

# Badania spoin wykonanych metodą MAG w różnych osłonach gazowych

## Investigations of welded joints produced by MAG process in shielding gases

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań złączy wykonanych metodą MAG w osłonach różnych mieszanek gazowych. Stwierdzono, że osłona gazowa oraz rodzaj transportu materiału w łuku powodują różną głębokość wtopienia, wielkość strefy wpływu ciepła oraz twardość uzyskanych złączy. Ze względu na złożoność czynników wpływających na formowanie się spoiny (prąd, napięcie, prędkość spawania, osłona gazowa) należy zawsze analizować wszystkie zmienne i dopiero na podstawie takiej analizy możliwe jest określenie zalecanych parametrów spawania czy osłony gazowej.

**Słowa kluczowe:** gazy osłonowe, geometria spoin, spawanie MAG

### Abstract

The investigations of welded joint produced by MAG process in various shielding gases are presented. It was concluded that shielding gas and type of material transfer in arc cause different penetration depth, the size of heat affected zone and the hardness obtained connectors. Due to the complexity of the factors affecting the formation of the weld (current, voltage, rate of welding, shielding gas), all the variables should always be analyzed, and only on the basis of this analysis it is possible to determine the recommended welding parameters or shielding gas.

**Keywords:** shielding gases, weld geomtry, GMAW

### Wstęp

Gazy osłonowe stosowane w procesach spawania chronią powierzchnie łączonych elementów przed wpływem powietrza. Powietrze jest uznawane za atmosferę nadzwyczaj niekorzystną, ponieważ jego składniki wykazują znaczną aktywność fizykochemiczną w kontakcie z metalami, szczególnie z żelazem i jego stopami. Tlen i azot tworzą z żelazem i składnikami stopów żelaza tlenki i azotki, które pogarszają właściwości użytkowe stopów. Wodór, co prawda, nie tworzy związków z żelazem, lecz rozpuszcza się intensywnie w ciekłym metalu, co sprzyja powstawaniu pęcherzy i pęknięć zimnych, a także pogarsza właściwości mechaniczne [1].

Gazy osłonowe powinny łatwo ulegać jonizacji, co zapewnia utrzymanie stabilnego łuku przy stosunkowo niskim napięciu. Dodatkowe wymagania dotyczą osło-

ny jeziora ciekłego metalu, dobrego wtopienia i gładkiego lica spoiny [2]. W spawalnictwie do osłony strefy spawania stosuje się gazy obojętne, tj. argon lub hel oraz gazy aktywne jedno- lub wieloskładnikowe, tworzące atmosferę regulowaną, najczęściej o charakterze utleniającym [1].

Spawanie w osłonach mieszanek gazowych poprawia stabilność jarzenia się łuku, zmniejsza rozprysk, zwiększa wydajność spawania, poprawia jakość spoiny i na ogół właściwości mechaniczne złączy spawanych [1, 3, 4].

Aktywne gazy osłonowe reagują ze stopionym metalem i materiałem dodatkowym, co pozwala uzyskać spoiny o określonych właściwościach wytrzymałościowych i plastycznych oraz odporności na korozję i pękanie. Brak skutecznej osłony gazowej powoduje wystąpienie porowatości, utlenianie powierzchni i pogorszenie właściwości mechanicznych spoiny [2].

**Tablica I.** Zalecane gazy osłonowe do spawania metodą MAG [2]  
**Table I.** Recommended shielding gases for MAG welding [2]

