



*PROJEKT:*

*Grenzüberschreitendes Ausbildungsmodell „ViVA 4.0“ /*

*Transgraniczny model dualnego kształcenia zawodowego „ViVA 4.0”*

## PROGRAM NAUCZANIA

**Nazwa modułu: Badania materiałowe**

**Symbol modułu:**

**Czas realizacji: 5 dni - 40 godz.**

## I. Opis modułu:

Moduł – badania materiałowe jest jednym z modułów transgranicznego modelu dualnego kształcenia zawodowego „ViVA 4.0”.

Jednostka modułowa zawiera: cele kształcenia, wymagania wejściowe, wykaz oczekiwanych efektów kształcenia, program nauczania, ćwiczenia, środki dydaktyczne, wskazania metodyczne do realizacji programu, propozycje metod sprawdzania i oceny osiągnięć edukacyjnych ucznia.

## II. Cel modułu:

Celem modułu jest przygotowanie ucznia (słuchacza) do wykonywania zadań zawodowych w zakresie pobierania próbek i wykonywania niszczących badań właściwości mechanicznych i technologicznych materiałów.

## III. Wymagania wejściowe:

Uczestnik modułu powinien posiadać podstawową wiedzę z zakresu materiałoznawstwa i wytrzymałości materiałów oraz badania metali i ich stopów.

## IV. Wykaz umiejętności kształtowanych w ramach modułu

W wyniku realizacji programu nauczania uczeń (słuchacz) powinien umieć:

1. określić warunki badania materiałów na podstawie wymagań norm, specyfikacji technicznych itp.
2. wykonać badania niszczące materiałów zgodnie z pisemnymi instrukcjami lub normami:
  - próba rozciągania,
  - pomiar twardości metodą Brinella, Rockwella, Vickersa,
3. zinterpretować uzyskane wyniki badań na podstawie pisemnych kryteriów oraz sformułować wnioski,
4. rejestrować wyniki badań i formułować protokół z przeprowadzonych badań
5. używać programy komputerowe wspomagające badania materiałowe
6. przygotować stanowisko do badań,
7. zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska podczas wykonywania badań.

Po ukończeniu modułu szkoleniowego uczestnik będzie w stanie samodzielnie przygotować i przeprowadzić pomiar twardości, udarności oraz wykonać próbę wytrzymałości na rozciąganie, zginanie i skręcanie zgodnie z pisemnymi instrukcjami lub normami.

## V. Oczekiwane efekty

| Umiejętność                                                                                                           | Efekty uczenia się wraz z kryteriami weryfikacji                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| przewiduje zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka oraz mienia i środowiska związane z wykonywaniem zadań zawodowych | <ul style="list-style-type: none"> <li>- scharakteryzować zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka związane z wykonywaniem zadań zawodowych związanych z obsługą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej oraz twardościomierzy</li> <li>- scharakteryzować zagrożenia dla mienia i środowiska związane z wykonywaniem zadań zawodowych związanych z obsługą uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej oraz twardościomierzy</li> <li>- współpracować ze służbami promocji bezpieczeństwa i ochrony pracy w zakresie rozpoznawania zagrożeń dla zdrowia i życia człowieka oraz dla mienia i środowiska</li> </ul> |
| stosuje środki ochrony indywidualnej i zbiorowej podczas wykonywania zadań zawodowych                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zastosować środki ochrony indywidualnej właściwe dla wykonywanych zadań zawodowych: pomiaru twardości, prób rozciągania</li> <li>- zastosować środki ochrony zbiorowej właściwe dla wykonywania zadań zawodowych: pomiaru twardości, próby rozciągania</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| dobiera metody pomiaru zgodnie z PN EN ISO, obsługuje podstawowe narzędzia pomiarowe                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zna stosowane metody pomiarowe</li> <li>- dobiera odpowiednią metodę do stawianych wymagań</li> <li>- wykonać pomiary podstawowymi narzędziami pomiarowymi</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |



|                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| sprawdza próbki do badań                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- zna warunki, jakie musi spełniać próbka do badań</li> <li>- wie, jak należy przygotować próbki do badań wytrzymałościowych</li> <li>- sprawdza próbki do badań</li> <li>- wykonać pomiary próbki do badań przyrządami pomiarowymi</li> </ul>                                                                                                                                         |
| wykonuje badania własności mechanicznych próbek materiałowych | <p>Wykonuje badania wytrzymałościowe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- obsługuje uniwersalną maszynę wytrzymałościową</li> <li>- obsługuje oprogramowanie sterujące uniwersalną maszyną wytrzymałościową</li> <li>- wykonuje próby rozciągania</li> <li>- określa na podstawie próby rozciągania: granicę plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie materiału oraz wydłużenie względne po rozrywaniu</li> </ul> |
| wykonuje pomiary twardości                                    | <p>Wykonuje pomiary twardości:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- obsługuje twardościomierze: Brinella, Vickersa, Rockwella</li> <li>- obsługuje oprogramowanie wspomagające</li> <li>- bada twardość materiałów metodą: Brinella, Vickersa, Rockwella</li> </ul>                                                                                                                                                   |
| sporządza protokoły z przeprowadzonych badań                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- umie dokumentować wyniki zgodnie z wymaganiami norm odniesienia PN EN ISO</li> <li>- podać rzeczywiste warunki wykonania badania</li> <li>- zinterpretować uzyskane wyniki badań na podstawie pisemnych kryteriów oraz sformułować wnioski</li> </ul>                                                                                                                                |
| wykonuje konserwację maszyn pomiarowych                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- przeprowadzić konserwację twardościomierzy, uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## VI. Treści nauczania

