ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Hutnictwo z. 5 Nr kol. 416

Cezary Murski
Ryszard Rutkowski
Jan Bober

Instytut Inżynierii Materiałowej

POPRAWA PLASTYCZNOŚCI BLACH GRUBYCH ZE STALI TYPU 18G2A Z MIKRODODATKIEM WANADU

Streszczenie. Poprawę plastyczności blach grubych z SSPW, która jest miernikiem odporności na kruche pękanie, można osiągnąć przez regulację zawartości mikrododatków stopowych jak też przez stosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej. W artykule opisano badania nad wpływem mikrododatku wanadu w ilości 0,04-0,12% na własności mechaniczne blach grubych ze stali typu 18G2A wyprodukowanych w warunkach ruchowych jednej z krajowych walcowni.

1. Wstęp

Współczesna technika stawia coraz to większe wymagania w zakresie własności mechanicznych podstawowych tworzyw konstrukcyjnych, jakimi są wyroby walcowane ze stali. Szczególnie blachom grubym stawia się wysokie wymagania w zakresie plastyczności i spawalności. Mówiąc o plastyczności mamy na myśli głównie odporność na kruche pękanie, a zatem właściwość decydującą o pewności i bezpieczeństwie konstrukcji. Odporność tę zwykle oznaczamy na podstawie wyników próby udarności.

Dużym osiągnięciem hutnictwa było opracowanie i wprowadzenie do produkcji stali konstrukcyjnych węglowo-manganowych. Wzrastająca jednak zawartość węgla w stalach typu C-Mn, konieczna dla osiągnięcia odpowiednio wysokiej granicy plastyczności, powodowała pogorszenie udarności i spawalności. Blachy grube produkowane z tych stali, w stanie walcowanym na gorąco wykazują wysoką granicę plastyczności i niezadowalającą udarność szczególnie w obniżonych temperaturach. Poprawę udarności osiąga się zwykle przez wyżarzanie normalizujące, obniżające równocześnie granicę plastyczności i wytrzymałości. Zabieg ten, mimo dodatkowych kosztów, jest jednak powszechnie stosowany z uwagi na konieczność poprawy plastyczności stali.

W tym stanie rzeczy badania krajowe, zgodnie z tendencjami światowymi poszły w kierunku umacniania stali C-Mn za pomocą wydzieleń dyspersyjnych mikrododatków stopowych takich jak Al, Nb, V i Ti. Ilość mikrododatków stopowych, ich wzajemne proporcje jak i stopień dyspersji wydzieleń decydują w głównej mierze o umocnieniu i plastyczności stali. Poprawa własności mechanicznych uzyskana na tej drodze pozwala na obniżenie zawartości węgla, co równocześnie polepsza spawalność.

Cała grupa takich stali określana jest wspólnym mianem Stali Spawalnych o Podwyższonej Wytrzymałości w skrócie SSPW. W Polsce do tych stali stosowano tymczasową normę zakładową ZN-69/0632-25. Badania własne [1,3], wyniki krajowej produkcji blach grubych w gatunku 18G2VA jak i publikacje omawiające wpływ zawartości mikrododatków na plastyczność stali [2,9,10] oraz normy zagraniczne [6,7,8], zwróciły uwagę na zbyt wysoką górną granicę zawartości wanadu proponowaną przez ww. normę tymczasową. Było to niewątpliwie bezpośrednią przyczyną niezadowalającego często poziomu udarności blach i rzutowało ujemnie na efekty ekonomiczne walcowni. Wanad oddziaływuje na własności stali przede wszystkim poprzez tworzenie wysoko dyspersyjnych węglików oraz azotków, które utwardzają roztwór stały i rozdrabniają ziarno. Węgliki wanadu rozpuszczają się w temperaturze rzędu 900°C, zaś azotki w zakresie temperatur 980-1150°C. Zakresy tych temperatur są bardzo istotne z punktu widzenia nagrzewania przed walcowaniem.

Efekt umocnienia zależy także od zawartości węgla, manganu i azotu. Przyjmuje się [1], że zawartość węgla nie powinna przekraczać 0,20%. Również tego poziomu nie powinna przekraczać zawartość wanadu. Badając stale o zawartości wanadu w zakresie 0,15 do 0,22% stwierdzono [1], że już 0,15% V gwarantuje optymalne własności mechaniczne blach w stanie normalizowanym. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań potwierdzających konieczność skorygowania zawartości wanadu w stali 18G2VA dla poprawy własności plastycznych blach grubych. Dla potwierdzenia tej tezy przeprowadzono badania blach grubych o alternatywnie dobranej zawartości wanadu i azotu. Wyniki tych badań wykorzystano przy opracowaniu obowiązującej obecnie normy PN-72/H-84018.

