ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: HUTNICTWO z. 23 Nr kol. 702

Franciszek BINCZYK
Marek SABELA
Eugeniusz MENDERA
Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechniki Śląskiej w Katowicach

WPŁYW Mn I Al NA WŁASNOŚCI ODLEWNICZE I MECHANICZNE STALIWA FERMANAL

Streszczenie: W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań wpływu Mn i Al na własności mechaniczne i odlewnicze staliwa Fermanal. W wyniku badań stwierdzono istotną zależność powyższych własności od zawartości Mn i Al.

1. WSTĘP

Rozwój nowoczesnej techniki w coraz szerszym zakresie wymaga stosowania tworzyw metalicznych o specyficznych własnościach użytkowych. Wymagania te spełniają przede wszystkim stale i staliwa stopowe zawierające deficytowe składniki stopowe, jak np. Ni. Celowe wydają się więc badania nowych stopów, prowadzone w kierunku zastąpienia tych składników tańszymi, które wywierałyby podobny wpływ na własności stopu.

Czynniki ekonomiczne spowodowały więc w kilku krajach (ZSRR, USA, RFN, NRD [1, 2]) duże zainteresowanie stopami żelaza, zawierającymi do kilkudziesięciu procent manganu. Ze względu na specyficzne własności austenitu manganowego stopy te przy odpowiedniej zawartości innych składników oraz właściwej technologii wytapiania i odlewania wykazują interesujące własności.

We współczesnych urządzeniach szeroko stosowane są elementy odlewane. Często warunki technologiczne wymagają od konstrukcji odlewu elementów dodatkowych (np. żebra wzmacniające), co przyczynia się do zwiększenia masy odlewu. Z tego powodu, a także z powodu dążności do zmniejszenia całkowitej masy gotowych urządzeń, pojawiła się tendencja zmniejszenia masy odlewów. Jedną z metod jest obniżenie gęstości stopu. Pod względem ekonomicznym zmniejszenie gęstości staliwa najłatwiej jest osiągnąć wprowadzając do niego aluminium. W kraju nie prowadzono dotąd badań staliw wysokomanganowych. Zagadnienie to podjęte zostało przez Instytut Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej w Katowicach w ramach problemu międzyre-

sortowego badań podstawowych PAN-MNSzWiT MR-I-22, pt.: "Materiały na urządzenia energetyczne i technologiczne pracujące w podwyższonych temperaturach" [3, 4].

Niniejsze opracowanie obejmuje wybrane zagadnienia ze wstępnych badań wpływu zawartości Mn i Al w staliwie Fermanal na jego własności odlewnicze i mechaniczne.

2. AKTUALNY STAN ZAGADNIENIA

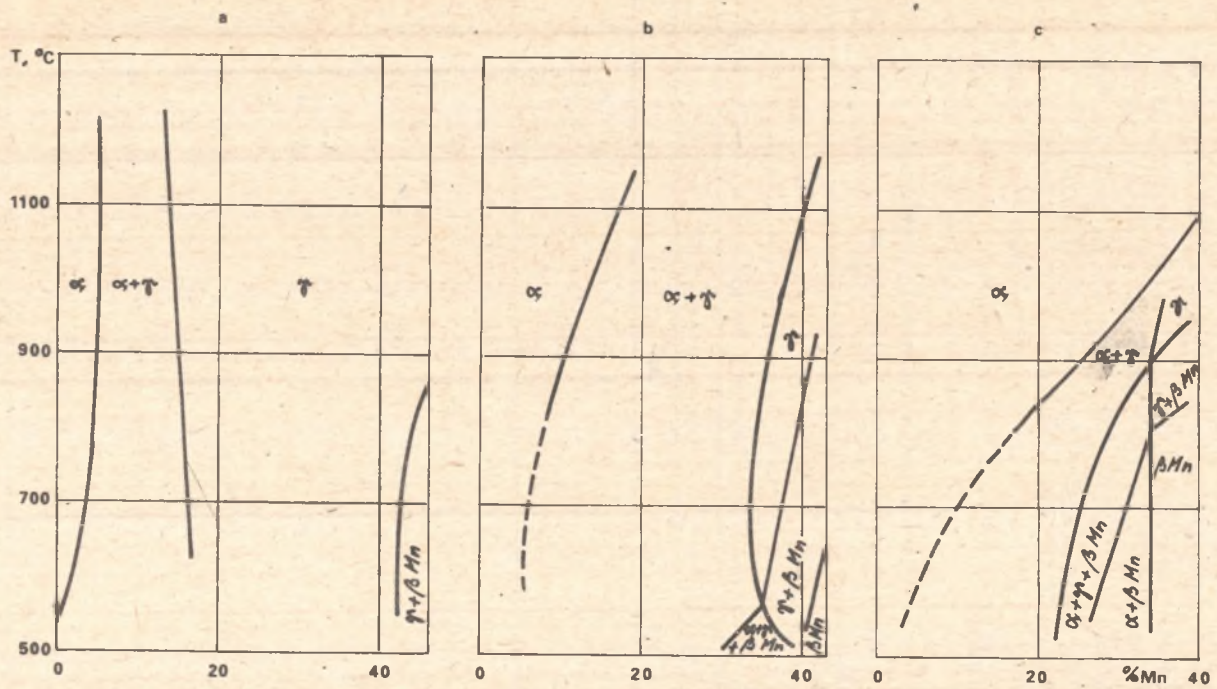
Układ równowagi Fe-Mn-Al-C jest jeszcze niedostatecznie zbadany, a wpływu składu chemicznego i intensywności stygnięcia odlewu na jego strukturę pierwotną i ostateczną nie ujawniono.

