

Nr ćwiczenia:	3
Temat:	Nisko i wysokowęglowe stopy żelaza
Cel ćwiczenia:	Poznanie składników strukturalnych w stopach żelaza, nabycie umiejętności rozróżniania stopów żelaza na podstawie obserwacji mikrostruktury
Zakres wymaganego materiału	1. Układ równowagi żelazo-węgiel
Sposób wykonania ćwiczenia	Obserwacja mikroskopowa stopów żelaza o zawartości węgla od 0,02 do 4,3%.
Przykładowe pytania	Podano na: www.kisiko.agh.edu.pl
Zaliczenie	dwustopniowe: odpowiedź lub test, sprawozdanie.
Czas trwania	3 godziny
Literatura:	1. Przybyłowicz K.:Metaloznawstwo 2. Dobrzański L.A.: Materiały inżynierskie 3. Markiewicz T : Metaloznawstwo stopów żelaza

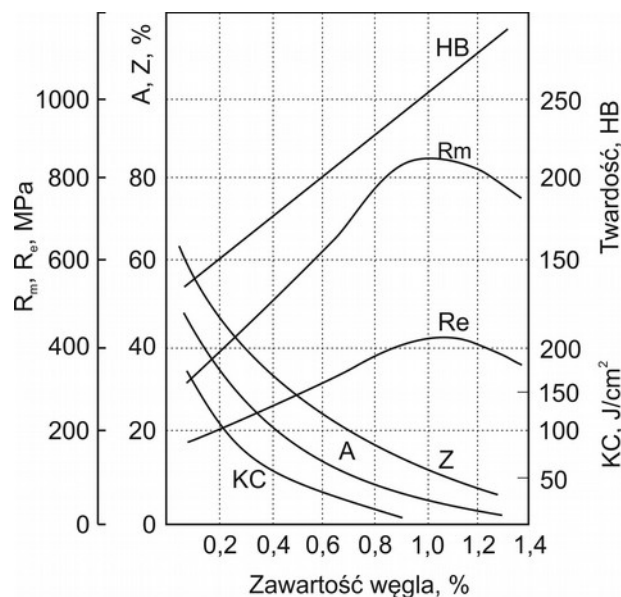
Wprowadzenie

Stopy żelaza należą do najbardziej rozpowszechnionej grupy materiałów stosowanych we współczesnej technice. Łączna produkcja stopów żelaza na świecie wynosi obecnie około 1665 mln Mg przy czym wyroby gotowe ze stali stanowią 1540 mln Mg, odlewy stalowe około 11 mln Mg a odlewy żeliwne ponad 73 mln Mg. Dla porównania produkcja odlewów z pozostałych stopów odlewniczych (Cu, Al, Mg, Zn i in.) na świecie wynosi około 19,2 mln Mg¹

Stopy żelaza charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi, które zestawiono w tabeli 1. Należy pamiętać, że w przypadku stali i staliwa ze wzrostem zawartości węgla rosną właściwości wytrzymałościowe a maleją plastyczne. Wiąże się to ze zwiększaniem udziału składników twardych w osnowie (rys.1).

Tabela 1. Typowe właściwości stopów żelaza

Materiał	R_m , MPa	R_e , MPa	A, %	Udarność, J/cm ²	Twardość, HB
Stal niestopowa	400-700	200-450	>25%	>150	170-250
Staliwo niestopowe	400-650	200-400	>25	35-100	170-250
Żeliwo szare	150-250	-	-	<2	150-200
Żeliwo sferoidalne	350-700	300-600	2-18	<17	150-200



Rys.1. Wpływ zawartości węgla na właściwości mechaniczne niskowęglowych stopów żelaza²

W przypadku stopów żelaza, które krystalizują z przemiana eutektyczną (żeliwo) właściwości mechaniczne nie zależą wprost od zawartości węgla tak jak w staliwie. Stopy te zgodnie z układem Fe-C zawierają od 2,11 do 4,3%C i więcej, jednak praktyczne znaczenie mają stopy o zawartości