2. Badania własne

W celu przebadania wpływu V i N na własności mechaniczne i plastyczne blach ze stali typu 18G2A wykonano dwa wytopy przemysłowe o celowo zróżnicowanym udziale tych składników. Skład chemiczny wykonanych wytopów podano w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny wykonanych wytopów

Wytop	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cu %	Cr %	Ni %	V %	N %	Al %
A	0,17	1,24	0,36	0,018	0,034	0,08	0,02	0,04	0,04	0,013	0,058
B	0,18	1,27	0,36	0,028	0,028	0,07	0,03	0,03	0,12	0,006	0,05

2.1. Proces wytwarzania badanych blach

Stal wytapiano w piecu martenowskim zgodnie z instrukcją technologiczną, obowiązującą dla gatunku 18G2AV dodając w obu wytopach Fe-Mn affiné azotowany w kawałkach 20-100 mm. Do wytopu A dodano 50% tego składnika przed spustem na dno kadzi, a pozostałe 50% dodawano w czasie spustu. W przypadku wytopu B pełną ilość żelazostopu dodano w czasie spustu. Obydwa wytopy po odtlenieniu stali w kadzi przy pomocy aluminium odlano syfonowo do wlewnic nadstawkowych.

Wlewki o masie 6,5 t z wytopu A przewalcowano na kęsiska płaskie o grubości h = 140 mm, a z wytopu B na grubość h = 210 mm. Po wstępnej apreturze kęsiska nagrzewano w piecach przepychowych do temperatury 1280 °C w czasie 3÷3,5 godzin, tak aby cała ilość azotków i węglików wanadu przeszła do roztworu [2].

Kęsiska przewalcowano w walcarce trio Lautha 900/700/900 x 3000 mm otrzymując blachy o grubości 12 mm z wytopu A i 24 mm z wytopu B. Gniot w pierwszym przepuście nie przekraczał 10 mm i miał na celu połamanie zgorzeliny. Największe gnioty stosowano w środkowych przepustach (około 15%) W ostatnich przepustach dla dotrzymania wymaganych kształtów przekroju blachy, gnioty ograniczono do 5%.

Dążono do zakończenia walcowania w temperaturze poniżej 850 °C, ponieważ optymalna temperatura końca walcowania dla tego gatunku wynosi około 830 °C [1]. Osiągnięcie tak niskiej temperatury końca walcowania wymagało podstudzenia blachy między przepustami na samotokach jak i realizacji przepustów bez gniotu przy intensywnych chłodzeniu blach wodą. Odwalcowane blachy prostowano na gorąco, po czym wycinano odcinki do prób.

2.2. Obróbka cieplna

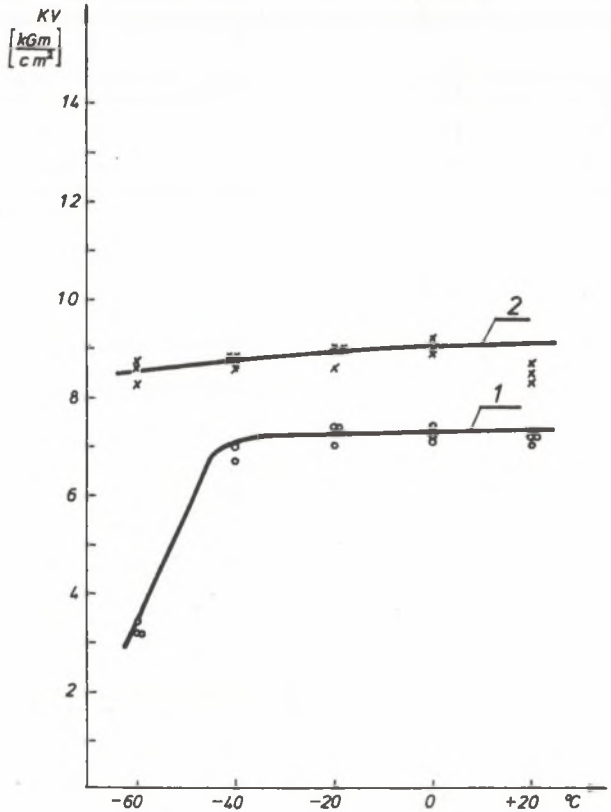
Blachy normalizowano w piecu przepychowym przy temperaturze 900-920 °C w czasie 2,5 min/mm grubości. Po swobodnym chłodzeniu na powietrzu do temperatury około 200 °C blachy prostowano na prostownicy rolkowej, znakowano i wycinano odcinki do prób.