Badania stali tego rodzaju były prowadzone przez Bogaczewa, Szwedowa i in. [5, 6]. Szwedow w jednej z prac przedstawił wyniki badań strukturalnych (w temperaturze od 550 do 1150°C) stopów zawierających do 48,7% Mn; 4, 7 i 10% Al oraz do 0,4% C (reszta - Fe); wyniki przedstawia rys. 1. W warunkach równowagi termodynamicznej jednorodny roztwór α występuje przy 4% Al i zawartości Mn do ok. 5%, nie obserwuje się przy tym wyraźnego wpływu temperatury na zakres występowania roztworu α. Natomiast przy większej zawartości Al stwierdza się silniejszy wpływ temperatury na rozszerzenie obszaru występowania roztworu α. Przy 10% Al roztwór α występuje w zakresie do ok. 10% Mn w temperaturze 700°C i do ok. 40% Mn w temperaturze 1100°C (rys. 1c). W stopach o zawartości ok. 7% Al obserwuje się bardzo szeroki obszar dwufazowy $\alpha + \gamma$ (rys. 1b). Aluminium ogranicza obszar występowania jednorodnego roztworu γ; przy zawartości 7% Al roztwór ten występuje do temperatury ok. 600°C, a przy zawartości 10% Al do temperatury 900°C. Aluminium przesuwa również do mniejszej zawartości manganu obszar występowania fazy β-Mn, która w stopach podwójnych Fe-Mn tworzy się w temperaturze ok. 700°C przy koncentracji 66% Mn [7]. Stopy te w zależności od składu chemicznego mogą tworzyć różnorodne struktury, a mianowicie: α, $\alpha + \gamma$, γ, $\alpha + \gamma + \beta$-Mn, $\alpha + \beta$-Mn. W zależności od struktury stopy te cechują się różnymi własnościami mechanicznymi i fizycznymi. W miarę zwiększania udziału w strukturze fazy γ poprawiają się własności plastyczne staliwa, natomiast zwiększenie udziału fazy α powoduje podwyższenie wytrzymałości i twardości.

Jedno ze źródeł [8] podaje, że najkorzystniejszym zespołem własności użytkowych charakterzuje się stal zawierająca: 1% C, 30% Mn, 9% Al (reszta - Fe).

Inne źródła [9] podają, że optymalny skład staliwa typu Fermanal o strukturze austenitycznej jest następujący: 1% C, 6-10% Al, 25-30% Mn.

Badania prowadzone w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej w Katowicach, dotyczące stopów tej grupy przeznaczonych do przeróbki plastycznej, doprowadziły do opracowania następującego składu stali:



Rys. 1. Politermiczne przekroje układu fazowego Fe-Mn-Al przy stałej zawartości aluminium [6]
a - 4% Al, b - 7% Al, c - 10% Al

0,6% C, 9% Al, 30% Mn, 0,15% Mo, 0,001% B oraz 0,45% Si. Stal tę oznaczono symbolem 60G30J9 [10].

Wszystkie źródła podają jednomyślnie, że zwiększenie zawartości Al powyżej 10% oraz zmniejszenie zawartości Mn i C poniżej podanych wartości powoduje wyraźne pogorszenie własności plastycznych i zwiększenie kruchości zarówno stali, jak i staliwa. Brak jest natomiast jakichkolwiek danych dotyczących własności odlewniczych tych stopów oraz ich temperatury krzepnięcia, a tym samym zalecanej temperatury odlewania.

3. BADANIA WŁASNE

W celu przeprowadzenia badań własności odlewniczych i mechanicznych wykonano dwie serie wytopów; składy chemiczne otrzymanego staliwa przedstawiono w tabl. 1.

