

Materiały konstrukcyjne 1 – laboratorium

ĆWICZENIE NR 4

BADANIE METALOGRAFICZNE PRÓBEK ŻELIWA I STALIWA ORAZ STALI PO OBRÓBCE CIEPLNEJ

Celem ćwiczenia jest analiza mikroskopowych obrazów próbek żeliwa i staliwa oraz stali po obróbce cieplnej.

1. Wprowadzenie teoretyczne

RÓWNOWAGA UKŁADU ŻELAZO-WĘGIEL. CHARAKTERYSTYKA ŻELAZA

Żelazo nie występuje w przyrodzie w postaci rodzimej. Otrzymywanie żelaza chemicznie czystego, którego własności mogłyby być uznane za własności pierwiastka, jest trudne i kosztowne. Przez redukcję tlenków można uzyskać żelazo zawierające ok. 0,007% domieszek i zanieczyszczeń, których stężenie może być jeszcze zmniejszone w wyniku topienia strefowego w wysokiej próżni. Czyste żelazo jest stosunkowo miękkie, plastyczne, srebrzystoszare, dość odporne na korozję w powietrzu ze względu na pasywację powierzchni. Żelazo jest wykorzystywane głównie do produkcji stali - podstawowego materiału konstrukcyjnego. Stale węglowe, stopy żelaza z kobaltem i niklem oraz ferryty są materiałami ferromagnetycznymi wykorzystywanymi w elektronice (magnesy, taśmy magnetofonowe i video). Z żelaza o bardzo niskiej zawartości węgla wytwarza się blachy transformatorowe, z których buduje się rdzenie transformatorów i silników elektrycznych. Żelazo na skale przemysłową otrzymuje się z jego rud, na drodze redukcji tych związków za pomocą koksu lub tlenku węgla. Proces ten polega na wytopie żelaza i uszlachetnianiu otrzymanego wyrobu.

ODMIANY ALOTROPOWE ŻELAZA

Żelazo występuje w trzech odmianach alotropowych:

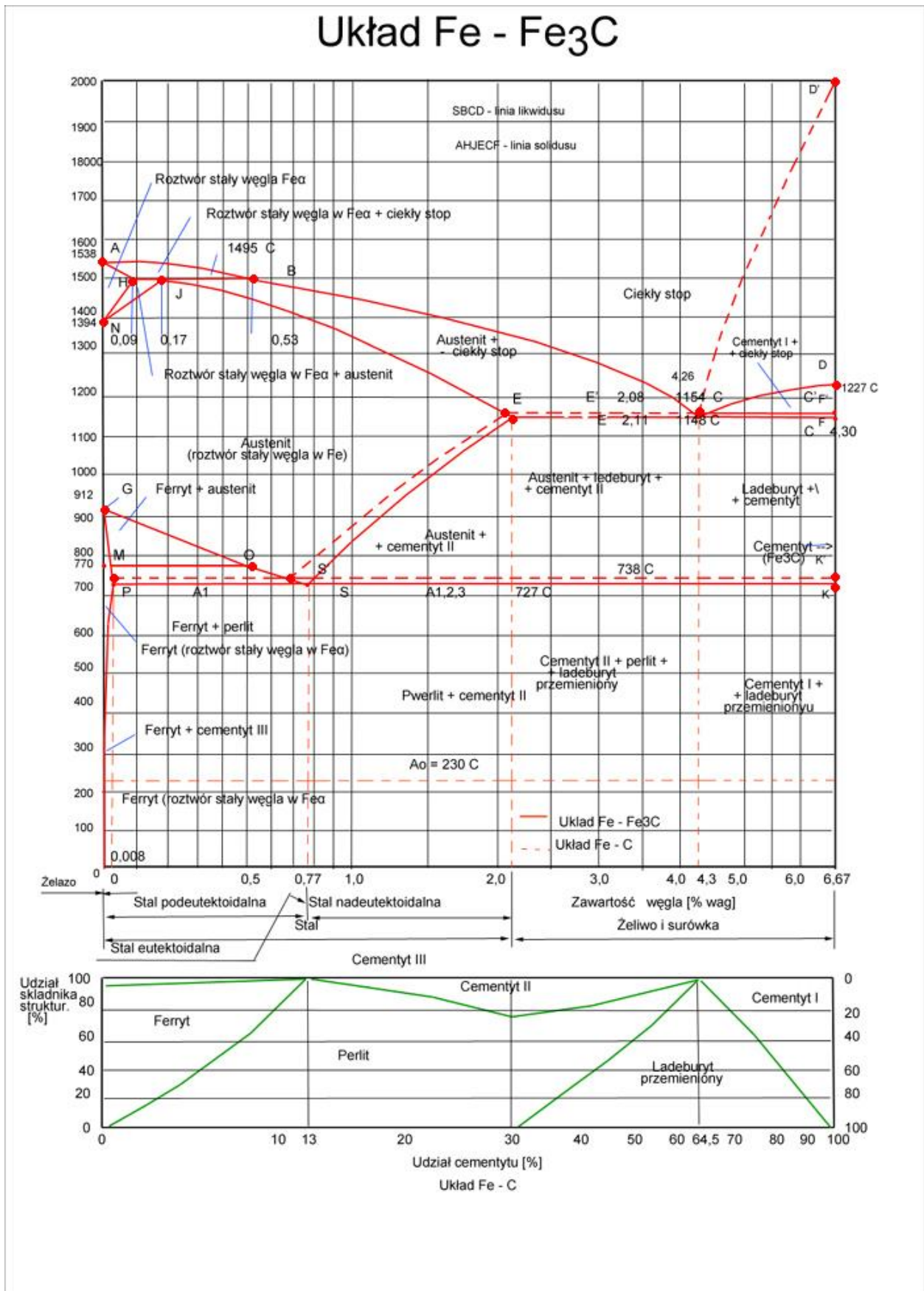
- żelazo α , istnieje poniżej 912°C,
- żelazo β , istnieje w 1394 - 1538 °C,
- żelazo γ , istnieje w 912 - 1394 °C.