3. Badania własności mechanicznych

Dla określenia podstawowych własności mechanicznych przeprowadzono próbę udarności oraz próbę statyczną rozciągania.

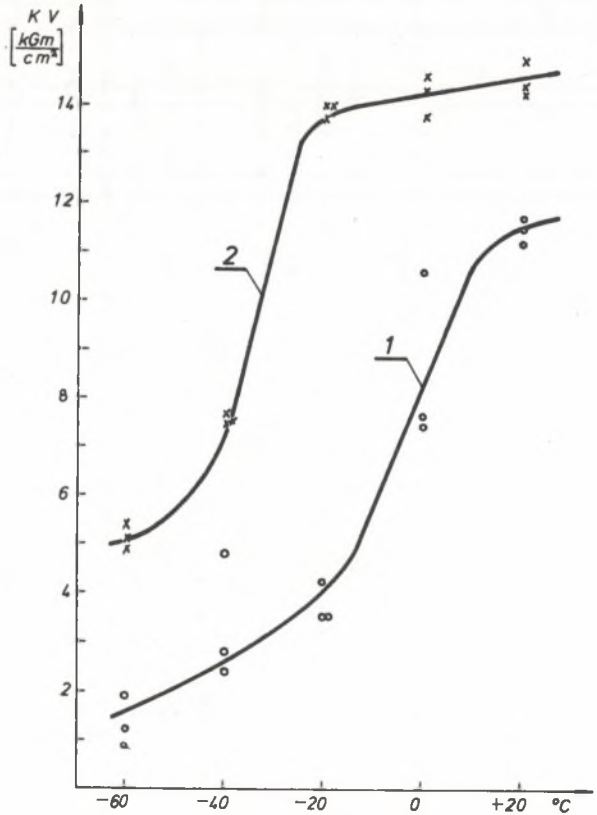
Badania udarności zrealizowano na próbkach typu Charpy V w temperaturze pokojowej zgodnie z PN-69/H-04370, a w obniżonej temperaturze zgodnie z PN-60/H-04371.

Uzyskane wyniki zestawiono w tablicy 2. Podane w tablicy 2 wartości średnie wyliczano jako średnią arytmetyczną z 3 próbek po odrzuceniu dwóch wyników ekstremalnych. Na podstawie tablicy 2 wykonano wykresy przedstawione na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Zależność udarności od temperatury badania dla blach o grubości 12 mm z wytopu A

1. Stan walcowany na gorąco, 2. Stan normalizowany



Rys. 2. Zależność udarności od temperatury badania dla blach o grubości 24 mm z wytopu B

1. Stan walcowany na gorąco, 2. Stan normalizowany

Tablica 2

Wyniki próby udarności

Wytop	Stan blachy	Temperatura badania									
		+20°C		0°C		-20°C		-40°C		-60°C	
		KV	$KV_{śr}$	KV	$KV_{śr}$	KV	$KV_{śr}$	KV	$KV_{śr}$	KV	$KV_{śr}$
A	walcowana na gorąco	7,1	7,2	7,3	7,3	7,4	7,3	8,3	7,5	3,4	3,3
		7,3		7,4		7,4		6,8		2,3	
		7,4		7,5		7,6		8,9		3,3	
		7,3		6,9		7,0		5,3		2,9	
		7,1		7,1		6,9		7,0		3,3	
	normalizowana	8,5	8,6	8,9	9,0	9,7	8,9	8,9	8,7	8,3	8,5
		8,4		9,3		8,5		8,8		8,3	
		9,1		9,0		9,0		8,6		8,6	
		8,8		8,9		8,6		8,8		9,0	
		8,1		9,5		9,0		8,5		8,8	
B	walcowana na gorąco	10,4	11,6	10,7	8,5	3,5	3,7	2,8	3,3	2,0	1,3
		11,5		11,1		4,3		1,5		1,9	
		11,2		7,4		2,5		5,9		0,9	
		11,7		7,6		3,5		2,4		0,8	
		11,9		7,5		5,4		4,8		1,3	
	normalizowana	12,9	14,5	13,6	14,3	13,6	13,9	11,1	7,5	4,8	5,1
		16,0		13,8		13,8		7,6		6,4	
		14,3		14,6		14,0		7,0		5,4	
		14,9		14,3		14,1		7,5		5,1	
		14,4		14,6		14,0		7,5		4,9	

Uwaga: wartości udarności podano w kGm/cm^2

Próbę statyczną rozciągania wykonano zgodnie z PN-71/H-04310 na próbkach płaskich pięciokrotnych. Zerwano po 3 próbki wzdłużne i 3 poprzeczne wykonane z blach obu wytopów. Wyniki próby rozciągania przedstawiono na tablicy 3.

