



Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych

SPRAWOZDANIE

z ćwiczenia przeprowadzonego w laboratorium materiałów lotniczych.

Temat ćwiczenia: **Badanie właściwości mechanicznych: pomiar twardości**

Sluchacze:

**Małgorzata Michalak
Michał Migdałek
Piotr Szkopiak
Karol Mazur
Łukasz Kusek
Wojciech Lorenc**

Grupa: **C9D**

Spis rysunków

1	Pomiar twardości metodą Brinella	3
2	Próbka ze stopu aluminium przeznaczonego do obróbki plastycznej	4
3	Próbka ze stopu aluminium odlewniczego	5
4	Próbka ze stopu aluminium odlewniczego	5

1 Opis ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z metodami pomiaru twardości materiałów. Zakres ćwiczenia obejmuje przeprowadzenie badania materiałów metodą Brinella.

Twardością nazywamy opór materiału przeciw wciskaniu obiektu nazywanego *wglęb-
nikiem*. Im głębiej w materiał zagłębia się wglębnik, tym bardziej miękki jest materiał i odznacza się niższą granicą plastyczności.

1.1 Pomiar twardości metodą Brinella

Metoda Brinella (PN-EN ISO 6506-1:2006) polega na wgniataniu w badany materiał pod obciążeniem kulki z węgla wolframu ([1, str. 3]). W tej metodzie mierzy się średnicę odcisku powstałego na powierzchni po usunięciu siły obciążającej. Miarą twardości jest stosunek siły obciążającej do powierzchni utworzonego wgłębienia.

Po pomiarze średnicy odcisku d oblicza się twardość ze wzoru

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

gdzie

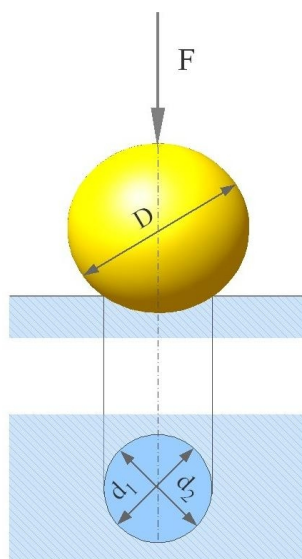
- HBW - twardość Brinella
- D - średnica wglębniaka
- d - średnica odcisku
- F - siła obciążająca

Zalety metody Brinella:

- możliwość wykonywania pomiarów twardości stopów niejednorodnych,
- wykorzystanie jednej tylko skali twardości.

Wady metody Brinella:

- konieczność wykonywania kłopotliwych pomiarów średnicy odcisku i odczytywania wyników pomiarów z tablic,
- nie nadaje się do pomiarów twardości materiałów twardych, małych elementów i warstw powierzchniowych.



Rysunek 1: Pomiar twardości metodą Brinella

2 Opracowanie ćwiczenia

2.1 Dane dotyczące poszczególnych próbek

Badane przez nas próbki ([2, str. 4]) oraz ([3, str. 5], [4, str. 5])) to **stopy aluminium**.

Aluminium to trzeci pod względem udziału pierwiastek w skorupie ziemskiej, którego gęstość wynosi $2,7 \text{ g/cm}^3$, temperaturze topnienia 660° oraz wrzenia 2500°C . Metal cechuje dobra przewodność elektryczna i cieplna, oraz dobra odporność na korozję atmosferyczną, wodną oraz niektóre kwasy dzięki właściwości tworzenia na powierzchni aluminium tleny Al_2O_3 którego cienka warstwa pokrywa szczelnie powierzchnie metalu. Aluminium w stanie wyżarzonym cechuje się wytrzymałością na rozciąganie wynoszącą $R_m = 70 \div 120 \text{ MPa}$, granicą plastyczności $R_e = 20 \div 40 \text{ MPa}$. Aluminium może być obrabiane plastycznie na zimno i na gorąco. W stanie zgniecionym z $60 \div 80\%$ stopniem gniotu wytrzymałość na rozciąganie osiąga $140 \div 230 \text{ MPa}$, granica plastyczności $R_e = 120 \div 180 \text{ MPa}$, twardość $40 \div 60 \text{ HB}$. Przewodność elektryczna ulega znacznemu zmniejszeniu wraz ze zwiększeniem stężenia zanieczyszczeń i domieszek, głównie *Fe* i *Si*, a także *Cu*, *Zn* i *Ti*. Pierwiastki te powodują ponadto obniżenie plastyczności, lecz zwiększają własności wytrzymałościowe.