Program:

### CZĘŚĆ TEORETYCZNA (24 godziny, 3 dni)

Cześć teoretyczna modułu obejmuje zagadnienia dotyczące badania właściwości mechanicznych i technologicznych materiałów, badanie właściwości mechanicznych: próba rozciągania, metody pomiaru twardości.  
Doskonalenie systemu badań materiałowych.  
Bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania badań.  
Podczas zajęć teoretycznych wszystkie zagadnienia omówione są na praktycznych przykładach.

### Podstawowe zasady wykonywania badań właściwości materiałów

- podstawowe metody badań niszczących materiałów
- przedmiot badań, dobór techniki badawczej, opracowanie wyników, organizacja i wyposażenie pracowni badań materiałów, kwalifikacje personelu, normy i specyfikacje techniczne, standaryzacja w badaniach materiałów
- doskonalenie systemu badań materiałowych (procedury postępowania, metody komputerowego wspomagania badań, system jakości w badaniach materiałowych)

### Dzień 1

### Dzień 2

#### Próba rozciągania

- podstawy teoretyczne
- uniwersalna maszyna wytrzymałościowa do prób rozciągania
- wykonanie próby rozciągania
- protokół z próby rozciągania

**Badania twardości**, metoda Brinella, metoda Vickersa, metoda Rockwella

**Dzień 3**

- podstawy teoretyczne
- uniwersalna maszyna wytrzymałościowa do prób rozciągania
- wykonanie pomiaru twardości
- protokół z pomiaru twardości

**CZĘŚĆ PRAKTYCZNA  
(16 godzin, 2 dni)**

Część praktyczna odbywa się na rzeczywistym stanowisku badawczym i obejmuje wszystkie czynności niezbędne do wykonania statycznej próby rozciągania oraz wykonania pomiaru twardości

**Ćwiczenie nr 1: Próba rozciągania**

Próba rozciągania zgodnie z instrukcją ćwiczenia:

**Dzień 4**

- obsługa uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej
- przebieg ćwiczenia
- sporządzenie protokołu z przeprowadzonego ćwiczenia

**Ćwiczenie nr 2 Pomiar twardości**

Pomiar twardości zgodnie z instrukcją ćwiczenia:

**Dzień 5**

- obsługa twardościomierzy: Brinella, Vickersa, Rockwella
- przebieg ćwiczenia
- sporządzenie protokołu z przeprowadzonego ćwiczenia
- Test egzaminacyjny

**VII. Metody pracy z uczniami**

Wskazane jest stosowanie takich metod, jak: metoda przewodniego tekstu, ćwiczeń praktycznych oraz pokazu z objaśnieniem. Do ćwiczeń należy przygotować odpowiednią instrukcję lub przewodni tekst.

Przed rozpoczęciem ćwiczeń nauczyciel powinien przeprowadzić pokaz z objaśnieniem trudniejszych czynności dotyczących obsługi urządzeń wykorzystywanych do badań. Powinien również przygotować materiały niezbędne do wykonania ćwiczeń, jak: teksty przewodnie, instrukcje do ćwiczeń, specyfikacje techniczne, poradniki, normy odniesienia PN EN ISO i inne. Uczniowie korzystając z pytań prowadzących zawartych w tekście przewodnim lub instrukcji do ćwiczeń oraz z materiałów źródłowych planują przebieg badań, organizują stanowisko pracy i wykonują zadanie. Podczas wykonywania ćwiczeń nauczyciel powinien obserwować pracę uczniów oraz udzielać im konsultacji. Po zakończeniu ćwiczenia uczeń powinien przedstawić uzyskane wyniki oraz dokonać ich interpretacji. Zajęcia powinny odbywać się w grupie 6 osób, w pracowni badań materiałowych, na wydzielonych stanowiskach pracy. Uczniowie powinni pracować w zespołach 2 osobowych.

Należy także zwrócić uwagę na kształtowanie postaw zawodowych dotyczących: przestrzegania zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, utrzymania porządku na stanowisku badań, starannego wykonywania zadań, a także umiejętności organizacji pracy indywidualnej i zespołowej.

Przed przystąpieniem do realizacji ćwiczeń konieczne jest zapoznanie uczniów z przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy.