Wyniki przedstawione w tablicy 3 stanowią średnią arytmetyczną z 3 próbek. Odchylenia wartości średniej od wyników rzeczywistych nie przekraczały dla R_e i R_m ~ 1 kG/mm^2, a dla A_5 ~ 2%.

Tablica 3

Wyniki statycznej próby rozciągania

Wytop	Stan blachy	Próbka	Własności		
			$R_{eśr}$ kG/mm^2	$R_{mśr}$ kG/mm^2	A_5 %
A	walcowana na gorąco	wzdłużna	44,6[1)]	64,3	22,4
		poprzeczna	-	63,5	19,7
	normalizowana	wzdłużna	38,6	55,2	30,1
		poprzeczna	39,1	55,3	25,9
B	walcowana na gorąco	wzdłużna	45,8[1)]	66,0	26,8
		poprzeczna	-	66,1	22,8
	normalizowana	wzdłużna	34,1	51,9	29,0
		poprzeczna	34,5	52,4	24,0

[1)] wyraźna granica plastyczności nie występowała - określono $R_{0,2}$.

4. Ocena spawalności

Orientacyjnie spawalność SSPW można ocenić za pomocą zalecanego przez przepisy "Rules of Lloyd's Register of shipping" [4] tzw. równoważnika węglowego, wyrażonego wzorem:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{6} + \frac{Ni+Cu}{15} \leqslant 0,45\%$$

gdzie poszczególne składniki stali podano w %.

Równoważnik węglowy dla badanych wytopów wynosił:

wytop A - $C_E = 0,39\%$

wytop B - $C_E = 0,42\%$

Zgodnie z kryteriami przyjętymi w cytowanych przepisach $C_E \leqslant 0,41\%$ zapewnia dobrą spawalność, przy stosowaniu dowolnych zatwierdzonych wysokowytrzymałych elektrod. Podgrzewanie wstępne nie jest wymagane za wyjątkiem spawania w niskiej temperaturze otoczenia.

Dla sprawdzenia spawalności i zgrzewalności przeprowadzono próby [5] na walcówce gładkiej d = 10 mm oraz żebrowanej d = 8,3 mm odwalcowanej z wytopu A. Badana walcówka w każdym wypadku potwierdziła bardzo dobrą spawalność i zgrzewalność przy zastosowaniu konwencjonalnych metod zgrzewania i spawania. Pozwala to wnosić, że również i blachy z omawianych wytopów będą się cechowały dobrą spawalnością i zgrzewalnością.

5. Analiza wyników

5.1. Wytop A

Wytop A zawiera mikrododatek wanadu w ilości 0,04% oraz 0,013% N.

Badania blach o grubości 12 mm wykazują (tablica 2, rys. 1) już w stanie walcowanym na gorąco wysoką udarność, około 7,2 kGm/cm^2, prawie nie ulegającą zmianie w zakresie temperatur badania +20° do -40°C. Przy dalszym obniżaniu temperatury udarność szybko maleje osiągając przy -60°C poziom około 3,3 kGm/cm^2. Po normalizowaniu udarność wzrosła do około 8,6 kGm/cm^2, utrzymując się na prawie stałym poziomie, w całym zakresie temperatur badania, tj. +20° do -60°C. Z przebiegu krzywej udarności (rys.1) widzimy, że próg kruchości leży poniżej -60°C.