Ze względu na metodę wytwarzania aluminium dzieli się na

- *aluminium odlewnicze*
- *aluminium do obróbki plastycznej*



Rysunek 2: Próbką ze stopu aluminium przeznaczonego do obróbki plastycznej

2.1.1 Próbką ze stopu aluminium przeznaczonego do obróbki plastycznej

Pierwsza badana przez nas próbką ([2, str. 4]) została wykonana ze stopu **aluminium przeznaczonego do obróbki plastycznej**.

Stopy *aluminium do przeróbki plastycznej* zawierają na ogół mniejsze ilości dodatków stopowych. Wyróżnić można wśród nich dwie podgrupy:

- stopy stosowane bez obróbki cieplnej (*Al-Mg*, *Al-Mn* i *Al-Mg-Mn*),
- stopy obrabialne cieplnie (*Al-Cu-Mg*, *Al-Cu-Mn*, *Al-Cu-Mg-Mn*, *Al-Cu-Mg-Mn-Si*, *Al-Mg-Si*, *Al-Zn-Mg*, *Al-Zn-Mg-Cu* i inne)

Stopy z podgrupy drugiej przesycą się i utwardza wydzieleniowo. Po takiej obróbce właściwości wytrzymałościowe dorównują wielu stalom.

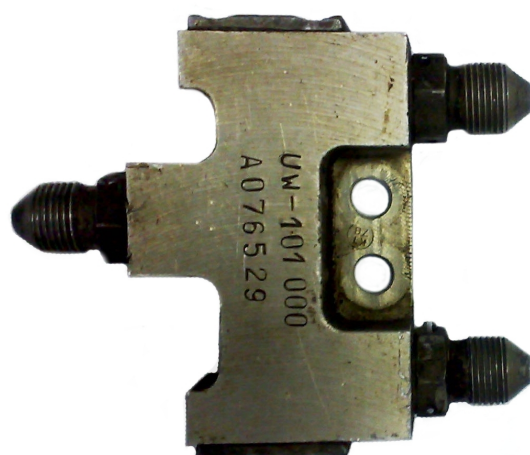
2.1.2 Próbką ze stopu aluminium odlewniczego

Druga badana przez nas próbką ([3, str. 5], [4, str. 5]) została wykonana ze stopu **aluminium odlewniczego**.

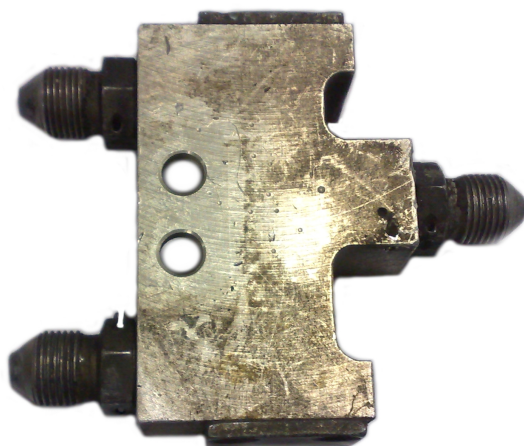
Do *aluminium odlewniczego* zalicza się stopy przeważnie wieloskładnikowe, o zwiększonej zawartości pierwiastków stopowych takich jak krzem (silumin), krzem i magnez, krzem, miedź, magnez i mangan, krzem, miedź, nikiel, magnez i mangan oraz inne.

Cechują się one dobrą lejnością i małym skurczem odlewniczym. Stopy te mają dwie zasadnicze podgrupy:

- stopy aluminium - krzem,
- stopy aluminium - miedź.



Rysunek 3: Próbką ze stopu aluminium odlewniczego



Rysunek 4: Próbką ze stopu aluminium odlewniczego

Obróbka cieplna pierwszej podgrupy nieznacznie tylko poprawia własności mechaniczne. Stopy aluminium odlewniczego modyfikuje się pod kątem zwiększenia własności w stanie ciekłym. Stopy podgrupy *Al-Cu* można natomiast obrabiać cieplnie przez przesycanie i starzenie.

