



MINISTERSTWO EDUKACJI
i NAUKI



Barbara Oleszek
Halina Walkiewicz

Badanie materiałów konstrukcyjnych
311[20].O2.02

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2005

Recenzenci:

mgr inż. Janusz Jasek

mgr inż. Janusz Salmonowicz

Opracowanie redakcyjne

mgr Katarzyna Maćkowska

Konsultacja:

dr inż. Zbigniew Kramek

Korekta:

mgr Edyta Koziół

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[20].O2.02 Badanie materiałów konstrukcyjnych zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu technik mechanik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Materiał nauczania	6
4.1. Właściwości mechaniczne metali i ich stopów	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	8
4.1.3. Ćwiczenia	8
4.1.4. Sprawdzian postępów	9
4.2. Badanie właściwości mechanicznych: statyczna próba rozciągania	10
4.2.1. Materiał nauczania	10
4.2.2. Pytania sprawdzające	13
4.2.3. Ćwiczenia	14
4.2.4. Sprawdzian postępów	16
4.3. Statyczne metody pomiaru twardości	17
4.3.1. Materiał nauczania	17
4.3.2. Pytania sprawdzające	18
4.3.3. Ćwiczenia	19
4.3.4. Sprawdzian postępów	20
4.4. Badanie udarności	21
4.4.1. Materiał nauczania	21
4.4.2. Pytania sprawdzające	23
4.4.3. Ćwiczenia	23
4.4.4. Sprawdzian postępów	24
4.5. Właściwości technologiczne metali i stopów	25
4.5.1. Materiał nauczania	25
4.5.2. Pytania sprawdzające	28
4.5.3. Ćwiczenia	28
4.5.4. Sprawdzian postępów	29
4.6. Badania makroskopowe metali i stopów	31
4.6.1. Materiał nauczania	31
4.6.2. Pytania sprawdzające	32
4.6.3. Ćwiczenia	32
4.6.4. Sprawdzian postępów	34
4.7. Badania nieniszczące metali	35
4.7.1. Materiał nauczania	35
4.7.2. Pytania sprawdzające	38
4.7.3. Ćwiczenia	38
4.7.4. Sprawdzian postępów	39
4.8. Przepisy bhp podczas wykonywania badań	40
4.8.1. Materiał nauczania	40
4.8.2. Pytania sprawdzające	41
4.8.3. Ćwiczenia	42
4.8.4. Sprawdzian postępów	43
5. Sprawdzian osiągnięć	44
6. Literatura	49

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu treści nauczania o podstawowych własnościach materiałów konstrukcyjnych, ich właściwościach mechanicznych, technologicznych oraz o sposobie przeprowadzania badań metali i ich stopów.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, czyli wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia, czyli wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania, wiadomości teoretyczne i wskazówki praktyczne, niezbędne do poznania właściwości materiałów, sposobu ich badania, a także ich klasyfikacji,
- zestaw pytań przydatny do sprawdzenia, czy już opanowałeś podane treści,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów, przykładowy zestaw zadań i pytań. Pozytywny wynik sprawdzianu potwierdzi, że dobrze pracowałeś podczas lekcji i że nabrałeś wiedzy i umiejętności z zakresu tego podrozdziału,
- literaturę uzupełniającą.

Poznanie przez Ciebie wiadomości o badaniach materiałów konstrukcyjnych będzie stanowiło dla nauczyciela podstawę przeprowadzenia sprawdzianu poziomu przyswojonych wiadomości i umiejętności. W tym celu nauczyciel posłuży się „Zestawem zadań testowych” zawierających różnego rodzaju pytania. W rozdziale 5 tego poradnika został zamieszczony przykład takiego testu, który zawiera:

- instrukcję, w której omówiono jak postępować podczas wykonywania sprawdzianu,
- przykładową kartę odpowiedzi, w której we wskazanych miejscach należy wpisać odpowiedzi na pytania – zadania; będzie to stanowiło dla Ciebie próbę przed zaplanowanym sprawdzianem przez nauczyciela.

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami z zakresu statyki, dynamiki, kinematyki, takimi jak: masa, siła, prędkość, energia,
- zastosować prawa i zależności matematyczne opisujące związki między wielkościami fizycznymi,
- stosować układ SI,
- interpretować wykresy, a także odczytywać wielkości z wykresów,
- korzystać z instrukcji urządzeń,
- dobierać i obsługiwać przyrządy pomiarowe,
- współpracować w grupie,
- uczestniczyć w dyskusji, prezentacji,
- organizować stanowisko pracy,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania ćwiczeń, pomiarów i obserwacji.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- sklasyfikować właściwości materiałów konstrukcyjnych,
- wykonać statyczną próbę rozciągania i ściskania,
- zinterpretować wykres rozciągania,
- wykonać pomiar twardości metodą Brinella, Rockwella, Vickersa,
- wykonać próbę udarności,
- wykonać próbę zginania, tłoczności,
- scharakteryzować badania makroskopowe,
- rozróżnić metody badań nieniszczących,
- scharakteryzować i rozróżnić własności materiałów konstrukcyjnych,
- zanalizować uzyskane wyniki badań oraz formułować wnioski,
- przygotować stanowisko do badań,
- skorzystać z instrukcji do wykonania badań, katalogów norm oraz z literatury,
- zastosować przepisy bhp, ochrony ppoż i ochrony środowiska podczas wykonywanych badań,

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Właściwości mechaniczne metali i ich stopów

4.1.1. Materiał nauczania

Właściwości materiałów konstrukcyjnych są bardzo liczne, niemniej można je podzielić na 4 grupy. Są to właściwości: – fizyczne i chemiczne, – mechaniczne, – eksploatacyjne, – technologiczne.

Właściwości fizyczne i chemiczne poznaliście na lekcjach fizyki i chemii.

Właściwości mechaniczne – są to cechy, które decydują o odporności metali i stopów na działanie różnego rodzaju obciążeń.

Właściwości technologiczne charakteryzują przydatność materiału do procesów technologicznych (odlewnia, tłoczenia, spawania, obróbki skrawaniem i innych).

Właściwości eksploatacyjne to cechy materiału określające jego trwałość w warunkach użytkowania.

Materiały konstrukcyjne posiadają różnorodne własności, zależne od takich czynników, jak: rodzaj tworzywa, technologia ich wytwarzania, obróbka cieplna, kształt części i rodzaj obciążenia.

Zachowanie się materiałów pod wpływem różnych form obciążenia zewnętrznego można określić na podstawie ich właściwości mechanicznych, do których należy wytrzymałość, twardość, udarność, ciągliwość, sprężystość i inne.

Pod działaniem obciążenia materiał ulega odkształceniu. Jeżeli po ustaniu obciążenia materiał wraca do pierwotnego kształtu i wymiarów jest to odkształcenie sprężyste. Po przekroczeniu pewnego granicznego obciążenia występują w materiale odkształcenia trwałe, nie znikające po ustąpieniu działania obciążenia – tę zdolność do utrzymania odkształceń nazywa się plastycznością. Materiały plastyczne są ciągliwe, w przeciwieństwie do materiałów nie mających własności plastycznych, które nazywa się kruchymi.

Najważniejszą właściwością tworzyw, decydującą o ich praktycznym zastosowaniu jest ich wytrzymałość, przez którą rozumie się:

zdolność materiałów do przenoszenia obciążeń do pewnych granicznych wartości, po przekroczeniu których materiał ulega zniszczeniu. Tę graniczną wartość nazywa się wytrzymałością. Naprężenia, które mogą wystąpić w materiale bez obawy naruszenia warunku wytrzymałości, nazywa się **naprężeniami dopuszczalnymi**. Wartość naprężeń dopuszczalnych ustala się głównie w zależności od własności materiałów, inne kryteria przyjmując dla materiałów plastycznych i kruchych. Za podstawę doboru naprężeń dopuszczalnych przy obciążeniach stałych przyjmuje się:

R_e – granicę plastyczności dla materiałów plastycznych (np. dla stali) oraz

R_m – granicę wytrzymałości dla materiałów kruchych.

Naprężenie dopuszczalne k jest to iloraz wytrzymałości materiału R i współczynnika bezpieczeństwa n:

$$k = \frac{R_e}{n_e} \text{ lub } k = \frac{R_m}{n_m} \text{ [MPa]},$$

w których: n_e - współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów plastycznych,

n_m – współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów kruchych.

Przeciętne wartości współczynników bezpieczeństwa podaje poniższa tabela:

Tab. 1. Przeciętne wartości współczynników bezpieczeństwa

Materiał	n_e	n_m
Stale, staliwo, żeliwo ciągliwe	2 – 2,3	-
Żeliwa szare	-	3,5
Stopy miedzi	3 – 4	-
Stopy aluminium	3,5 – 4	-

Naprężenia chwilowe, powstające w pod wpływem działających obciążeń zewnętrznych muszą być zawsze mniejsze lub równe naprężeniom dopuszczalnym. Wyraża to wzór:

$$\sigma \text{ lub } \tau = \frac{F}{S} \leq k \text{ [MPa]},$$

gdzie: F - oznacza siłę wyrażoną w N, a S - oznacza przekrój niebezpieczny.

σ – oznacza naprężenia normalne, wywołane siłą działającą prostopadle do rozpatrywanego przekroju, np. rozciąganie σ_r , ściskanie σ_c , zginanie σ_g .

Ponieważ zginanie zostaje wywołane momentem gnącym, oblicza się je ze wzoru:

$$\sigma_g = \frac{M_g}{W_x} \leq k_g,$$

gdzie: M_g – moment gnący, W_x – wskaźnik przekroju na zginanie, dla przekroju kołowego o średnicy d wynosi około $0,1 d^3$.

τ – oznacza naprężenia styczne, wywołane siłą działającą stycznie do rozpatrywanego przekroju, np. ścinanie τ_t , skręcanie;

skręcanie wywołuje moment skręcający M_s , wobec czego stosuje się wzór podobny jak przy zginaniu:

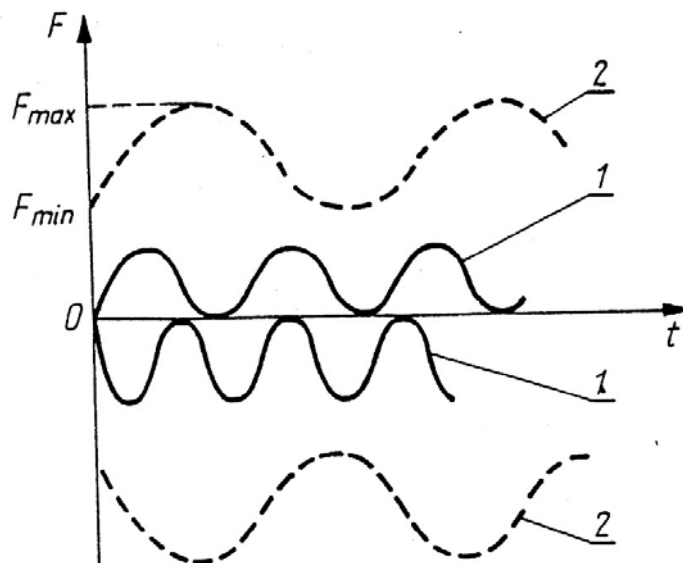
$$\tau_t = \frac{M_s}{W_o} \leq k_t,$$

gdzie: W_o – wskaźnik wytrzymałości przekroju na skręcanie, dla przekroju kołowego o średnicy d wynosi około $0,2 d^3$

Celem badań wytrzymałościowych jest określenie wartości własności wytrzymałościowych przy różnych obciążeniach, jakim poddajemy badane materiały. Rozróżnia się obciążenia statyczne, działające w sposób stały oraz obciążenia dynamiczne działające w sposób zmienny. Wszystkie wymienione obciążenia mogą powodować rozciąganie, ściskanie, zginanie, ścinanie i skręcanie.

Metody badawcze pozwalające określić wartości właściwości mechanicznych materiałów konstrukcyjnych są określone odpowiednimi normami. Najczęściej stosuje się następujące rodzaje badań właściwości mechanicznych:

- statyczna próba wytrzymałości na rozciąganie, ściskanie, zginanie, skręcanie oraz próba twardości,
- próby dynamiczne określające udarność,
- badania przy zmiennym obciążeniu z określeniem wytrzymałości zmęczeniowej;



Rys. 1. Przykład zmiennego obciążenia, 1 – siła odzewowo tętniąca (dodatnia – rozciągająca; ujemna – ściskająca), 2 – siła zmienna rozciągająca lub ściskająca

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czy potrafisz wymienić cztery grupy właściwości materiałów technicznych?
2. Jakie czynniki wpływają na różnorodność własności tworzyw konstrukcyjnych?
3. Jakie są właściwości mechaniczne tworzyw konstrukcyjnych?
4. W jakich okolicznościach powstają odkształcenia sprężyste?
5. Co nazywa się plastycznością materiału?
6. Co to jest wytrzymałość materiału?
7. W jakich jednostkach wyraża się naprężenia dopuszczalne?
8. Czym się charakteryzują obciążenia statyczne?
9. Czym się charakteryzują obciążenia dynamiczne?
10. Jakie rodzaje naprężeń powstają na skutek działania dowolnego rodzaju obciążeń?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz naprężenia dopuszczalne na rozciąganie dla stali niskowęglowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) znaleźć w tablicach wytrzymałościowych wartość granicy plastyczności,
- 2) dobrać współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów plastycznych,
- 3) obliczyć naprężenia dopuszczalne na rozciąganie,
- 4) wynik przedstawić w Pa, kPa, MPa.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polska Norma PN-/H- 84020,
- Mały Poradnik Mechanika,
- kalkulator,
- tablice wytrzymałościowe.

