ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1971

Seria: HUTNICTWO z. 1 Nr kol. 312

JERZY GIEREK

WPŁYW NISKICH TEMPERATUR I STRUKTURY NA WŁASNOŚCI MECHANICZNE ŻELIW AUSTENITYCZNYCH

Streszczenie. W pracy przebadano własności mechaniczne żeliw austenitycznych z grafitem płatkowym o składach chemicznych zbliżonych do żeliwa sferoidalnego "N i r e s i s t" gatunku D-2M. Określono wpływ modyfikacji oraz obróbki cieplnej na własności mechaniczne w temperaturze pokojowej oraz ciekłego azotu. Wyniki prób mechanicznych uzupełniono badaniami metalograficznymi struktury.

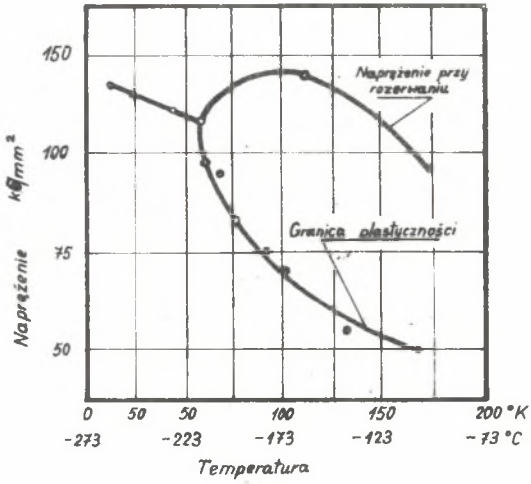
1. Przegląd piśmiennictwa

Wraz z rozwojem nowoczesnej techniki rośnie zapotrzebowanie na urządzenia pracujące w obniżonych temperaturach. Dotyczy to głównie przemysłu chemicznego, spożywczego, energetycznego, górniczego i lotniczego. Przykładem przemysłowych urządzeń kryogenicznych mogą być skraplarki do ciekłych gazów, urządzenia do otrzymywania penicyliny (-40÷90°C), butylu (ok. -100°C), zbiorniki na ciekły tlen i wodór w technice lotniczej i rakietowej oraz agregaty chłodnicze w reaktorach atomowych. Ostatnio w USA i ZSRR podjęto próby wytwarzania prądu elektrycznego przy pomocy generatorów pracujących w obniżonych temperaturach celem wykorzystania zjawiska nadprzewodnictwa elektrycznego, a tym samym zmniejszenie strat energetycznych wskutek oporu elektrycznego.

Jako materiały konstrukcyjne w technice niskich temperatur szersze znaczenie znalazły dotąd jedynie stale. Wiadomo jednak, że pierwsze miejsce w przemyśle maszynowym, ze względu na swe własności i niskie koszty zajmują odlewy żeliwne. O ile jednak mechaniczne i technologiczne własności tych tworzyw w wysokich temperaturach są dość dobrze poznane, o tyle własności te w niskich temperaturach wymagają obszerniejszych badań.

Własności mechaniczne stali konstrukcyjnej węglowej, z obniżeniem temperatury zmieniają się dość znacznie, przy czym granica plastyczności wzrasta szybciej aniżeli wytrzymałość na rozciąganie. Powoduje to również wzrost naprężenia rozrywającego, które osiąga maksymalną wartość w pewnej określonej temperaturze po czym maleje do wartości równej granicy plastyczności [1]. W pewnej temperaturze więc granica plastyczności pokrywa się z granicą wytrzymałości, osiągając tzw. "wytrzymałość rozdzielczą". Eldin i Collins [2] przeprowadzili badania na próbkach ze stali o zawartości 0,20% C (rys. 1). W zakresie temperatur od -261 ÷ -211°C próbki wykazały typowe kruche przełomy, bez śladów przewężenia, powyżej -211°C próbki za-

częły się przewężać i można było wyznaczyć zarówno granicę plastyczności jak i naprężenie rozrywające. Jednakże do temp. -169°C pojawiły się w środku powierzchni przełomu ciemne włókniste obszary jako objawy pewnej plastyczności zaś powyżej -88°C wszystkie przełomy były ciągliwe [2]. Z rys. 1 wynika, że w pobliżu temperatury -211°C wzrost granicy plastyczności jest znacznie szybszy od wzrostu naprężenia rozrywającego a po osiągnięciu tej temp. obie te wielkości pokrywają się. Temperaturę tę określono jako tzw. "temperaturę przejścia" lub "próg kruchości".



Rys. 1. Wpływ niskich temperatur na granicę plastyczności i wytrzymałości dla stali o zawartości 0,20% [10]

Allen [3] w swych badaniach stwierdził, że żelazo o dużym stopniu czystości wykazuje przy próbie udarności, przejście od pękania ciągliwego do kruchego w temperaturze -15°C oraz że wprowadzenie 0,01% C nie zmienia zasadniczo temperatury przejścia, natomiast przy wyższych zawartościach, temperatura przejścia wzrasta i przy zawartości 0,03% C wynosi już około 100°C. W stali węglowej konstrukcyjnej własności wytrzymałościowe z obniżeniem temperatury wzrastają dość znacznie [1]. Wytrzymałość na rozciąganie przy -196°C może wzrosnąć o około 50% do wartości 126 kG/mm^2, podczas gdy w temperaturze +20°C wynosiła 84 kG/mm^2. Udarność tej stali w temperaturze +20°C wynosiła 5 do 12 kG/cm^2, a w temperaturze -196°C zmalała o połowę i wynosiła 1,5÷2,5 kgm/cm^2. Jednakże jak dotąd na elementy pracujące w niskich temperaturach stosowane są głównie austenityczne stale nie rdzewne i kwasoodporne, zawierające ok. 0,1% C; 17÷20% Cr, 7÷10% Ni [9]. Wytrzymałość na rozciąganie tych stali w temperaturze 20°C wynosi około 60 kg/mm^2 i zwiększa się 2,5-krotnie w temp. -196°C do 155 kG/mm^2; jedno-

cześnie ich granica plastyczności wzrasta z 24,5 kG/mm^2 w temp. +20°C do 48 kG/mm^2 w temp. -196°C a przewężenie oraz wydłużenie ulegają zmniejszeniu [4].