Jedynie żelazo α posiada własności ferromagnetyczne. Przemiana alotropowa żelaza α w żelazo γ zachodzi w temperaturze 723°C przy schładzaniu lub 728°C przy ogrzewaniu. Przemiana alotropowa żelaza γ w żelazo β zachodzi w temperaturze 1400°C.

W temperaturze niższej od 912°C oraz w zakresie temperatury od 1394 do 1538°C występuje odmiana alotropowa oznaczana α , a w zakresie wysokotemperaturowym oznaczana niekiedy również $\alpha(\beta)$ lub β . Odmiana α krystalizuje w sieci przestrzennie centrowanej układu regularnego A2.

Roztwory stałe w żelazie α są nazywane ferrytem. W temperaturze niższej od temperatury 770°C, zwanej temperaturą Curie, żelazo α jest ferromagnetyczne, a w temperaturze wyższej - paramagnetyczne. W zakresie temperatury od 912 do 1394°C stabilna jest odmiana żelaza γ o sieci ściennie centrowanej układu regularnego A1. Roztwory stałe w żelazie γ są nazywane austenitem. Parametr sieci „a” każdej odmiany alotropowej żelaza zwiększa się wraz z podwyższeniem temperatury i dla odmiany Fe α wynosi 0,286 nm w temperaturze pokojowej i 0,293 nm w 1394°C, a dla odmiany γ - 0,365 nm w 912°C.

WYKRES RÓWNOWAGI UKŁADU ŻELAZO-WĘGIEL



Rozróżnia się dwa wykresy równowagi układu żelazo-węgiel:

- stabilny żelazo-grafit,
- metastabilny żelazo-cementyt.

W zależności od składu chemicznego, warunków odprowadzania ciepła, a także innych czynników, z roztworu ciekłego może krzepnąć zarówno cementyt, jak i grafit. Wykres równowagi przedstawiony na poniższym rysunku obejmuje stopy żelaza z węglem do stężenia 6,67% C, odpowiadającego stężeniu C w cementycie. Liniami ciągłymi przedstawiono wykres żelazo-cementyt Fe-Fe₃C, natomiast przerywanymi - żelazo-grafit Fe-C.

