ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: MECHANIKA z. 70 Nr kol. 673

Piotr ADAMIEC
Jerzy DZIUBIŃSKI
Andrzej GRUSZCZYK

WŁASNOŚCI STREFY WPŁYWU CIEPŁA STALI TRUDNO ŚCIERALNYCH PO CIĘCIU TERMICZNYM

Streszczenie. Zbadano wpływ cięcia termicznego tlenowego i plazmowego na zmiany struktury i składu chemicznego w strefie wpływu ciepła (SWC) stali 16G2MB, 22G2B i 22HGMCu. Własności plastyczne powierzchni ciętych termicznie i mechanicznie oceniano na podstawie prób zginania. Stwierdzono przydatność metod cięcia termicznego do przygotowywania brzegów blach stali trudno ścieralnych do spawania.

1. Stale trudno ścieralne, własności i ich cięcie termiczne

Hutnictwo krajowe wdrożyło do produkcji nową grupę stali niskostopowych ulepszonych cieplnie o podwyższonej odporności na ścieranie. Stosowanie tych stali pozwoli na znaczne oszczędności wynikające ze zmniejszenia ciężaru i przedłużenia żywotności konstrukcji narażonych na zużycie ścierne. Istotnym czynnikiem wpływającym również na efektywność stosowania tych stali jest możliwość stosowania w procesie ich prefabrykacji technik spawalniczych, między innymi cięcia termicznego. Podwyższona zawartość C i Mn, i obecność innych pierwiastków stopowych typowych dla stali konstrukcyjnych ulepszonych cieplnie wpływa niekorzystnie na spawalność i własności strefy wpływu ciepła po cięciu termicznym stali trudno ścieralnych.

W procesie cięcia tlenowego zachodzą w SWC zmiany struktury i składu chemicznego, przy czym najistotniejszy jest wzrost zawartości węgla. Nawęglanie w strefie przetopienia przy cięciu stali niskostopowych przekroczyć może wartość 1%, a w przypadku stali z wysoką zawartością węgla prowadzić może nawet do wystąpienia na powierzchni ciętej struktury ledeburytycznej. Wg Goldberga [1] zjawisko to jest wynikiem selektywnego utleniania metalu w szczelinie cięcia i przemieszczania się węgla nierozpuszczalnego w FeO do obszarów ciekłego metalu na powierzchni ciętej. Oddziaływanie cyklu cieplnego i nawęglanie w strefie zmian składu chemicznego prowadzi do znacznego utwardzenia w SWC elementów ciętych tlenowo.

W literaturze spawalniczej spotyka się szereg sposobów wyznaczania temperatur podgrzania wstępnego eliminującego utwardzenie w SWC [2]. Są one

Tablica 1

Składy chemiczne badanych stali trudno ścieralnych

Gatunek grubość mm	Nr wytopu	Zawartość % C	Mn	Si	Cr	Mo	Cu	B	Równoważnik węgla
16G2MB g=8,12	52398	0,16	1,30	0,38	0,15	0,14	0,14	0,008	0,446
22G2B g=15	31452	0,19	1,24	0,42	0,05	0,06	0,17	0,003	0,472
22HGMCu g=15,20,30	70068	0,18	1,08	0,30	1,18	0,25	0,28	-	0,676
	52797	0,21	0,88	0,30	0,95	0,18	0,22	-	0,604

