpowiadającą energii zużytej na złamanie próbki, określa wzór:

$$K = mgR(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (1)$$

gdzie:

m – masa wahadła młota;

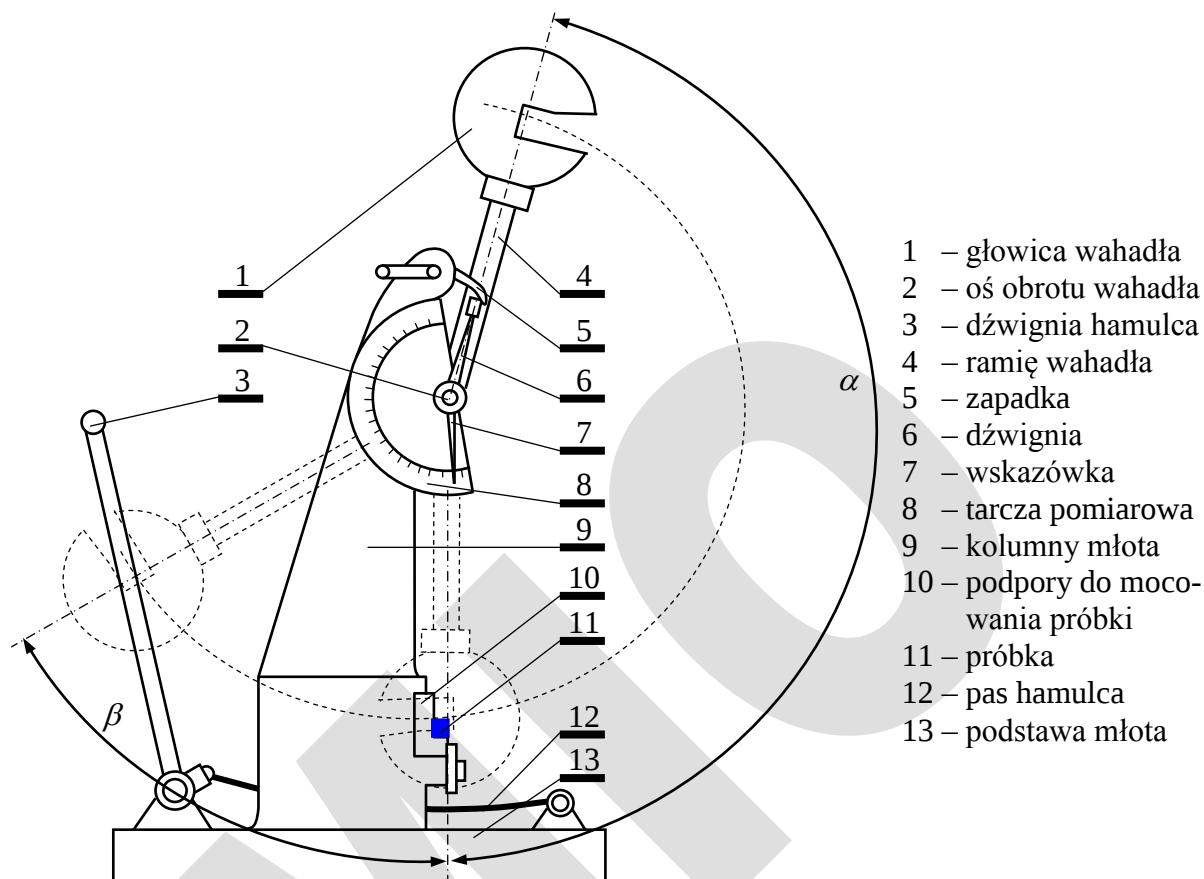
R – odległość od osi wahadła młota do środka próbki ustawionej na podporach;

β – kąt wychylenia wahadła młota po złamaniu próbki;

α – kąt wychylenia wahadła młota w położeniu początkowym (na ogół $\alpha = 160^\circ$).

Praktycznie wielkość pracy K odczytuje się wprost w [J] na odpowiedniej skali, po której porusza się wskazówka wprawiana w ruch przez ramię wahadła i pokazująca jego położenie

krańcowe. Do górnej części jednej z kolumn przyłączona jest zapadka, na której może być zawieszona waga przed próbą.