Ćwiczenie 2

Oblicz: naprężenia dopuszczalne na rozciąganie dla żeliwa szarego, porównaj wynik z naprężeniami dopuszczalnymi na rozciąganie materiału plastycznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

1. odczytać wartość R w tablicach wytrzymałościowych dla żeliwa szarego,
2. dobrać współczynnik bezpieczeństwa dla materiałów kruchych,
3. obliczyć naprężenia dopuszczalne na rozciąganie,
4. wynik przedstawić Pa, kPa, MPa,
5. porównać wynik z wartością naprężeń dopuszczalnych dla stali St3.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Polskie normy PN-/H-84020, PN-/H-83101,
- Mały Poradnik Mechanika,
- kalkulator,
- tablice wytrzymałościowe.

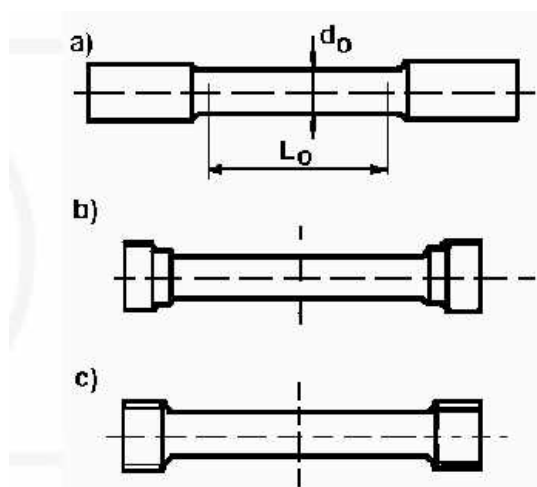
4.1.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) zdefiniować pojęcia właściwości materiałów technicznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) obliczyć naprężenia dopuszczalne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zdefiniować rodzaje obciążeń?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zdefiniować plastyczność materiału?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wymienić rodzaje naprężeń wywołanych różnymi obciążeniami?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) podać najważniejsze rodzaje badań wytrzymałościowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Badanie właściwości mechanicznych: Statyczna próba rozciągania

4.2.1. Materiał nauczania

Jedną z najważniejszych właściwości materiałów konstrukcyjnych jest ich wytrzymałość na rozciąganie. Podstawową próbą wytrzymałościową jest próba rozciągania. Zaletą tej próby jest prostota wykonania przy jednoczesnej możliwości wyznaczenia dużej ilości wskaźników wytrzymałościowych i plastycznych. Próbę przeprowadza się na maszynie wytrzymałościowej, rejestrującej zależność między obciążeniem i odkształceniem. Wymiary próbek i warunki przeprowadzenia próby określa norma PN-91/H-04310.



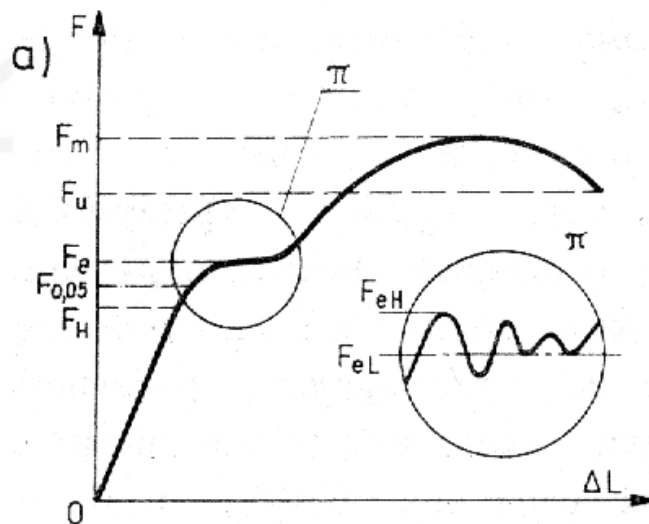
Rys. 2. Próbkę okrągłe na rozciąganie:
a) z główkami do osadzania w szczękach
b) z główkami do pierścieni
c) z główkami gwintowanymi

Wielkością podstawową próbek jest średnica d_0 , długość pomiarowa L_0 środkowej części próbki jest wielokrotnością średnicy d_0 :

$$L_0 = n \times d_0.$$

Najczęściej stosuje się do badań tzw. próbki „dziesięciokrotne”, dla których $n = 10$. Oprócz próbek okrągłych stosuje się także próbki płaskie.

Wytrzymałością na rozciąganie nazywa się naprężenie rozciągające odpowiadające największej sile rozciągającej F_m , uzyskanej w czasie próby rozciągania, odniesionej do pierwotnego przekroju S_0 próbki. Za pomocą urządzenia piszącego zrywarki otrzymuje się wykres przebiegu próby. Wykres ten umożliwi wyznaczenie charakterystycznych punktów występujących w próbie rozciągania. Rysunek 2 przedstawia wykres sporządzony dla stali o niskiej zawartości węgla. Wykres przedstawia zależność pomiędzy obciążeniem (siła F), a odkształceniem (ΔL) próbki, łatwo na nim prześledzić poszczególne stadia rozciągania próbki, aż do jej zerwania. W początkowym okresie rozciągania zachodzi proporcjonalny wzrost wydłużenia i wykres ma charakter prostoliniowy zgodnie z prawem Hooke'a. Jest to etap odkształcenia sprężystego.



Rys. 3. Wykres rozciągania materiału sprężysto-plastycznego

Na podstawie wykresu rozciągania można określić następujące wskaźniki wytrzymałościowe:

- **granica proporcjonalności R_H** jest naprężeniem granicznym stosowalności prawa Hooke'a,
- **granica sprężystości R_{sp}** jest naprężeniem granicznym, poniżej którego odkształcenia są sprężyste.

Obie granice są wielkościami umownymi, stosuje się praktycznie tzw. **umowną granicę sprężystości**, tj. takie naprężenie, które wywołuje w próbce wydłużenie trwale równe 0,05% długości pomiarowej L_0 próbki:

$$R_{0,05} = F_{0,05} / S_0.$$

Wyraźna granica plastyczności R_e jest to naprężenie, po osiągnięciu którego występuje wyraźny wzrost wydłużenia rozciąganej próbki bez wzrostu, a nawet przy spadku obciążenia – nazywa się to płynięciem próbki:

$$R_e = F_e / S_0.$$

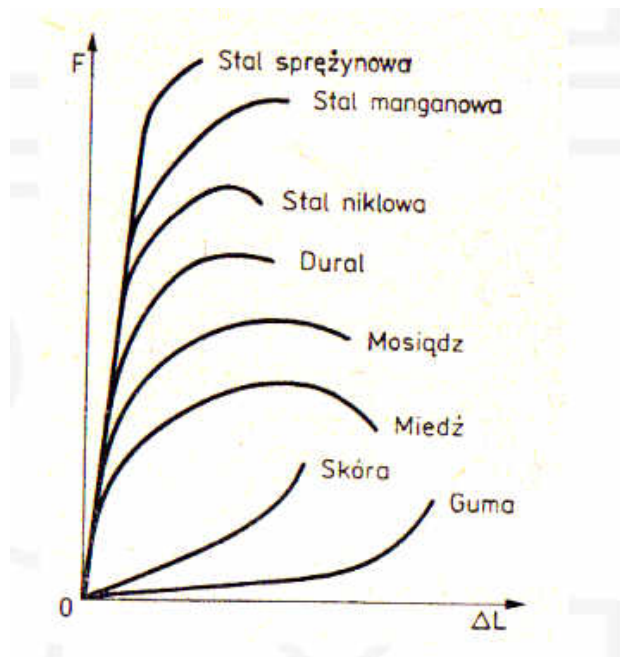
Granica plastyczności jest jednym z najważniejszych wskaźników charakteryzujących własności wytrzymałościowe materiałów konstrukcyjnych, ale nie dla wszystkich materiałów można ją wyznaczyć, dlatego wprowadzono, tzw. umowną granicę plastyczności. **Umowna granica plastyczności $R_{0,2}$** jest naprężeniem granicznym wywołującym trwale wydłużenie równe 0,2% długości pomiarowej L_0 próbki.

$$R_{0,2} = F_{0,2} / S_0$$

Nie wszystkie materiały konstrukcyjne posiadają wyraźną granicę plastyczności, np. rys. 3 przedstawia wykresy rozciągania innych materiałów konstrukcyjnych, do których powyższy wzór ma zastosowanie.

Wytrzymałość na rozciąganie R_m jest to naprężenie odpowiadające największej sile rozciągającej F_m uzyskanej podczas prowadzonej siły rozciągania, odniesionej do przekroju pierwotnego próbki:

$$R_m = F_m / S_0.$$



Rys. 4. Wykresy rozciągania materiałów nie posiadających wyraźnej granicy plastyczności

Napężenie rozrywające R_u jest to napężenie rzeczywiste, występujące w przekroju poprzecznym próbki bezpośrednio przed rozerwaniem, obliczone z ilorazu siły w chwili rozerwania F_u i najmniejszego przekroju próbki S_u po rozerwaniu:

$$R_u = F_u / S_u$$

Badanie wytrzymałości na rozciąganie pozwala także na określenie wielkości charakteryzujących właściwości plastyczne materiału:

- **wydłużenie względne A ,**
- **przewężenie Z**

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100\%,$$

L_o – długość początkowa [mm],

L_u – długość pomiarowa po zerwaniu [mm].

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100\%$$

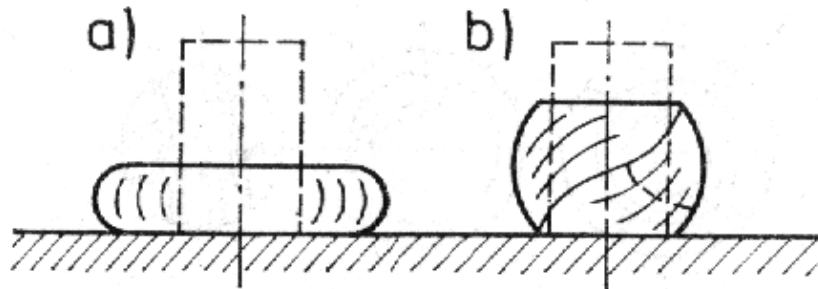
S_o – pole powierzchni przekroju próbki przed zerwaniem [mm²],

S_u – pole powierzchni przekroju próbki w miejscu rozerwania [mm²].

Wytrzymałość na rozciąganie R_m może przybierać różne wartości dla tego samego materiału w różnych warunkach pracy, np. w temperaturze podwyższonej lub obniżonej. Wraz ze wzrostem temperatury obniżają się właściwości wytrzymałościowe materiałów konstrukcyjnych.

Dla niektórych materiałów, na które podczas eksploatacji będą działały siły ściskające przeprowadza się statyczną próbę ściskania, zgodnie z normą PN-/H-04320. Statyczna próba ściskania jest jak gdyby odwróceniem próby rozciągania. Badanie przeprowadza się na zrywarce uniwersalnej lub prasie wytrzymałościowej. Pod wpływem ściskania próbka krucha

ulega zniszczeniu, a próbka plastyczna zostaje spłaszczona. Do badań używa się próbek okrągłych, wyjątek stanowi drewno, z którego próbki mają kształt kostek.



Rys. 5. Zachowanie się próbek podczas ściskania:

- a) próbka z materiału plastycznego,
- b) próbka z materiału kruchego.

Na podstawie statycznej próby ściskania można wyznaczyć:

- wytrzymałość na ściskanie R_c ,
- wyraźną granicę plastyczności R_e ,
- umowną granicę plastyczności $R_{e0,2}$.

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz czy jesteś gotowy do wykonania ćwiczeń.

1. Jak nazywa się urządzenie na którym wykonuje się statyczną próbę wytrzymałości na rozciąganie?
2. Czy potrafisz opisać kształt i wielkości stosowanych próbek?
3. Jaka jest zależność między średnicą próbki a jej długością pomiarową?
4. Jak narysować wykres rozciągania materiału sprężysto-plastycznego?
5. Jak opisziesz współrzędne wykresu?
6. Co przedstawia prostoliniowa część wykresu?
7. Co to jest umowna granica sprężystości?
8. Co to jest umowna granica plastyczności?
9. Co to jest wytrzymałość na rozciąganie?
10. Co to jest naprężenie rozrywające?
11. Jakie wielkości charakteryzują plastyczność materiału?
12. Jak wpływa temperatura na własności wytrzymałościowe materiału konstrukcyjnego?
13. Czy potrafisz zinterpretować wykresy rozciągania materiałów konstrukcyjnych bez wyraźnej granicy plastyczności?
14. Do jakich materiałów stosuje się statyczną próbę ściskania?
15. Jaki kształt mają próbki poddane ściskaniu?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ rodzaj przygotowanej do wykonania próby wytrzymałościowej próbki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) rozpoznać części próbek służące do mocowania w maszynie wytrzymałościowej,
- 2) określić przekrój poprzeczny próbki,
- 3) zmierzyć średnicę próbki i jej długość pomiarową,
- 4) nazwać mierzoną próbkę.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Katalog Polskich Norm (norma PN-91/H-04310),
- suwmiarka.