Ostatnio szerokie zastosowanie w budowie urządzeń kryogenicznych zyskały stopy żelaza zawierające ok. 9% Ni i 0,13% C. Po ochłodzeniu od temperatury 900°C na powietrzu w stopach tych występuje drobnoiglasty martenzyt, który przy następnym podgrzaniu powyżej ok. 500°C przemienia się częściowo w austenit, gdyż duża zawartość niklu w stali znacznie obniża temperaturę A_1. Ponieważ powstający austenit zawiera ok. 20% Ni i jest bogaty w węgiel, odznacza się dużą trwałością nawet do temperatur ciekłego azotu przy zachowaniu udarności ok. 8 kGm/cm^2 [10].

W niskich temperaturach mogą pracować również zwykłe żeliwa szare jak i żeliwa szare stopowe.

W pracy [5] stwierdzono, że z obniżeniem temperatury zwykłego szarego żeliwa rośnie jego wytrzymałość na rozciąganie, zginanie, a także twardość. W pracy tej przebadano wpływ niskich temperatur występujących w mrożonych szybach górniczych na własności wytrzymałościowe żeliwa stosowanego na tubingi, o średnim składzie chemicznym: C = 3,28%; Mn = 0,70%; Si = 1,45%; P = 0,199%, S = 0,115% .

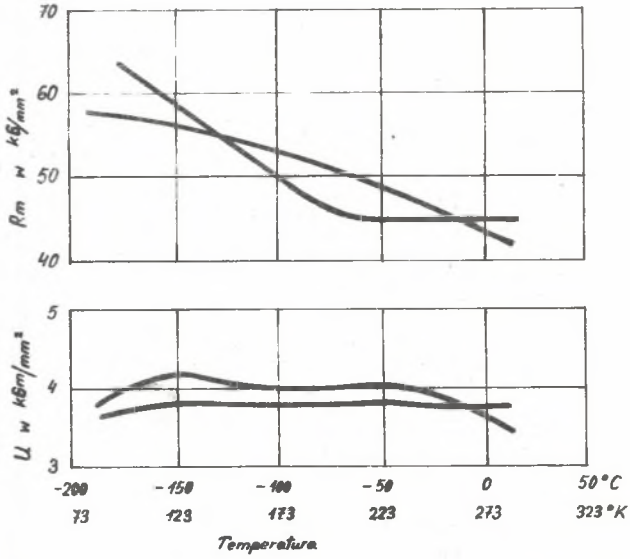
Stwierdzono, że wytrzymałość na ściskanie badanego żeliwa, w zakresie temperatur +20°C do 0°C zmienia się w nieznacznym stopniu, a od 0°C do -25°C nie zmienia się wogóle.

Wytrzymałość na rozciąganie, na zginanie oraz udarność badanego żeliwa w zakresie +20 do -25°C nie zależą w sposób istotny od temperatury. Niektóre własności mechaniczne zwykłych żeliw szarych w temperaturach niższych niż -25°C są opisane w pracy Piwowarskiego [6], który przeprowadzając badania dylatometryczne żeliwa szarego w zakresie temperatur od +300 do -180°C (ciekłe powietrze) stwierdził, że wymiary liniowe wysokojakościowych gatunków żeliw po ochłodzeniu ulegają skróceniu w mniejszym stopniu niż zwykłego żeliwa szarego. Udarność żeliwa szarego przy -80°C przeprowadzona na próbkach z karbem zostaje taka sama jak przy temperaturze 20°C i wynosi około 0,5 kGm/cm^2. Wytrzymałość na zginanie nie zmieniała się do ok. -155°C, a wytrzymałość na rozciąganie wolno wzrastała. Przyrosty R_m i R_g w zakresie temperatury ciekłego powietrza (-180°C) wynosiły około 15%.

Własności stopowych żeliw szarych przeznaczonych do pracy w niskich temperaturach omówiono w pracach [7 i 8], w których stwierdzono, że żeliwem zdającym dobrze egzamin w niskich temperaturach jest żeliwo austenityczne, a najlepszym spośród dotychczas opracowanych gatunków austenitycznych żeliw niklowych jest żeliwo sferoidalne "Niresist" gatunek D-2M które z powodzeniem można stosować, po przeprowadzeniu jego obróbki cieplnej do temperatury - 200°C.

Skład chemiczny żeliwa sferoidalnego, Niresist D-2M jest następujący: C = 2,2÷2,6%; Si = 1,9÷2,6%; Mn = 4,0÷4,4; Ni = 22÷24%.

Zależność udarności oraz wytrzymałości na rozciąganie tego żeliwa od temperatury pokazano na wykresie (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ temperatur na własności mechaniczne żeliwa D-2M (próbki wycięte z dwu różnych odlewów) [7]

Stwierdzono również [7], że wszystkie gatunki austenitycznego żeliwa sferoidalnego przeznaczonego do pracy w niskich temperaturach muszą być wyżarzone, co daje ujednorodnienie struktury, rozpuszczenie lub przynajmniej korzystniejszą postać węglików, a w konsekwencji większą stabilizację własności tworzywa w niskich temperaturach.