Rys. 4. Schemat młota wahadłowego firmy Losenhausen

Oznaczenia i wynik próby

Próba udarności polega na złamaniu jednokrotnym uderzeniem noża młota wahadłowego próbki z karbem, podpartej swobodnie obydwoma końcami na podporach młota, oraz pomiarze pracy uderzenia, odpowiadającej energii zużytej na złamanie próbki. Według obowiązującej normy PN-79/H-04370 *udarność* (KC) oblicza się w $[J/cm^2]$ wg wzoru:

$$KC = \frac{K}{S_0}, \quad (2)$$

gdzie:

K – praca uderzenia,

S_0 – powierzchnia początkowa przekroju próbki w miejscu karbu.

Symbol pracy uderzenia K lub udarności KC uzupełnia się kolejno literami U lub V, oznaczającymi kształt karbu, liczbami oznaczającymi początkową energię młota w $[J]$, głębokość karbu w $[mm]$ oraz szerokość próbki w $[mm]$. Dodatkowych liczb nie podaje się w przypadku stosowania:

- młota o początkowej energii $K = 300J$;
- próbek o szerokości $b = 10\text{ mm}$ oraz o głębokości karbu $(a - h) = 5\text{ mm}$ dla próbek z karbem w kształcie litery U oraz o głębokości karbu $(a - h) = 2\text{ mm}$ dla próbek z karbem w kształcie litery V.

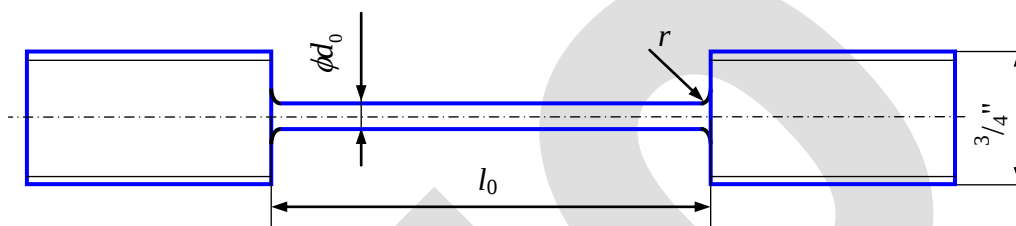
Pełny wykaz stosowanych oznaczeń pracy uderzenia i udarności w zależności od początkowej energii młota, kształtu i głębokości karbu oraz szerokości próbki podano w normie PN-79/H-04370.

3.2 Udarowa próba rozciągania

Udarowa próba rozciągania polega na rozerwaniu próbki lub gotowego elementu, np. łańcucha, liny, haka itp. przez jednorazowe uderzenie. Badania gotowych elementów na udarową próbę rozciągania są przeważnie próbami odbiorczymi, dla których odpowiednie przepisy określają sposób ich przeprowadzenia. Udarowa próba rozciągania nie jest znormalizowana.

Rodzaje próbek

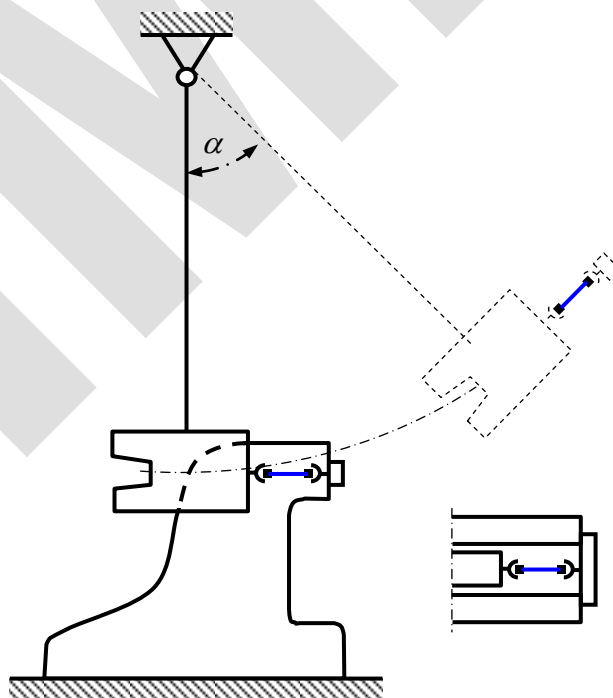
Próbki wykonuje się przeważnie o przekroju kołowym z głowami gwintowanymi w celu odpowiedniego zamocowania ich w uchwytach maszyny. Próbki wykonuje się na ogół tak, aby część pracująca znacznie różniła się od pozostałej. Najczęściej stosowany kształt próbki przedstawiony jest na rys. 5.