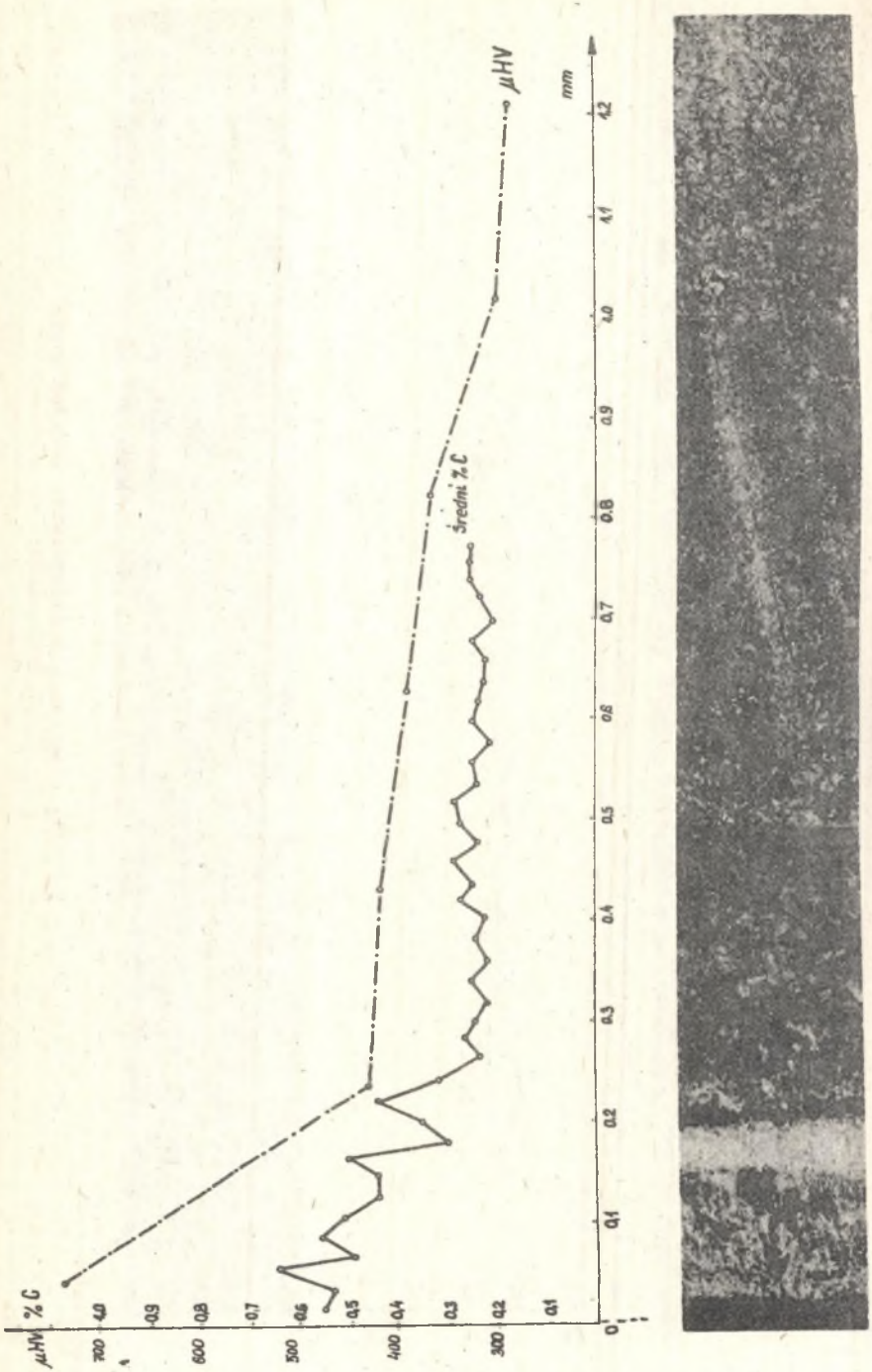
$$Ce = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

zwykle niższe od temperatur odpuszczania ulepszanych cieplnie stali trudno ścieralnych ale przemysłowe stosowanie podgrzewania wstępnego przy cięciu jest kosztowne i znacznie utrudnia proces technologiczny. W strefie wpływu ciepła elementów ciętych plazmowo obserwuje się jedynie zmiany strukturalne. Próbki stali niskostopowych ciętych plazmowo charakteryzują się korzystniejszą strukturą w SWC i lepszymi własnościami mechanicznymi niż przy cięciu tlenowym [3]. Stosowanie do cięcia urządzeń, w których gazem plazmowym jest powietrze przy grubościach do 30 mm jest również uzasadnione ekonomicznie. Koszty cięcia 1 mb są niższe o około 20-70% w stosunku do cięcia tlenowego [4]. Celem badań podjętych w Zakładzie Spawalnictwa IMiS było zbadanie własności SWC po cięciu tlenowym i plazmowym stali 11G2MB, 22G2B i 22HGMCu oraz ustalenie możliwości stosowania cięcia termicznego w procesie przygotowania tych stali do spawania.