2. Badania własne

2.1. Cel i zakres badań

Jak wynika z danych literaturowych omówionych w rozdz. 1 w miarę obniżania temperatury kruchość żeliw kształtuje się inaczej aniżeli dla stali. Nie jest to jednak dostatecznie potwierdzone doświadczalnie w związku z czym jednym z celów niniejszej pracy było zbadanie tego zjawiska. Ponadto podjęto próbę określenia wpływu wyżarzania ujednoradniającego na udarność żeliw w niskich temperaturach.

W dostępnej literaturze nie napotkano danych dotyczących wpływu modyfikacji żeliw bez obróbki cieplnej oraz z następną obróbką cieplną na ich własności mechaniczne w niskich temperaturach. Dlatego też przeprowadzo-

no odpowiednie badania w tym zakresie. Ze względów praktycznych wszystkie badania były odniesione do żeliw o zbliżonych do gatunku "Niresist" D-2M składach chemicznych, lecz z grafitem płatkowym.

2.2. Materiały i sposób ich przygotowania

Do badań przyjęto zgodnie z celem pracy, składy chemiczne identyczne jak w przebadanych już częściowo w pracy [7] austenitycznych żeliwach sferoidalnych o specjalnych własnościach przeznaczonych do pracy w niskich temperaturach. Jednakże w badanych żeliwach nie przeprowadzono sferoidyzacji grafitu. W ten sposób rozszerzono zakres badanych materiałów o żeliwa austenityczne z grafitem płatkowym. Wytopy przeprowadzano w piecu indukcyjnym o wyłożeniu zasadowym, częstotliwości 8.000 H_z oraz pojemności nominalnej tygla odpowiadającej 50 kg wsadu metalowego. Stosowano następujący wsad: surówka LH2 nikiel, żelazomangan, żelazokrzem, żelazochrom wysokowęglowy, żelazowanad i miedź. Ciężar wsadu każdorazowo wynosił 50 kg. Skład chemiczny poszczególnych materiałów wsadowych podano w tabl. 1.

Tablica 1

Procentowy skład chemiczny poszczególnych materiałów wsadowych

Lp.	Materiały wsadowe	Skład chemiczny %								
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	V	Ni
1	Surówka LH2	3,72	2,85	0,34	0,09	0,02	-	-	-	-
2	Żelazomangan	-	-	80,0	-	-	-	-	-	-
3	Nikiel	-	-	-	-	-	-	-	-	100,0
4	Żelazokrzem	-	75,0	-	-	-	-	-	-	-
5	Żelazochrom wysokowęglowy	5,50	0,93	-	-	-	60,02	-	-	-
6	Żelazowanad	-	-	-	-	-	-	-	40,0	-
7	Miedź	-	-	-	-	-	-	100,0	-	-
8	Grafit (elektrody)	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-

Chcąc uzyskać odpowiednią zawartość węgla w żeliwie [6], po roztopieniu wsadu wprowadzono do ciekłego metalu elektrodę grafitową i trzymano ją tak długo, jak długo jej ciężar nie zmniejszył się o określoną wartość mierząc co pewien czas ubytek ciężaru. Skład chemiczny wsadu dla I wytopu podano w tabl.2. W kolejnych wytopach dodawano miedzi (Cu), żelazowanadu (FeV) lub obu tych składników jednocześnie, przy czym zmieniał się jednocześnie skład procentowy pozostałych składników wsadu. W rezultacie uzyskano do badań próbki z 4 wytopów żeliwa o składzie chemicznym jak podano w tablicy 3.

Tablica 2

Karta dyspozycji wsadowej

Dyspozycja wsadowa wytopu nr I								Typ i nr pieca I50			
Gatunek stopu: ZlNi20 Mn 4			3,0	2,4	4,0	-	-	0,15	-	-	20,0
Składniki wsadu	Udział		Skład chemiczny w %								
	%	kg	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	V	Ni
Surówka LH2	74	37	3,72	2,85	0,34	0,09	0,02	-	-	-	-
			2,75	2,1	0,25	0,06	0,01	-	-	-	-
Nikiel	20	10	-	-	-	-	-	-	-	-	100
			-	-	-	-	-	-	-	-	20
Żelazomangan	5	2,5	-	-	30,0	-	-	-	-	-	-
			-	-	4,0	-	-	-	-	-	-
Żelazokrzem	0,5	0,25	-	75,0	-	-	-	-	-	-	-
			-	0,37	-	-	-	-	-	-	-
Żelazochrom wysokowęglowy	0,20	0,1°	5,50	0,93	-	-	-	60,02	-	-	-
			0,01	0,002	-	-	-	0,12	-	-	-
Grafit (elektrody)	0,30	0,15	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-
			0,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Razem	100	50	3,06	2,47	4,25	0,06	0,01	0,12	-	-	20,0

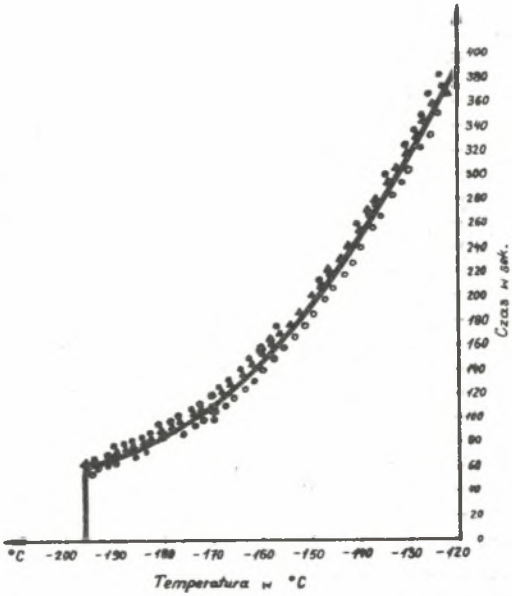
Tablica 3

Skład chemiczny żeliw przyjętych do prób

Lp. wytopu	Skład chemiczny %						
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	V
I	3,06	2,25	5,61	0,22	-	19,52	-
II	2,97	2,88	3,79	0,11	-	22,04	0,46
III	2,73	2,38	3,32	0,05	3,23	22,45	-
IV	2,89	2,21	3,81	0,07	3,45	22,37	0,47