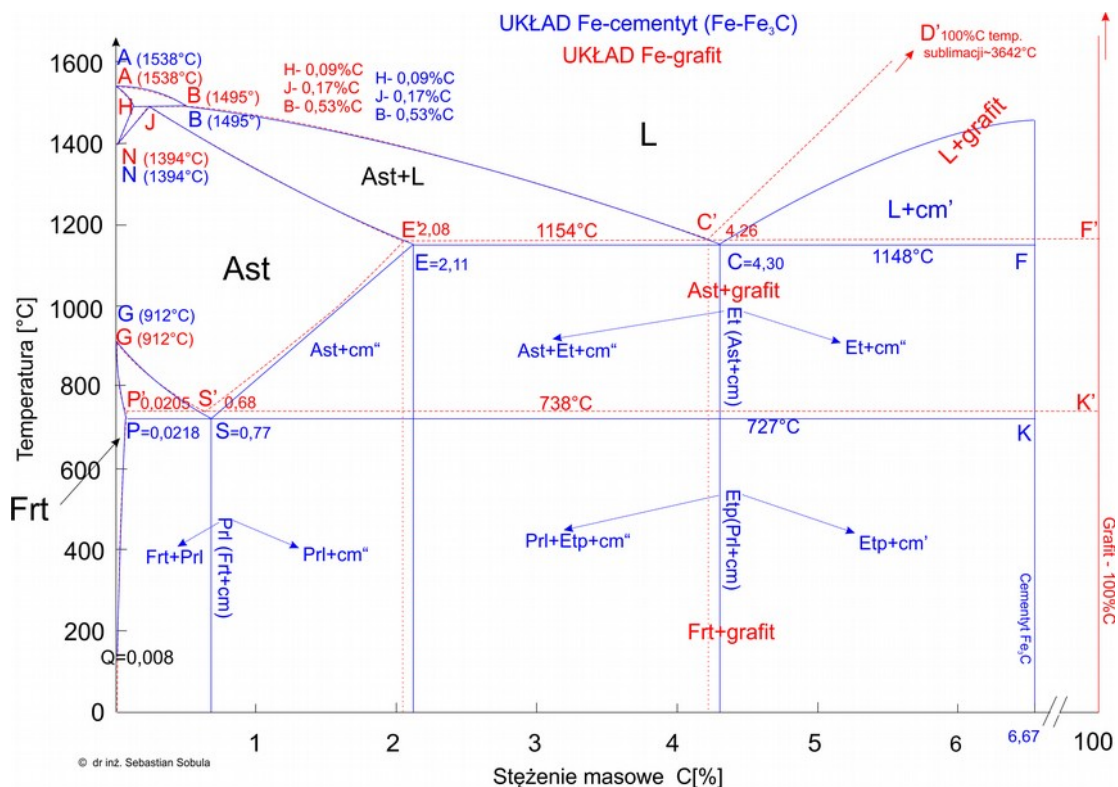
¹ Modern Casting, 12/2015, pp.26-31

² Kosowski A. Metaloznawstwo stopów odlewniczych, Wyd. AGH, Kraków 1996

węgla od ok. 3% do ok. 3,6%C. Są to stopy, które krystalizują jako podeutektyczne, ale ze względu na zawartość krzemu, która wynosi ok. 2% najczęściej krystalizują jako stopy okołoeutektyczne. Podsumowując, na właściwości mechaniczne staliwa i żeliwa, główny wpływ ma mikrostruktura, która zależy głównie zawartości pierwiastków stopowych a w przypadku żeliwa dodatkowo od szybkości stygnięcia.

Składniki strukturalne w stopach żelaza

W celu określenia składników strukturalnych w stopach żelaza, posłużymy się układem żelazo-cementyt i żelazo-grafit Na rys. 2, przedstawiono fragment tego układu równowagi. Stopy znajdujące się po lewej stronie tego układu do zawartości 2,11%C nazywamy staliwami (stalami) stopy o wyższej zawartości węgla nazywamy żeliwami (lub surówkami gdy są półproduktem). Na układzie znajdują się charakterystyczne obszary trwałości składników strukturalnych. Ważne jest to, że pewne składniki są trwałe w ściśle określonym zakresie składu chemicznego (czyli zawartości węgla) i temperatury. Na przykład składnik oznaczony literą Ast – austenit, jest trwały w obszarze ograniczonym, wyznaczonym punktami (GSEJNG). Poza tym obszarem może występować w postaci mieszaniny z innymi składnikami (np. obszar poniżej linii SE do temperatury 727°C – mieszanina austenitu i cementytu) lub nie występować wcale (np. poniżej linii PSK - temperatura 727°C).