**VIII. Miejsce realizacji – nazwa/opis pracowni, w których kształtowane powinny być konkretne umiejętności.**

Zajęcia powinny być prowadzone w pracowni badań materiałowych wyposażonej w: stanowisko komputerowe dla nauczyciela z drukarką, z projektorem multimedialnym, stanowiska komputerowe (jedno stanowisko dla jednego ucznia), uniwersalną maszynę wytrzymałościową wyposażoną w komputer z oprogramowaniem umożliwiającym rejestrację wyników pomiaru, twardościomierze: Rockwella, Vickersa, Brinella, próbki do badań według PN EN ISO, instrukcje stanowiskowe oraz instrukcje bezpieczeństwa i higieny pracy, prezentacje dotyczące badań właściwości mechanicznych i technologicznych metali i stopów, normy odniesienia PN EN ISO, poradniki, teksty przewodnie do ćwiczeń, oprogramowanie sterujące, narzędzia i przyrządy pomiarowe, narzędzia obsługowe, instrukcje obsługi wyposażenia do badań.

Zajęcia mogą odbywać się w: pracowniach i warsztatach szkolnych, placówkach kształcenia ustawicznego, placówkach kształcenia praktycznego, oraz podmiotach stanowiących potencjalne miejsce zatrudnienia absolwentów szkół kształcących w zawodzie.

#### **IX. Wykazy narzędzi, maszyn i urządzeń i opisy sposobów ich wykorzystywania podczas realizacji modułu.**

Stanowisko komputerowe dla nauczyciela z drukarką, z projektorem multimedialnym, stanowiska komputerowe (jedno stanowisko dla jednego ucznia), uniwersalna maszyna wytrzymałościowa wyposażona w komputer z oprogramowaniem umożliwiającym rejestrację wyników pomiaru, twardościomierze: Rockwella, Vickersa, Brinella, próbki do badań według PN EN ISO, instrukcje stanowiskowe oraz instrukcje bezpieczeństwa i higieny pracy, prezentacje dotyczące badań właściwości mechanicznych i technologicznych metali i stopów, normy odniesienia PN EN ISO, poradniki, teksty przewodnie do ćwiczeń, oprogramowanie sterujące, narzędzia i przyrządy pomiarowe, narzędzia obsługowe, instrukcje obsługi wyposażenia do badań.

#### **X. Metody walidacji osiągniętych efektów.**

Sprawdzanie i ocenianie osiągnięć ucznia powinno odbywać się systematycznie przez cały czas realizacji modułu, na podstawie kryteriów podanych na początku zajęć.

W wymaganym zakresie uczeń powinien:

- według instrukcji lub przewodniego tekstu przeprowadzić badania materiałów z zastosowaniem przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy i ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska i zaprezentować ich wyniki,
- zinterpretować wyniki badań, sformułować wnioski i ocenić jakość wykonanej próby.

Umiejętności praktyczne proponuje się sprawdzać na podstawie obserwacji czynności ucznia podczas wykonywania ćwiczeń. Kryteria służące do oceny poziomu opanowania umiejętności praktycznych powinny uwzględniać:

- 1) organizację stanowiska pracy,
- 2) przestrzeganie przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy,
- 3) korzystanie z różnych źródeł informacji,
- 4) poprawność wykonywanych czynności,
- 5) interpretację wyników badań.

Podstawą uzyskania przez ucznia pozytywnej oceny, po zakończeniu realizacji programu modułu, powinno być poprawne wykonanie ćwiczeń zaplanowanych do realizacji.

#### **XI. Proponowana literatura**

- Wiktor Kubiński - „Wybrane metody badania materiałów” - Wydawnictwo Naukowe PWN
- PN-EN ISO 6892-1 Metale. Próba rozciągania - Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej
- PN-EN ISO 6506-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Brinella. Część 1. Metoda badania
- PN-EN ISO 6508-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Rockwella. Część 1. Metoda badania



- PN-EN ISO 6507-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Vickersa. Część 1. Metoda badania

## **XII. Przykładowe scenariusze zajęć zawierające przykładowe zestawy ćwiczeń**

- 1) Ćwiczenie nr 1 Próba rozciągania.
- 2) Ćwiczenie nr 2 Pomiar twardości.



PROJEKT:

*Grenzüberschreitendes Ausbildungsmodell „ViVA 4.0“ /*

*Transgraniczny model dualnego kształcenia zawodowego „ViVA*

## ĆWICZENIE:

**Badania wytrzymałości materiału na rozciąganie.**

Nazwa modułu: **Badania materiałowe**



## 1. Cel ćwiczeń

Zapoznanie się z próbą statycznego rozciągania i maszyną wytrzymałościową. Zapoznanie się z zachowaniem materiału podczas procesu rozciągania. Przeprowadzenie próby rozciągania na próbkach wskazanych przez prowadzącego. Określenie podstawowych własności wytrzymałościowych i plastycznych materiału.

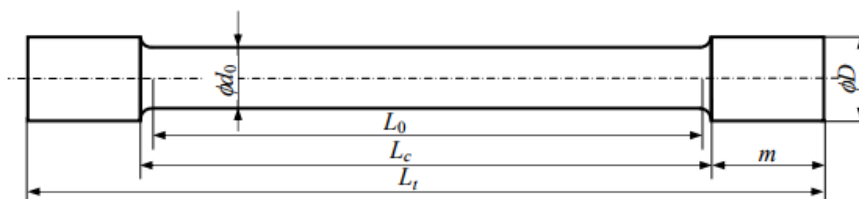
## 2. Zakres ćwiczeń

Wykorzystanie maszyny wytrzymałościowej do określenia wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności oraz wydłużenia.