Do kadzi odlewano każdorazowo po ok. 25 kg (połowę) żeliwa i zalewano formy. Resztę żeliwa modyfikowano w kadzi rozdrobnionym wapniokrzemem w ilości 0,3% do kadzi i zalewano formy. Temperatura żeliwa w czasie spustu wahała się w granicach 1450-1470°C. Próbki zalewano do form skorupowych. Odlano próbki przeznaczone do badań wytrzymałościowych, na rozciąganie oraz do badań udarności. Połowę próbek z każdego wytopu (modyfikowanych i niemodyfikowanych) przygotowano do badań wytrzymałościowych, a pozostałe

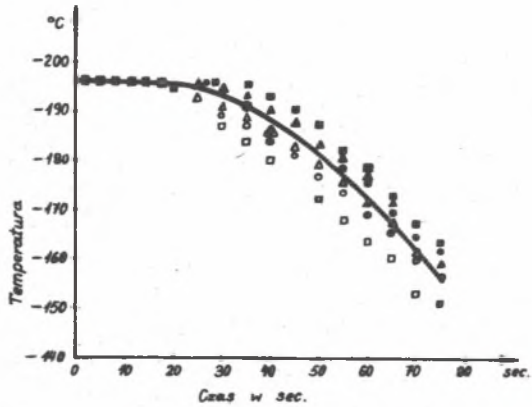
poddano obróbce cieplnej polegającej na wyżarzaniu w temperaturze 1000°C w czasie 6 godzin i chłodzonych w temperaturze otoczenia.
Uzyskane w ten sposób próbki (obrabiane i nieobrabiane cieplnie) podzielono na 2 grupy, z których jedną badano w temperaturze 20°C, a drugą grupę w temperaturze - 196°.
Do oziębiania próbek stosowano ciekły azot.



Rys. 3. Zależność wzrostu temperatury próbki wytrzym. do badania Rm wyjętej z ciekłego azotu od czasu
o - pomiar 1, ● - pomiar 2, ▲ - pomiar 3

Duże znaczenie dla przebiegu badań miała zależność wzrostu temperatury ochłodzonej próbki, po wyjęciu jej z ciekłego azotu, od czasu. W tym celu przeprowadzono odpowiednie pomiary dla próbek udarnościowych i próbek przeznaczonych do badania wytrzymałości na rozciąganie, przy pomocy termometru oporowego. Wyniki pomiaru przedstawiono na rys. 3 i 4, z których wynika, że czas bezwładności cieplnej próbek do badania wytrzymałości na rozciąganie wahał się w granicach 56-60 sek., a próbek udarnościowych 20--28 sek. W tych czasach musiały być wykonane wszystkie czynności związane z badaniami wytrzymałościowymi próbek. Pomiary wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej firmy Schopper o maksymalnej sile zrywającej 30 ton, przy roboczym nastawieniu siłomierza na zakresy do 5 i do 15 ton.

Próbki zanurzano w ciekłym azocie i trzymano w nim do wyrównania się temperatur (5-8 minut). Następnie wyciągano je również zamrożonymi kleszczami i mocowano w szczękach maszyny. Całkowity czas mocowania i zrywania próbki wynosił ok. 45 sek. Próby udarności przeprowadzono na młocie wahadłowym Charpy'ego o zakresie pomiarowym do 5 kGm.



Rys. 4. Wzrost temperatury oziębianej i wyjętej z ciekłego azotu próbki udarnościowej w czasie

o - pomiar 1, Δ - pomiar 2, □ -pomiar 3, ● -pomiar 4, ▲ -pomiar 5, ■ - pomiar 6

Oziębianie oraz wyjęcie i ustawienie próbek na podporach młotu udarnościowego wykonano podobnie jak przy badaniu wytrzymałości na rozciąganie. Całkowity czas tej próby wynosił ok. 10 sek. Badania twardości przeprowadzono na aparacie typu ALPHA, metodą Brinella za pomocą kulki o średnicy D = 2,5 mm i nacisku 187,5 kG. Próbki do badania przygotowano ze zużytych próbek udarnościowych, oziębiano i wyciągano w sposób podobny jak przy badaniu udarności i wytrzymałości na rozciąganie. Kładziono je jednak na stalową płytkę, którą również zamrażano i ustawiano na stoliku przyrządu.

Badania mikrostruktury przeprowadzono na zgładach wykonanych z odcinków próbek udarnościowych stosując trawienie w 10% HNO_3, a częściowo odczynnikiem o składzie: 25 g $FeCl_3$ + 100 ml HCl + 150 ml H_2O+250 ml C_2H_5OH.

Uzupełnieniem badań metalograficznych były badania mikrotwardości mające na celu porównanie własności określonych składników strukturalnych. Pomiarów dokonano mikrotwardościomierzem PMT-3, metodą Vickersa przy obciążeniu 20 g.