Material spawany	Grubość mm	Przeniesienie metalu w łuku	Zalecany gaz osłonowy
Stale niestopowe	< 2,0	Zwarciove	Ar+CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>
	2,0÷3,2	Zwarciove	Ar+(8÷25)% CO <sub>2</sub> Ar+He+CO <sub>2</sub>
		Zwarciove	CO <sub>2</sub> Ar+(15÷25)% CO <sub>2</sub>
	> 3,2	Zwarciove i kroplove	Ar+25% CO <sub>2</sub>
		Zwarciove	Ar+50% CO <sub>2</sub>
		Zwarciove i kroplove	CO <sub>2</sub>
		Natryskowe	Ar+(1÷8)% O <sub>2</sub>
		Natryskowe	Ar+(5÷20)% CO <sub>2</sub>
		Zwarciove lub natryskowe	Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> Ar+He+CO <sub>2</sub> He+Ar+CO <sub>2</sub>
	> 2,0	Natryskowe, wirujące	Ar+He+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>
		Impulsowe	Ar+(2÷8)% O <sub>2</sub> Ar+(5÷20)% CO <sub>2</sub> Ar+He+CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>
Stale niskostopowe i wysokostopowe	< 0,8	Zwarciove	Ar+(8÷20)%CO <sub>2</sub> He+Ar+CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>
		Zwarciove i kroplove	Ar+(20÷50)% CO <sub>2</sub>
	> 0,8	Natryskowe-wirujące	Ar+2%O <sub>2</sub> Ar+(5÷10)% CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> Ar+He+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>
		Impulsowe	Ar+2%O <sub>2</sub> Ar+(5÷10)% CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> Ar+He+CO <sub>2</sub>
Stale nierdzewne, austenityczne	< 2,0	Zwarciove	Ar+(2÷5)% O <sub>2</sub>
	> 2,0	Zwarciove	He+7% Ar+2% CO <sub>2</sub> Ar+(2÷5)% CO <sub>2</sub> Ar +He+CO <sub>2</sub> He+Ar+CO <sub>2</sub>
		Natryskowe	Ar+(1÷2)% O <sub>2</sub> Ar +He+CO <sub>2</sub> He+Ar+CO <sub>2</sub>
		Impulsowe	Ar+(1÷2)% O <sub>2</sub> Ar +He+CO <sub>2</sub> He+Ar+CO <sub>2</sub> Ar+CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>

W metodzie MAG osłonę stanowi gaz aktywny lub mieszanina gazów aktywnych, zwykle na bazie argonu z dodatkiem do 30% CO<sub>2</sub> lub 1÷8% O<sub>2</sub>, bądź też obu tych gazów.

Gazy osłonowe wpływają na kształt słupa łuku i charakter transportu kropli ciekłego metalu. Dodatek CO<sub>2</sub> polepsza formowanie i kształt spoiny oraz zwiększa wtopienie. Dodatek O<sub>2</sub> powoduje zmniejszenie wartości prądu krytycznego, co sprzyja transportowi drobnokropłowemu i pozwala, w stosunku do osłony z czystego Ar, na stosowanie większej średnicy drutu elektrodowego lub, przy tej samej średnicy, na spawanie cieńszych blach. Tlen w mieszaninie polepsza formowanie ściągów, zmniejsza porowatość i rozprysk, a także powoduje wzrost wydajności spawania. Dodatek O<sub>2</sub> do mieszaniny Ar + CO<sub>2</sub> poprawia wydajność spawania i stabilność jarzenia się łuku, sprzyja lepszemu formowaniu spoiny, a także pozwala ograniczyć zawartość wodoru i azotu w stopiwie [1].

Do spawania metodą MAG stali niestopowych i niskostopowych stosuje się czysty CO<sub>2</sub>, mieszaniny dwu- lub wieloskładnikowe, a dla stali wysokostopowych jedynie mieszanki gazowe (tabl. I) [2].

Efektywność osłony gazowej zależy od właściwości fizycznych i chemicznych gazów, a także od wielu czynników technologicznych, m.in.: natężenia wpływu gazu, natężenia prądu spawania, pozycji spawania, rodzaju złącza, kąta nachylenia dyszy gazowej uchwytu [2].

## Badania własne

Badaniom poddano złącza pachwinowe ze stali RSt 37-2 o strukturze ferrytyczno-perlitycznej, zawierającej 0,19% C, 0,055% P, 0,055% S, 0,008% N. Spoiny wykonano metodą MAG urządzeniem Total Arc 25000 firmy Castolin drutem Gold SG2 o średnicy 1,2 mm. W procesie spawania stosowano różne osłony gazowe (tabl. II) oraz różne parametry spawania (tabl. III).