Ćwiczenie 2

Przeprowadź statyczną próbę wytrzymałości na rozciąganie materiału sprężysto-plastycznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej,
- 2) dobrać próbkę wytrzymałościową do zamocowanych w maszynie szczęk chwytowych,
- 3) zmierzyć dobraną próbkę,
- 4) zamontować próbkę w uchwycie maszyny,
- 5) dobrać właściwą skalę obciążenia maszyny,
- 6) włączyć obciążenie maszyny,
- 7) wyłączyć maszynę po zerwaniu próbki,
- 8) wyjąć próbkę z uchwytów maszyny i dokonać potrzebnych pomiarów,
- 9) obejrzyć dokładnie przełom próbki,
- 10) wyjąć narysowany przez maszynę wykres,
- 11) wykonać sprawozdanie z przeprowadzonej próby.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- uniwersalna maszyna wytrzymałościowa wraz z instrukcją obsługi,
- próbka wytrzymałościowa do badań,
- instrukcja do obsługi maszyny,
- lupa do obserwacji makroskopowych przełomu próbki.

Ćwiczenie 3

Wyznacz na podstawie wykresu rozciągania: wytrzymałość na rozciąganie, granicę proporcjonalności, granicę sprężystości, granicę plastyczności.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zmierzyć przy pomocy suwmiarki średnicę d_0 próbki przed wykonaniem badania,
- 2) przerysować wydrukowany przez maszynę wykres na papier milimetrowy, zachowując odpowiednią podziałkę,
- 3) odczytać z wykresu wartości sił odpowiadających punktom F_H , F_e , F_m ,
- 4) obliczyć wartość przekroju poprzecznego próbki S_0 ,
- 5) skorzystać z podanych wzorów na obliczenie R_m , R_H , $R_{0,05}$, R_e ,
- 6) wykonać obliczenia zastosować układ SI,
- 7) porównać otrzymane wyniki z tabelami wytrzymałościowymi Poradnika Mechanika.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- próbka wytrzymałościowa,
- papier milimetrowy,
- suwmiarka,
- poradnik Mechanika,
- kalkulator.

Ćwiczenie 4

Określ wielkości charakteryzujące własności plastyczne materiału.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) złożyć zerwaną próbkę,
- 2) zmierzyć długość próbki po zerwaniu L_u ,
- 3) zmierzyć średnicę próbki w miejscu rozerwania,
- 4) obliczyć przekroje próbki S_0 i S_u ,
- 5) obliczyć wydłużenie względne A [%],
- 6) obliczyć przewężenie próbki Z [%],
- 7) porównać wyniki z tabelami własności plastycznych w Poradniku Mechanika.

Wyposażenie stanowiska:

- zerwana próbka,
- suwmiarka,
- kalkulator,
- Poradnik Mechanika.

4.2.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) opisać statyczną próbę wytrzymałości na rozciąganie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) scharakteryzować rodzaje próbek stosowanych do próby?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić zależność między średnicą próbki a jej długością?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać punkty charakterystyczne wykresu rozciągania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) odróżnić wykres rozciągania materiału plastycznego od materiału kruchego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) nazwać podstawowe wielkości wytrzymałościowe uzyskane na podstawie wykresu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) obliczyć właściwości plastyczne materiału?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) podać wpływ temperatury na własności wytrzymałościowe materiałów konstrukcyjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyjaśnić do jakich materiałów stosuje się próbę ściskania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) opisać próbki stosowane do próby ściskania?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Statyczne metody pomiaru twardości

4.3.1. Materiał nauczania

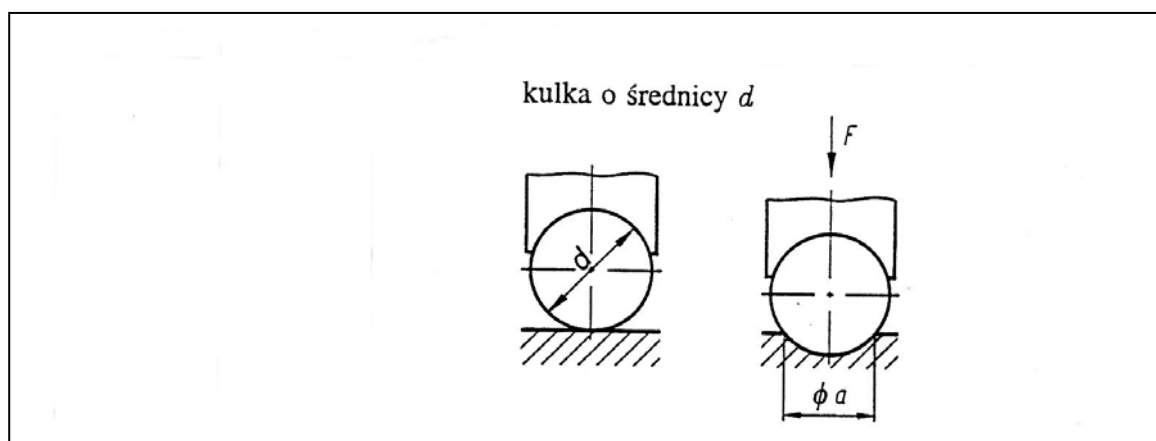
Twardością H materiału nazywamy opór, jaki stawia materiał podczas wciskania weń innego materiału, lub zarysowania materiału ostrzami. Pomiar twardości jest bardzo ważną metodą określania właściwości mechanicznych, prostą i szybką do wykonania, dodatkową zaletą jest fakt występowania niekiedy zależności między twardością a innymi własnościami materiału.

Metody statyczne pomiaru twardości polegają na wgniataniu penetratora (wgłębnika) w badany materiał z siłą zapewniającą uzyskanie trwałego odcisku. Są to metody Brinella, Rockwella i Vickersa.

Metoda Brinella (HB) polega na wgniataniu z siłą F w badany materiał twardej kulki stalowej o średnicy D za pomocą specjalnego aparatu, tzw. twardościomierza Brinella (PN-/H-04350). Twardość w stopniach Brinella oznacza się przez HB i wyznacza ze wzoru:

$$HB = \frac{F}{S_{cz}} \text{ [MPa]}$$

gdzie: F – siła obciążająca,
 S_{cz} – powierzchnia czaszy kulistej.

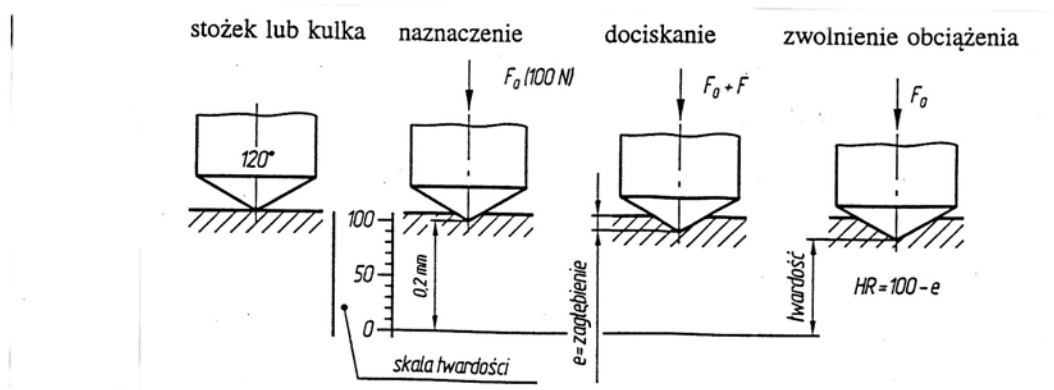


Rys. 6. Schemat metody Brinella

Im mniejsza jest twardość materiału, tym przy określonej sile nacisku kulka bardziej się w niego zagłębi i pozostawi odcisk o większej średnicy. Pomiar przeprowadza się zgodnie z normą PN-91/H-0435. Zależnie od badanego materiału można zmieniać siłę nacisku i średnicę kulki. Stosuje się kulki o średnicach 10, 5, 2,5, 1 mm, a obciążenia od 10 N do 30 kN. Uzyskane wyniki pomiaru podaje się w zapisie wartości HB, np 250 HB 5/2500/15 oznacza twardość Brinella równą 250, wyznaczoną za pomocą kulki o średnicy $D = 5\text{mm}$, obciążonej siłą $F = 2500\text{ N}$ w czasie 15 s. Symbol HB bez dodatkowego zapisu oznacza, że pomiaru dokonano kulką o średnicy $D = 10\text{mm}$, obciążoną siłą $F = 30000\text{ N}$ w czasie 15 s. Metoda Brinella jest dokładna i łatwa do przeprowadzenia, jej zakres jest jednak ograniczony do materiałów o twardości poniżej 650 HB.

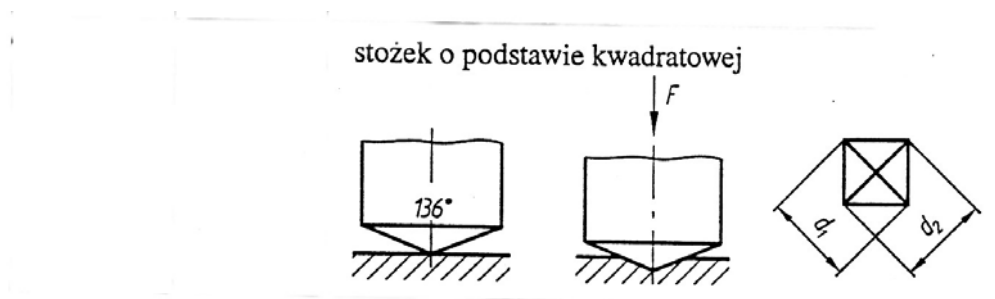
Metoda Rockwella (HRC, HRB, HRA). Pomiar twardości metodą Rockwella polega na wciskaniu stożka diamentowego o kącie wierzchołkowym 120° w badany materiał (PN-/H-04355) przy dwukrotnym obciążeniu 0,1 kN i 1,4 kN – skala C, lub kulki stalowej o średnicy

1/16 " i obciążeniu 0,1 + 0,9 kN. Określenie twardości to pomiar głębokości odcisku, a jej wartość odczytuje się bezpośrednio na czujniku twardościomierza, który posiada skalę C – dla stożka, skalę B (czerwoną) dla kulki. Jeżeli pomiaru dokonuje się stożkiem diamentowym i obciążeniu 0,6 kN to tak zmierzoną twardość określa się HRA. Metoda Rockwella jest jedną z najpopularniejszych metod pomiaru twardości, służącą do pomiaru dla małych przedmiotów, powierzchni utwardzonych obróbką cieplną, generalnie do materiałów twardych.



Rys. 7. Kolejne etapy metody Rockwella

Metoda Vickersa (HV) polega na wciskaniu w badany materiał piramidki diamentowej o podstawie kwadratowej i kącie wierzchołkowym między przeciwległymi ścianami równym 136° (PN-/H-04360). Twardość Vickersa stanowi stosunek siły obciążającej F , która wynosi 2 – 1000N do powierzchni odcisku. Istnieje podobieństwo między metodą Brinella i Vickersa. Metoda Vickersa umożliwia badanie twardości metali i ich stopów, przedmiotów o małej grubości oraz cienkich warstw. Wynik pomiaru nie zależy od zastosowanego obciążenia.



Rys. 8. Schemat metody Vickersa

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to jest twardość?
2. Na czym polega pomiar twardości?
3. Jakie są statyczne metody pomiaru twardości?
4. Co jest penetratorem w metodzie Brinella?
5. Jakie są średnice kulek pomiarowych?
6. Ile wynosi obciążenie w metodzie Brinella?
7. Do jakich materiałów stosuje się metodę Brinella?
8. Jak opiszesz penetratory w metodzie Rockwella.
9. Jakie obciążenia stosuje się w metodzie Rockwella?

10. Jakie są skale pomiarowe w metodzie Rockwella?
11. Do jakich materiałów stosuje się metodę Rockwella?
12. Co to jest twardość Vickersa?
13. Co jest wgłębnikiem w metodzie Vickersa?
14. Do jakich pomiarów stosuje się metodę Vickersa?
15. Z jaką metodą pomiaru twardości można porównać metodę Vickersa?
16. Która z wymienionych metod może posiadać największy odcisk?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj przy pomocy twardościomierza Brinella pomiar twardości stali o małej zawartości węgla.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi twardościomierza Brinella,
- 2) nałożyć na talerzyk jarzma ciężarki odpowiadające wymaganemu obciążeniu,
- 3) zamocować odpowiednią kulkę,
- 4) położyć badaną próbkę na stoliku,
- 5) podnieść stół z próbką do zetknięcia się z kulką,
- 6) pompować olej zwiększając nacisk do momentu uzyskania właściwego nacisku na manometrze,
- 7) utrzymać ciśnienie przez wymagany dla próby czas,
- 8) zmierzyć średnicę odcisku w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach z dokładnością do 0,01 mm,
- 9) obliczyć twardość wg podanego wyżej wzoru.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- twardościomierz Brinella,
- instrukcja obsługi urządzenia,
- mikroskop lub lupa odczytowa,
- kalkulator.

Ćwiczenie 2

Wykonać pomiar twardości materiału twardościomierzem Rockwella przy użyciu stożka diamentowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi twardościomierza Rockwella,
- 2) zamocować w trzpieniu twardościomierza stożek diamentowy i założyć odpowiednie obciążniki,
- 3) wykonać kilka pomiarów na płytkach kontrolnych,
- 4) sprawdzić czas osiągnięcia przez obciążenie żądanej wartości (4-5 s przy obciążeniu 980N),
- 5) ustawić badany przedmiot na stoliku urządzenia,

- 6) obciążać próbkę i wyzerować skalę C,
- 7) wyłączyć obciążenie po 2-3 sekundach,
- 8) odczytać twardość na czujniku.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja obsługi twardościomierza Rockwella,
- twardościomierz Rockwella,
- płytki wzorcowe.