Rys. 5. Przykładowa próbka do udarowego rozciągania

Praktyka laboratoryjna wykazała, że najlepiej jest stosować próbki o średnicy $5 \div 10$ mm przy $l_0 = (3 \div 5)d_0$. Wyniki prób w dużej mierze zależą od kształtu próbek.

Urządzenia do udarowych prób rozciągania



Rys. 6. Schemat próby udarowego rozciągania przy użyciu młota wahadłowego

Udarową próbę rozciągania przeprowadza się na specjalnych urządzeniach (tzw. kafary) dostosowanych do tego celu lub na młotach wahadlowych. Na rys. 6 przedstawiono schematycznie przebieg próby udarowego rozciągania przy użyciu odpowiednio dostosowanego do tego celu młota wahadlowego. Szczegółowy opis młota wahadlowego firmy Amsler o zakresie 70J przedstawiony jest w pracy [2].

4. PRZEBIEG ĆWICZENIA

4.1 Próba udarności

Próbkę przed złamaniem należy dokładnie zmierzyć a wymiary wpisać do tab. 1. Wyniki próby udarowej należy również umieścić w tab. 1. Po złamaniu próbki przeprowadza się oględziny złomu i umieszcza odpowiednie uwagi w tab. 1.

Tabela 1

Rodzaj próby		Typ i rodzaj młota		Zakres pracy młota		Rodzaj próbki		
Wymiary				S_0	Rozstaw podpór	K	KC	złom
próbki		karbu						
szerokość [mm]	długość [mm]	głębokość [mm]	promień [mm]	[cm ²]	[mm]	[J]	[J/cm ²]	

Należy ustawić zakres młota na 300 J. Następnie należy sprawdzić wskazanie młota opuszczając go swobodnie z najwyższego położenia. Przy prawidłowym działaniu młota wskazówka powinna dojść na skali do zera.

Próbkę przeprowadza się na próbce o wymiarach 55×10×8 mm. Badaną próbkę ustawia się na podporach tak, aby:

- przylegała do poziomej i pionowej powierzchni podpór;
- karb znajdował się w połowie odległości pomiędzy podporami;
- uderzenie młota nastąpiło w płaszczyźnie symetrii karbu od strony przeciwnej względem karbu.

Sprawdzenia środkowego położenia wahadła jak i środkowego ułożenia próbki na podporach dokonuje się za pomocą odpowiedniego szablonu.

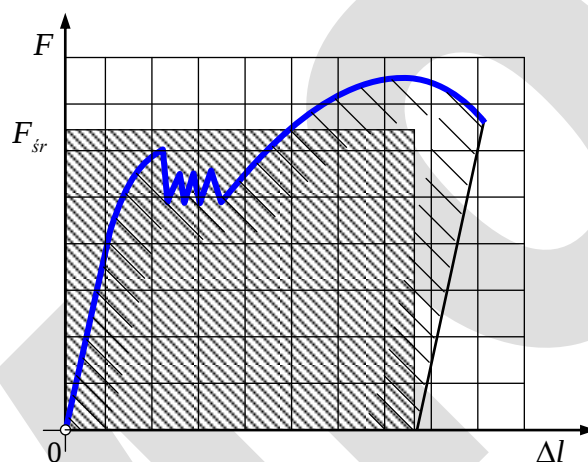
! Niedopuszczalne jest ustawianie próbki przy wahadle wzniesionym!