3. Wyniki badań

3.1. Badania wytrzymałościowe

Na rys. 5 przedstawiono porównawczo zmiany wytrzymałości na rozciąganie badanego żeliwa w temperaturze pokojowej oraz obniżonej (ciekłego azotu). W zależności od technologii wytwarzania żeliwa oraz obróbki cieplnej uzyskuje się zmienną relację wartości R_m określonej przy temperaturze otoczenia do wartości Rm przy temperaturze obniżonej. Przykładowo dla wytopu I w warunkach otoczenia wytrzymałość na rozciąganie kształtuje się w zakresie 14-18 kG/mm^2 w zależności od procesu technologicznego, natomiast w warunkach kriogenicznych uzyskano wartości 27-33 kG/mm^2. Żeliwo z wytopu II posiadało przy temperaturze otoczenia wytrzymałość w przedziale 18-24 kG/mm^2, a przy temperaturze ciekłego azotu - 34-38 kG/mm^2.

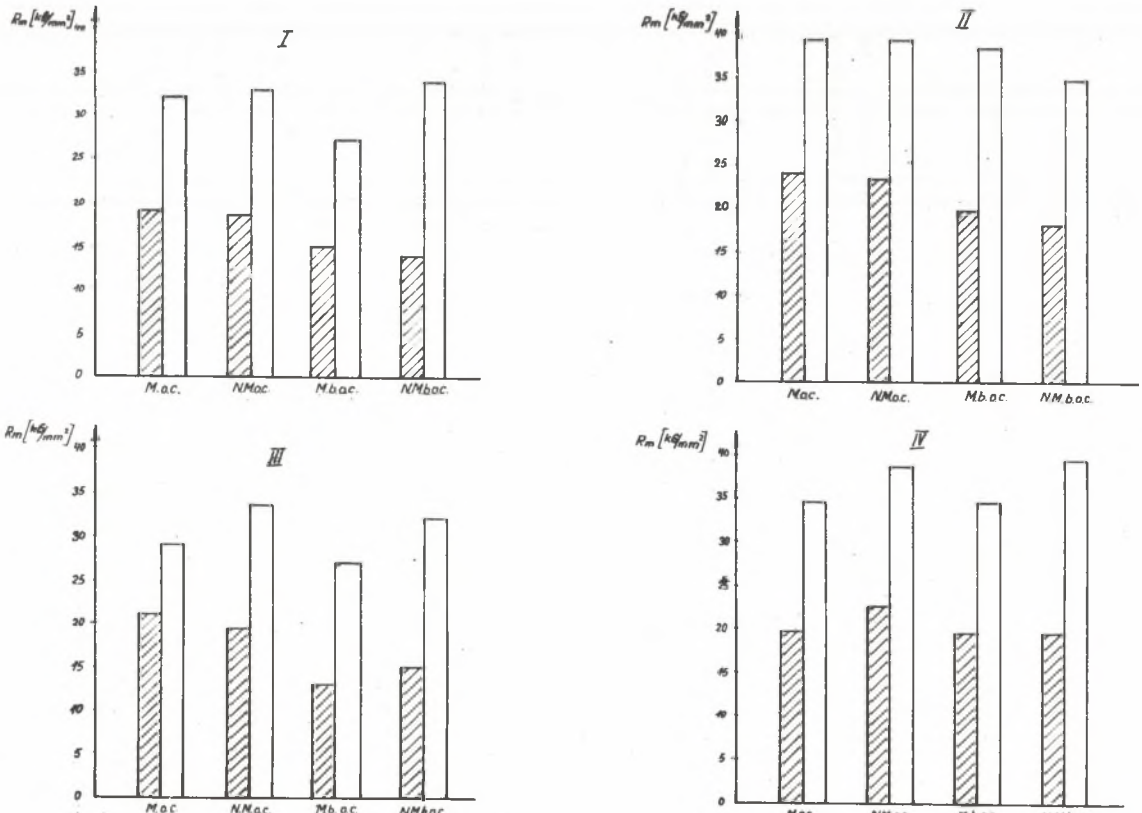
W wytopie III stwierdzono największe zróżnicowanie wytrzymałości na rozciąganie w zależności od procesu technologicznego, jednakże procentowy przyrost wytrzymałości na rozciąganie w wyniku obniżenia temperatury kształtował się podobnie jak w pozostałych wytopach. Żeliwo z wytopu IV przy temperaturze otoczenia posiadało wytrzymałość ok. 20 kG/mm^2 a w temperaturze obniżonej 35-38 kG/mm^2. Przyrost wytrzymałości wywołany obniżeniem temperatury wynosił zatem średnio 80% wartości Rm w temperaturach otoczenia.

3.2. Badania twardości

Wpływ obniżenia temperatury na wzrost twardości badanego żeliwa przedstawiono na rys. 6. Przy temperaturze otoczenia twardość w małym stopniu zależy od procesu technologicznego (rys. 7) i wynosi średnio 90 HB. Twardość próbek o temperaturze ciekłego azotu kształtowała się w zakresie od 110 HB do 150 HB i wynosiła średnio 130 HB. Przyrost twardości wywołany obniżeniem temperatury wynosił zatem ok. 45%.