Ćwiczenie 3

Wykonać pomiar twardości metodą Vickersa.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi twardościomierza Vickersa,
- 2) odchylić obiektyw zabezpieczając go zapadką,
- 3) na trzpień pomiarowy nałożyć końcówkę z diamentowym ostrosłupem,
- 4) przedmiot badany umieścić na stoliku przyrządu,
- 5) zwalniając zapadkę spowodować powolne zagłębianie się penetratora w badany materiał,
- 6) opuścić stół, przesunąć obiektyw w położenie pomiarowe,
- 7) nastawić ostrość ekranu,
- 8) śrubą mikrometryczną dokonać pomiaru długości przekątnej odcisku,
- 9) obliczyć twardość ze wzoru:

$$HV = 0,189 \cdot F/D^2$$

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja obsługi twardościomierza Vickersa,
- twardościomierz Vickersa.

4.3.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) podać definicję twardości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) opisać, na czym polega pomiar twardości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) nazwać statyczne metody pomiaru twardości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) opisać zasadę pomiaru twardości metodą Brinella?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić rodzaj materiałów, do których stosuje się met. Brinella?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) opisać rodzaje penetratorów stosowanych w metodzie Rockwella?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) omówić zasadę pomiaru twardości metodą Rockwella?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) określić rodzaj materiałów, do których stosuje się met. Rockwella?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) opisać pomiar twardości metodą Vickersa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) opisać materiały, do których stosuje się met. Vickersa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) porównać stosowane metody pomiaru twardości?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) dobrać metodę pomiaru twardości do materiału miękkiego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) dobrać metodę pomiaru do materiału twardego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) dobrać metodę pomiaru do powierzchni utwardzonej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4. Badanie udarności

4.4.1. Materiał nauczania

Materiały konstrukcyjne w czasie pracy narażone są na obciążenia zmienne, dlatego konieczna jest znajomość własności charakteryzujących zachowanie się materiału w przypadku występowania nagłych zmian obciążenia. Dla określenia tych własności stosuje się próby udarowe, pozwalające zbadać odporność na uderzenie, a jednocześnie zbadać kruchość na zimno i gorąco. W praktyce stosuje się najczęściej udarową próbę zginania, która nosi nazwę badania udarności.

Udarność, czyli odporność na uderzenia, jest miarą kruchości materiału. Materiał, który charakteryzuje się niewielkim wydłużeniem i małą udarnością, jest materiałem kruchym. Próba udarności charakteryzuje się gwałtownym wzrostem obciążenia. Polega ona na złamaniu próbki o znormalizowanych wymiarach i kształtach uderzeniem wahadłowo zawieszzonego młota.

Miarą udarowej próby zginania jest praca zużyta do zniszczenia (złamania) próbki. Stosunek tej pracy do pola przekroju poprzecznego zginanej udarowo próbki nazywa się udarnością.

$$K = L_U / S_0 \text{ [J / m}^2\text{]},$$

gdzie:

L_U - wartość pracy zużytej na złamanie próbki,

S_0 - pole powierzchni przekroju próbki przed wykonaniem próby.

Uwaga: 1 J = 1 N · 1 m – jednostka pracy.

Oprócz określenia wskaźnika udarności K w próbie udarności obserwuje się odkształcenie plastyczne próbki. Jest ono mniejsze niż odkształcenie w próbie statycznej. Spowodowane jest to tym, że odkształcenie plastyczne zachodzi znacznie wolniej niż odkształcenie sprężyste,

a próba udarności trwa bardzo krótko. Jednak z charakterystyki przełomu próbki można wnioskować o własnościach plastycznych materiału.

Celem wyznaczenia udarności materiału przeprowadza się **udarową próbę zginania** wg Charpy'ego. W tej metodzie próbka stanowi belkę dwustronnie swobodnie podpartą (PN-69/H-04370) dla stali i staliwa. Polska Norma przewiduje trzy typy próbek do badań, z karbem w kształcie litery U lub V i bez karbu. Próbki mogą być gładkie walcowe (żeliwo szare), prostopadłościennie z karbem dla stali i staliwa. Próba udarności charakteryzuje się gwałtownym wzrostem obciążenia. Polega ona na złamaniu próbki o znormalizowanych wymiarach i kształcie uderzeniem wahadłowo zawieszzonego młota i wyznaczeniu pracy uderzenia, odpowiadającej energii zużytej przez młot na złamanie próbki. Po złamaniu próbek analizuje się ich przełomy. Między wartością pracy złamania próbki a rodzajem jej przełomu istnieje pewna zależność, która potwierdza otrzymane wyniki i dostarcza informacji o własnościach materiału próbki, wadach wewnętrznych.

Udarność w dużym stopniu zależy od struktury materiału, jednak nawet wówczas gdy materiał posiada tę samą strukturę fazową, to może mieć różną udarność, w zależności od wielkości ziarna. **Im większe jest ziarno stopu, tym mniejsza jego udarność.** Udarność zmniejszają również wady materiałowe, np. wtrącenia niemetaliczne, pęknięcia. Udarność metali i stopów lanych jest mniejsza niż tych samych materiałów poddanych obróbce plastycznej.

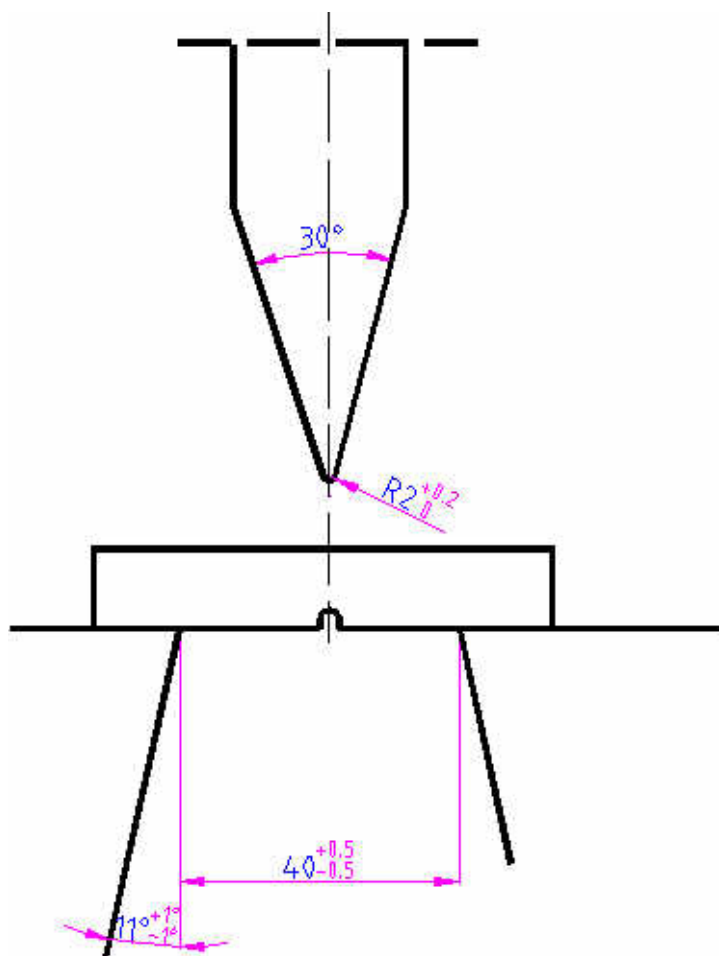
Na udarność materiału duży wpływ ma temperatura, dlatego materiały przeznaczone do pracy w podwyższonych lub obniżonych temperaturach (szyny kolejowe, łopatki turbin)

poddaje się badaniom w tych zmieniających się temperaturach. Stwierdzono, że obniżenie temperatury obniża udarność (np. stal węglowa), przy podwyższonej temperaturze ta zależność ma zmienny przebieg, najpierw rośnie, do ok. 150°C, następnie nie zmienia się, dalej gwałtownie spada.

Dużą pomoc w określeniu kruchości materiału stanowi przełom próbki, szczególnie w miarę obniżania temperatury, gdy udarność maleje, obserwuje się charakterystyczny błyszczący przełom, w odróżnieniu od matowego przełomu ciągliwego.

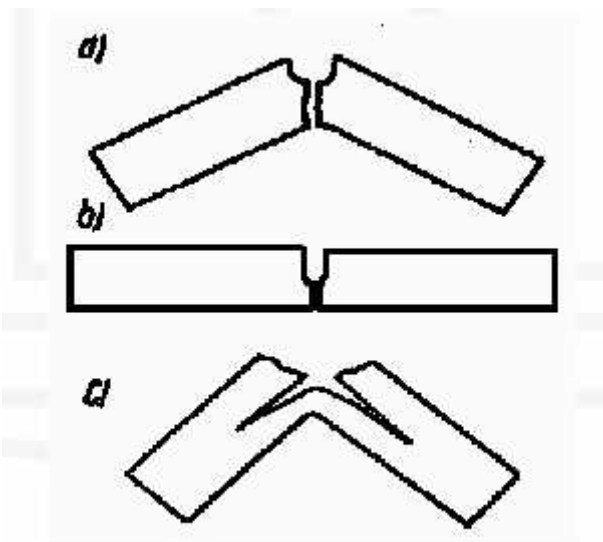
Rozróżnia się trzy charakterystyczne rodzaje przełomu próbki:

- 1.3 przełom rozdzielczy – próbka została zgięta, pęknięcie nastąpiło po przekroczeniu granicy plastyczności, tj. przy znacznym odkształceniu trwałym,
- 1.4 przełom kruchy – próbka pęka nie wykazując widocznych odkształceń plastycznych,
- 1.5 przełom z rozwarstwieniem – wskazujący na to, że materiał był poddany przeróbce plastycznej (np. zgniot) lub posiada pasma zanieczyszczeń.



Rys. 9. Schemat młota Charpy'ego, podpór i próbki. Typu ISO – Charpy

Dla poprawnego wyznaczenia wskaźnika udarności K należy poddać badaniu trzy próbki. Wszystkie spostrzeżenia dotyczące wyglądu próbki po odbytych badaniach odbiegające od standardowego przełomu, dyskwalifikują próbę i wymagają jej powtórzenia.



Rys. 10. Przełomy próbek (opis w tekście)

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Do czego stosuje się próby udarowe?
2. Jak działa obciążenie w próbach udarowych?
3. Ile trwa próba udarowa?
4. Co to jest udarność?
5. Miarą czego jest udarność?
6. Na czym polega próba udarności?
7. Jak oblicza się wskaźnik udarności?
8. Jaką metodą przeprowadza się próbę udarności?
9. Jak mocuje się próbkę do przeprowadzenia próby?
10. Jaki wpływ ma temperatura na zmianę udarności?
11. Jakie znasz rodzaje przełomów próbek?
12. Jakie cechy materiału próbki można określić na podstawie przełomu próbki?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj próbę udarności.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi młota Charpy'ego,
- 2) sprawdzić wymiary próbki w miejscu karbu z dokładnością 0,05 mm,
- 3) sprawdzić temperaturę. Temperatura próby powinna wynosić 15 - 30°C,

- 4) sprawdzić młot. Po swobodnym opuszczeniu wahadła młotka z położenia wyjściowego i wykonaniu przez wahadło jednego wahanicia wskazówka młota powinna wskazywać na podziałce zero z dokładnością do 1 J,
- 5) próbkę ułożyć na podporach młota w taki sposób, aby:
 - płaszczyzna symetrii karbu próbki leżała w płaszczyźnie pionowej, w połowie odległości pomiędzy podporami,
 - uderzenie młota nastąpiło w płaszczyźnie symetrii karbu próbki,
- 6) po uderzeniu i złamaniu próbki odczytać wartość pracy uderzenia zużytej na złamanie próbki,
- 7) obliczyć wskaźnik udarności K.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- młot Charpy'ego,
- instrukcja obsługi urządzenia,
- komplet próbek,
- mikrometr lub inny przyrząd pozwalający mierzyć z dokładnością do 0,05 mm,
- termometr.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz?	Tak	Nie
1) wyjaśnić dlaczego stosuje się próby udarowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić jaki rodzaj obciążenia wystąpi w próbie udarowej	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić co to jest udarność	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić co jest miarą udarności	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić jak wykonuje się próbę udarności	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić jakie rodzaje próbek stosuje się do badań	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić jak oblicza się wskaźnik udarności	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyjaśnić jak mocuje się próbki	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyjaśnić jak obniżenie temperatury wpływa na udarność	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyjaśnić jakie przełomy próbek mogą wystąpić	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) wyjaśnić jak powiązane są cechy materiału z rodzajem przełomu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Właściwości technologiczne metali i stopów

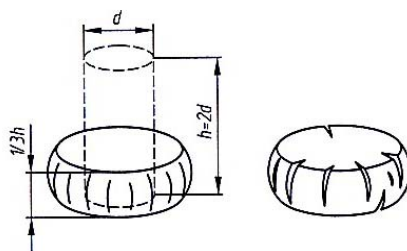
4.5.1. Materiał nauczania

Nie wystarczy znajomość właściwości wytrzymałościowych materiału, aby w sposób prawidłowy zaprojektować z niego elementy maszyn. Wykonanie elementów maszyn może odbywać się przy pomocy różnych technologii, np. skrawania, obróbki plastycznej, odlewania. Sposób wykonania elementu ma bardzo duży wpływ na właściwości elementu maszynowego. Przy wyborze sposobu wykonania części ważna jest znajomość właściwości technologicznych materiałów.