Fazy układu żelazo – cementyt

Roztwór ciekły (ciecz)

- **Ferryt (α)** - międzywęzłowy roztwór stały węgla w Fe α o maksymalnej zawartości węgla 0,022 % w temperaturze 727°C
- **Ferryt (α , β)** - międzywęzłowy roztwór stały węgla w Fe α o maksymalnej zawartości węgla 0,09 % w temperaturze 1493°C
- **Austenit (γ)** - międzywęzłowy roztwór stały węgla w Fe γ o maksymalnej zawartości węgla 2,14 % w temperaturze 1147°C
- **Cementyt.**

Składniki strukturalne wykresu żelazo-cementyt

- Roztwór ciekły roztwór ciekły węgla w żelazie
- **Ferryt** - roztwór stały graniczny węgla w żelazie α , Graniczna zawartość węgla w ferrytycie w stanie równowagi wynosi w temperaturze 20°C zaledwie 0,008% i wzrasta w temperaturze 723°C do 0,02% (punkt P na wykresie). Natomiast ferryt wysokotemperaturowy może zawierać w temperaturze 1493°C do 0,1% C.
- **Austenit** - roztwór stały graniczny węgla w żelazie γ , Graniczna zawartość węgla w austenicie w temperaturze 1147°C wynosi 2,06% (punkt E na wykresie). W stopach żelaza z węglem w stanie równowagi austenit występuje jedynie w temperaturach wyższych od 723°C. Natomiast w niektórych stalach stopowych, zawierających np. nikiel lub mangan, austenit w stanie równowagi istnieje również w temperaturach niższych.
- **Cementyt pierwszorzędowy (pierwotny)** - wydzielający się z roztworu ciekłego w wyniku zmniejszającej się rozpuszczalności węgla w roztworze, wzdłuż linii CD
- **Cementyt drugorzędowy (wtórny)** - wydzielający się z austenitu w wyniku zmniejszającej się rozpuszczalności węgla w austenicie, wzdłuż linii ES
- **Cementyt trzeciorzędowy** - wydzielający się z ferrytu w wyniku zmniejszającej się rozpuszczalności węgla w ferrytycie, wzdłuż linii PQ
- **Perlit** - mieszanina eutektoidalna ferrytu i cementytu, zawierająca 0,77% C, występująca poniżej 727°C
- **Ledeburyt** - mieszanina eutektyczna austenitu i cementytu, zawierająca 4,30% C, trwała w zakresie od 727 do 1148°C
- **Ledeburyt przemieniony** - mieszanina perlitu i cementytu, utworzona w wyniku przemiany austenitu z ledeburytu w perlit, trwała poniżej temperatury 727°C

Linie przemian w układzie żelazo-cementyt

- przemiana magnetyczna cementytu w 230°C
- przemiana eutektoidalna - PS
- przemiana magnetyczna ferrytu - MO
- przemiana alotropowa $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ - GOS
- przemiana eutektoidalna - SK
- przemiana alotropowa $\gamma \rightleftharpoons \alpha(\beta)$ - NJ, JB
- początek wydzielania cementytu wtórnego z austenitu - ES

OGÓLNA KLASYFIKACJA STOPÓW ŻELAZA Z WĘGLEM

Stale, staliwa

W zależności od stężenia węgla oraz sposobu wytwarzania można dokonać ogólnej klasyfikacji stopów żelaza z węglem. Stopy o stężeniu węgla mniejszym od ok. 0,05% są nazywane żelazem technicznym. Stopy zawierające zwykle mniej niż 2% węgla, otrzymywane w wyniku odlewania i następnej obróbki plastycznej, są nazywane **stalami**. Odlewnicze stopy o tym samym stężeniu węgla noszą nazwę **staliw**. W stalach i staliwach węgiel występuje w postaci związanej w cementycie.

Surówki i żeliwa

Stopy żelaza o stężeniu powyżej 2% C o składzie fazowym zgodnym z wykresem Fe-Fe₃C noszą nazwę surówek białych, natomiast krzepnące zgodnie z wykresem żelazo-grafit są nazywane surówkami szarymi. Surówki przetopione w żeliwiaku lub w innym piecu elektrycznym, często z dodatkiem złomu stalowego, noszą nazwę **żeliw**. Żeliwami są więc nazywane stopy odlewnicze żelaza z węglem zawierające zwykle powyżej 2% C.