Rys. 2. Układ równowagi Fe-cm (niebieski) i Fe-gr (czerwony), oznaczenia: L – ciecz, Ast – austenit, Frt – ferryt, Prl – perlit, cm – cementyt, Et(Ast+cm) – mieszanina eutektyczna austenitu i cementytu → ledeburyt, Etp(Prl+cm) – mieszanina eutektyczna perlitu i cementytu → ledeburyt przemieniony

Na układzie (rys.2) widoczne są także trzy przemiany: perytektyczna, eutektyczna i eutektoidalna. **Przemiana perytektyczna** przebiega w temperaturze 1495°C i biorą w niej udział ferryt wysokotemperaturowy (ozn. ferryt δ) ograniczony punktami NHAN i ciecz. Ferryt ma zawartość węgla odpowiadającą punktowi H a ciecz punktowi B. W wyniku tej przemiany powstaje austenit o zawartości węgla odpowiadającej punktowi J

Przemiana eutektyczna przebiega w temperaturze 1148°C w układzie metastabilnym Fe-cm i 1154°C w układzie stabilnym Fe-gr. W przemianie tej bierze udział ciecz o zawartości węgla odpowiadającej punktowi C (C'), z której krystalizuje mieszanina austenitu o zawartości węgla odpowiadającej punktowi E (E') i cementytu o zawartości węgla wynoszącej 6,67%. Mieszanina eutektyczna ma nazwę zwyczajową – ledeburyt.

Przemiana eutektoidalna ma charakter podobny do przemiany eutektycznej, jednak przebiega w stanie stałym w temperaturze 727°C w układzie metastabilnym Fe-cm i 738°C w układzie stabilnym Fe-gr. W przemianie tej bierze udział austenit o zawartości węgla odpowiadającej punktowi S (S'), z której krystalizuje mieszanina ferrytu o zawartości węgla odpowiadającej punktowi P (P') i cementytu o zawartości węgla wynoszącej 6,67%. Mieszanina eutektoidalna ma nazwę zwyczajową – perlit.

Analizując przytoczony układ równowagi możemy z łatwością przewidzieć skład strukturalny stopów żelaza z węglem.

Uwaga: w nawiasach podano składniki strukturalne dla układu stabilnego.

Stopy o zawartości węgla od punktu Q do punktu P(P') będą składać się z ferrytu i drobnych wydzielen cementytu trzeciorzędowego (grafitu trzeciorzędowego), który powstaje w wyniku zmniejszania się rozpuszczalności węgla linia PQ (P'Q). Stopy o zawartości węgla odpowiadające punktowi S (S') będą zawierać w mikrostrukturze perlit (eutektoid grafitowy) czyli mieszaninę ferrytu i cementytu (ferrytu i grafitu). W związku z tym stopy pomiędzy punktami P i S (P'S') będą składać się z ferrytu i perlitu (ferrytu i eutektoidu grafitowego). Udział perlitu będzie się zwiększał ze wzrostem zawartości węgla i osiągnie 100% przy 0,77%C. Stopy o zawartości węgla wyższej niż punkt S (S') będą zawierać dodatkowo cementyt wtórny (grafit wtórny), który powstaje w wyniku zmniejszania się rozpuszczalności węgla w austenicie - poniżej linii ES (E'S').

Stopy o zawartości węgla większej niż 2,11% (2,08%) -punkt E (E') krystalizują z przemianą eutektyczną. Mikrostruktura składająca się w 100% z mieszaniny eutektycznej występuje przy zawartości węgla odpowiadającej punktowi C(C') i w zakresie temperatury 727-1148°C, (738-1154°C) nosi nazwę zwyczajową ledeburytu (eutektyki grafitowej). Poniżej 727°C, (738°C) jeden ze składników tej mieszaniny – austenit, ulega rozpadowi zgodnie z przemianą eutektoidalną na perlit (eutektoid grafitowy). Dlatego ledeburyt (eutektykę grafitową) poniżej tej temperatury nazywamy ledeburytem przemienionym (eutektyką grafitową przemienioną).

Przebieg ćwiczenia:

Studenci otrzymują serię szlifów metalograficznych wybranych odlewniczych stopów żelaza o zmiennej zawartości węgla od 0,02 do 4,3%. Przy pomocy mikroskopu obserwują mikrostrukturę i szkicują wybrany fragment charakterystyczny dla każdego stopu. Na podstawie szkiców i układów równowagi Fe-cm oraz Fe-gr nazywają fazy widoczne w mikrostrukturze stopów.