Właściwości technologiczne określają zachowanie się materiału w różnych procesach wykonania wyrobu. Do właściwości tych zaliczamy:

1. plastyczność,
2. skrawalność,
3. dobre własności odlewnicze,
4. spawalność.

Plastyczność, to właściwość określająca możliwość zmiany kształtu materiału za pomocą wywieranego na niego ciśnienia, a więc za pomocą walcowania, tłoczenia, kucia. Plastyczność materiału zależy od jego budowy wewnętrznej, twardości i temperatury.



Rys. 11. Próba spęczania

Materiały miękkie są plastyczne na zimno – podczas nagrzewania ich plastyczność rośnie. Materiały kruche nie mogą być poddane obróbce plastycznej, bo w czasie tego procesu pękają.

Elementy stalowe wykonane z tego samego gatunku stali mogą posiadać różne własności eksploatacyjne, gdyż zależnie od sposobu walcowania i od zastosowanej obróbki cieplnej można uzyskać dobrą lub złą jakość tych materiałów.

Plastyczność materiałów określa się stosując różne próby technologiczne.

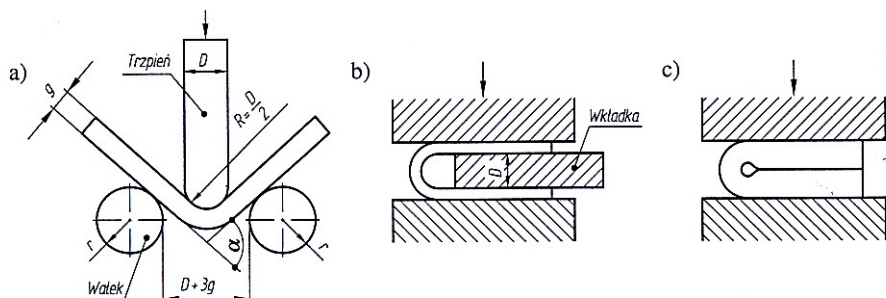
Próba spęczania (rys. 11) ma na celu określenie plastycznych własności materiału oraz wykrycie ewentualnych wad materiałowych. Polega ona na zgniataniu próbki między dwiema płaskimi płytami do chwili pojawienia się pęknięć na powierzchni swobodnej próbki. Wymiary próbek i warunki stosowania reguluje norma PN-83/H-04411.

Jedną z miar plastyczności jest wartość kąta o jaki można zgiąć próbkę bez spowodowania pęknięcia. Materiały bardzo plastyczne poddaje się próbie wielokrotnego przeginania, miarą plastyczności jest liczba przegień wykonanych do chwili pojawienia się pierwszych pęknięć.

Technologiczne próby zginania na zimno lub w temperaturze podwyższonej, opisuje norma PN-90/H-04408. Poddaje się tym badaniom próbki pobrane z półwyrobów i wyrobów walcowanych, kutych i lanych. Próba ma na celu sprawdzenie zdolności materiału do odkształceń plastycznych przy zginaniu. Próbkę podpartą w dwóch punktach zgina się siłą

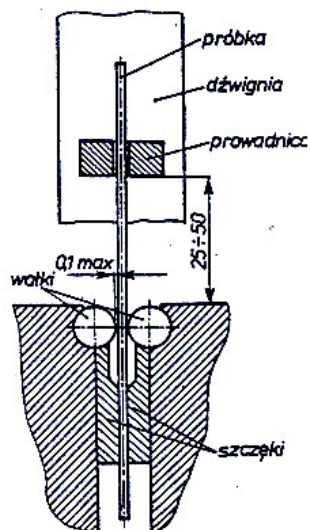
skupioną w połowie odległości między podporami – wykonanie próby zostało zobrazowane na rys. 12. W zależności od rodzaju materiału i wymagań warunków technicznych próbkę zgina się:

- 1) do określonego kąta zgięcia mniejszego od 180° - rys. 12 a,
- 2) do równoległości ramion z wkładką o określonej grubości – rys. 12 b,
- 3) do styku ramion – rys. 12 c.



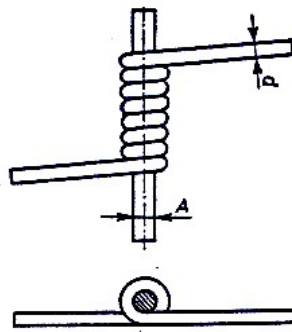
Rys. 12. Technologiczna próba zginania

Kolejną próbę – wielokrotnego przeginania stosuje się do blach, taśm o grubości do 3mm oraz do drutów. Próbę przeprowadza się przy użyciu przyrządu przedstawionego na rys. 13. Próbkę zamocowaną jednym końcem w uchwycie przeginą się wielokrotnie o kąt 90° od położenia wyjściowego na przemian w jedną i drugą stronę aż do pojawienia się pęknięcia. Warunki przeprowadzenia próby określa norma (PN-EN ISO 7799), na jej podstawie dobiera się warunki zamocowania próbek i opisuje wyniki pomiaru.



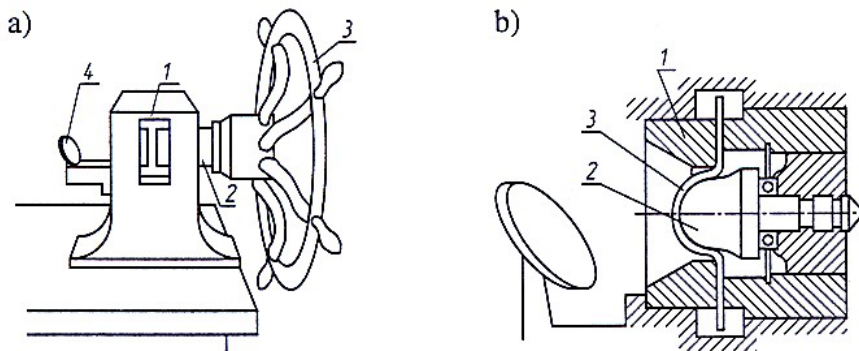
Rys. 13. Przyrząd do próby wielokrotnego przeginania

Próby plastyczności drutu obok próby wielokrotnego przeginania uzupełnia **próba nawijania drutu** wg normy PN-EN ISO 7882. Stosuje się ją do drutów o średnicach poniżej 6mm. Służy do określenia własności plastycznych drutu, wykrywania niejednorodności materiału, badania jakości założonej powłoki ochronnej oraz wykrywania wad powierzchniowych. Próba polega na nawijaniu drutu na trzpień o określonej średnicy (rys. 14). Zwoje powinny być tak nawinięte, aby przylegały do siebie. Liczba nawinięć powinna odpowiadać wymaganiom warunków technicznych.



Rys. 14. Próba nawijania drutu

Następną często stosowaną próbą jest **próba tłoczności cienkich blach metodą Erichsena**, polegająca na powolnym właczaniu kuliście zakończonego stempla stalowego w próbkę z blachy, umocowaną w matrycy (rys. 15). Miarą tłoczności w tej metodzie jest głębokość włoczonego w blasze wgłębienia, do chwili wystąpienia w niej pierwszych oznak pęknięcia. Głębokość ta zależy od własności odkształcalnej blachy oraz od jej grubości. Zastosowany do pomiarów aparat Erichsena powinien spełniać wymagania normy PN-EN ISO 20482, także próby powinny być wykonywane zgodnie z tą normą.



Rys. 15. Próba tłoczności blach: a) widok aparatu, b) blacha podczas próby .
Źródło: C. Struzik: Pracownia techniczna. WSiP, Warszawa 1990

Skrawalnością nazywa się podatność materiału do obróbki narzędziami skrawającymi, zależy ona od wewnętrznej budowy materiału i jego składu chemicznego. Skrawalność określają: opór skrawania, gładkość powierzchni obrabianej oraz postać wióra.

Materiały twarde i kruche skrawają się trudniej niż materiały plastyczne. Jednak materiały miękkie nie odznaczają się dobrą skrawalnością, gdyż zalepiają ostrza narzędzi.

Zwykle dobra skrawalność występuje w materiałach nie posiadających dobrych właściwości mechanicznych.

Właściwości odlewnicze charakteryzują przydatność materiału do wykonywania odlewów. Podstawowe właściwości odlewnicze to:

1. lejność, czyli zdolność do dobrego wypełnienia formy ciekłym metalem. Lejność zależy od temperatury ciekłego metalu, jego rzadkopląnności po roztopieniu, rozpuszczalności gazów i od składu chemicznego natomiast miarą lejności jest odległość na jaką popłynie ciekły metal w znormalizowanej formie mającej kształt spirali.
2. skurcz odlewniczy, czyli właściwość decydująca o powstaniu w odlewie naprężeń mogących spowodować jego pęknięcia, powstanie jam skurczowych, niedolewów, porowatości itp.

Spawalność jest miarą przydatności do wykonania połączeń spawanych i stopnia trudności wykonania spoiny. Ocenę spawalności przeprowadza się na podstawie różnorodnych technologicznych prób pęknięcia oraz odkształceń materiału w miejscu wykonania spoin.

Na własności użytkowe materiału lub gotowego wyrobu mają duży wpływ wady powstałe w czasie wytwarzania elementów, czyli w czasie trwania procesów technologicznych, są to najczęściej: pęknięcia, wtrącenia niemetaliczne, korozja i in.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz technologie wykonania elementów maszyn?
2. Co określają właściwości technologiczne materiału?
3. Jakie znasz właściwości technologiczne?
4. Co określa plastyczność materiału?
5. Od czego głównie zależy plastyczność?
6. Jak wpływa wzrost temperatury na zmianę plastyczności?
7. Czy materiały kruche mogą być poddane obróbce plastycznej?
8. Jakie znasz możliwości zmierzenia plastyczności?
9. Co to jest próba tłoczności blach?
10. Jak określa się skrawalność?
11. Czy materiały kruche skrawają się lepiej niż materiały miękkie?
12. Co charakteryzuje właściwości odlewnicze?
13. Co to jest lejność?
14. Co powoduje skurcz odlewniczy?
15. Na czym polega spawalność?
16. Jakie są najczęstsze wady powstałe w czasie procesów technologicznych?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj próbę tłoczności blach metodą Erichsena.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi aparatu Erichsena,
- 2) próbę tłoczności należy przeprowadzić w temp. wyższej niż 10°C,
- 3) dokonać oględzin próbki i jej pomiaru,
- 4) docisnąć próbkę pierścieniem dociskowym w urządzeniu,
- 5) dociskać pierścień siłą równą ok. 10 kN,
- 6) ustalić na podziałce początkowe zero,
- 7) właczać stempel równomiernie i bardzo powoli,
- 8) zmierzyć głębokość wtłoczenia z dokładnością 0,1 mm,
- 9) porównać powierzchnię próbki po próbie z powierzchnią przed próbą.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- przyrząd Erichsena,
- instrukcja obsługi urządzenia,
- próbki z różnych materiałów zgodne z PN-79/H-04400.

Ćwiczenie 2

Wykonaj próbę nawijania drutu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) umocować w uchwycie tokarskim trzpień do nawijania drutu,
- 2) ustawić tokarkę na minimalną prędkość obrotową,
- 3) włączyć tokarkę,
- 4) nawinać 5 -10 zwojów drutu,
- 5) przeprowadzić oględziny nawiniętego drutu niezbrojonym okiem.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- trzpień do nawijania drutu,
- tokarka,
- drut do nawijania,
- Norma PN-EN ISO 7882.

Ćwiczenie 3

Wykonaj próbę przeginania drutu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zamocować próbkę w szczękach w położeniu pionowym,
- 2) zginać próbkę na przemian w jedną i w drugą stronę o kąt 90° z prędkością około jednego przegięcia na sekundę,
- 3) w czasie próby obserwować powierzchnię próbki w miejscu zgięcia; zginanie przerwać w chwili pojawienia się pęknięcia,
- 4) jako jedno przegięcie uważa się zgięcie o kąt 90° i powrót do położenia wyjściowego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- urządzenie do przewijania.
- próbki.
- Norma PN-EN ISO 77 99.