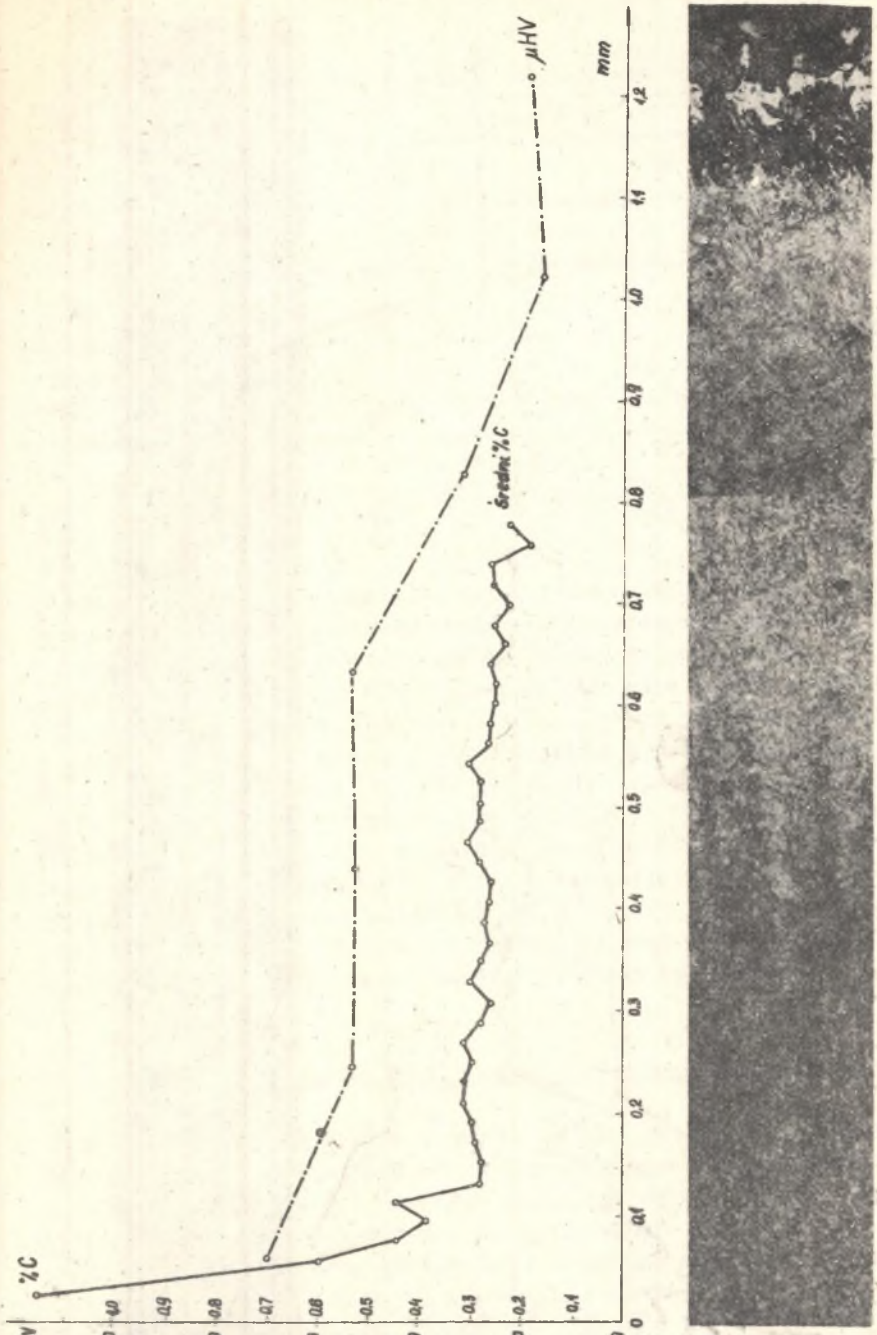
2. Własności strefy wpływu stali trudno ścieralnych po cięciu tlenowym

Do badań stosowano blachy ze stali trudno ścieralnych w gatunkach 16G2MB, 22G2B i 22HGMCu, których składy chemiczne podano w tablicy 1. Na podstawie optymalizacji parametrów cięcia [5] ustalono warunki cięcia stali trudno ścieralnych (tablica 2) na półautomacie YCa-100.