Próba rozciągania (tablica 3) wykazała w stanie walcowanym na gorąco brak wyraźnej granicy plastyczności. Wyznaczono umowną granicę plastyczności, która wynosiła średnio $R_{0,2}$ = 44,6 kG/mm^2. Granica wytrzymałości kształtowała się dla próbek wzdłużnych na poziomie R_m = 64,3 kG/mm^2 i poprzecznych R_m = 63,5 kG/mm^2. Jak widzimy więc, anizotropia własności wytrzymałościowych jest zupełnie do pominięcia. Wydłużenie wynosiło A_5 = = 22,4% dla próbek wzdłużnych i 19,7% dla próbek poprzecznych. Normalizowanie prawie zupełnie zniwelowało różnice R_e i R_m na próbkach wzdłużnych i poprzecznych. Wystąpiła w każdym przypadku wyraźna granica plastyczności, która jednak obniżyła się na próbce wzdłużnej do 38,6 kG/mm^2. Wytrzymałość na rozciąganie kształtowała się dla próbek wzdłużnych i poprzecznych na poziomie R_m = 55,2 - 55,3 kG/mm^2. Wydłużenie znacznie wzrosło w stosunku do stanu walcowanego na gorąco, przy czym uwydatniła się różnica między próbką wzdłużną A_5 = 30,1% a poprzeczną A_5 = 25,9%. Reasumując, można stwierdzić, że blachy z wytopu A w stanie walcowanym na gorąco, wykazywały dobre własności wytrzymałościowe i plastyczne, pozwalające na stosowanie ich w konstrukcjach pracujących w temperaturze -40°C a nawet poniżej. Po normalizowaniu blachy wykazały własności wytrzymałościowe na umiarkowanym poziomie przy niezwykle korzystnej plastyczności, wyrażonej udarnością i wydłużeniem. Umożliwia to zastosowanie blach normalizowanych na odpowiedzialne konstrukcje pracujące w bardzo niskich temperaturach otoczenia (poniżej -60°C).

5.2. Wytop B

Wytop B zawiera mikrododatek wanadu w ilości 0,12% oraz 0,006% N.

Badania blach o grubości 24 mm wykazują (tablica 2, rys. 2), w stanie walcowanym na gorąco bardzo wysoką udarność w temperaturze +20°C, około 11,6 kGm/cm^2, która jednak gwałtownie spada, osiągając przy -20°C wartość 3,7 kGm/cm^2. Dalszy spadek udarności jest nieco łagodniejszy, tak że przy -60°C udarność osiąga wartość 1,3 kGm/cm^2. Normalizowanie wyraźnie poprawia udarność blach i przesuwa próg kruchości ku niższym temperaturom.W zakresie temperatur badania +20° do -20°C udarność bardzo łagodnie maleje

od 14,5 kGm/cm^2 do 13,9 kGm/cm^2. W zakresie temperatur -20°C do -40°C obserwujemy gwałtowny spadek udarności, która jednak nadal utrzymuje się na wysokim poziomie 7,5 kGm/cm^2. W temperaturze -60°C udarność osiąga 5,1 kGm/cm^2. Widzimy więc, że w całym zakresie temperatur badania poziom udarności jest bardzo wysoki.

Próba rozciągania (tablica 3) wykazała, w stanie walcowanym na gorąco, brak wyraźnej granicy plastyczności. Umowna granica plastyczności wynosiła $R_{0,2}$ = 45,8 kG/mm^2. Granica wytrzymałości dla próbek wzdłużych i poprzecznych była praktycznie taka sama R_m = 66,0 do R_m = 66,1 kG/mm^2. Wydłużenie było nieco zróżnicowane i wynosiło dla próbek wzdłużnych A_5 = = 26,8% oraz dla poprzecznych 22,8%. Normalizowanie wyraźnie obniżyło własności wytrzymałościowe, poprawiając nieznacznie wydłużenie. Wystąpiła wyraźna granica plastyczności, która jednakże spadła do poziomu R_e = = 34,1 kG/mm^2 dla próbek wzdłużnych i R_e = 34,5 kG/mm^2 dla próbek poprzecznych. Granica wytrzymałości ukształtowała się na wysokości R_m = = 51,9 kG/mm^2 dla próbek wzdłużnych oraz R_m = 52,4 kG/mm^2 dla próbek poprzecznych. Tak więc i w tym przypadku nie stwierdzamy anizotropii własności wytrzymałościowych. Wydłużenie wynosiło A_5 = 29% dla próbek wzdłużnych i A_5 = 24% dla próbek poprzecznych.

Reasumując, można stwierdzić, że blachy z wytopu B w stanie walcowanym na gorąco wykazywały dobre własności wytrzymałościowe. Plastyczność była zadowalająca do temperatury -20°C, jednakże poniżej -20°C poziom udarności był zbyt niski. Pozwala to na zastosowanie blach walcowanych na gorąco na konstrukcje pracujące w temperaturach otoczenia nie przekraczających -20°C. Natomiast blachy normalizowane wykazują zadowalającą plastyczność w całym zakresie temperatur badania, przy umiarkowanych własnościach wytrzymałościowych. Prawdopodobnie tak znaczny spadek granicy plastyczności spowodowany został zbyt niską zawartością azotu w stali. Należy więc sądzić, że podwyższenie zawartości azotu do poziomu około 0,015% pozwoli osiągnąć i w tym przypadku R_e około 40 kG/mm^2. Niemniej jednak osiągnięte wyniki pozwalają na stosowanie blach normalizowanych z wytopu B na odpowiedzialne konstrukcje pracujące nawet przy temperaturze poniżej -60°C.