4.5.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz?		
1) nazwać technologie wykonania elementów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić właściwości technologiczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić, co to jest plastyczność?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić, od czego zależy plastyczność materiału?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 5) wyjaśnić, czy temperatura ma wpływ na plastyczność? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) opisać sposoby zmierzenia plastyczności? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) wyjaśnić, na czym polega skrawalność? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) wyjaśnić, w jaki sposób kruchość materiału wpływa na skrawalność? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) wyjaśnić, co opisuje własności odlewnicze? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) wyjaśnić, jakie wady powoduje skurcz odlewniczy? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) wyjaśnić, na czym polega spawalność? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) wyjaśnić, co określa próba Erichsena? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13) wyjaśnić, na czym polega próba przeginalania? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14) wyjaśnić, co jest miarą gięcia próbki? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15) wyjaśnić, co to jest próba nawijania drutu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.6. Badania makroskopowe metali i stopów

4.6.1. Materiał nauczania

Próby technologiczne najczęściej opierają się na obserwacji przełomu lub powierzchni próbki. Takie obserwacje **nieuzbrojonym okiem lub przy niewielkim powiększeniu maksymalnie do 20 razy nazywa się badaniami makroskopowymi**. Można je przeprowadzić bezpośrednio na powierzchni metalu (np. na odlewach, odkuwkach), na przełomach lub na specjalnie przygotowanych przekrojach badanego elementu. Przy tych badaniach można obserwować większe przekroje i powierzchnie, a tym samym mieć wyobrażenie o ogólnej budowie metali i stopów, o rozmieszczeniu różnego rodzaju wad i zanieczyszczeń. Często badania te traktuje się jako wstępne do dokładniejszych badań mikroskopowych. Na podstawie wyników uzyskanych z tych badań pobiera się próbki, które następnie obserwuje się pod mikroskopem. Badania makroskopowe pozwalają określić:

1. Naruszenie spójności metali takie, jak: pęcherze gazowe, pory i jamy skurczowe, niedolewy, powierzchniowe zażuzlenia, pęknięcia w odlewach, przedmiotach hartowanych i spawanych.
2. Budowę metali i stopów; jeśli kryształy nie są zbyt małe można po wytrawieniu określić ich wielkość, kształt i rozmieszczenie, a także można stwierdzić dendrytyczną budowę odlewów.
3. Niejednorodność składu chemicznego, a więc likwację kryształów powstałą podczas krzepnięcia stopu.
4. Niejednorodność budowy metali i stopów, wywołaną obróbką plastyczną, a więc włóknistość, linie zgniotu.
5. Niejednorodność metali i stopów, wywołaną obróbką cieplną, cieplno-chemiczną, jak grubość warstwy zahartowanej powierzchniowo, nawęglonej itp.
6. Jakość spoin połączeń spawanych.
7. Wyniki badań makroskopowych są bardzo przydatne do oceny jakości materiału, ustalenia przyczyn awarii oraz określenia jakości wykonanych zabiegów technicznych.

Badania przeprowadza się na powierzchni przekrojów elementów, które z wyjątkiem przełomów obserwowanych bezpośrednio po wykonanej próbie, bez żadnego przygotowania, w większości przygotowuje się przez szlifowanie i trawienie. Odczynniki do trawienia dobiera się zależnie od rodzaju materiału i celu badania. Odczynnikiem są zwykle roztwory wodne kwasów nieorganicznych lub soli. Ogólnie odczynniki te można podzielić na dwie grupy:

- do głębokiego trawienia,
- do powierzchniowego trawienia.

Stosowaną z dużym powodzeniem wykrycia najgroźniejszych zanieczyszczeń stali siarką i fosforem jest **próba Baumanna**. Jest to metoda pośrednia wykrywania tych zanieczyszczeń, polegająca na wykonaniu odbitek stykowych na papierze fotograficznym. Jednakże próba Baumanna nie umożliwia ilościowego określenia zawartości siarki i fosforu, ujawnia tylko rozłożenie siarczków przełomów fosforków. Na przygotowany zgląd próbki przeznaczonej do badań nakłada się papier fotograficzny bromosrebrowy, zanurzony uprzednio w roztworze wodnym kwasu siarkowego. Powierzchnia zglądów musi szczelnie przylegać do powierzchni papieru. Wydzielający się siarkowodór reaguje z papierem, powodując powstanie na nim zaciemnień, wielkością i kształtem odpowiadającym skupieniom siarczków w stali. Także fosfor reaguje z emulsją papieru fotograficznego powodując powstanie jasnożółtych punktów odpowiadających skupieniu fosforków. Próba Baumanna umożliwia również wykrywanie jam usadowych i pęcherzy gazowych przełomów wyrobie.

Wielkość ziarna próbki określa się przez porównanie przelomu ze skalą wzorcową Jernkontoreta. Skala ta obejmuje 10 stopni ziarnistości. Rozmiary ziarn oznaczono od 1 – ziarno największe do 10 – ziarno najmniejsze. Próbki pobiera się z materiału obrobionego plastycznie przelomów obrabia mechanicznie przelomów na wymiar 25x25x100 mm, na środku próbki nacina się ostry karb przelomów głębokości ok. 3 mm. Przed wykonaniem właściwej próby próbki poddaje się wstępnej obróbce cieplnej, a następnie hartuje się je w wodzie lub oleju w czterech różnych temperaturach (np. 760, 800, 840, 880°C). Po złamaniu próbek określa się rozmiary ziarna na przelomie w skali Jernkontoreta, głębokość warstwy zahartowanej oraz liczbę pęknięć na przelomie. Wyniki zapisuje się na przykład: 6/3 – 2P, gdzie licznik określa rozmiary ziarn, wg skali Jernkontoreta, mianownik głębokość warstwy zahartowanej w mm, natomiast symbol 2P oznacza, że w przelomie zaobserwowano dwa pęknięcia.

Obserwacje przelomów próbek wytrzymałościowych i udarnościowych oraz uszkodzonych elementów maszyn umożliwiają określenie charakteru zniszczenia, to znaczy przelom doraźny czy zmęczeniowy może wyjaśnić przyczyny awarii. Można zdiagnozować jakość materiału – przelom ciągliwy lub kruchy, grubo lub drobnoziarnisty. Ocena jakości materiału wg wyników obserwacji makroskopowej wymaga dużego doświadczenia. Niewłaściwa ocena może spowodować dopuszczenie do produkcji i eksploatacji materiału wadliwego, lub odwrotnie zdyskwalifikować z tego samego powodu materiał dobry. Dlatego do precyzyjniejszego określenia jakości materiału badania te należy uzupełnić o np. badania mikroskopowe.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co to są badania makroskopowe?
2. Jakich maksymalnych powiększeń używa się przeprowadzając te badania?
3. Jaka jest próbka w badaniach makroskopowych?
4. Wymień trzy rodzaje wad, które można wykryć stosując te badania?
5. Czy na podstawie badań makroskopowych można wstępnie ocenić jakość badanego materiału?
6. Czy próbki do badań makroskopowych muszą być odpowiednio przygotowane?
7. Jaką obróbkę stosuje się aby przygotować próbki?
8. Od czego zależy dobór odczynników chemicznych do badań?
9. Jakie znasz grupy stosowanych odczynników chemicznych?
10. Czy można na podstawie badań makroskopowych ocenić, czy materiał badany jest kruchy lub ciągliwy?
11. Czy badania makroskopowe mogą być traktowane jako wstępne do badań mikroskopowych?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przygotuj próbki do badań makroskopowych przeznaczone do badania rozmieszczenia siarczków, pobranych z nitu, śruby, kątownika.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) szlifować przygotowaną powierzchnię na szlifierce tarczowej, zmieniając położenie o 90°, dopóty aż znikną poprzednie rysy, z wycinania materiału,
- 2) przemyć próbki bieżącą wodą,
- 3) szlifować próbkę na papierach ściernych, zaczynając od gruboziarnistego, przechodząc do drobnoziarnistego. Pamiętać o zmianie kierunku szlifowania o 90°,
- 4) każdorazowo po zmianie papieru ściernego przemywać próbkę wodą,
- 5) po zakończeniu szlifowania i opłukaniu wodą należy osuszyć próbkę w strumieniu ciepłego powietrza,
- 6) próbek przeznaczonych do badań makroskopowych nie należy polerować,
- 7) dobrać z tabeli odpowiedni odczynnik chemiczny.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- piłka do metali,
- szlifierka,
- komplet papierów ściernych,
- płyty szklane o wymiarach 200x 300x5mm, stożek z watą, pręcik szklany.

Ćwiczenie 2

Wykrywanie zanieczyszczeń stali siarką i fosforem – próba Baumanna.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinienes:

- 1) na powierzchnię zglądu próbki nałożyć papier fotograficzny bromo-srebrowy zanurzony uprzednio w 2% roztworze wodnym kwasu siarkowego, w taki sposób, aby powierzchnia zglądu szczelnie przylegała do powierzchni papieru,
- 2) po dwóch minutach papier zdjąć, opłukać w wodzie, a następnie zanurzyć w utrwalaczu fotograficznym na 10 min. Po czym ponownie przemyć w wodzie i suszyć na powietrzu albo suszarce,
- 3) reakcja chemiczna zachodząca między papierem fotograficznym, zanieczyszczeniami siarką i fosforem oraz kwasem siarkowym powoduje powstanie zaczerwień na wykonanych odbitkach, zaczerwienia pokazują siarczki, natomiast fosforki obrazują jasnożółte punkty.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier fotograficzny bromosrebrowy,
- wodny roztwór 2% kwasu siarkowego,
- utrwalacz,
- bibułka,
- próbki do badania.

Ćwiczenie 3

Określanie wielkości ziaren na przełomie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zahartować próbkę w czterech różnych temperaturach stopniowanych co 40° C, zaczynając od temp. 760°C wzwyż, hartować w wodzie lub oleju,
- 2) określić wielkości ziaren na przełomie warstwy zahartowanej porównując z wzorcami wielkości ziaren w atlasie, wg skali Jernkontoreta, gdzie 1 oznacza najgrubsze ziarno, 10 najdrobniejsze,
- 3) określić głębokość warstwy zahartowanej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- piec do nagrzewania próbek,
- prasa do łamania próbek,
- skala wzorców z atlasu ziaren wg skali Jernkontoreta.

4.6.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz?		
1) scharakteryzować badania makroskopowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić, do czego służą badania makroskopowe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wymienić trzy rodzaje wad materiałowych, które można wykryć dzięki tym badaniom	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić, jak przygotowuje się próbki w badaniach makroskopowych	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, jak dobiera się odczynniki do badań	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić, na czym polega próba Baumanna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, jakie zanieczyszczenia można zlokalizować dzięki próbie Baumanna	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyjaśnić, w jaki sposób można określić wielkość ziaren w przełomie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyjaśnić, czy badania makroskopowe wystarczają, aby określić jakość materiału	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.7. Badania nieniszczące metali

4.7.1. Materiał nauczania

Przedstawione dotychczas metody badań metalograficznych, mechanicznych i technologicznych miały charakter badań niszczących, ponieważ dla ich przeprowadzenia konieczne jest wycinanie z badanych elementów odpowiednich do badań próbek. Z tego względu ich zastosowanie do kontroli produkowanych elementów może mieć charakter wyrywkowy. W przypadku elementów odpowiedzialnych i drogich, trzeba posłużyć się takimi metodami badań, które nie byłyby związane ze zniszczeniem i uszkodzeniem badanych elementów, czyli badaniami nieniszczącymi. Wprowadzaniu takich metod badawczych sprzyjał rozwój przemysłu, wyższe wymagania jakościowe stawiane przed maszynami. Zaowocowało to powstaniem takich metod kontroli, które bez zniszczenia materiału, czy elementu dostarczają informacji o jego stanie i właściwościach.

Spośród wielu znanych i stosowanych metod nieniszczących wykrywania wad w materiałach, najczęściej stosuje się badania:

- radiologiczne,
- ultradźwiękowe,
- magnetyczne.

W badaniach tych wykorzystano różne poznane wcześniej zjawiska fizyczne.

W badaniach radiologicznych przedmioty prześwietla się promieniami X lub γ , które przechodząc przez materiał ulegają rozpraszaniu i pochłanianiu. Promienie przechodzą przez przedmiot, przy czym natężenie promieniowania jest inne w materiale jednorodnym oraz inne w materiale z wadą. Wiązka promieniowania przepuszczona przez przedmiot daje na ekranie fluoroscencyjnym lub kliszy fotograficznej (umieszczonej pod badanym przedmiotem) obraz. Przekroje jednorodne dają obraz jaśniejszy, natomiast przekroje zanieczyszczone lub pęcherze gazowe dają obraz ciemniejszy. Badania radiologiczne są bardzo proste w wykonaniu, jednak ocena wad, dokonywana przez porównanie z odpowiednimi wzorcami podanymi w normach wymaga doświadczenia. Pojedynczy radiogram pozwala na określenie rodzaju wady wewnętrznej oraz jej położenia w płaszczyźnie równoległej do kliszy. Nie da się jednak na tej podstawie ustalić głębokości położenia wady. Jeśli takie ustalenie jest konieczne, należy wykonać kilka zdjęć, przy różnym ustawieniu lampy od przedmiotu.

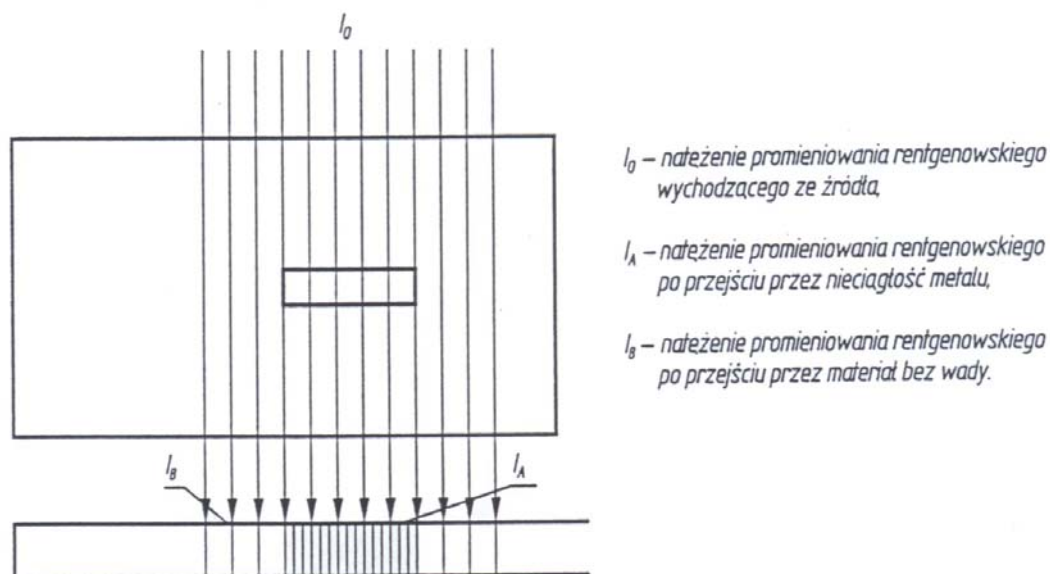
Podczas przeprowadzania tych badań należy zachować szczególne środki ostrożności zabezpieczające przed szkodliwym promieniowaniem.