Stale, staliwa oraz żeliwa niestopowe i stopowe

Stopy żelaza z węglem o niewielkim stężeniu innych pierwiastków w postaci domieszek lub zanieczyszczeń są nazywane odpowiednio stalami, staliwami lub żeliwami niestopowymi (określane także tradycyjnie węglowymi). Do domieszek, które korzystnie wpływają na własności, należą Mn, Si, Cr, Ni i Cu. Natomiast zanieczyszczenia, takie jak P, S, O, H, N, wywierają ujemny wpływ na własności stopów żelaza. Pierwiastki, których stężenie przekracza umowną, dodawane do stopów żelaza z węglem celowo - dla polepszenia własności - noszą nazwę **dodatków stopowych**. Stale, staliwa i żeliwa zawierające dodatki stopowe są nazywane **stopowymi**.

OBRÓBKA CIEPLNA STALI

Hartowanie jest to operacja obróbki cieplnej, polegająca na nagraniu stali podeutektoidalnej (zawierającej poniżej 0,77% węgla) do temperatury powyżej A₃, a dla nadeutektoidalnej (zawierająca powyżej 0,77% węgla) powyżej A₁, wygrzaniu w tej temperaturze, a następnie bardzo szybkim chłodzeniu.

Szybkość chłodzenia musi być większa od szybkości krytycznej, tzn. taka powyżej której nie następuje rozkład austenitu na struktury perlityczne.

Celem tej operacji jest uzyskanie struktury martenzytycznej, nadającej stali dużą twardość, jak również odporność na ścieranie i wytrzymałość.

Stale węglowe podeutektoidalne hartuje się od temperatur o 30-50 °C wyższych od A₃ zaś stale nadeutektoidalne od temperatur o 30-50 °C wyższych od A₁.

Dolna granica zakresu 30-50 °C wynika z konieczności ujednorodnienia austenitu pod względem zawartości węgla.

Tuż po przemianie podczas nagrzewania, austenit utworzony w obszarach uprzedniego występowania perlitu ma znacznie większą zawartość węgla niż austenit powstały w obszarach uprzedniego występowania ferrytu. W stalach nadeutektoidalnych natomiast zaraz po przekroczeniu temperatury A₁ rozpoczyna się rozpuszczanie cementytu drugorzędowego, co daje lokalne wzbogacenie austenitu w węgiel.

Nagrzewanie natomiast do temperatur wyższych niż 50 °C od temperatur krytycznych (A₃ czy A₁) może doprowadzić do nadmiernego rozrostu ziarna austenitu w stalach podeutektoidalnych oraz rozpuszczenia zbyt dużych ilości cementytu drugorzędowego w stalach nadeutektoidalnych. Cementyt drugorzędowy w stalach nadeutektoidalnych jest fazą o wysokiej twardości (ok. 750 HB) i niecelowe byłoby jego rozpuszczanie, które doprowadziłoby do wzrostu zawartości węgla w austenicie. Spowodowałoby to silne obniżenie temperatur Ms i Mf oraz wzrost udziału austenitu szcążkowego i zwiększenie wielkości ziarna austenitu.

Technologia procesu hartowania stali

Nagrzewanie przedmiotów w czasie obróbki cieplnej przeprowadza się w specjalnych piecach. Zależnie od sposobu nagrzewania rozróżnia się piece gazowe, elektryczne i z kąpielą.

Piece gazowe mogą mieć budowę komorową, gdzie paliwo spala się w osobnej komorze, a przedmiot nagrzewany jest przez spaliny przepływające do komory grzejnej. W piecach o budowie mufłowej spaliny nagrzewają zewnętrzne ściany ogniotrwałej komory zwanej muflą i przez promieniowanie cieplne nagrzewają przedmioty umieszczone w muflie.

Piece elektryczne wytwarzają ciepło podczas przepływu prądu elektrycznego przez elementy grzewcze o dużym oporze elektrycznym. Te elementy wykonane są np. z nikieliny, sylitu itp. Zaletą tych pieców jest utrzymanie stałej temperatury, a wadą znaczny koszt wykonania i eksploatacji.

Piece z kąpielą np. solną, budowane są w formie tygła stalowego wypełnionego solami, które pod wpływem nagrzania topią się tworząc kąpiel grzewczą. Sól znajdująca się w wannie nagrzewana jest za pomocą dwóch elektrod, prądem płynącym z sieci przez transformator, a temperaturę kąpieli mierzy się za pomocą termoelementu. Piece tego typu mogą być ogrzewane

prądem elektrycznym, gazem, koksem itp. Nagrzewanie przedmiotów odbywa się przez zanurzenie ich w gorącej kąpeli solnej.