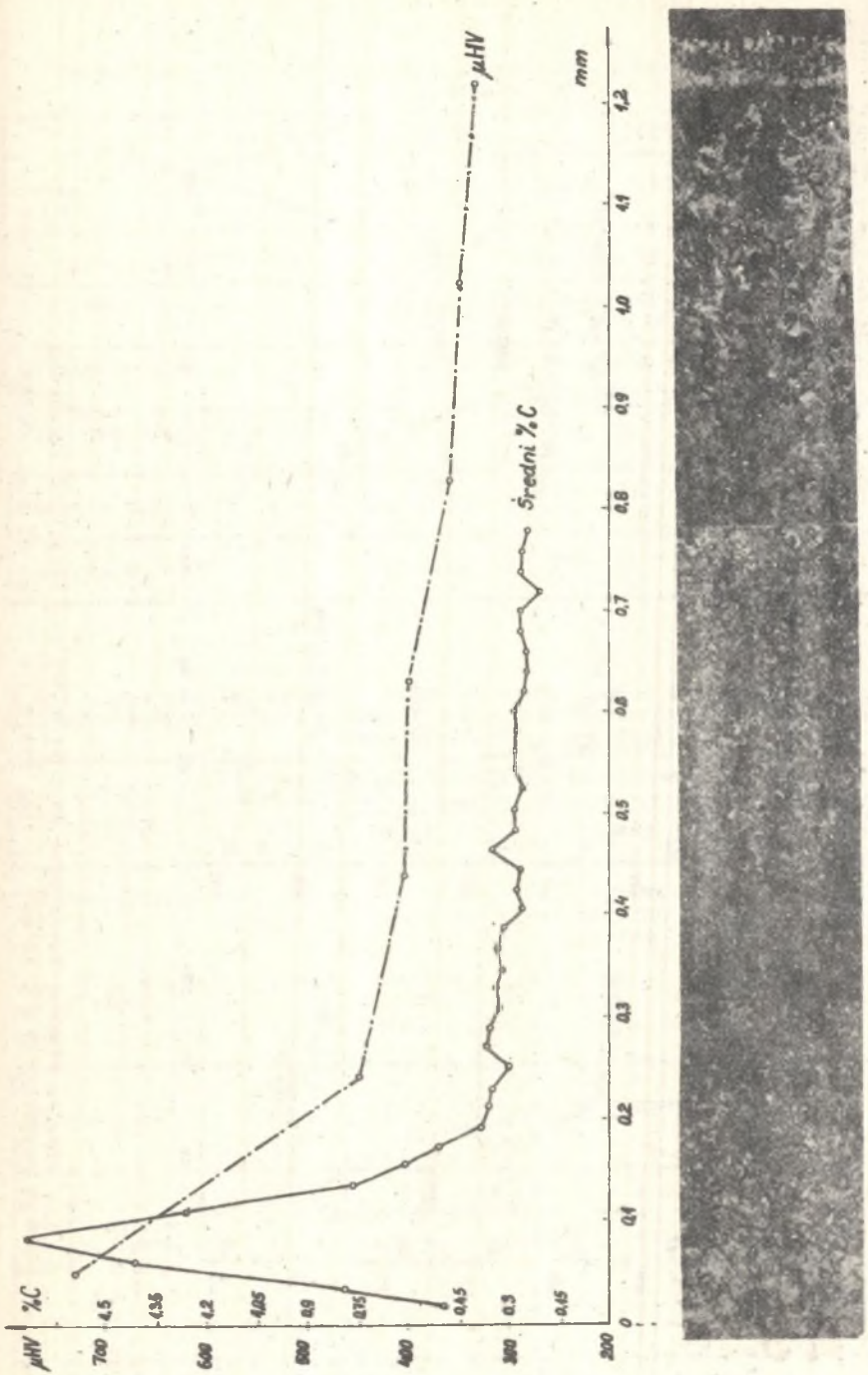
W ramach badań metalograficznych przeprowadzono obserwacje metalograficzne na mikroskopie Reichert i pomiary mikrotwardości przy obciążeniu 1 N w 3 liniach pomiarowych odległych o 0,5 mm w połowie grubości ciętych blach oraz analizę rozkładu C, Mn i Si w SWC na mikroanalizatorze rentgenowskim JXA-50A firmy JEOL. Wyniki obserwacji metalograficznych, pomiary μHV oraz rozkładu C przedstawiono na rysunkach 1, 2, 3.