2.2 Wyniki pomiarów twardości

Lp.	Średnica wglębnika [mm]	Siła F [N]	Średnica od- cisku d [μm]	Twardość ze wzoru [HB]	Twardość z twardo- ściomierza [HB]
Stop z aluminium do przeróbki plastycznej					
1	2,5 mm	612,9 N	1261,3 μm	46,6164	46,6
2	2,5 mm	612,9 N	1056,3 μm	67,9984	68
3	2,5 mm	612,9 N	1120,5 μm	60,0359	60
Stop z aluminium odlewniczego					
1	2,5 mm	612,9 N	768,8 μm	131,4078	131,4
2	2,5 mm	612,9 N	716,4 μm	151,8397	151,8
3	2,5 mm	612,9 N	723,8 μm	148,6831	148,6

2.3 Porównanie pomiarów twardości. Wnioski

Zbadana twardość stopu z aluminium do obróbki plastycznej okazała się dwa razy mniejsza od zbadanej twardości stopu z aluminium odlewniczego. Jest to oczekiwany rezultat, gdyż w przypadku obróbki plastycznej, która polega na wywieraniu odpowiednich nacisków na materiał przekraczając granicę jego plastyczności, wymagana jest nieduża twardość.

Obliczona ze wzoru wartość twardości jest niemal identyczna z otrzymaną z twardościomierza. Różnice wynikają z zaokrągleń i dokładności przyjętych stałych.

Wyniki badań są jednak dość rozbieżne. Należałoby zwiększyć liczbę pomiarów, aby móc dokładniej oszacować wartość twardości.

Poniżej wyszczególniliśmy powody występowania błędów przy pomiarach twardości:

- wykorzystywanie uszkodzonych wglębników
- stosowanie nieodpowiedniego obciążenia w stosunku do grubości, spodziewanej twardości, rodzaju i jednorodności materiału
- nieprostopadła powierzchnia badana w stosunku do osi wglębniaka
- brak sztywności podparcia próbki
- nieodpowiednio spreparowana powierzchnia badanej próbki w stosunku do metody pomiaru
- zbyt mała odległość między odciskami

3 Sposoby zwiększania twardości materiałów

3.1 Obróbka cieplna

Spośród wszystkich rodzajów obróbki cieplnej największe znaczenie ma hartowanie z następującym po nim odpuszczaniem, czyli tzw. ulepszanie cieplne. Obróbka ta jest podstawowym rodzajem obróbki cieplnej stali konstrukcyjnych, ponieważ w znacznym stopniu polepsza cały zespół mechanicznych własności stali. Poza ulepszaniem cieplnym wyróżniamy następujące rodzaje obróbki cieplnej, które poprawiają twardość metalu:

- *nawęglanie* - wzbogacenie warstwy powierzchniowej w węgiel przez wygrzewanie w ośrodkach nawęglających (poprawa twardości powierzchni);
- *azotowanie* - wzbogacenie warstwy powierzchniowej w azot przez wygrzewanie w ośrodkach wydzielających azot atomowy (poprawa twardości powierzchni, poprawa odporności na korozję);
- *hartowanie* - polega na nagrzewaniu przedmiotu do temperatury, w której następuje wytworzenie struktury austenitu i następnie szybkim chłodzeniu w wodzie lub oleju w celu otrzymania struktury martenzytycznej;
- *hartowanie powierzchniowe* - celem jest nadanie warstwie powierzchniowej wysokiej twardości i odporności na ścieranie, przy zachowaniu ciągliwego rdzenia;
- *utwardzanie wydzieleniowe* - proces składa się z przesycania i starzenia. Operacje przesycenia i starzenia mogą być stosowane w stopach, w których następuje zmniejszenie rozpuszczalności składnika w stanie stałym z obniżeniem temperatury.
 - Przesycenie ma na celu uzyskanie przesyczonego roztworu stałego.
 - Starzenie prowadzi do wydzielenia dyspersyjnych cząstek. Efektem tego jest wzrost twardości i wytrzymałości stopu oraz spadek plastyczności.

3.2 Obróbka plastyczna

Obróbka plastyczna to metoda obróbki metali polegająca na wywieraniu odpowiednich nacisków na materiał przekraczającego granicę jego plastyczności, mającego na celu trwałe odkształcenie i wymiary obrabianego przedmiotu. Zawsze uzyskuje się poprawę własności mechanicznych. Proces kształtowania może przebiegać w warunkach: na gorąco lub na zimno:

- *nagniatanie* - uzyskujemy przez wywieranie zlokalizowanego nacisku na metal zdolny do odkształcenia:
 - *statyczne* - między narzędziem, a obrabianym elementem przepływa prąd o natężeniu do 1000 A, prąd nagrzewa element od 500°C do 900°C, dzięki temu występuje mniejsze prawdopodobieństwo uzyskania wad typowych dla przekroczenia granicznej wartości odkształcenia;