**Tablica II.** Skład gazów osłonowych zastosowanych w procesie spawania

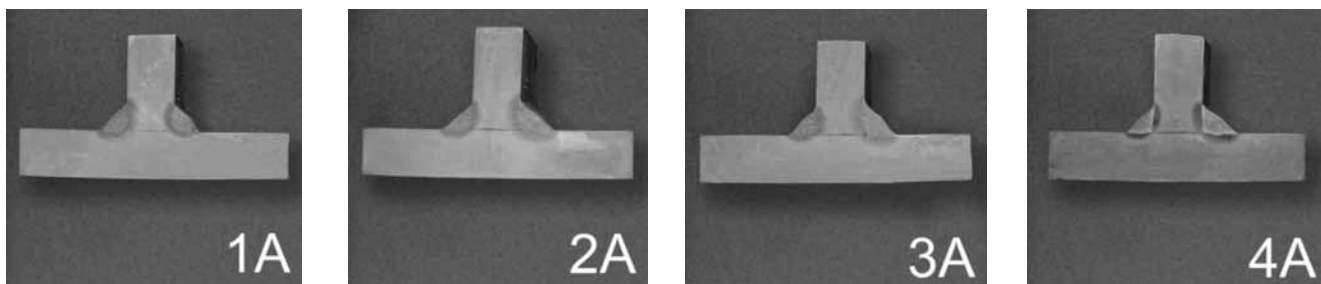
**Table II.** Chemical composition of shielding gases used in the welding process

Nazwa handlowa gazu	Skład chemiczny
Ferroline C-18	18% CO <sub>2</sub> , 82% Ar
Ferroline C-10 X2	10% CO <sub>2</sub> , 2% O <sub>2</sub> , 88% Ar
Ferroline HE20 C8	20% He, 8% CO <sub>2</sub> , 72% Ar
Ferroline X4	4% CO <sub>2</sub> , 96% Ar

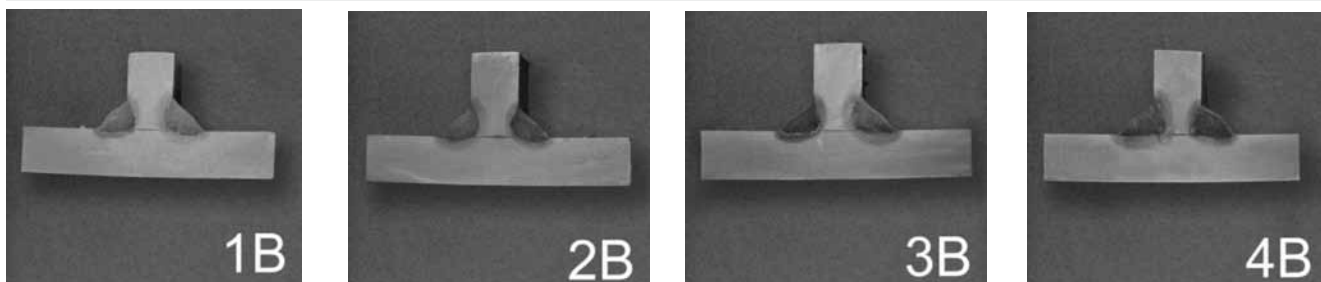
**Tablica III.** Parametry procesu spawania  
**Table III.** Welding process parameters

Nr próbki	Gaz osłonowy	Napięcie V	Prąd spawania A	Prędkość podawania drutu, m/min	Czas spawania s	Energia liniowa x10 <sup>6</sup> J/m	Sposób transportu metalu	
1	A	Ferroline C-18	22	150	3,5	21	3,4	Zwarciowy
	B		25	216	6,5	22	6,0	Mieszany
	C		28	256	8,5	20	7,2	Natryskowy
2	A	Ferroline C-10 X2	21	141	3,5	21	3,1	Zwarciowy
	B		25	213	6,5	21	5,5	Mieszany
	C		28	264	8,5	20	7,1	Natryskowy
3	A	Ferroline HE20 C8	21	143	3,5	22	3,3	Zwarciowy
	B		25	222	6,5	21	5,9	Mieszany
	C		28	255	8,5	21	7,4	Natryskowy
4	A	Ferroline X4	21	145	3,5	24	3,6	Zwarciowy
	B		25	233	6,5	24	6,9	Mieszany
	C		28	292	8,5	23	9,5	Natryskowy