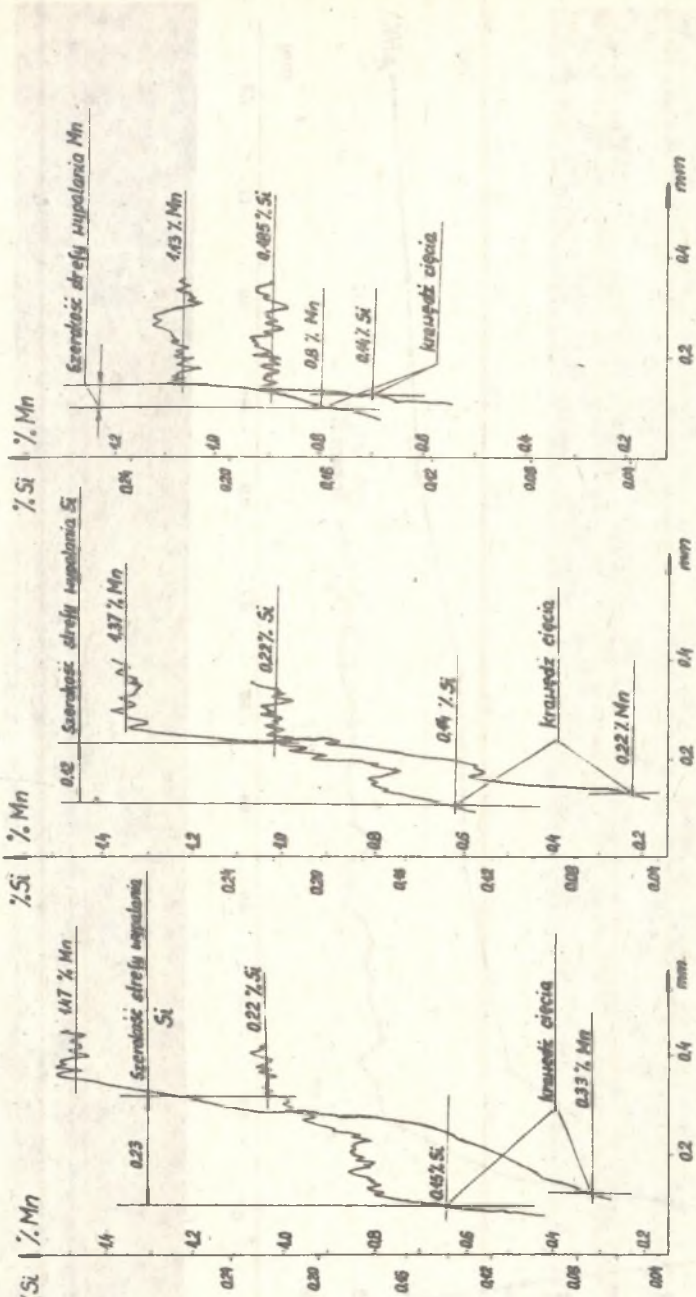
Rys. 1. Stal 16G2MB g = 10 mm cięta tlenowo. Przebieg mikrotwardości, rozkład węgla i mikrostruktura SWC. Pow. 250x, trawi. Nital



Rys. 2. Stal 22G2B g = 15 mm cięta tlenowo. Przebieg mikrotwardości, rozkład węgla i mikrostruktura SWC. Pow. 250x, traw. Nital



Rys. 3. Stal 22HGMCu g = 20 mm cięta tlenowo. Przebieg mikrotwardości, rozkład węgla i mikrostruktura SWC. Pow. 250x, traw. Nital



Rys. 4. Rozkład zawartości Mn i Si w SWC stali ciętych tlenowo:
a) stal 16G2HB g = 10 mm, b) stal 22G2B g = 15 mm, c) stal 22HGMCu g = 20 mm

Tablica 2 ?