Tablica 1

Skład chemiczny badanych rodzajów staliwa Fermanal

Seria wytopów	Oznaczenie staliwa	Zawartość w %				
		C	Mn	Al	P	S
1	1.1.(1,2,3)	0,42	23,87	5,30	0,982	0,015
	1.2.(1,2,3)	0,42	23,61	9,56	0,075	0,012
	2.1.(1,2,3)	0,44	30,63	5,13	0,064	0,018
	2.2.(1,2,3)	0,41	30,35	9,64	0,068	0,010
2	3.1	0,28	14,82	0,014	0,065	0,012
	3.2	0,28	15,08	2,54	0,044	0,011
	3.3	0,30	15,08	4,98	0,054	0,010
	3.4	0,29	14,92	6,51	0,070	0,018
	3.5	0,28	15,18	8,92	0,062	0,016
	4.1	0,26	20,43	0,02	0,063	0,020
	4.2	0,26	21,45	2,18	0,060	0,022
	4.3	0,28	20,54	4,58	0,055	0,013
	4.4	0,25	21,06	6,72	0,044	0,014
	4.5	0,28	21,32	8,84	0,052	0,015
	5.1	0,23	24,70	0,008	0,071	0,009
	5.2	0,22	24,30	2,39	0,066	0,012
	5.3	0,22	24,56	5,37	0,062	0,013
	5.4	0,26	24,44	8,70	0,054	0,009
	5.5	0,24	24,70	10,50	0,055	0,011
	6.6	0,24	30,10	0,008	0,056	0,010
	6.2	0,26	30,68	1,93	0,045	0,009
	6.3	0,26	30,68	5,30	0,060	0,012
	6.4	0,28	30,16	8,05	0,060	0,013
	6.5	0,27	30,42	10,70	0,062	0,010

Wytopy prowadzono w piecu indukcyjnym średniej częstotliwości o pojemności 200 kg i zasadowym wyłożeniu tygla. Do wytopów wykorzystano następujące materiały wsadowe: żelazo ARMCO (9,99% Fe, poniżej 0,1% C), mangan metaliczny (99,95% Mn), Fe - Mn "Affine" (80% Mn, 1,4% C), surówka "Sorel" (3,8% C, 0,17% Si), aluminium AR1 (99,9% Al) oraz stop metali ziem rzadkich, tzw. miszmetal, użyty jako modyfikator. W oznakowaniu staliwa pierwszej serii wytopów ilościom 0,1; 0,15; 0,30% modyfikatora odpowiada trzecia cyfra oznaczenia, odpowiednio 1, 2 i 3. Pomiaru lejności dokonano za pomocą próby spiralnej wg PN-61/H-04677, przy czym dla każdego składu wykonano trzy pomiary. Temperaturę odlewania utrzymano w zakresie od 1753 do 1783 K. Skurcz mierzono na trzech prętach o średnicy 25 mm i długości 300 mm. Wyniki tych badań zamieszczono w tabl. 2.

Tablica 2

Wyniki pomiaru skurczu liniowego i lejności staliwa drugiej serii wytopów

Oznaczenia staliwa	Skurcz w %		Lejność (ilość zalanych występów)	
	$S_{l\,i}$	$S_{l\,śr}$	L_i	$L_{śr}$
1	2	3	4	5
3.1	1,80 1,60	1,70	9,5 10,0	9,75
3.2	2,00 2,00	2,00	8,5 7,0	7,75
3.3	2,20 2,00	2,10	6,5 7,0	6,75
3.4	2,10 2,00	2,05	7,0 7,0	7,0
3.5	2,00 2,00	2,00	8,0 8,5	8,25
4.1	1,90 1,70	1,80	12,5 11,0	11,75
4.2	2,00 2,00	2,00	10,0 8,0	9,0
4.3	2,30 2,10	2,20	7,0 6,5	6,75
4.4	2,20 2,16	2,18	7,5 7,0	7,25
4.5	2,18 2,12	2,15	7,0 7,5	7,25

cd. tablicy 2

1	2	3	4	5
	2,00		14,0	
5.1	1,80	1,90	14,5	14,25
	2,20		12,0	
5.2	2,10	2,15	11,0	11,50
	2,45		8,0	
5.3	2,25	2,35	8,0	8,0
	2,30		8,0	
5.4	2,20	2,25	8,0	8,0
	2,15		11,0	
5.5	2,15	2,15	10,0	10,5
	2,10		15,5	
6.1	2,00	2,05	16,0	15,75
	2,35		13,5	
6.2	2,15	2,20	12,0	12,75
	2,40		9,5	
6.3	2,40	2,40	8,5	9,0
	2,60		9,0	
6.4	2,40	2,50	8,0	8,5
	2,30		11,5	
6.5	2,10	2,20	11,0	11,25