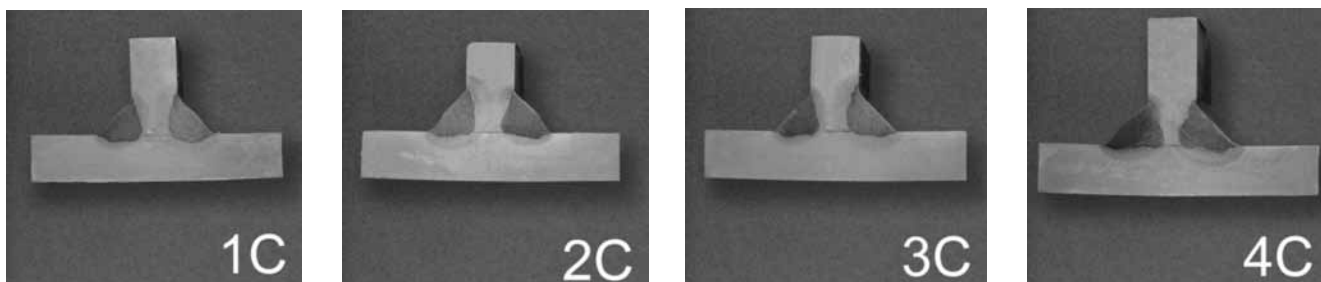
**Łuk zwarciowy (A)**



**Łuk mieszany (B)**



**Łuk natryskowy (C)**

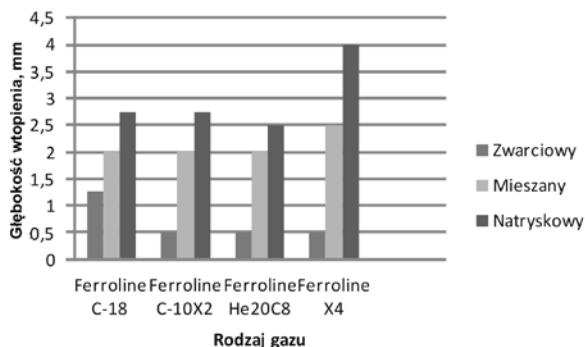


**Rys. 1.** Makrostruktury złączy spawanych wykonanych w różnych osłonach gazowych: 1 – Ferroline C-18, 2 – Ferroline C-10 X2, 3 – Ferroline HE20 C8, 4 – Ferroline X4

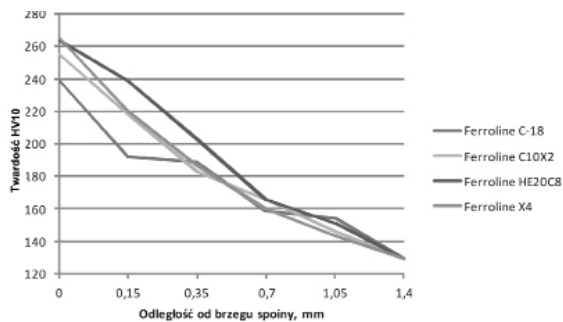
**Fig. 1.** Makrostructures of welded joint made with the use of various shielding gases: 1 – Ferroline C-18, 2 – Ferroline C-10 X2, 3 – Ferroline HE20 C8, 4 – Ferroline X4

Złącza o wymiarach 100x100x10 mm i 100x60x10 mm poddano badaniom metalograficznym makro- i mikroskopowym, określono głębokość wtopienia, kształt lica spoiny, a także ich twardość.

Próbki do badań makroskopowych szlifowano na papierach ściernych o ziarnistości: 80, 180, 400, 600, 800, a następnie trawiono odczynnikami Adlera (3 g  $(NH_4)_2[CuCl_4]$  + 20 ml wody destylowanej + 50 ml HCl + 15 g  $FeCl_3$ ). Zaobserwowane makrostruktury przedstawiono na rysunku 1. Badania makrostruktury pozwoliły na określenie głębokości wtopienia (rys. 2) i kształtu lica spoiny. Spoiny oznaczone 3A i 2C miały lico wypukłe, pozostałe lico płaskie.