Optymalne parametry cięcia tlenowego stali trudno ścieralnych (półautomat YCb-10)

Rodzaj stali / grubość mm / Param. cięcia	16G2MB		22G2B		22HGMCu	
	5÷10	10÷30	5÷10	10÷30	5÷10	10÷30
Nr dyszy tnącej Xm 12A	3-10	10-30	3-10	10-30	30-10	10-30
Ciśnienie C_2H_2 MPa	0,02-0,03	0,02-0,03	0,02-0,03	0,02-0,03	0,02-0,03	0,02-0,03
Ciśnienie O_2 MPa	0,3-0,35	0,35-0,4	0,3-0,35	0,33-0,4	0,35-0,4	0,4-0,45
Szybkość cięcia m/s 10^{-3}	6,7-7,5	5,8-6,7	6,7-7,5	5,0-6,7	6,8-6,7	4,2-5,8
Zużycie C_2H_2 m^3/h	0,2-0,35	0,30-0,45	0,2-0,35	0,30-0,45	0,2-0,35	0,3-0,45
Zużycie O_2 m^3/h	1,7-2,0	2,0-3,0	1,7-2,0	2,0-3,0	2,5-3,5	3,0-4,0

Tablica 3

Wyniki prób gięcia krawędzi blach ze stali trudno ścieralnych gatunku 22HGMCu ciętych tlenem, plazmą i mechanicznie. Średnica trzpienia gnącego równa 5 wysokościom próbki

Rodzaj cięcia	Krawędź czysta		Krawędź napawana		Krawędź napawana	
	kąt gięcia	Uwagi	kąt gięcia	Uwagi	kąt gięcia	Uwagi
Tlenem, ciśnienie O_2	180°		15°	naderwanie napoiny	30°	naderwanie napoiny
0,4 MPa, szybkość cięcia	45°	naderwanie naroża	25°	"	25°	"
5,8 . 10^{-3} m/s	45°		25°	"	60	"
Mechaniczne	180°		15°	"	70°	"
	180°		25°	"	30°	"
	180°		30°	"	30°	"
Plazmą powietrzną, moc 30 kW, szybkość cięcia	180°		45°	"	35°	"
	60°	naderwanie naroża	35°	"	40°	"
21 . 10^{-3} m/s	45°	"	25°	"	45°	"

Typowe rozkłady zawartości Si i Mn w SWC w połowie grubości blachy przedstawiono na rys. 4.

Własności plastyczne powierzchni ciętych tlenem oraz ewentualną obecność pęknięć powierzchniowych oceniano na podstawie prób zginania statycznego próbek o szerokości równej grubości blachy na trzpieniu 5d. Dla porównania zginano również próbki wycinane mechanicznie oraz próbki wycinane mechanicznie i tlenem - napawane elektrodami EB 1.70. Badania te miały na celu określenie wpływu sposobu cięcia na ewentualne inicjowanie i rozprzestrzenianie się pęknięć. Uzyskane wyniki dla stali 22HGMCu podano w tablicy 3.