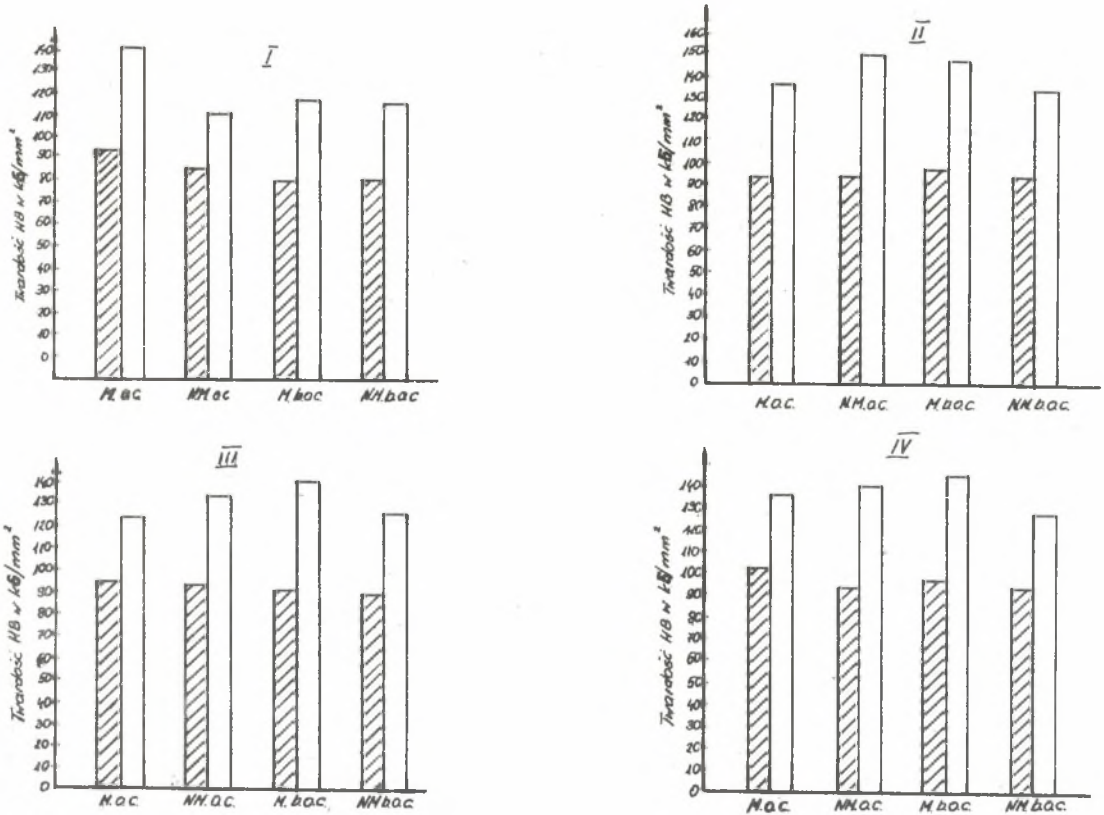
3.3. Badania udarności

Jak przedstawiono na rys. 7 udarność badanego żeliwa zarówno w temperaturze otoczenia jak i obniżonej jest bardzo niska i nie przekracza ok. 1,5 kG/cm^2. W tych warunkach ujawnione różnice w zależności od temperatury badania i procesu technologicznego mają jedynie znaczenie porównawcze, gdyż materiał znajduje się w stanie kruchym. Przy względnie ujemnych wartościach udarności przy temperaturze otoczenia kiedy błąd pomiaru ulega zmniejszeniu daje się zaobserwować wyraźny wpływ obniżonej temperatury na spadek udarności.

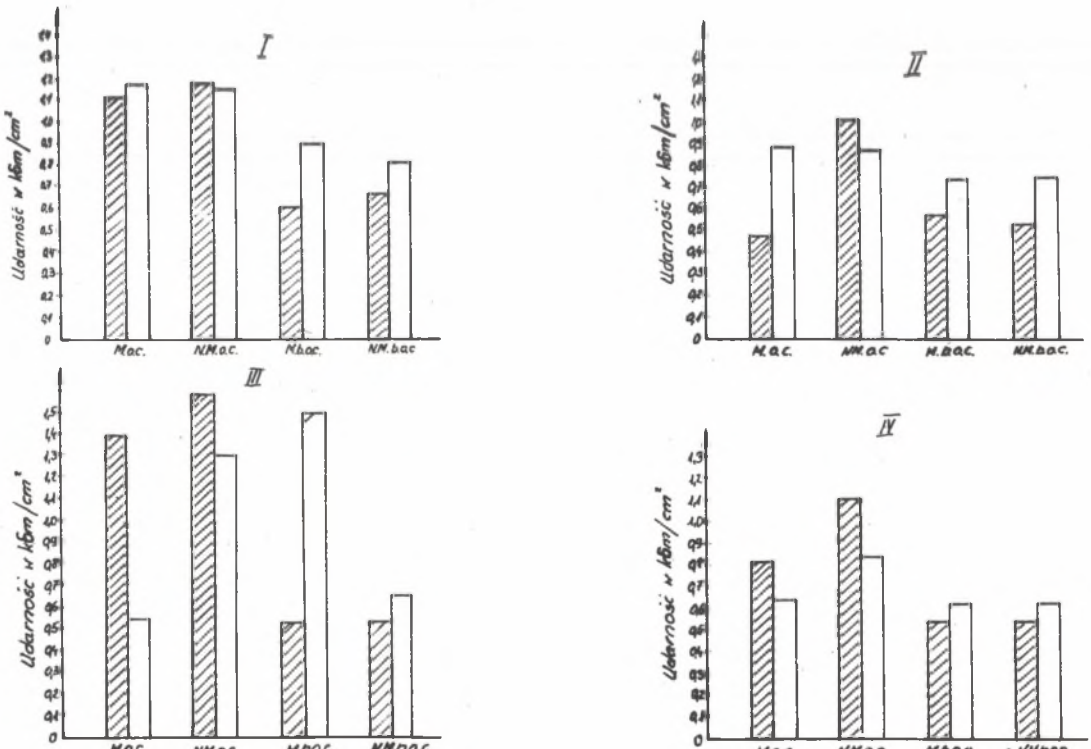


Rys. 5. Wytrzymałość na rozciąganie żeliw o składach I,II,III,IV, w zależności od temp. i przygotowania próbki