Badania ultradźwiękowe

Ultradźwięki są to fale mechaniczne pobudzone w danym ośrodku, np. metalu. Dźwięk rozchodzi się z różną prędkością w różnych substancjach, szybciej w ośrodkach gęstych niż rozrzedzonych, np. w powietrzu prędkość dźwięku wynosi ok. 340 m/s a w stali 6000 m/s. Ultradźwięki, to dźwięki wywołane przez drgania o częstotliwości większej niż 20 kHz, czyli poza zakresem słyszalności przez ludzi. Fale ultradźwiękowe rozchodzą się w ośrodkach stałych, ciekłych lub gazowych, uginają się wokół przeszkód występujących na ich drodze, a na granicy dwóch ośrodków ulegają załamaniu lub odbiciu.

Właściwości te wykorzystano przy badaniu metodami:

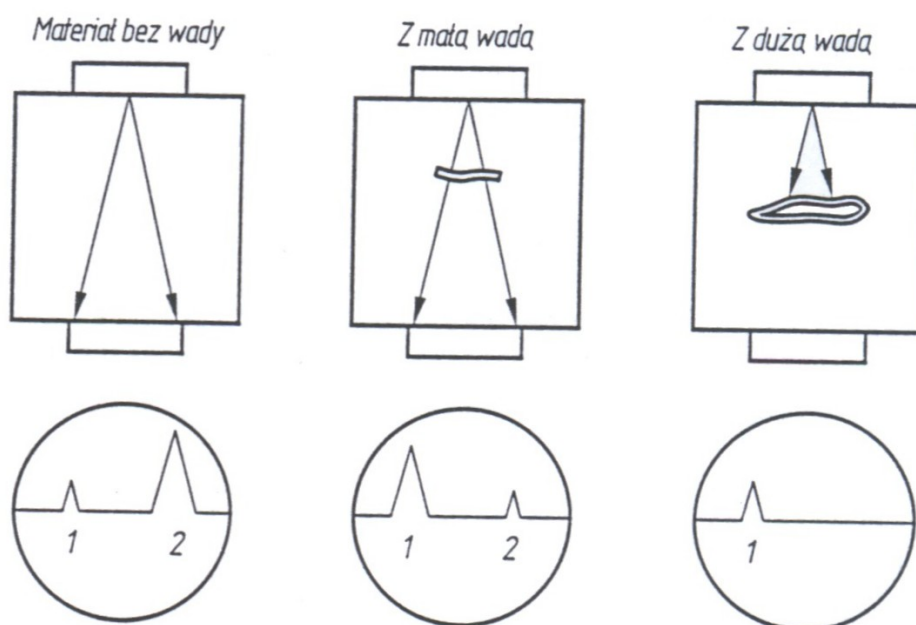
- przenikania,
- echa.



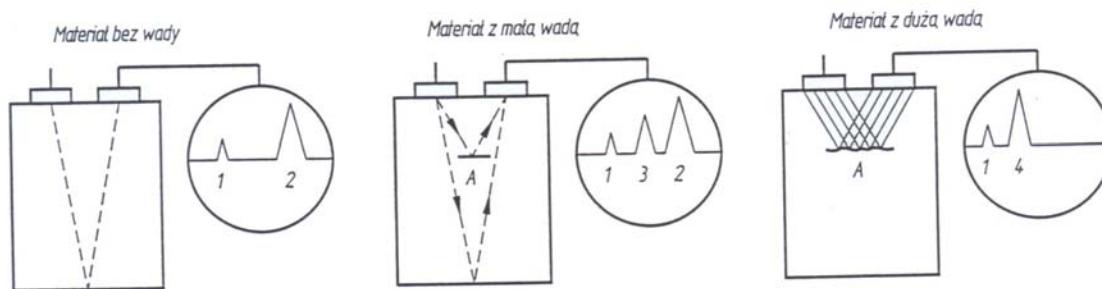
Rys. 16. Badania radiologiczne

W metodzie przenikania stosuje się do badań dwie sondy: nadawczą i odbiorczą, umieszczone po obu stronach przedmiotu. Przebieg różnych sytuacji przedstawia rys. 13. W przedmiocie bez wady na ekranie oscyloskopu impuls 2 jest duży, z małą wadą impuls wyjścia 2 jest słaby, a z dużą wadą impuls 2 zanika.

W metodzie echa obie sondy znajdują się po jednej stronie przedmiotu, materiał bez wady daje na ekranie dwa impulsy, natomiast materiały z wadą dają dodatkowe impulsy. Zjawisko to obrazuje rys. 14.



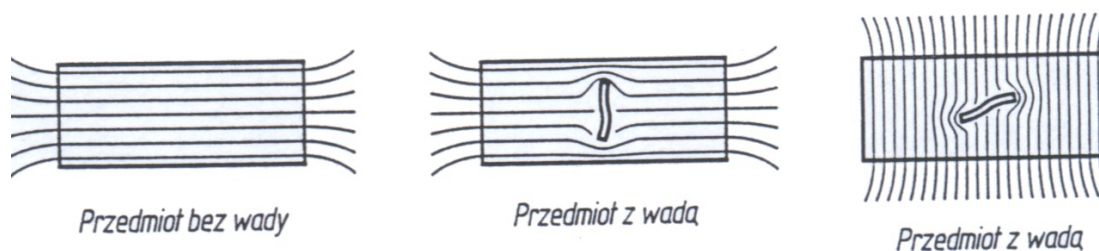
Rys. 17. Metoda przenikania



Rys. 18. Metoda echa

Metody ultradźwiękowe dają najlepsze wyniki przy wykrywaniu wad wewnętrznych. Stosowane są do oceny jakości wykonania odkuwek, odlewów lub konstrukcji spawanych, które ze względu na duże gabaryty nie mogą być prześwietlane promieniami X. Metoda ta jest również stosowana do badania jakości wyrobów z tworzyw sztucznych lub gumy i do pomiaru grubości ścianek.

Badania magnetyczne umożliwiają wykrycie wad wewnętrznych i powierzchniowych w materiałach ferromagnetycznych, czyli w stopach żelaza. Polegają one na wykorzystaniu różnic między przenikalnością magnetyczną stali a przenikalnością przez wady takie jak: pęknięcia, rysy, wtrącenia niemetaliczne, pęcherze gazowe. Linie sił pola magnetycznego przebiegające drogą o największej przenikalności omijają wady, zagęszczając się na ich granicy – rys. 19.



Rys. 19. Rozkład sił pola magnetycznego w ferromagnetyku

Ocena przebiegu linii sił pola magnetycznego na powierzchni badanego przedmiotu wymaga ich uwidocznienia. Przedmiot przed badaniem spryskuje się zawiesiną proszku ferromagnetycznego w nafcie lub oleju. Po włączeniu pola magnetycznego cząstki proszku układają się na powierzchni przedmiotu w linie równoległe, zagęszczające się na krawędzi wady.

Metoda magnetyczna daje bardzo dobre wyniki przy wykrywaniu wad powierzchniowych, stosuje się ją do wykrywania rys, pęknięć, pęcherzy gazowych, zawalowań itp.

Badania nieniszczące pozwalają na nawet 100% kontrolę jakości maszyn i urządzeń w zakresie wykrywania wad zewnętrznych (rysy, pęknięcia, korozja) i wewnętrznych (wtrącenia niemetaliczne, pęcherze gazowe, rozwarstwienia). Obok omówionych metod badań nieniszczących stosuje się metody penetracyjne, termowizyjne, dźwiękowe i inne. Zwiększające się wymagania co do jakości materiałów i urządzeń a przy tym szybki rozwój techniki sprzyjają unowocześnianiu metod badawczych.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Czym się różnią badania nieniszczące od badań wcześniej poznanych?
2. Czy potrafisz wymienić trzy popularne rodzaje badań nieniszczących?
3. Czy potrafisz opisać badania, w których przedmioty są prześwietlane promieniami X lub γ ?
4. Jaki obraz otrzymuje się po przepuszczeniu wiązki promieni?
5. Czy opisane badania są bezpieczne dla badanego przedmiotu i człowieka?
6. Ile razy prędkość dźwięku jest większa w metalu niż w powietrzu?
7. Czy ultradźwięki są słyszalne przez ludzi?
8. Jakie znasz metody badania za pomocą ultradźwięków?
9. Do badania jakich przedmiotów szczególnie nadaje się ta metoda?
10. Jakie materiały można badać tą metodą?
11. Jaką metodę badań nieniszczących stosuje się wyłącznie do stopów żelaza?
12. Na czym polega ta metoda?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Porównaj wyniki defektoskopii ultradźwiękowej uzyskane podczas pomiaru metodami przenikania i echa przedstawione na ekranach oscyloskopu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z zasadami badań defektoskopowych metodą echa i metodą przenikania,
- 2) skorzystać z rys. nr 13 i 14 niniejszego poradnika,
- 3) zinterpretować wyniki przedstawionych typowych obrazów,
- 4) sformułować wnioski,
- 5) narysować inny typ wady wewnętrznej i przedstawić prawdopodobne obrazy, które mogłyby zostać wskazane przez oscyloskopy podczas badań w metodzie przenikania i echa.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradnik dla ucznia,
- przyrządy do rysowania,
- poradnik mechanika

Ćwiczenie 2

Wykonać badanie magnetyczne małych elementów, np. śruba stalowa M10, nit stalowy, sworzeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją obsługi stanowiska do badań magnetycznych,
- 2) wybrać elementy do badań,

- 3) posypać badane przedmioty drobnym proszkiem magnetycznym, względnie polej go zawiesiną takiego proszku w nafcie lub oleju,
- 4) umieścić badane przedmioty w polu magnetycznym,
- 5) naszkicować zaobserwowany rozkład linii sił pola magnetycznego,
- 6) wykonać ponowną próbę, obracając te same przedmioty o 90° w polu magnetycznym,
- 7) naszkicować ponownie zaobserwowany rozkład linii sił pola magnetycznego,
- 8) zinterpretować i porównaj otrzymane obrazy z obu położań próbek,
- 9) opisać rodzaj zaobserwowanych wad.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja obsługi stanowiska do badań magnetycznych,
- defektoskop magnetyczny,
- próbki z materiałów ferromagnetycznych,
- proszek magnetyczny lub jego zawiesina w nafcie lub oleju,
- foliogramy dotyczące wad materiałowych, wzorce wad.

4.7.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz?		
1) wyjaśnić, czym się charakteryzują badania nieniszczące materiałów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić, jakie wady materiałów można wykrywać w tych badaniach?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić, na czym polegają badania radiologiczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić, w jaki sposób ocenia się zaobserwowane wady?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, na czym polegają metody ultradźwiękowe wykrywania wad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić, jakie rodzaje wad można wykryć posługując się tymi metodami?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, jakie rodzaje materiałów można badać metodami ultradźwiękowymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyjaśnić, do jakiego rodzaju wyrobów przeznaczone są metody ultradźwiękowe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) wyjaśnić, na czym polegają badania magnetyczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) wyjaśnić, do jakich materiałów stosuje się badania magnetyczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) wyjaśnić, jakie rodzaje wad można wykrywać stosując tę metodę?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) wyjaśnić, jakie środki bezpieczeństwa należy zachować stosując badania radiologiczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.8. Przepisy bhp podczas wykonywanych badań

4.8.1. Materiał nauczania

Przestrzeganie zasad bhp na stanowisku wykonywanej pracy pozwala na uniknięcie wypadków, których konsekwencją mogą być nieszczęścia, kalectwo, a nawet śmierć pracownika. Dotyczy to w takim samym stopniu uczniów, za których bezpieczeństwo w trakcie realizacji programu odpowiada szkoła, nauczyciel, ale także sam uczeń.

Przystępując do realizacji zajęć w szkole uczeń powinien być zdrowy, wypoczęty. Sytuacją szczególną, stwarzającą wiele zagrożeń bezpośrednich dla ucznia jest kontakt z urządzeniami, przy pomocy których wykonuje ćwiczenie.

Jednostka modułowa: Badanie materiałów konstrukcyjnych musi się odbywać w specjalnie do tego przygotowanej i wyposażonej pracowni, lub w kilku pracowniach, najczęściej nazywanych pracownią techniczną. Każda z takich pracowni musi posiadać regulamin pracowni, regulamin wykonywanych ćwiczeń, instrukcje obsługi znajdujących się w pracowni urządzeń, zawierające wskazówki, dotyczące zachowania bezpieczeństwa, przepisów bhp, ochrony środowiska, a także poż.

Pomimo takich zabezpieczeń zdarzają się niebezpieczne sytuacje mogące spowodować wypadek. Większość urządzeń, z których korzystamy przy realizacji ćwiczeń znajduje się pod napięciem, dlatego niezmiernie ważne jest oprócz świadomości zagrożenia wypracowanej u uczniów, bardzo ściśle przestrzeganie instrukcji obsługi, a także zdyscyplinowane przestrzeganie zaleceń nauczyciela.