Po ułożeniu próbki zamocowuje się wahadło w górnym początkowym położeniu za pomocą zapadki, zaś wskazówkę sprowadza się do położenia początkowego. Następnie zwalnia się wahadło z zapadki. Młot opadając łamie próbkę, po czym wychyla się o kąt β . Po zatrzymaniu wahadła za pomocą hamulca odczytuje się na podstawie położenia wskazówki na skali pracę zużytą na złamanie próbki. Ponieważ na wartość udarności mają duży wpływ szybkość obciążenia próbki i temperatura, ustala się, że prędkość wahadła w chwili uderzenia powinna wynosić 5÷7 m/s, zaś temperatura próbki 20°±5°C.

4.2 Udarowa próba rozciągania

Do próby należy przygotować dwie jednakowe próbki wykonane z tego samego materiału, sprawdzić ich wymiary – długość między głowami próbki oraz średnicę w trzech przekrojach, wyliczając wartość średnią. Długość pomiarową próbki przyjmuje się $l_0 = 5d_0$ ze względu na możliwość porównywania wyników próby udarowej z wynikiem próby statycznej, dla której długość pomiarowa z reguły wynosi $5d_0$.

Jedną z przygotowanych próbek poddaje się próbie statycznego rozciągania, zwracając uwagę, aby w czasie próby kreślony był wykres rozciągania. Na podstawie tej próby wyznacza się: R_e , R_m , A_5 , Z oraz pracę zużytą na zerwanie próbki przez planimetrowanie pola pod wykresem rozciągania (rys. 7). Wielkości uzyskane podczas próby statycznej służą do porównania z odpowiednimi wielkościami udarowej próby rozciągania.



Rys. 7. Wyznaczanie średniej siły rozciągającej przy statycznej próbie rozciągania

Do udarowej próby rozciągania wykorzystuje się próbkę z nagwintowanymi częściami uchwytnymi. Próbkę taką mocuje się w odpowiednim uchwycie, który następnie ustala się w tarczy wahadła młota udarowego. Po sprawdzeniu prawidłowości zamontowania próbki podnosi się młot (podnosząc jednocześnie ciężarek hamulca linowego) i zaczepia go o zapadkę w górnym początkowym położeniu. Zwolnienie wahadła, które opadając uderza wystającymi skrzydłami uchwytu próbki, powoduje zerwanie próbki. Zużytą na zerwanie próbki pracę odczytuje się na odpowiedniej skali.

Po udarowym zerwaniu próbki i jej złożeniu mierzy się odległość między głowami próbki (l_1) w celu obliczenia całkowitego wydłużenia:

$$\Delta l_u = l_1 - l_0 \quad (3)$$

Mierzymy również najmniejszą średnicę d_1 w miejscu zerwania próbki. Wyznaczenie wielkości A_5 i Z przy udarowej próbie rozciągania odbywa się tak samo, jak przy próbie statycznej. Przy udarowej próbie rozciągania nie jest znany przebieg obciążeń, dlatego wyznacza się tylko umowną wartość średniego obciążenia i naprężenia ze wzorów:

$$F_{mu} = \frac{L_u}{\Delta l_u}, \quad R_{mu} = \frac{L_u}{S_0 \Delta l_u}, \quad (4)$$

gdzie:

L_u – praca zużyta na złamanie próbki odczytana na młocie;

Δl_u – przyrost długości próbki;

S_0 – pole przekroju próbki przed próbą.

Analogiczną umowną siłę średnią i umowne naprężenie średnie przy statycznej próbie określamy na podstawie wykresu rozciągania (rys. 7). Figurę pod wykresem, której pole przedstawia w pewnej skali pracę zużytą na zerwanie próbki, zastępuje się prostokątem o takim samym polu i o podstawie równej całkowitemu wydłużeniu próbki mierzonemu po zerwaniu (Δl). Wysokość prostokąta równa jest średniej sile średniej F_{sr} rozciągania.