Badania własności mechanicznych prowadzono dla staliwa Fermanal pochodzącego z pierwszej serii wytopów. Próbki do badań wykonano z odlewu "koniczynki" (PN-62/M-04309). Pomiary wytrzymałości na rozciąganie przeprowadzono na maszynie "Mohr-Federhaff" dla zakresu 10 t. Dla każdego gatunku staliwa wykonano po trzy pomiary; określono również średnią wartość wydłużenia A_5 i przewężenia Z. Udarność próbek mierzono za pomocą młota Charpy'ego firmy "Werkstoffprüfmaschinen" o zakresie do 15 kGm (147 kJ). Próbki wykonano zgodnie z normą PN-60/H-04371. Pomiary twardości materiału z obydwu serii wytopów przeprowadzono metodą Brinella, przy użyciu twardościomierza firmy "Georg Reicherter", kulką o średnicy ø 5 mm z obciążeniem 750 kG (7,35 kN). Wyniki tych badań zawierają tablice 3 i 4.

Tablica 3

Wyniki pomiarów wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenie i przewężenie staliwa z pierwszej serii wytopów

Oznaczenie staliwa	Numer próbki	Wytrzymałość R_m (MPa)		Wydłużenie (%)		Przewężenie (%)	
		$R_{m,i}$	$R_{m,śr}$	$A_{5,i}$	$A_{5,śr}$	Z_i	$Z_{śr}$
1.1.1	1	550	545	33,2	35,3	26,5	27,7
	2	562		37,6		28,0	
	3	523		35,2		28,5	
1.1.2	1	602	586	28,0	28,6	24,0	24,0
	2	572		29,5		22,5	
	3	584		28,4		25,0	
1.1.3	1	536	520	21,5	24,7	22,0	22,2
	2	520		24,5		24,0	
	3	505		28,0		20,5	
1.2.1	1	568	565	6,6	6,1	3,7	3,8
	2	572		5,6		4,1	
	3	554		6,0		3,5	
1.2.2.	1	685	685	5,0	4,5	3,0	2,8
	2	694		4,0		2,8	
	3	676		4,6		2,6	
1.2.3	1	634	627	4,6	4,5	1,5	1,7
	2	632		4,2		2,0	
	3	614		4,8		1,5	
2.1.1	1	400	413	20,0	20,5	18,5	17,3
	2	425		22,5		16,2	
	3	413		19,5		17,3	
2.1.2	1	500	489	16,6	15,1	12,5	13,2
	2	445		14,5		14,0	
	3	523		14,2		13,0	
2.1.3	1	454	465	10,0	9,8	7,5	7,2
	2	465		10,0		6,8	
	3	475		9,5		7,2	
	1	772	784	6,0	5,5	5,8	5,3
	2	760		5,5		5,2	
	3	820		5,0		5,0	
2.2.2	1	722	736	3,0	3,3	2,5	2,5
	2	732		3,5		2,5	
	3	755		3,5		2,5	
	1	696	704	6,0	4,7	6,5	4,6
	2	702		4,0		3,4	
	3	713		4,3		4,0	

Tablica 4

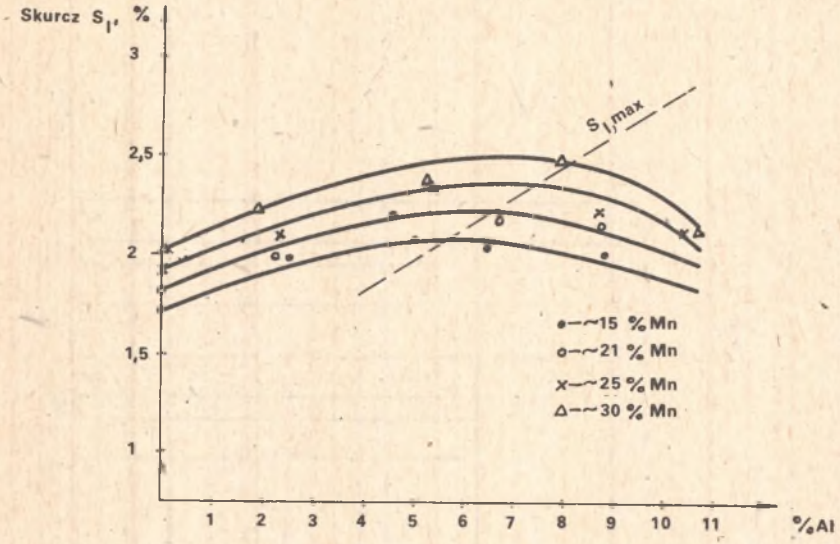
Wyniki pomiarów twardości staliwa z drugiej serii wytopów