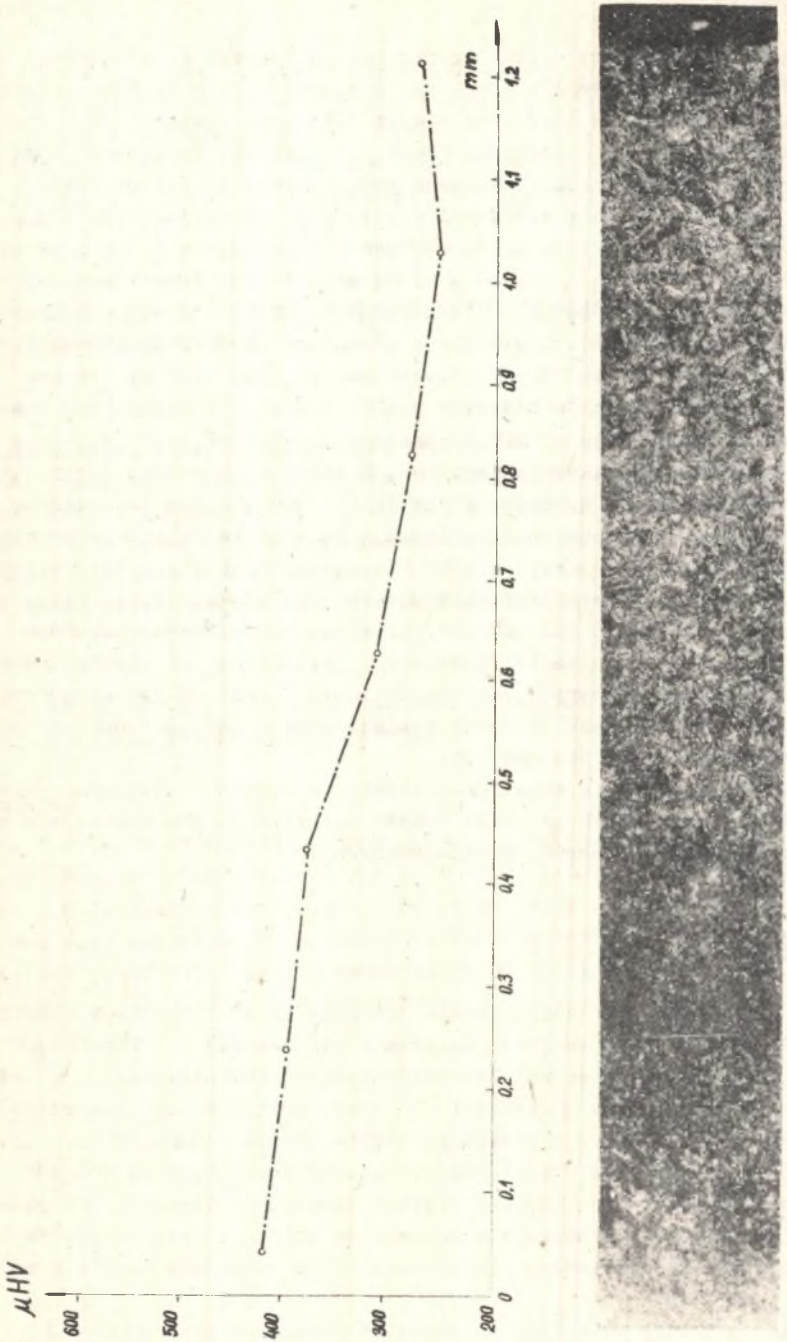
3. Własności strefy wpływu ciepła stali trudno ścieralnych po cięciu plazmą

Na podstawie badań [5] ustalono optymalne parametry cięcia plazmą stali trudno ścieralnych i podano je w tablicy 4. Wyniki obserwacji metalograficznych i pomiarów mikrotwardości strefy przyległej do powierzchni cięcia przedstawiono na rys. 5. Wyniki badań własności plastycznych powierzchni ciętych, przeprowadzonych w taki sam sposób jak w przypadku cięcia tlenem, zestawiono w tablicy 3.

Tablica 4

Optymalne parametry cięcia plazmą powietrzną stali trudno ścieralnych

Grubość blach mm	Moc / natęż. prądu	Szybkość cięcia m/s 10^{-2}	Szerokość szczeliny mm	Koszt cięcia zł/mb
5	P=30 kW J=190A	5,0-6,0	3,0-3,5	0,31
10	"	3,0-4,0	3,0-4,0	0,50
15	"	2,0-2,5	3,5-4,0	0,87
20	"	1,0-1,2	3,5-4,0	2,00
30	"	0,25-0,4	4,0-5,0	5,00



Rys. 5. Stal 22HGMCu g = 20 mm cięta plazmowo. Przebieg mikrotwardości i mikrostruktura w SWC. Pow. 250x, traw. Nital