Pracę zużytą na zerwanie przy próbie statycznej można wówczas przedstawić w postaci:

$$L = F_{sr} \Delta l \quad (5)$$

Umowna siła średnia i umowne naprężenie średnie wyrażają się natomiast wzorami:

$$F_{sr} = \frac{L}{\Delta l}, \quad R_{m sr} = \frac{L}{S_0 \Delta l} \quad (6)$$

Wyniki próby należy umieścić w tab. 2.

Tabela 2

Rodzaj próby				Typ i rodzaj młota				Zakres pracy młota				Rodzaj próbki		
Obciążenie	d_0 [mm]	l_0 [mm]	d_u [mm]	l_u [mm]	S_0 [mm ²]	R_e [MN/m ²]	R_m [MN/m ²]	$R_{m sr}$ [MN/m ²]	A_5 [%]	Z [%]	L [Nm]	L_{sr} [Nm]	L_1 [Nm/m ³]	Złom
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Stat. rozciąg. (X)														
Udar. rozciąg. (Y)														
$\frac{X}{Y}$														

5. OPRACOWANIE WYNIKÓW I WYTYCZNE DO SPRAWOZDANIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

- I. Cel ćwiczenia
- II. Wstęp teoretyczny
- III. Rysunek i opis młota wahadłowego typu Charpy
- IV. Rysunki próbek z wymiarami
- V. Część obliczeniową, w której należy:
 1. Wyznaczyć udarność badanej próbki (wyniki zamieścić w tab. 1).
 2. Narysować wykres rozciągania z podaniem wartości średniej siły rozciągającej.
 3. Wyznaczyć wartości wytrzymałości na udarowe rozciąganie i wielkości plastycznych (wyniki wpisać w tab. 2).
- VI. Wnioski z ćwiczenia

6. PRZYKŁADOWE PYTANIA KONTROLNE

1. Jaki jest cel prób udarowych?
2. Jakie własności materiału określamy w próbach udarowych?
3. Jakie rodzaje prób udarowych są wykonywane?
4. Jakie próbki są stosowane w próbach udarowych?
5. Co to jest udarność i jak się ją wyznacza?
6. Wyjaśnić oznaczenia:
 $KCV\ 450/3/12 = 200$;
 $KCV\ 200 = 150$;
 $KCU = 120$.
7. Które z prób udarowych są znormalizowane?

7. LITERATURA

1. Beluch W., Burczyński T., Fedeliński P., John A., Kokot G., Kuś W.: *Laboratorium z wytrzymałości materiałów*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Skrypt nr 2285, Gliwice, 2002.
2. Bąk R., Burczyński T.: *Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego*, WNT, Warszawa 2001.
3. Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów*, t. I-II, WNT, Warszawa 1996-97.
4. *Ćwiczenia z wytrzymałości materiałów. Laboratorium*. Praca zbior. pod red. Lampera T., Skrypty uczelniane Pol. Śl., nr 1527, Gliwice 1990.
5. PN-79/H-04370 – Próba udarności w temperaturze pokojowej.



PROTOKÓŁ Z ĆWICZENIA

PRÓBY UDAROWE

Wydział: _____ Kierunek: _____ Grupa: _____ Sekcja: _____

Data wykonania ćwiczenia: _____

Prowadzący: _____ Podpis _____

1. Próba udarowego zginania (udarności)

Wymiary próbki	
Długość próbki (l) [mm]	
Wysokość próbki (a) [mm]	
Wysokość próbki w miejscu karbu (h) [mm]	
Szerokość próbki (b) [mm]	
Praca uderzenia bez próbki (K_0) [kGm]	
Praca uderzenia (K) [kGm]	
Kąt wychylenia wahadła (β) [$^\circ$]	

2. Próba udarowego rozciągania

Wymiary próbki przed próbą		
Długość pomiarowa próbki (l_0) [mm]		
Średnica próbki (d_0) [mm]		
Wymiary próbki po próbie		
Długość pomiarowa próbki (l_1) [mm]		
Średnica próbki w m. zerwania (d_1) [mm]		
Średnica próbki poza m. zerwania (d_u) [mm]		
Praca uderzenia bez próbki (K_0) [kGm]		
Praca uderzenia (K) [kGm]		