Numer staliwa	Twardość HB			Twardość średnia $HB_{śr}$
	HB_1	HB_2	HB_3	
3.1	236	231	236	236
3.2	215	217	217	217
3.3	229	217	215	217
3.4	244	236	236	236
3.5	269	269	275	269
4.1	229	229	226	229
4.2	187	182	187	187
4.3	193	195	193	193
4.4	213	213	202	213
4.5	241	241	244	241
5.1	215	217	217	217
5.2	180	178	178	178
5.3	179	182	179	179
5.4	202	202	202	202
5.5	236	236	244	236
6.1	215	217	213	215
6.2	143	146	146	146
6.3	124	124	128	124
6.4	161	163	161	161
6.5	215	217	217	217

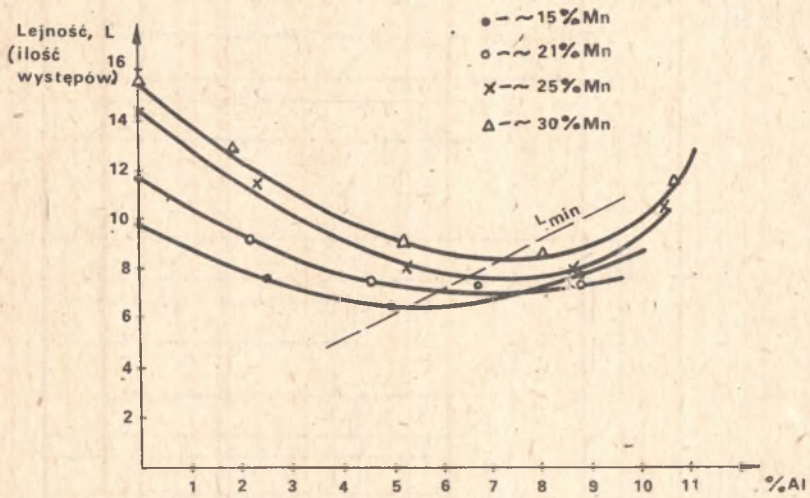
4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Zamieszczone w tablicy 2 wyniki pomiarów skurczu oraz lejności badanego staliwa Fermanal po opracowaniu przedstawiono na rysunku 2 i 3. Jak wynika z rysunku 2, skurcz staliwa Fermanal zwiększa się ze wzrostem zawartości manganu. Natomiast w przypadku aluminium skurcz rośnie do pewnej zawartości tego pierwiastka, przy której osiąga maksimum. Przemieszczanie się maksimum skurczu dla poszczególnych zawartości Mn następuje po linii prostej. Stwierdzono, że największy skurcz (w badanym zakresie składu) wykazuje staliwo o zawartości 30% Mn i ok. 8% Al, natomiast najmniejszą jego wartość stwierdzono dla staliwa o zawartości 15% Mn i ok. 5% Al.

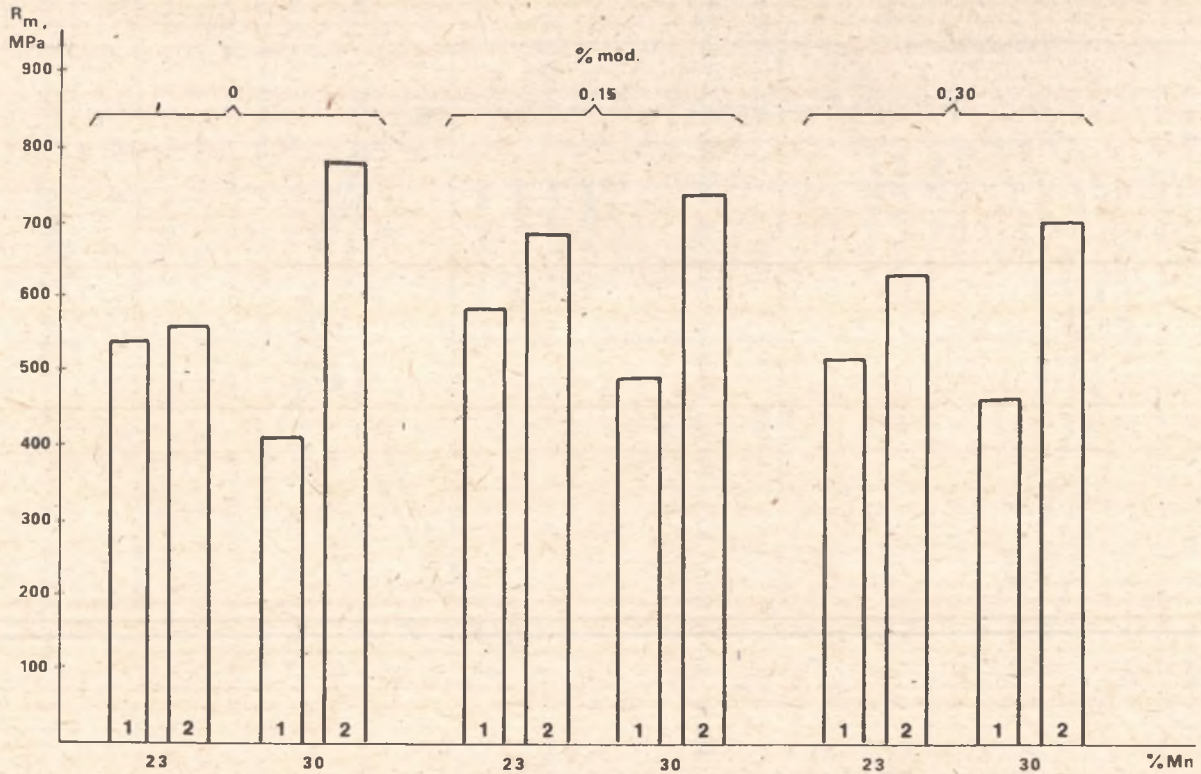
Lejność badanych gatunków staliwa, jak to wynika z rysunku 3, powiększa się wyraźnie ze zwiększeniem zawartości Mn.