- *dynamiczne* - wykorzystuje się działanie sił odśrodkowych wirujących elementów nagiatających, luźno zamocowanych w obrotowych narzędziach.
- *walcowanie* - polega na zgniataniu materiału przeznaczonego do obróbki pomiędzy obracającymi się walcami lub przesuwającymi się szczękami. Istotą procesu walcowania jest charakterystyczny ruch metalu w kotlinie odkształcenia, wywołany przez aktywne siły tarcia, przekazywane od napędzanego walca lub szczęki. Podstawową maszyną do walcowania jest walcarka. W zależności od kinematyki ruchu narzędzi roboczych i płynięcia metalu w kotlinie odkształcenia rozróżnia się następujące odmiany procesu:
 - *walcowanie wzdłużne* (na gorąco lub na zimno), w którym kierunek płynięcia metalu jest zgodny z kierunkiem wektora obwodowej prędkości walców, których osie są wzajemnie równoległe, a ich kierunek obrotu jest wzajemnie przeciwny;
 - *walcowanie poprzeczne* (na gorąco lub na zimno), w którym metal wykonuje ruch obrotowy, a kierunek jego płynięcia jest prostopadły do kierunku wektora obwodowej prędkości walców, których osie leżą w jednej płaszczyźnie i mają zgodny kierunek obrotów, przy czym zgniatanie realizuje się poprzez zmienną okresowo średnicę beczki, obracających się walców roboczych, tworzących zmienny wykrój, albo poprzez przemieszczanie się metalu w kierunku szczeliny pomiędzy walcami roboczymi;
 - *walcowanie skośne* (na gorąco), w którym wskutek specyficznego kalibrowania beczek walców, wykazujących zgodny kierunek obrotów, jednakże nachylonych, zarówno w płaszczyźnie pionowej (pod kątem zukosowania, przeciwnym dla obu walców), jak i w płaszczyźnie poziomej (pod kątem rozwałcowania, przeciwnym dla obu walców), powstają osiowe składowe aktywne siły tarcia, wciągające metal w strefę odkształcenia, wskutek czego pasmo jednocześnie wykonuje ruch postępowy - w kierunku osiowym, i obrotowy
 - w *kierunku obwodowym*, wskutek czego zachodzi gniot poprzeczny pasma, ale na drodze zbliżonej do kształtu śrubowego (widocznego na powierzchni zewnętrznej tulei rurowej).
- *kucie* - będące metodą plastycznego kształtowania metalu na gorąco, zachodzącego pod uderzeniem lub naciskiem narzędzia roboczego. Ze względu na charakter ruchu roboczego narzędzia odkształcającego, wywołującego określony charakter płynięcia metalu, maszyny kuźnicze dzieli się na: młoty, prasy i walcarki kuźnicze. Z uwagi na rodzaj ruchu postępowego, wykonywanego przez narzędzie robocze, wyróżnia się:
 - *młotowanie*, w którym kształtowanie plastyczne ma charakter dynamiczny - dzięki energii zmagazynowanej w bijaku młota, przy czym elementem bezpośrednio uderzającym w metal jest kowadło lub matryca;
 - *prasowanie*, w którym kształtowanie zachodzi statycznie pod naciskiem stempla prasy, do którego zamontowano kowadło lub matrycę.

Ze względu na kształt narzędzi roboczych i związane z tym ograniczenie swobody płynięcia metalu w obszarze odkształcenia procesy kucia dzieli się na:

- *kucie swobodne*, w którym metal kształtuje się między równoległymi kowadłami - płaskimi lub kształtowymi, nie odpowiadającymi założonemu kształtowi kutego wyrobu, lecz częściowo ograniczającymi jego swobodne płynięcie w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu narzędzia roboczego;

- *kucie matrycowe*, w którym metal kształtuje się między matrycami (otwartymi lub zamkniętymi) o wykrojach, odpowiadających kształtowanej przedkuwce lub odkuwce, jednakże całkowicie ograniczających jego płynięcie poprzeczne, które ma dodatkowo zapewnić jego pełne i prawidłowe wypełnienie;

3.3 Laser Shot Peening

Nowatorską technologię utwardzania laserowego metali opracowali naukowcy z Politechniki Gdańskiej. Pozwala ona wytwarzać np. elementy silników samochodowych czy lotniczych znacznie bardziej odpornych na korozję niż stosowane obecnie części.