## 3. Wstęp do ćwiczeń

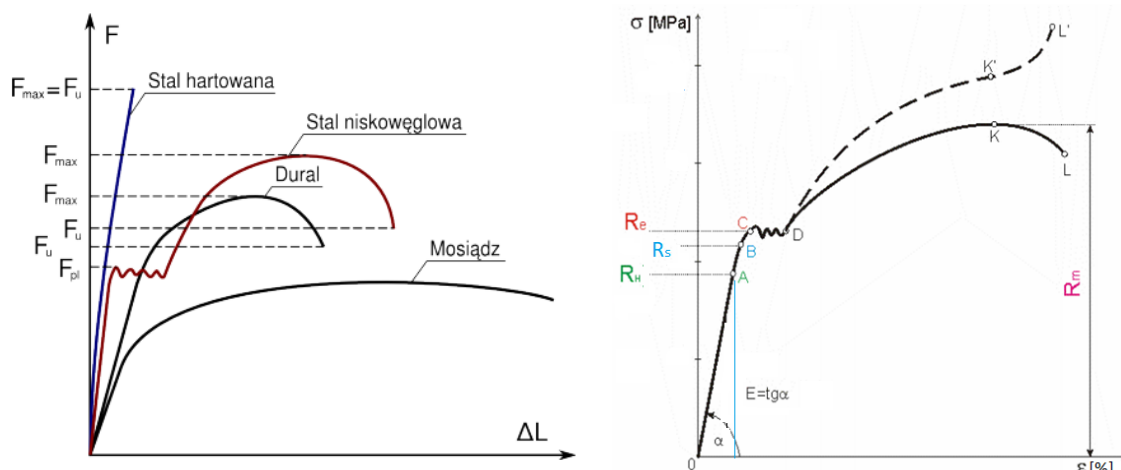
Próba rozciągania polega na powolnym rozciąganiu z zadana stałą prędkością odpowiednio przygotowanej próbki płaskiej lub walcowej. Zasady przygotowania próbek, przeprowadzenia badania oraz opracowanie wyników są precyzyjnie opisane w PN-EN ISO 6892-1:2016-09 „Metale – Próba rozciągania – Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej”. Na podstawie tych badań uzyskuje się informacje o charakterystycznych nieprężeniach powstających przy różnych poziomach obciążenia: granicy proporcjonalności, sprężystości, plastyczności (górna i dolna), wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużalności sprężystej i plastycznej badanego materiału. Zazwyczaj próba wykonywana jest do momentu rozerwania próbki.

**Stosowane próbki** - Do prób rozciągania używane mogą być próbki w kształcie cylindrycznym (toczone) lub płaskie. Próbki toczone przygotowuje się w taki sposób, aby ich średnica była jak największa w stosunku do możliwości maszyny wytrzymałościowej. Długość środkowej części próbki  $l_0$  jest zależna od rodzaju wskaźnika wydłużenia zgodnie z normą  $n = 5$  lub  $10$ ). Wielkość ta jest wielokrotnością średnicy:  $l_0 = n \cdot d_0$ . Próbki zakończone są częściami uchwytowymi o średnicy większej niż ich część środkowa.



Rys.1. Próbka okrągła z główkami do chwytania w szczęki

Właściwości wytrzymałościowe charakteryzują opór materiału próbki na odkształcanie lub pękanie. Wielkości wytrzymałościowe wyznacza się z położenia określonych punktów na wykresie rozciągania.



Rys. Wykres zależności wydłużenie – obciążenie w zwykłej próbie rozciągania oraz zależność naprężenia do wydłużenia

Należy pamiętać iż wykres rozciągania można przestawić w dwóch układach współrzędnych tzn. naturalnym czyli układ siła – wydłużenie ( $F - \Delta l$ ) lub odkształcenie – naprężenie ( $\sigma - \varepsilon$ ).

Wartość naprężenia  $\sigma$  w poprzecznym przekroju próbki określa się umownie jako:

$$\sigma = \frac{F}{A} [MPa]$$

gdzie:

$F$  – siła, [N],

$A$  – początkowy przekrój kształtki, [mm<sup>2</sup>].

Wydłużenie względne w kierunku wzdłużnym próbki w odniesieniu do odcinka pomiarowego  $l_0$  wyznacza się ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_0 - l}{l_0}$$

gdzie:

$\Delta l$  – przyrost długości kształtu  $\Delta l = l_0 - l$ , [m]

$l_0$  – długość odcinka pomiarowego, [m]

$l$  – długość odcinka pomiarowego po rozciąganiu, [m]

Wydłużenie jest wprost proporcjonalne do naprężenia, które je spowodowało – Prawo Hooke'a

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Podczas działania sił na elementy konstrukcyjne występują odkształcenia, czyli zmiana wymiarów.