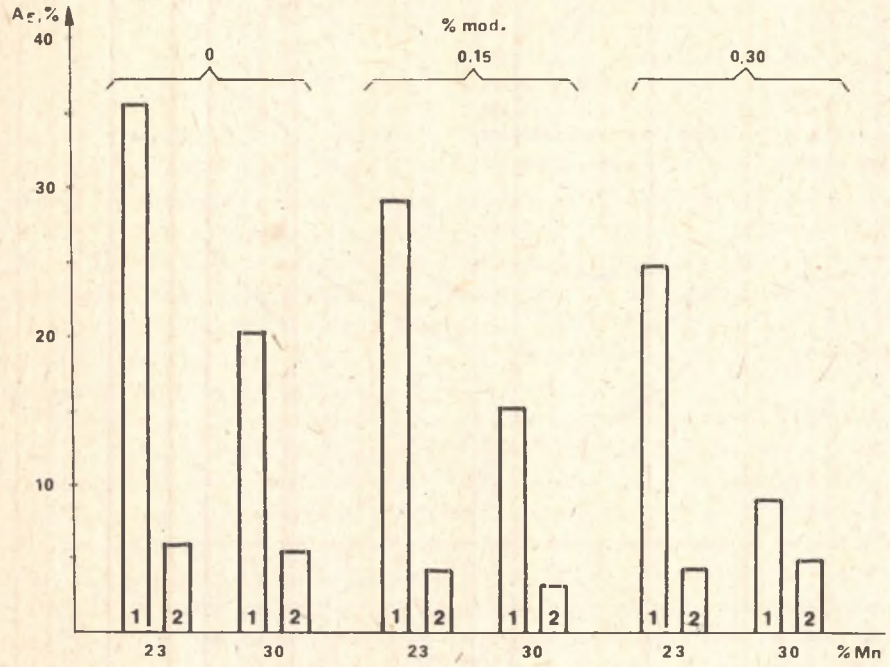
Rys. 2. Wpływ zawartości Al i Mn na skurcz liniowy badanych rodzajów staliwa



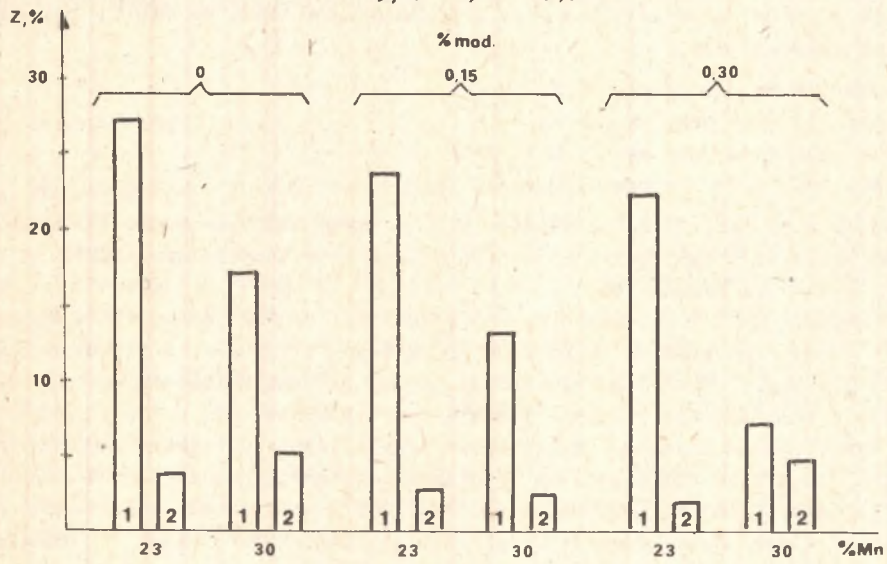
Rys. 3. Wpływ zawartości Al i Mn na lejność badanych rodzajów staliwa