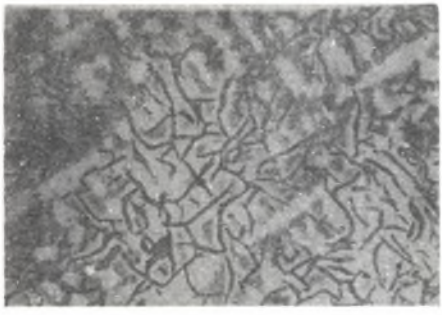
▨ - temp. otoczenia, ▭ - temp. obniżania, M.o.c. - modyfikowane obrabiane cieplnie, NM.o.c. - niemodyfikowane obrabiane cieplnie, M.b.o.c. - modyfikowane bez obróbki cieplnej, NM.b.o.c. - niemodyfikowane bez obróbki cieplnej



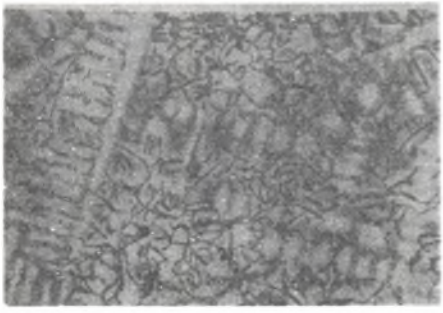
Rys. 6. Twardość żeliw o składach I, II, III, IV, w zależności od temp. i przygotowania próbki ▨ - w temp. 20°C, ▭ - w temp. 196°C, M.o.c. - modyfikowane obrabiane cieplnie, NM.o.c. - niemodyfikowane obrabiane cieplnie, M.b.o.c. - modyfikowane bez obróbki cieplnej, NM.b.o.c. - niemodyfikowane bez obróbki cieplnej



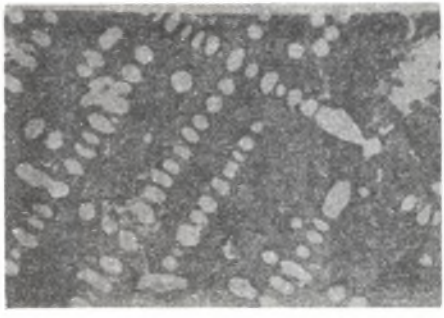
Rys. 7. Udarność żeliw o składach I, II, III, IV, w zależności od temp. i przygotowania próbki ▨ - w temp. 20°C, ▭ - w temp. 196°C, M.o.c. - modyfikowane obrabiane cieplnie, NM.o.c. - nie modyfikowane obrane cieplnie, M.b.o.c. - modyfikowane bez obróbki cieplnej, NM.b.o.c. - nie modyfikowane bez obróbki cieplnej



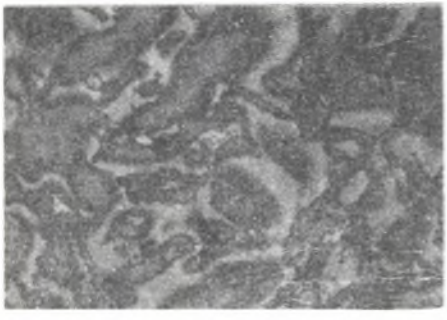
Rys. 8



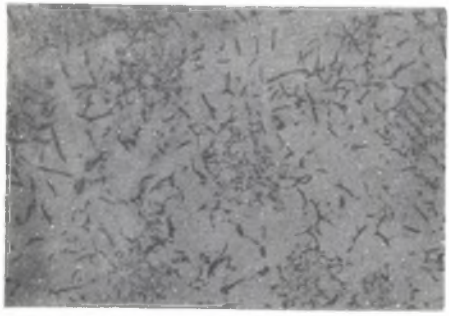
Rys. 9



Rys. 10

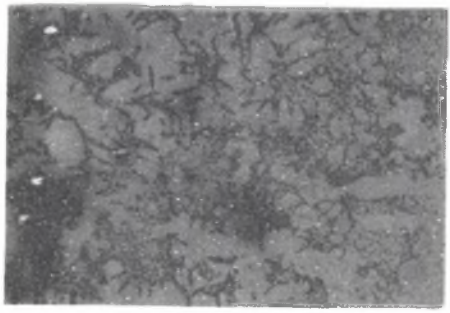


Rys. 11

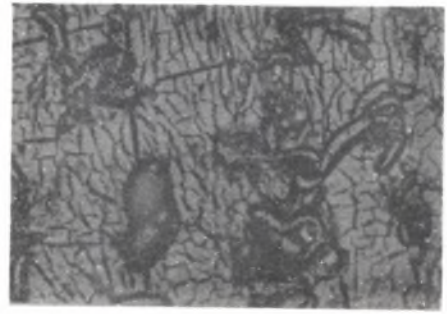


Rys. 12

Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15

Opis rysunków

Nr rys.	Wytop	Obróbka cieplna	Opis struktury	Trawienie	Powiększenie
8	I-N.Modyf.	stan surowy	W osnowie austenitu wydzielenia grafitu pasemkowego; widoczna segregacja dendrytyczna	10% HNO_3	150x
9	I-Modyf.	stan surowy	W osnowie austenitu wydzielenia grafitu pasemkowego; widoczna segregacja dendrytyczna	10% HNO_3	150x
10	III-N.Modyf.	stan surowy	W osnowie austenitu o bardzo wyraźnej segregacji dendrytycznej wydzielenia grafitu pasemkowego	10% HNO_3	150x
11	III-Modyf.	stan surowy	W osnowie austenitu z wydzieleniami grafitu pasemkowego widoczne rozmyte (dyfuzyjne) rozgraniczenie jasnych i szarych obszarów austenitu o zróżnicowanym składzie chemicznym	25 g $FeCl_3$ 100 ml HCl 150 ml H_2O	500x
12	I-Modyf.	ujednoradnianie	W osnowie austenitu wydzielenia rozdrobnionego grafitu pasemkowego	10% HNO_3	150x
13	I-Modyf.	ujednoradnianie	W osnowie austenitu widoczne rozdrobnienie wydzieleń grafitu Liniowość wydzieleń grafitu słabo zaznaczona	10% HNO_3	150x
14	III-Modyf.	ujednoradnianie	W osnowie austenitu wydzielenia grafitu o orientacji międzydendrytycznej. Grafit rozetkowy oraz nieznaczna ilość grafitu pasemkowego	10% HNO_3	150x
15	IV-N.Modyf.	ujednoradnianie	W osnowie austenitu o widocznej miejscami budowie komórkowej, wydzielenia grafitu pasemkowego	25 g $FeCl_3$ 100 ml HCl 150 ml H_2O 250 ml C_2H_5OH	500x