**Statyczna próba rozciągania pozwala na wyznaczenie wskaźników wytrzymałości:**

**$R_H$**  – **wskaźnik granicy proporcjonalności** – największe naprężenie umowne, przy którym jeszcze obowiązuje prawo Hooke’a:

$$R_H = \frac{F_H}{S_o}$$

**$R_S$**  – **wskaźnik granicy sprężystości** – największa wartość naprężenia umownego, przy którym nie występuje jeszcze odkształcenie trwałe:

$$R_S = \frac{F_S}{S_o}$$

Ze względu na trudności w wyznaczeniu granicy sprężystości wprowadzono pojęcie tzw. umownej granicy sprężystości  **$R_{0,05}$**  czyli naprężenie umowne, które wywołuje w próbce odkształcenie trwałe równe 0,05%

$$R_{0,05} = \frac{F_{0,05}}{S_o}$$

**$R_e$**  - **wyraźna granica plastyczności** – naprężenie po osiągnięciu którego następuje wyraźny wzrost wydłużenia rozciąganej próbki bez wzrostu lub nawet przy spadku siły  $F_e$  (na odcinku CD).

$$R_e = \frac{F_e}{S_o}$$

**$R_m$**  – **wytrzymałość na rozciąganie** – naprężenia odpowiadające największej sile  $F_m$  uzyskane w czasie próby rozciągania, odniesione do przekroju początkowego próby

$$R_m = \frac{F_m}{S_o}$$

Na odcinku KL następuje przewężenie próbki rozciąganej (tzw. szyjka), a następnie zerwanie

Na podstawie wyników próby rozciągania wyznacza się również wskaźniki charakteryzujące **własności plastyczne** materiału badanej próbki:

– względne wydłużenie próbki po rozerwaniu  $A_p$ , jest to stosunek przyrostu długości pomiarowej próbki po zerwaniu do jej długości początkowej wyrażony w procentach:

$$A_p = \frac{l - l_o}{l_o} 100\%$$

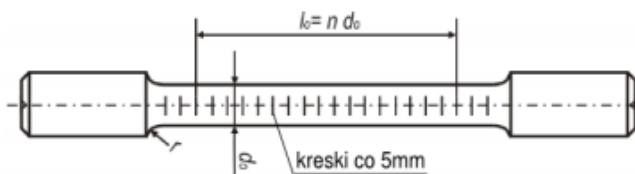
gdzie: p - krotność próbki (5)

- względne przewężenie próbki po rozerwaniu  $Z$ , jest to stosunek zmniejszenia powierzchni przekroju poprzecznego próbki w miejscu rozerwania do jej powierzchni początkowej wyrażony w procentach:

$$Z = \frac{S_o - S}{S_o} 100\%$$

#### 4. Przebieg ćwiczenia

- zapoznać się z normą PN-EN ISO 6892-1;
- zmierzyć wymiary próbki: średnica (grubość) i długość początkową w kilku miejscach
- nanieść na próbkę bazę pomiarową tzn. zaznaczyć rysikiem kreski co 5 mm w ilości większej niż wskaźnik wydłużenia



**Próbka do badań z zaznaczonymi kreskami**

- przeprowadzić próbę statycznego rozciągania
- po zerwaniu należy dokładnie złożyć próbkę i zmierzyć średnicę próbki w miejscu pęknięcia
- dokonać pomiaru długości po zerwaniu, w tak sposób aby odcinek ten zawierał taką samą liczbę działek jak  $l_0$
- obliczyć właściwości wytrzymałościowe i plastyczne badanego materiału

#### Wykonanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy podać:

- cel przeprowadzania próby rozciągania
- rodzaje próbek stosowanych w próbach rozciągania
- wykresy rozciągania otrzymane podczas wykonywania próby
- rysunek próby,
- wyniki pomiarów zestawione w sprawozdaniu

#### SPRAWOZDANIE Z ĆWICZEŃ

Temat ćwiczenia: Statyczna próba rozciągania

#### Arkusz wyników pomiaru

Badany materiał .....

#### Parametry próbki przed badaniem:

Początkowa długość  $l_0$  = ..... [mm]Początkowa średnica próbki  $d_0$  = ..... [mm]Początkowe pole przekroju poprzecznego próbki  $S_0$  ..... [mm<sup>2</sup>]**Parametry próbki po badaniu:**Całkowita długość próbki po badaniu  $l$  = ..... [mm]Średnica próbki w najwęższym miejscu  $d$  = ..... [mm]Pole przekroju poprzecznego w najwęższym miejscu  $S$  ..... [mm<sup>2</sup>]**Pomiary sił rozciągających:**siła wywołująca wyraźną granicę plastyczności  $F_e$  ..... [kN]maksymalna siła rozciągająca w próbce  $F_m$  ..... [kN]siła rozrywająca próbkę  $F_u$  ..... [kN]**Parametry wytrzymałościowe:** $R_e$  - wyraźna granica plastyczności –  $R_e = \frac{F_e}{S_0}$  ..... [MPa] $R_m$  – wytrzymałość na rozciąganie –  $R_m = \frac{F_m}{S_0}$  ..... [MPa] $R_u$  – rzeczywiste naprężenia rozciągające –  $R_u = \frac{F_u}{S}$  ..... [MPa]**Parametry geometryczne:** $A_p$  – wydłużenie względne ..... [%] $Z$  – przewężenie względne ..... [%]**Proponowana literatura.**

- Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J. (2000), Metody i ocena właściwości tworzyw sztucznych, Warszawa, WNT.
- Przygocki W. (1990), Metody fizyczne badań polimerów, Warszawa, PWN.
- Beluch W. i in. (2002), Laboratorium z wytrzymałości materiałów: praca zbiorowa pod red. Tadeusza Burczyńskiego, Witolda Belucha, Antoniego Johna.
- PN-EN ISO 6892-1 Metale. Próba rozciągania. Część 1. Metoda badania w temperaturze pokojowej.
- PN-EN ISO 4136. Badania niszczące złączy spawanych metali. Próba rozciągania próbek poprzecznych.



PROJEKT:

*Grenzüberschreitendes Ausbildungsmodell „ViVA 4.0“ /*

*Transgraniczny model dualnego kształcenia zawodowego „ViVA 4.0”*

## ĆWICZENIE:

**Badania twardości**

Nazwa modułu: **Badania materiałowe**

### 1. Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z podstawowymi metodami statycznymi pomiaru twardości metali (Brinella, Rockwella, Vickersa). Nabycie umiejętności w określeniu twardości metali metodami Brinella, Rockwella i Vickersa. Zapoznanie się z budową twardościomierzy oraz praktycznym określeniem twardości różnych metali tymi metodami.

### 2. Zakres ćwiczeń

Zapoznanie się z budową twardościomierza Brinella. Wykonanie badania twardości metodą Brinella. Przeanalizowanie zasad jakie występują podczas badania twardości. Wykonanie pomiaru.

### 3. Przebieg ćwiczeń

Metoda badania twardości metodą Brinella opisuje Polska Norma PN-EN ISO 6506-1:2008. Metoda ta polega na wciskaniu pod obciążeniem  $F$  wgłębnika, w postaci wypolerowana kulki z węglików spiekanych o średnicy  $D$  (10; 5 2,5 1 mm) w powierzchnię badanego materiału, w czasie  $t$ . Średnica odcisku kuli  $d$ , jako średnia z dwóch pomiarów w kierunkach wzajemnie prostopadłych, służy do obliczania pola powierzchni czaszy. Twardość Brinella jest to stosunek siły obciążającej do pola powierzchni czaszy odcisku.

$$HB = 0,102 \frac{F}{S_{cz}}$$

gdzie:

HB - twardość wg Brinella,

$F$  – siła obciążająca,

$S_{cz}$  – pole powierzchni czaszy.

Ponieważ:

$$S_{cz} = p \cdot D \cdot h$$

Po czym:

$$h = \frac{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

To:

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

gdzie:

$D$  – średnica kuli, mm

$F$  – siła obciążająca, N

$d$  – średnia średnica odcisku, mm

$h$  – głębokość odcisku, mm

$$\rightarrow d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

**W celu wykonania pomiaru należy:**

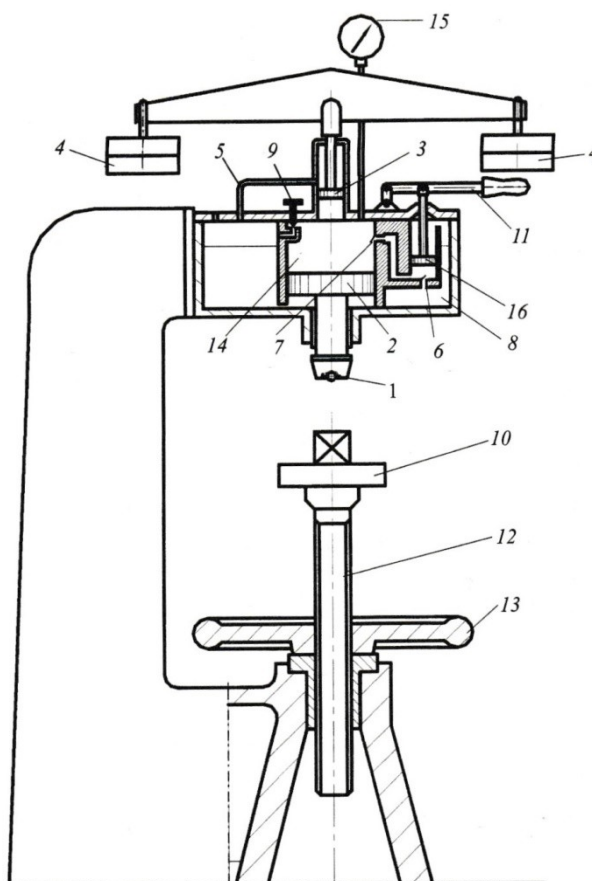
- zapoznać się z normą PN-EN ISO 6506-1;
- zapoznać się z oznaczeniem twardości Brinella;

Symbol HBW poprzedzony jest wartością twardości i uzupełniony przez: średnicę kulki [mm], liczbę określającą siłę obciążenia oraz czas działania siły obciążającej [s], np.:

**350HBW 5/750** – twardość Brinella 350 mierzona za pomocą kulki o średnicy 5 mm i siłą obciążającą 7355 N działającą w czasie od 10 do 15s.;

**400 HBW 1/30/20** – twardość 400 mierzona przy użyciu kulki o średnicy 1 mm, siłą obciążającą 294,2N i czasie jej działania 20 s.