Zależnie od sposobu nagrzewania rozróżnia się następujące rodzaje hartowania powierzchniowego:

- kąpielowe,
- indukcyjne,
- płomieniowe,
- wiązkowe (laserowe, wiązką elektronów).

Oziębianie

Odmienne ośrodki chłodzące posiadają inne prędkości chłodzenia przedmiotów, dzięki czemu wykonując ten zabieg cieplny możemy otrzymać różne rodzaje struktury materiału.

W procesach obróbki cieplnej wykorzystuje się następujące ośrodki chłodzące:

- woda oraz wodne roztwory soli, zasad i polimerów,
- oleje hartownicze,
- kąpiele solne i metaliczne,
- ośrodki sfluidyzowane,
- powietrze i inne gazy.

Ośrodkami najintensywniej chłodzącymi są roztopione sole oraz kąpiele metaliczne. Dużą zdolność chłodzenia wykazują również wodne roztwory soli i zasad. Mieszając w odpowiednich proporcjach wodę z olejami lub polimerami uzyskuje się emulsje o pośrednich intensywnościach chłodzenia. Najmniej intensywnie chłodzącym ośrodkiem jest powietrze. Własności chłodzące poszczególnych ośrodków ulegają zmianom ze zmianą ich temperatury oraz w wyniku ich ruchu (cyrkulacji).

Do urządzeń chłodzących zalicza się wanny hartownicze, które wypełnia się cieczami chłodzącymi. Wanny wykonane z blachy stalowej zaopatrzone są w urządzenia do dopływu i odpływu wody lub oleju. Wanny olejowe mają zazwyczaj podwójne ściany, między którymi przepływa woda. Podczas hartowania przedmioty chłodzone są poruszane w celu oddzielenia się od ich powierzchni pęcherzyków pary, które utrudniają chłodzenie.

Ośrodek chłodzący	Szybkość chłodzenia w C/s	
	500-650 C	200 - 300C
woda o temperaturze 18 °C	600	270
woda o temperaturze 26 °C	500	270
woda o temperaturze 50 °C	100	270
woda o temperaturze 74 °C	30	200
10% roztwór wodny NaOH o temperaturze 18 °C	1200	300
10% roztwór wodny NaCl o temperaturze 18 °C	1100	300
10% roztwór wodny sody o temperaturze 18 °C	800	270
10% roztwór wodny H2SO4 o temperaturze 18 °C	750	300
woda destylowana	250	200
emulsja oleju w wodzie	70	200
woda z mydłem	30	200
olej mineralny maszynowy	150	30
olej transformatorowy	120	25
stop 75 %Sn 25 %Cd o temperaturze 175 °C	450	50
rtęć o temperaturze otoczenia	500	130
płyty miedziane	60	30
płyty żelazne	35	15

2. Wykonanie ćwiczenia

1. Przygotowanie mikroskopu metalograficznego do badań z wykorzystaniem różnych technik tj.: – jasne pole – ciemne pole – kontrast fazowy – polaryzacja oraz sprawdzenie działania zasadniczych podzespołów mikroskopów.
2. Próbki ze stali wskazanej przez prowadzącego poddać obserwacji z wykorzystaniem różnych technik obserwacji.
3. Przeprowadzić obserwację wybranych zglądów metalograficznych i porównać z wzorcami zawartymi w normach.
4. Dokonać identyfikacji składników strukturalnych w próbkach dla określenia rodzaju i ilości poszczególnych faz, kształtu i wielkości ziarna, jakości powłok, itd.
5. Wykonać rysunek obrazu mikroskopowego badanych próbek.

3. Sprawozdanie

MATERIAŁY KONSTRUKCYJNE 1 laboratorium	
Imię i nazwisko	
Nr albumu	
Kierunek	
Nazwa doświadczenia	

- 1) **Cel ćwiczenia**
- 2) **Teoria**
- 3) **Sposób wykonania doświadczenia**
- 4) **Opracowanie wyników - rysunki obserwowanych mikrostruktur z odpowiednim opisem.**
- 5) **Wnioski**

Opracowano na podstawie:

1. Sienko M. j., Chemia.
2. Dobrzański L. A., Materiały inżynierskie.
3. <http://www.stalnierzewna.com/baza-wiedzy/hartowanie-stali/>.
4. Grabowska B., Nowoczesne techniki badawcze w inżynierii materiałowej, ćwiczenia laboratoryjne.