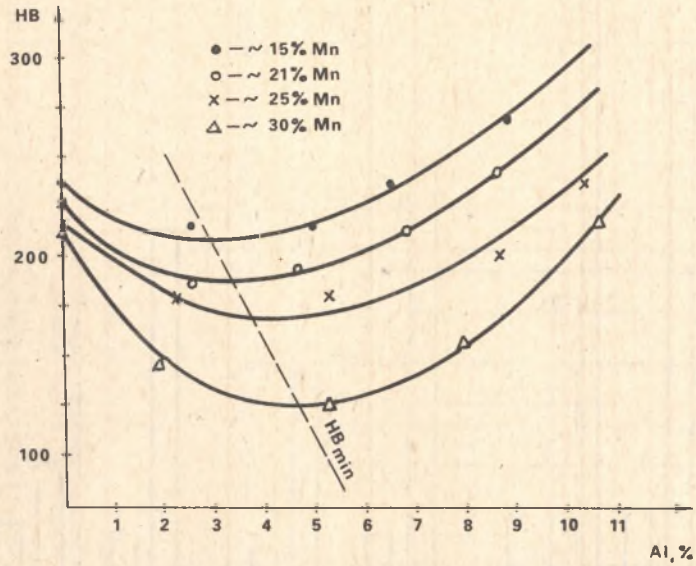
Rys. 4. Wpływ zawartości Al i Mn oraz zużycia modyfikatora (miszmetal) na wytrzymałość na rozciąganie
1 - 5,2% Al, 2 - 9,5% Al



Rys. 5. Wpływ zawartości Al i Mn oraz zużycia modyfikatora na wydłużenie A_5
1 - 5,2% Al, 2 - 9,5% Al



Rys.6. Wpływ zawartości Al i Mn oraz zużycia modyfikatora na przewężenie Z
1 - 5,2% Al, 2 - 9,5% Al



Rys. 7. Wpływ zawartości Al i Mn na twardość badanych rodzajów staliwa Fermanal

Wzrost zawartości Al powoduje początkowo spadek lejności, a po przekroczeniu pewnego minimum lejności obserwuje się jej ponowne zwiększanie. Położenie punktów minimalnej lejności dla danej zawartości Mn zależy od Al. I tak znajdują się one:

dla 15% Mn - przy ok. 5% Al,
dla 20% Mn - przy ok. 6% Al,
dla 25% Mn - przy ok. 7,2% Al oraz
dla 30% Mn - przy ok. 7,5% Al.

Powiększanie się lejności staliwa przy podwyższaniu zawartości manganu jest związane z obniżeniem przez ten pierwiastek temperatury likwidus - T_{liq} - staliwa Fermanal.

Powyższe wyniki dotyczą stopów o zawartości od 0,22 do 0,30% C. Wyrywkowo prowadzone badania lejności w drugiej serii wytopów, o większej zawartości węgla, pozwoliły stwierdzić bardzo istotne zwiększenie lejności w miarę podwyższenia stężenia węgla w tym staliwie.

Wyniki badań własności wytrzymałościowych (tabl. 3) przedstawiono na rysunkach 4÷7. Wytrzymałość na rozciąganie badanych staliw mieści się w przedziale od 400 do 800 MPa, przy czym zależy głównie od zawartości Al oraz od ilości zastosowanego modyfikatora (dotyczy to staliwa o średniej zawartości węgla - ok. 0,45%). I tak staliwo

1.1.1 (5,3% Al) wykazuje R_m ok. 545 MPa,
1.2.1 (9,56% Al) - R_m ok. 565 MPa,
2.1.1 (5,13% Al) - R_m ok. 413 MPa, natomiast
2.2.2 (9,64% Al) - R_m ok. 784 MPa.

Jak z tego wynika, Mn zwiększa wytrzymałość na rozciąganie jedynie przy większej zawartości Al. Modyfikacja za pomocą miszmetalu zwiększa wytrzymałość na rozciąganie, a optymalne zużycie modyfikatora wynosi ok. 0,15%.

Jak wynika z rysunków 5 i 6, własności plastyczne staliwa Fermanal (A_5 i Z) w bardzo znacznym stopniu zależą od zawartości Al; zwiększenie zawartości tego pierwiastka pogarsza własności plastyczne. Efekt ten wiąże się z większą twardością i kruchością ferrytu w porównaniu z austenitem. Z drugiej strony wiadomo, że zwiększenie zawartości Al prowadzi do powiększenia udziału ferrytu w strukturze.