- zapoznać się z budową twardościomierza Brinella. Przykładowy twardościomierz pokazano na rys. 1.



Rys.1. Schemat twardościomierza Brinella. Oznaczenia 1- wgłębnik, 2 – tłok, 3 – krawędź tłoczka, 4 – obciążniki, 5- rurka przelewowa, 6, 7 – zawory jednokierunkowe, 8- zbiornik na olej, 9- zawór spustowy, 10-stolik, 11- dźwignia do pompowania oleju, 12- śruba regulująca wysokość stolika, 13- pokrętło stolika, 14 – komora na pompowany olej, stosowana do określenia odpowiedniej siły, 15 – manometr, 16 –tłok

- przygotować próbki do pomiaru;

Pomiar powinien być wykonany na płaskiej i gładkiej powierzchni. Grubość próbki do badań powinna być co najmniej osiem razy większa od głębokości powierzchni odcisku.

Grubość próbki powinna być równa co najmniej 10 – krotnej grubości odcisku  $h$ .

- zamocować wgłębnik (kulkę) o odpowiedniej średnicy;

Średnice stosowanych kulek wynoszą: 10, 5, 2,5, 2 oraz 1 mm. Zaleca się jednak stosowanie średnicy kulki możliwie jak największy.

- zamocować obciążnik o odpowiedniej wartości na dźwigni (ciągnie) twardościomierza.

Siła obciążenia powinna być tak wybrana, aby średnica odcisku  $d$  znajdowała się między wartościami od  $0,24 D$  do  $0,6 D$ . W tabeli 1 przedstawiono wartości stosunku: siła – średnica:

$$0,102 \cdot F / D^2$$

w zależności od rodzaju badanego materiału i poziomu twardości. Tabela 2 zawiera zalecane wartości siły obciążającej  $F$ .

Tabela 1. Zalecane wartości stosunku: siła – średnica przy badaniu różnych materiałów

| Stosunek<br>siła/ średnicy<br>$0,102 \cdot F / D^2$ | Materiał                                                                                                                    | Twardość<br>Brinella<br>HBW |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 30                                                  | stal, żeliwo, stopy niklu, tytan o twardości >140HB, miedź i stopy miedzi o twardości >200HB                                | 96-650                      |
| 15                                                  | miedź i stopy miedzi, metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości >50HB                                      | 50-325                      |
| 10                                                  | żeliwo, stopy kobaltu, niklu, tytanu o twardości <140HB, miedzi i stopy miedzi, metale lekkie i ich stopy o twardości >80HB | 32-200                      |
| 5                                                   | miedź i stopy miedzi o twardości >35HB, metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości >35-80 HB                | 16-100                      |
| 2,5                                                 | metale lekkie i ich stopy oraz stopy łożyskowe o twardości <35HB                                                            | 8-50                        |
| 1                                                   | ołów, cyna, stopy łożyskowe i inne o twardości < 20HB, metale spiekane                                                      | 4-25<br>3,2-20              |

Tabela 2. Wartości siły obciążającej  $F$  w zależności od średnicy kulki  $D$  i stosunku siła - średnica

| Średnica kulki $D$ , mm | Stosunek siła średnica $0,102 \cdot F/D^2$ , N/mm <sup>2</sup>  |                       |                       |                        |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|
|                         | 30                                                              | 15                    | 10                    | 5                      | 2,5                     | 1                     |
|                         | Nominalna wartość siły obciążającej $F$ , N<br>Symbol twardości |                       |                       |                        |                         |                       |
| 10                      | 29 420<br>HBW 10/3000                                           | 14 710<br>HBW 10/1500 | 9807<br>HBW 10/1000   | 4903<br>HBW 10/500     | 2452<br>HBW 10/250      | 980,7<br>HBW 10/10    |
| 5                       | 7355<br>HBW 5/750                                               | -                     | 2452<br>HBW 5/250     | 1226<br>HBW 5/125      | 612,9<br>HBW 5/62,5     | 245,2<br>HBW 5/25     |
| 2,5                     | 1839<br>HBW 2,5/187,5                                           | -                     | 612,9<br>HBW 2,5/62,5 | 306,5<br>HBW 2,5/31,25 | 153,2<br>HBW 2,5/15,625 | 61,29<br>HBW 2,5/6,25 |
| 1                       | 294,2<br>HBW 1/30                                               | -                     | 98,07<br>HBW 1/10     | 49,03<br>HBW 1/5       | 24,52<br>HBW 1/2,5      | 9,807<br>HBW 1/1      |

— ustalić czasu pomiaru od momentu trwania pełnego obciążenia;

W zależności od stosowanego materiału:

- dla stali i żeliwa od 10 do 15 s,
- dla innych metali o twardości  $\geq 32 \text{ HB}$  - 30s,
- dla innych metali o twardości  $< 32 \text{ HB}$  – 60 s

— przystąpić do badań poprzez położenie badanej próbki na stoliku oraz podniesienie stolika tak, aby docisnąć lekko badaną próbkę do wgłębnika;

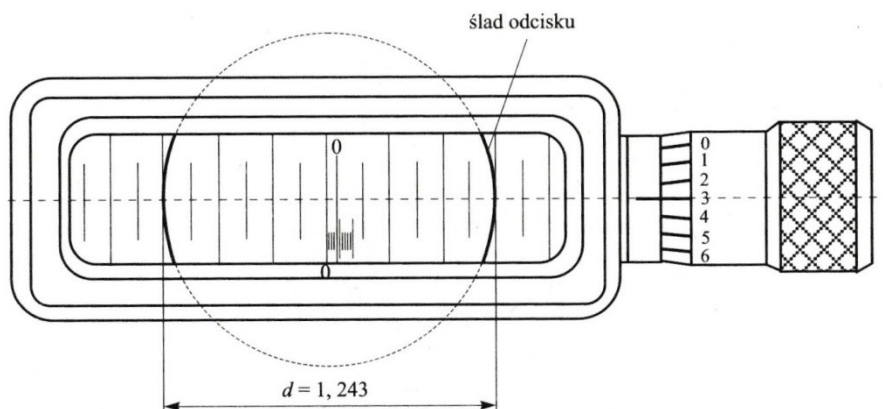
— uruchomić urządzenie w celu wykonania badania i poczekać odpowiedni czas zgodny z normą;

— dokonać w identyczny sposób kilka pomiarów;

Należy pamiętać, iż odległość między środkami dwóch sąsiednich odcisków powinna być większa co najmniej od  $2,5 d$ , gdzie  $d$  jest średnią średnicą odcisku w mm.

— dokonać pomiaru odcisku;

Średnicę odcisku należy mierzyć w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach i przyjąć do obliczeń twardości wartość średnią. Do pomiaru średnicy odcisku służy specjalna lupa, tzn. lupa Brinella, z żaróweczką oświetlającą skalę. W nowoczesnych twardościomierzach układ pomiarowy średnicy odcisku stanowi integralną część aparatu. Przykładowo na rysunku 2 przedstawiono układ pomiarowy do odczytu odcisku. Ślad odcisku obejmuje 12 dużych kresek, między którymi odległość wynosi 0,1 mm, a więc łącznie otrzymujemy 1,2 mm. Kreska zerowa znajduje się za czwartą kreską skali wyznaczającej setne części milimetra (0,04mm). Trzecia kreska mikromierza pokrywa się z jego kreską zerową, a więc odczytujemy 0,003mm. Średnica odcisku wynosi więc  $d=1,243 \text{ mm}$ .



Rys. 2. Schemat pomiaru przekątnych odcisku w przypadku pomiaru twardości metodą Brinella

- z dokonanego pomiaru średniej średnicy obliczyć wartość twardości lub odczytać ją z tabel zamieszczonych w normie. Uzupełnić tabelę z wynikami badań

#### Proponowana literatura.

- PN-EN ISO 6506-1. Metale. Pomiar twardości sposobem Brinella. Część 1. Metoda badania,
- PN-EN ISO 6508-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Rocwella. Część 1. Metoda badania,
- PN-EN ISO 6507-1 Metale. Pomiar twardości sposobem Vickersa. Część 1. Metoda badania
- A. Szummer, A. Ciszewski, T. Radomski „*Badania własności i mikrostruktury materiałów. Ćwiczenia laboratoryjne*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- Pod redakcją M. Banasiak: „*Ćwiczenia laboratoryjne z wytrzymałości materiałów*”. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2000.
- G. Golański, A. Dudek, Z. Bałaga: „*Metody badań właściwości materiałów*”. Politechnika Częstochowska. Częstochowa 2011.

## SPRAWOZDANIE Z ĆWICZEŃ

Temat ćwiczenia: Badanie twardości

## Wykonanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy podać:

- metody statyczne badania twardości
- definicję twardości według Brinella,
- schemat i opis aparatu Brinella,
- warunki dokonywania pomiaru,
- wyniki pomiaru.

## Metoda Brinella

Badany materiał.....

Średnica kulki.....

Siła obciążająca.....

Tabela z wynikami badań za pomocą metody Brinella

| Lp. | Średnice odcisku<br>mierzone pod<br>kątem 90°<br>[mm] |       | Średnia<br>średnica<br>odcisku<br>[mm] | Głębokość<br>odcisku<br>[mm] | Pole<br>powierzchni<br>odcisku<br>[mm <sup>2</sup> ] | Twardość<br>HBW |
|-----|-------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------|
|     | $d_1$                                                 | $d_2$ | $d$                                    | $h$                          | $S_{cz}$                                             |                 |
| 1.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 2.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 3.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 4.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 5.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 6.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
| 7.  |                                                       |       |                                        |                              |                                                      |                 |
|     |                                                       |       | <b>Średnia:</b>                        |                              |                                                      |                 |