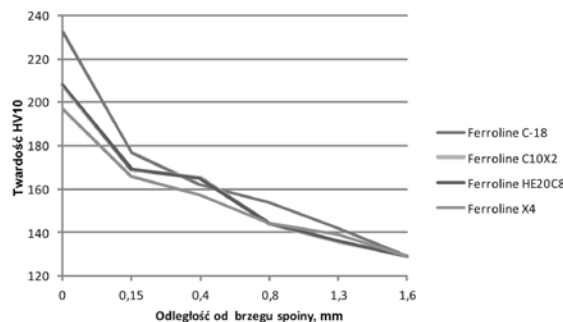


Rys. 2. Głębokość wtopienia dla różnych gazów osłonowych  
Fig. 2. Fusion depth for used shielding gases



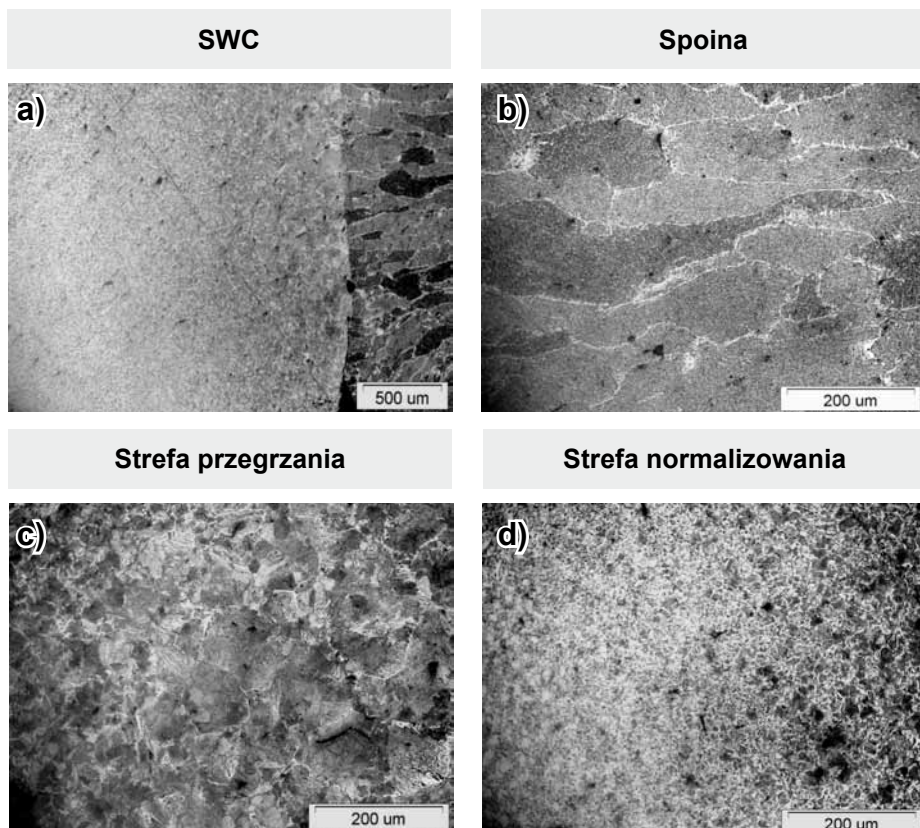
Rys. 4. Rozkład twardości w złączach wykonanych łukiem zwarciovym (A) w różnych osłonach gazowych

Fig. 4. Hardness distribution in the joint made by the short arc in the various s



Rys. 5. Rozkład twardości w złączach wykonanych łukiem mieszanym (B) w różnych osłonach gazowych

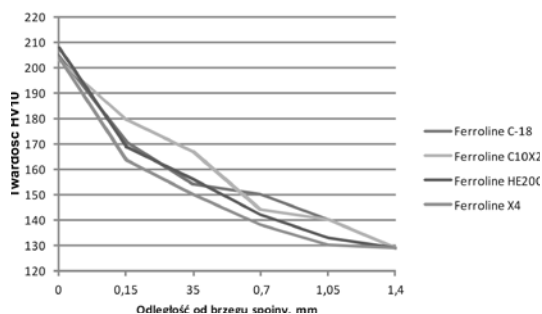
Fig. 5. Hardness distribution in the joint made by the mix arc in the various