3.4. Badania metalograficzne

Wpływ procesu technologicznego na strukturę badanych wytopów żeliwa austenicznego przedstawiono na rys. 8-15. W stanie nieobrobionym cieplnie we wszystkich wytopach zarówno niemodyfikowanych jak i modyfikowanych stwierdzono znaczną mikrosegregację składu chemicznego osnowy austenitycznej. "Osie" dendrytów ubogie w węgiel i inne domieszki pod działaniem zastosowanego odczynnika wykazały znaczną odporność chemiczną i ujawniły się w obrazie mikroskopowym jako jasne, efekt ten w różnym stopniu wystąpił w poszczególnych wytopach - rys. 8-11. Najsilniej zaznaczył się w żeliwach z wytopów III i IV. Po ujednorodnieniu żeliw nie stwierdzono już zjawiska segregacji. Uwydatniło się jedynie znaczne rozdrobnienie grafitu w próbkach modyfikowanych - rys. 12-14. Struktura żeliw po ujednoradnianiu składała się z austenitycznej osnowy o silnie zaznaczonej budowie komórkowej z wydzieleniami grafitu pasemkowego - rys. 15. Badania w silnych polach magnetycznych wskazały na możliwość występowania w niektórych próbkach wydzieleń ferrytu, którego jednak nie ujawniono w badaniach na mikroskopie świetlnym.

4. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące wnioski:

1. Struktura badanych żeliw w stanie surowym składa się z osnowy austenitycznej o znacznej segregacji składu chemicznego oraz wydzieleń grafitu pasemkowego. Obróbka cieplna - ujednorodnianie prowadzi do znacznego zmniejszenia segregacji austenitu i wytworzenia w nim charakterystycznej substruktury komórkowej.
2. Wytrzymałość na rozciąganie w temperaturze obniżonej (ok. -196°C) jest średnio większa o 80% od wytrzymałości na rozciąganie w temperaturze pokojowej. Dla wszystkich badanych wytopów stwierdzono korzystny wpływ obróbki cieplnej na wytrzymałość na rozciąganie dla obu uwzględnionych w badaniach temperatur.
3. Zastosowane zabiegi technologiczne wywarły stosunkowo niewielki wpływ na twardość; w temperaturze obniżonej stwierdzono wzrost twardości o ok. 40% w stosunku do wartości uzyskiwanych w temperaturze pokojowej.
4. Udarność badanych żeliw niezależnie od temperatur badania i procesu technologicznego jest bardzo mała i kształtuje się poniżej ok. 1,5 kGm co odpowiada materiałowi kruchemu. Stwierdzono nieznaczny, korzystny wpływ zastosowanej obróbki cieplnej na wzrost udarności.

LITERATURA

[1] Mach R. - Praca dyplomowa, Katedra Metaloznawstwa Pol.Śl. 1966 r.
[2] Eldin A.S., Collins S.C. - Journal of Applied Physics, T. 22 1951.
[3] Allen N.P. - Recent European Work on the Mechanical Properties of Metals at low Temperature Circular 520, Nat, Burean Standard, 1951 r.
[4] Bubliński J. - Praca doktorska, Katedra Metaloznawstwa Polit. Śląska 1965 r.
[5] Dubowicki H., Lepiarczyk St., Pakulski J., Stoszko A. - Przegląd Odlewnictwa nr 6 1967 r.
[6] Piwowarski E. - Wysokokaczestwiennyj czugun T. I i II. 1965 r.
[7] Sakwa W. - Przegląd Mechaniczny nr 19, 1968 r.
[8] Praca zbiorowa: Metaloznawstwo 1968 r.
[9] Nutting H. - Hutnik; nr 12, 1969 r.
[10] Bannych O.A., Kownieristyj Ju.K. - Stali dla raboty pri niskich temperaturach Metałłurgija, Moskwa 1969 r.

ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР И СТРУКТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИЧЕСКИХ ЧУГУНОВ

Р е з ю м е

В работе исследованы механические свойства аустенитических чугунов с пластинчатым графитом, со сходным химическим составом к составу чугуна с шаровидным графитом "Ниресист" типа D-2M. Проведено сравнение этих свойств, исследованных в температурах жидкого азота и окружающей среды. Одновременно исследовано влияние модифицирования и термической обработки этих чугунов на упомянутые свойства. Проведены также металлографические исследования структурных изменений

THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES AND MICROSTRUCTURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC CAST-IRONS

S u m m a r y

It has been investigated the mechanical properties of austenitic cast--irons containing in the microstructure flake graphite precipitations. The chemical composition of this material was similar to that of spheroidized "Niresist" cast-iron of D-2M type. Modified and heat treated cast-iron specimens first were subjected to metallographic examinations and subsequently to investigations of mechanical properties at room as well as at low temperatures.