6. Wnioski

1. Istnieje możliwość wyeliminowania normalizowania przy produkcji blach grubych ze stali typu 18G2A z mikrododatkiem wanadu w ilości 0,04%-0,12% przy zachowaniu zadowalających własności mechanicznych.

2. Ograniczenie zawartości wanadu do poziomu 0,04% do 0,12% korzystnie wpływa na plastyczność blach w gatunku 18G2AV.

3. Dla osiągnięcia wysokiej granicy plastyczności w stalach typu 18G2A z mikrododatkiem wanadu, konieczne jest dodatkowe wprowadzenie azotu nie tylko na rynnę spustową ale i do kadzi.

4. Obniżenie dolnej granicy zawartości wanadu w stali 18G2VA wg ZN - -69/0632-25 z 0,15% do poziomu 0,04% umożliwi hutom dostarczenie blach walcowanych na gorąco o własnościach mechanicznych gwarantowanych ww. normą z pominięciem zabiegu normalizowania.

5. Podjęcie produkcji blach grubych ze stali 18G2VA o większej rozpiętości zawartości wanadu (0,04-0,20%) w warunkach krajowych walcowni jest technicznie możliwe i ekonomicznie uzasadnione. Wniosek ten uwzględniono w obowiązującej obecnie normie PN-72/H-84018.

LITERATURA

[1] Sobański A., Rutkowski R., Tochowicz St.: Wiadomości hutnicze, 1972, nr 7-8, str. 229.

[2] Zimnik W., Petersen W., Blecher R.: Bander, Bleche, Rohre, 1969, nr 7, str. 407.

[3] Rutkowski R., Tochowicz St.: Poprawa własności plastycznych SSPW w stanie gorąco walcowanym, sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej wykonanej w Instytucie Inżynierii Materiałowej (niepublikowane), Katowice, 1972.

[4] Fabian K., Zimnik W.: Sympozjum low alloy high strength steels, 1970 str. 107.

[5] Herian J., Godecki L., Murski C.: Wprowadzenie stali o $R_{e min}$ 40 - 50 kG/mm^2 do produkcji w Hucie Bobrek. Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej wykonanej w Instytucie Inżynierii Materiałowej (niepublikowane), Katowice, 1972.

[6] Thyssen: Feinkorn - Sonderbaustähle, normalgeglüht (Normy zakładowe).

[7] Rheinstahl: BH-Feinkornbaustähle (Normy zakładowe).

[8] ISO: Uzgodniona wersja normy ISO dla SSPW, Paryż, 1971.

[9] Korchynsky M., Stuart H.: The role of strong carbide and sulfide forming elements in the manufacture of formable high strength low alloy steels, Sympozjum low alloy high strength steels. Norymberga, 1970.

[10] Listhuber F., Wallner F.: Mikrolegierte Feinkornstahle, Berg. u.Hütten. M. nr 11,1969.

УЛУЧШЕНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОЛСТОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА ИЗ СТАЛИ ТИПА 18G2A С МИКРОДОБАВКОЙ ВАНАДИЯ

Р е з ю м е

Улучшение пластических свойств являющихся указателем сопротивления хрупкого разрушения толстых листов из низколегированных сталей высокой прочности, можно достигнуть изменением количества легирующих микродобавок как и применением термической обработки. В статье представлены исследования влияния микродобавки ванадия в количестве 0,04 - 0,12% на механические свойства толстых стальных листов типа 18G2A изготовленных в производственных условиях на одном из отечественных прокатных станов.

THE INCREASE OF PLASTICITY OF THICK PLATES MADE OF 18G2A STEEL WITH THE ADDITION OF VANDIUM

S u m m a r y

The increase of plasticity of heavy low alloy high strength steels plates, which is a good origerion of resistance against fracture toughness can be obtained by the control of micro-alloy content and by the application of respective heat-treatment.

In the article the investigations of the influence vanadium of quantity 0,04-0,12% on mecanical properties of heavy low alloy high strength steels plates, produced in motion conditions in one of home plate mills were described.