4. Analiza wyników

Zastosowane parametry cięcia termicznego tlenowego i plazmowego stali trudno ścieralnych zapewniły uzyskanie powierzchni cięcia bez pęknięć i wad powierzchniowych. W przypadku cięcia tlenowego stwierdzono obecność warstewki nawęglonej o szerokości około 0,1-0,25 mm. Szerokość warstewki rosła wraz ze wzrostem ilości wprowadzanego ciepła do strefy cięcia, tzn. wraz ze zmniejszaniem się szybkości cięcia [5] i zmniejszaniem się grubości ciętych blach. Zawartość węgla ekstremalnie wynosiła 1,7%C przy cięciu stali 22HGMCu g = 20 mm i malała w miarę wzrostu szerokości warstwy nawęglonej. W strefie tej obserwuje się również utlenianie się Mn (nawet do 70%) i Si (do około 40%). Stwierdzono strukturę martenzytyczno-bainityczną o twardości od 550 do 770 μHV. Prawidłowości powyższe są typowe przy cięciu wszystkich gatunków badanych stali trudno ścieralnych. Obecność strefy nawęglonej obniża wyraźnie plastyczność próbek przy zginaniu statycznym w porównaniu do próbek wycinanych mechanicznie. Już przy kątach zginania 60° występuje naderwanie naroży (w próbkach nie zaokrąglano naroży). Proces następnego napawania niweluje całkowicie różnice własności plastycznych. W przypadku cięcia plazmą nie stwierdzono obecności warstewki nawęglonej. W strefie wpływu ciepła obserwowano struktury bainityczno-martenzytyczne o twardości 300-400 μHV. Plastyczność elementów wyciętych plazmowo oceniana metodą zginania statycznego jest niższa od plastyczności odpowiednich próbek wycinanych mechanicznie ale wyższa od próbek ciętych tlenem. Różnice te są jednak całkowicie niwelowane przez następne napawanie we wszystkich badanych przypadkach.

Powyższe stwierdzenie sugeruje wniosek, że cięcie termiczne tlenowe względnie plazmowe blach ze stali trudno ścieralnych nie decyduje o własnościach później wykonanych złącz spawanych.

5. Wnioski

1. Przy cięciu tlenowym stali trudno ścieralnych w gatunkach 16G2MB i 22HGMCu stwierdzono obecność warstewki utwardzanej (550-770 μHV) o strukturze martenzytycznej lub martenzytyczno-bainitycznej, w której obserwuje się wzrost zawartości C oraz obniżenie się zawartości Mn ($\sim$70%) i Si ($\sim$40%). W przypadku cięcia plazmą stwierdzono znaczne niższe utwardzenie w strefie wpływu ciepła dochodzące do 400 μHV.
2. Własności plastyczne krawędzi ciętych termicznie tlenowo lub plazmowo ocenione próbami zginania statycznego są niższe w porównaniu do krawędzi ciętych mechanicznie. Proces następnego napawania niweluje całkowicie te różnice.
3. Cięcie termiczne może być stosowane do przygotowania krawędzi blach stali trudno ścieralnych w gatunku 16G2MB, 22G2B i 22HGMCu do spawania.

LITERATURA

[1] Goldberg F.: Welding in the World nr 7/8 1971.
[2] Spektor O.: Swarocznoje Proizwodstwo nr 12 1971.
[3] Mutansky W.: Zvaranie nr 9/10 1976.
[4] Czech J., Czwórnóg B.: Biuletyn Instytutu Spawalnictwa nr 67 1967.
[5] Adamiec P. i inni: Praca badawcza NB 160/RMT2/77 Politechnika Śląska 1978.

СВОЙСТВА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ

Р е з ю м е

Исследовалось влияние термической кислородной и плазменной резки на изменение структуры и химсостава в зоне термического влияния сталей 16G2MB, 22G2B и 22HGMCu. Пластические свойства поверхностей термического реза и полученных при механической резке оценивались на основании испытания на изгиб. Была констатирована пригодность методов термической резки для подготовки кромок листов износостойких сталей под сварку.

THE PROPERTIES OF THE HEAT AFFECTED ZONE OF ABRASION RESISTANT STEELS AFTER THERMAL CUTTING

S u m m a r y

The influence of oxygen and plasma arc thermal cutting on the structural and chemical change in the HAZ of 16G2MB, 22G2B and 22HGMCu steels was tested. The plastic properties of the thermically and mechanically cutted surfaces were estimated on the base of bending tests. The applicability of thermal cutting methods to preparation of abrasion resistant steel plates edges for welding was determined.