Niektóre z urządzeń mogą emitować szkodliwe i niebezpieczne dla zdrowia promieniowanie, mogą wywoływać odczyny alergiczne. Dlatego uczeń korzystający z pracowni musi mieć wykształconą świadomość odpowiedzialnego zachowania, dotyczącego własnego bezpieczeństwa, ale także bezpieczeństwa kolegów, z którymi współpracuje w zespole. Jego ubranie musi być stosowne do wykonywanych zajęć, bez zbędnych, luźnych ozdób, zwisających części, pasków, itp. Niektóre ćwiczenia wymagają stosowania odzieży ochronnej, nakrycia głowy, okularów ochronnych, odpowiedniego obuwia. Przygotowanie niektórych materiałów do badań wymaga zastosowania obróbki ręcznej i ręczno-maszynowej, używania olejów i smarów, stąd konieczność przestrzegania określonych przepisów i zasad zachowania:

1. Urządzenia, sprzęt i maszyny powinny być obsługiwane przez uprawnioną i przeszkoloną osobę.
2. W każdej pracowni musi znajdować się instrukcja korzystania z pracowni, której znajomość uczeń potwierdza własnoręcznym podpisem.
3. Przystępując do wykonania ćwiczenia należy posługiwać się sprawnymi narzędziami.
4. Instrukcja obsługi urządzenia musi znajdować się na widocznym miejscu.
5. Przestrzegając przepisów bezpieczeństwa zawartych w instrukcjach obsługi urządzeń i aparatów, w szczególności nie należy:
 - dotykać przewodów znajdujących się pod napięciem,
 - dotykać bez istotnej potrzeby części uziemionych (korpusy maszyn, urządzenia wodociągowe itp.) lub opierać się o nie w czasie wykonywania ćwiczeń,
 - zbliżać części ciała i ubranie do wirujących części urządzeń,
 - uruchamiać bez zezwolenia nauczyciela prowadzącego maszyn, urządzeń, aparatury kontrolno-pomiarowej,
 - podłączać układu do źródła prądu przed sprawdzeniem przez nauczyciela i bez jego zgody.

6. Przedmioty obrabiane lub poddane badaniom powinny być prawidłowo i pewnie zamocowane, aby podczas obróbki nie nastąpiło ich przesunięcie i odmocowanie, co może być przyczyną wypadku.
7. Podczas wykonywania operacji, w których powstają odpryski, należy używać okularów ochronnych.
8. Nie należy posługiwać się narzędziami mającymi jakiegokolwiek uszkodzenia, zarówno w części roboczej, jak i w części chwytowej.
9. Podczas ostrzenia narzędzi lub pracy na szlifierkach należy używać okularów ochronnych. Nie wolno dotykać lub zatrzymywać ręką obracających się części.
10. Przy zakładaniu ściernicy należy sprawdzić, czy nie jest pęknięta i należy ją dokładnie wyważyć.
11. Wirujące części urządzenia powinny być zabezpieczone osłonami.
12. Powstające wióry i opiłki należy usuwać szczotką lub haczykiem.
13. Narzędzia i urządzenia o napędzie elektrycznym powinny mieć uziemienie.
14. Narzędzia ręczne używane przy pracach elektrycznych powinny mieć izolowane uchwyty.
15. Nie należy dotykać przewodów z uszkodzoną izolacją lub bez niej.
16. Wszystkie nieprawidłowości powstałe podczas wykonywania ćwiczeń, lub zauważone wcześniej należy zgłaszać nauczycielowi.
17. Przy pracy z płynami typu nafta i oleje należy zabezpieczyć się przed ich rozlaniem, a jeśli ono nastąpi należy bezzwłocznie przerwać wykonywanie ćwiczenia, zgłosić nauczycielowi.
18. W pracowni, gdzie posługuje się olejem i smarami nie wolno przebywać z otwartym ogniem.
Należy ściśle przestrzegać zaleceń regulaminu i wykonywać czynności według instrukcji pisemnych lub ustnych, udzielanych przez nauczyciela prowadzącego ćwiczenia.

4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co powinieneś zrobić, zanim zaczniesz wykonywać ćwiczenie w pracowni?
2. Co pozwala uniknąć wielu wypadków czasie wykonywania ćwiczeń?
3. Kto może obsługiwać urządzenia znajdujące się na stanowisku pracy?
4. Czy można dotykać przewodów z uszkodzoną izolacją?
5. Jaki powinien być twój strój do wykonywania ćwiczeń?
6. Czy można opierać się o uziemione urządzenia?
7. Dlaczego narzędzia wirujące muszą być dobrze umocowane?
8. W jakich sytuacjach należy używać okularów ochronnych?
9. Jakie urządzenia powinny być wyposażone w osłony?
10. W jaki sposób usuwa się wióry i opiłki?
11. W jaki sposób zabezpiecza się wirujące części urządzeń?
12. Jak powinny być zabezpieczone narzędzia ręczne używane do prac elektrycznych?
13. Jak należy się zachować w przypadku rozlanego oleju w pracowni?
14. Co należy zrobić, jeśli przewody elektryczne mają uszkodzoną izolację?

4.8.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wybierz z przedstawionej grupy narzędzi te, które można zastosować do wykonywania i przygotowania ćwiczeń, lub przeprowadzenia próby.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) z przedstawionych różnych narzędzi przygotowanych przez nauczyciela, wybierz wyłącznie takie, które nie posiadają żadnych wad. Wybór należy uzasadnić.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- tarcza szlifierska,
- przecinaki,
- piłka do metali,
- wkrętaki,
- obcęgi,
- wiertło.

Ćwiczenie 2

W tabeli podano opis sytuacji stwarzających zagrożenie dla ćwiczącego. Uzupełnij tabelę, opisując powstałe zagrożenie i zaproponuj jak mu zapobiec.

Lp.	Opis sytuacji na stanowisku pracy	Opis zagrożenia	Sposób rozwiązania
1.	Na podłodze został rozlany olej		
2.	Podczas szlifowania próbek pracownik nie używa okularów ochronnych		
3.	Próbka zamocowana w maszynie wytrzymałościowej wysuwa się		
4.	Piłka do metalu ma luźny brzeszczot		
5.	Drut zamocowany w imadle podczas próby przeginanania lekko się przesuwają		
6.	Lusterko w aparacie Erichsena jest pęknięte		
7.	Podpory do próbek w młocie Charpy'ego nie są równoległe		

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) w kolumnie opis zagrożenia wpisać krótką charakterystykę zaistniałej sytuacji,
- 2) w kolumnie sposób rozwiązania zaproponować likwidację zagrożenia zgodnie z przepisami bhp oraz instrukcjami stanowiskowymi.

Wyposażenie stanowiska:

- regulamin pracowni,
- instrukcja bhp,
- instrukcja do wykonania ćwiczenia.

4.8.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz?		
1) wyjaśnić, jakie zagrożenie występuje podczas wykonywania ćwiczenia na maszynie wytrzymałościowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić, jakie ubranie należy mieć podczas obsługi szlifierki?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać zagrożenia występujące podczas próby udarności,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić, przepisy bhp podczas badań właściwości technologicznych,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, dlaczego badania radiologiczne mogą być szkodliwe?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić, jak wykonać roztwór kwasu do trawienia próbek?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, dlaczego olej rozlany stwarza zagrożenie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Udzielaj odpowiedzi na załączonej karcie odpowiedzi.

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Odporność materiału na obciążenia to właściwości:
 - a) chemiczne,
 - b) mechaniczne,
 - c) fizyczne,
 - d) technologiczne.
2. Zdolność materiałów do przenoszenia obciążeń, to:
 - a) wytrzymałość,
 - b) sprężystość,
 - c) twardość,
 - d) kruchość.
3. Obciążenia działające w sposób stały, to obciążenia:
 - a) dynamiczne,
 - b) statyczne,
 - c) zmienne,
 - d) graniczne.
4. Naprężenia chwilowe powstałe w materiale zależą od:
 - a) naprężeń dopuszczalnych,
 - b) wytrzymałości materiału,
 - c) temperatury otoczenia,
 - d) działającego obciążenia.
5. Wielkością podstawową okrągłej próbki jest:
 - a) szerokość,
 - b) masa,
 - c) średnica,
 - d) rodzaj uchwytu.
6. Próbę rozciągania przeprowadza się:
 - a) na zrywarce,
 - b) na tokarce,
 - c) na frezarce,
 - d) w imadle.

7. Granica sprężystości, to wielkość, poniżej której materiał:
 - a) posiada zdolność do odkształceń trwałych,
 - b) powraca do stanu początkowego po odjęciu siły,
 - c) zaczyna nadmiernie wydłużać się,
 - d) pęka pod wpływem obciążeń.

8. Plastyczność to cecha materiału, pozwalająca na:
 - a) krótkotrwałe obciążanie materiału,
 - b) przenoszenie małych obciążeń,
 - c) dużą kruchość przy podwyższonych temperaturach,
 - d) nadawanie kształtów podczas obróbki plastycznej.

9. Wytrzymałość na rozciąganie, to naprężenie wywołane:
 - a) minimalną siłą przyłożoną do próbki ($F_{min.}$),
 - b) siłą która powoduje zerwanie próbki plastycznej (F_u)
 - c) największą siłą przyłożoną do próbki (F_m),
 - d) siłą, powodującą „płynięcie” próbki (F_e).

10. Wzrost temperatury otoczenia powoduje:
 - a) zwiększenie wytrzymałości materiału,
 - b) obniżenie wytrzymałości materiału,
 - c) wzrost kruchości materiału,
 - d) nie ma wpływu na wytrzymałość.

11. Twardość jest cechą:
 - a) mechaniczną,
 - b) fizyczną,
 - c) chemiczną,
 - d) handlową.

12. W metodzie Brinella wciska się:
 - a) igłę,
 - b) stożek,
 - c) kulkę,
 - d) walec.

13. Metodę Brinella stosuje się do pomiaru twardości:
 - a) węgla,
 - b) tworzyw sztucznych,
 - c) materiałów średnio twardych,
 - d) materiałów bardzo twardych.

14. Obciążanie próbki ma przebieg:
 - a) uderzeniowy,
 - b) łagodny,
 - c) etapowy,
 - d) skokowy.

13. Pomiar twardości metodą Rockwella polega na wciskaniu:
- ostrosłupa,
 - igły,
 - szpilki,
 - stożka.
16. Pomiar twardości metodą Vickersa polega na wciskaniu:
- kulki,
 - stożka,
 - igły,
 - ostrosłupa.
17. Metoda Rockwella służy do badania materiałów:
- plastycznych,
 - ciągliwych,
 - z drewna,
 - twardych powłok.
18. Próba udarowa to próba:
- statyczna,
 - spoczynkowa,
 - skokowa,
 - dynamiczna.
19. Udarność jest miarą:
- plastyczności materiału,
 - kruchości materiału,
 - wytrzymałości na zginanie,
 - wytrzymałości na ścinanie.
20. Udarność określa:
- współczynnik k ,
 - naprężenie σ ,
 - wskaźnik F ,
 - wskaźnik K .
21. Obniżenie temperatury otoczenia powoduje:
- spadek udarności,
 - wzrost udarności,
 - wzrost plastyczności,
 - nie ma wpływu na udarność.
22. Na podstawie przełomu próbki można określić:
- nazwę materiału,
 - skład chemiczny materiału,
 - kruchość materiału,
 - wytrzymałość materiału.

23. Materiały poddane walcowaniu muszą posiadać dobrą:
- wytrzymałość,
 - gładkość,
 - plastyczność,
 - lejność.
24. Wzrost temperatury:
- podnosi plastyczność,
 - zmniejsza plastyczność,
 - jest obojętny dla plastyczności,
 - zmienia plastyczność w niektórych zakresach temperatur.
25. Właściwości odlewnicze charakteryzuje:
- wytrzymałość,
 - kruchość,
 - lejność,
 - spawalność.
26. Badania makroskopowe przeprowadza się przy użyciu:
- mikroskopu,
 - makroskopu,
 - gołym okiem,
 - fal magnetycznych.
27. Za pomocą badań makroskopowych można stwierdzić:
- wytrzymałość materiału,
 - określić wady powierzchniowe,
 - lejność,
 - twardość.
28. Jak przygotowuje się próbki do badań nieniszczących:
- przez wycinanie,
 - wykonanie przekrojów,
 - nie przygotowuje się,
 - wykonuje się zgłady.
29. Badania magnetyczne służą do badania:
- żelaza i jego stopów,
 - tworzyw sztucznych,
 - metali kolorowych,
 - drewna.
30. Zanim zaczniesz zajęcia w pracowni do ćwiczeń, powinieneś:
- poznać program ćwiczeń,
 - umyć ręce,
 - założyć obuwie zmienne,
 - poznać przepisy bhp.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	<i>Odpowiedź</i>				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
21	a	b	c	d	
22	a	b	c	d	
23	a	b	c	d	
24	a	b	c	d	
25	a	b	c	d	
26	a	b	c	d	
27	a	b	c	d	
28	a	b	c	d	
29	a	b	c	d	
30	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Katalog Polskich Norm
2. Wojtkun F., Bukala W.: Materiałoznawstwo. WSiP, Warszawa 1999
3. Mały Poradnik Mechanika. WSiP, Warszawa 1999
4. Poradnik ślusarza. WNT 1989
5. Siuta W.: Mechanika techniczna. WSiP, Warszawa 2000
6. Dretkiewicz-Więch J.: Materiałoznawstwo. OBRPNiSS, Warszawa 1993
7. Rutkowski A.: Części maszyn. WSiP, Warszawa 1999
8. Struzik C.: Pracownia techniczna. WSiP, Warszawa 1990