Rys. 3. Mikrostruktura złącza spawanego – próbka 3A: a) SWC; b) spoina; c) strefa częściowego przetopienia i strefa przegrzania; d) strefa normalizowania i strefa częściowego przekryształizowania  
Fig. 3. Microstructure of welded joint – sample 3A: a) HAZ, b) weld, c) partially melted metal and overheat zone, d) normalizing and partial recrystallization zone

Badania metalograficzne mikroskopowe prowadzono na mikroskopie optycznym Olympus DP Soft, stosując powiększenie 50x i 200x. Próbki do badań szlifowano, polerowano i trawiono 3% roztworem  $HNO_3$  (nitałem). Zaobserwowane struktury niewiele różnią się między sobą, w związku z czym w artykule na rysunku 3 wykonano przykładową mikrostrukturę strefy wpływu ciepła (SWC).

Badania twardości przeprowadzono na twardościomierzu Zwick/Roell ZHV 10 metodą Vickersa przy obciążeniu 10 N. W każdym obszarze SWC wykonano 5 pomiarów, a średnie wyniki przedstawiono na rysunkach 4+6.



**Rys. 6.** Rozkład twardości w złączach wykonanych łukiem natryskowym (C) w różnych osłonach gazowych

**Fig. 6.** Hardness distribution in the joint made by the spraying arc in the various shielding gases

## Analiza wyników badań

Zastosowanie różnych osłon gazowych i różnych rodzajów łuku przy spawaniu metodą MAG powoduje zróżnicowanie głębokości wtopienia, wielkości SWC oraz twardości uzyskanych złączy.

Maksymalne wtopienie uzyskano, stosując łuk natryskowy, minimalne przy łuku zwarciovym (rys. 2), przy czym największe wtopienie obserwuje się przy spawaniu w mieszance Feroline X4 łukiem natryskowym. W przypadku łuku zwarciovego i mieszanego zastosowane osłony gazowe w niewielkim stopniu wpływały na głębokość wtopienia.

Spawanie w mieszance Ferroline He20 C8 powoduje uzyskanie szerokiego lica oraz dużego pola przekroju spoiny, co jest spowodowane obecnością helu w gazie osłonowym, który ma wysoką przewodność cieplną, przez co w powiązaniu z wysoką energią łuku sprawia, że do materiału wprowadza się znaczne ilości ciepła.

Spawanie złączy teowych powoduje różnice wielkości spoin po obu stronach złącza, gdyż wykonywanie drugiej spoiny odbywa się na nagrzanym materiale. Powoduje to również różnice w wielkości strefy wpływu ciepła obu spoin.

Struktura SWC dla wszystkich spoin jest taka sama, różna jest natomiast wielkość ziaren spoiny i strefy przegrzania, co jest związane z zastosowaną energią liniową spawania. Im energia większa, tym większe ziarno w spoinie i większy obszar przegrzania.

Nie zaobserwowano znaczącego wpływu rodzaju łuku i osłony gazowej na twardość SWC, natomiast różna jest twardość spoiny przy linii wtopienia, w zależności od rodzaju łuku, a w rzeczywistości od sposobu transportu materiału w łuku, co oczywiście związane jest z energią liniową spawania.

Trzeba sobie zdawać sprawę z tego, że trudno jednoznacznie uzależnić właściwości złącza od jednej zmiennej. Stąd każdorazowo należy analizować wszystkie zmienne (prąd, napięcie, prędkość spawania, osłona gazowa) i dopiero na podstawie takiej analizy możliwe jest określenie zalecanych parametrów spawania czy osłony gazowej.

## Literatura

- [1] Pierożek B., Lassociński J.: Spawanie łukowe stali w osłonach gazowych. WNT, Warszawa 1987.
- [2] Ferenc K., Ferenc J.: Spawalnicze gazy osłonowe i palne. WNT, Warszawa 2005.
- [3] Poradnik inżyniera, konstruktora i technologa pod redakcją K. Ferenc. Wyd. VerlagDashofer, Warszawa 2013.
- [4] Pilarczyk J., Pilarczyk J.: Spawanie i napawanie elektryczne metali. Wyd. Śląsk, Katowice 1996.