Na rysunku 7 przedstawiono wpływ Al oraz Mn na twardość badanego staliwa. Z rysunku wynika, że twardość staliwa zmniejsza się ze zwiększeniem zawartości Mn (w badanym zakresie 15-30%). Natomiast ze zwiększeniem zawartości aluminium twardość początkowo zmniejsza się, a następnie ponownie się powiększa. Przy stałej zawartości manganu na krzywych HB = f(Al) występują minima, które przesuwają się do większych zawartości Al, przy kolejno większych zawartościach manganu. Fermanal nie zawierający Al wykazuje nieco większą twardość, co jest prawdopodobnie związane ze zdolnością do umacniania się pod wpływem zgniotu, jaki towarzyszy pomiarowi twardości. Wprowadzenie Al do roztworu γ zmniejsza tę zdolność, a dalsze zwiększenie jego zawartości powoduje krystalizację ferrytu, a więc składnika twardszego, czym tłumaczyć należy ponowne powiększenie twardości staliwa.

5. PODSUMOWANIE

Na zakończenie należy stwierdzić, że przedstawione wyniki pochodzą z badań wstępnych prowadzonych w ramach ustalania optymalnego składu staliwa Fermanal, głównie pod kątem zawartości Mn i Al oraz zużycia modyfikatora. Nie opisano tutaj wpływu węgla na strukturę oraz własności odlewnicze i wytrzymałościowe omówionych staliw. Badania w tym zakresie są obecnie prowadzone, a ich wyniki będą przedstawione w następnym opracowaniu. Na obecnym etapie można stwierdzić, że z punktu widzenia struktury optymalizacja składu staliwa Fermanal prowadzona jest w kierunku dwóch rodzajów materiałów, są to:

- staliwo o strukturze całkowicie austenitycznej, wykazujące dobre własności plastyczne oraz stosunkowo dużą wytrzymałość (R_m = 600 - 700 MPa, KM = 1,0 ÷ 1,5 MJ/m^2);

- staliwo o strukturze austenityczno-ferrytycznej wykazujące dużą wytrzymałość na rozciąganie i dobre własności plastyczne (R_m = 750 - 850 MPa, KM = 0,6 - 1,0 MJ/m^2).

Powyższe rodzaje struktury uzyskuje się przez odpowiednią kombinację składu chemicznego, a głównie przez dobór zawartości Mn, Al i C.

LITERATURA

[1] Bannych O.A., Kownaristyj J.K.: Chromowomargancewyje tiepłoustojczi-wyje stali z aluminijem, Nauka, Moskwa 1962.

[2] Bannych O.A.: Fizika mietałłow i mietałłowiedienije, 1969, nr 5.

[3] Binczyk F. i inni: Optymalizacja składu chemicznego staliwa Fermanal ze względu na własności mechaniczne i odlewnicze, Sprawozdanie z problemu I-22, 1976.

[4] Binczyk F. i inni: Wpływ parametrów krystalizacji oraz składu chemicznego na strukturę i własności staliwa Fermanal, Sprawozdanie z problemu I-22, 1977.

[5] Bogaczew I.N., Jegołajew W.F.: Struktura i swojstwa żelazo-margancewych spławow, Mietałłurgija, Moskwa 1973.

[6] Szwedow L.I.: Struktura spławow Fe-Mn-Al [w:] "Struktura i swojstwa mietałłow i spławow", Mińsk 1974.

[7] Hansen M., Anderko R.: Struktura dwojnych spławow, T. 2., Mietałłurgizdat, Moskwa 1962.

[8] Patent USA Nr 3 111 405.

[9] Kajak G.Ł.: Mietałłowiedienije i tiermiczeskaja obrabotka mietałłow, 1969, nr 2, s. 13.

[10] Woźnica H.: Wpływ składu chemicznego i procesów technologicznych na stabilność struktury stali 60G30Ji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria "Hutnictwo", 1978, nr 17.

Recenzent

Prof.dr hab.inż. Czesław Podrzucki

ВЛИЯНИЕ Mn и Al НА ЛИТЕЙНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ FERMANAL

Р е з ю м е

В статье представлены предварительные результаты исследований влияния Mn и Al на литейные и механические свойства литой стали Fermanal. В результате исследований определена основная зависимость выше указанных свойств от Mn и Al.

EFFECT OF Mn AND Al ON CASTING AND MECHANICAL PROPERTIES OF FERMANOL CAST STEEL

S u m m a r y

Innitial results of research on Mn and Al effects on mechanical and casting properties of Fermanol cast steel have been presented.
It has been stated that there is an essential dependence of the above properties on Mn and Al content.