

Piotr ADAMIEC

Instytut Metaloznawstwa
i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

PRZEMIANY STRUKTURALNE W CZASIE CHŁODZENIA SPOINY PRZY SPAWANIU ŁUKIEM KRYTYM

Streszczenie. Przeprowadzono badania przemian strukturalnych w czasie chłodzenia ciągłego stopiwa uzyskanego łukiem krytym. Analizowano moment zapoczątkowania przemian oraz morfologię uzyskanych struktur.

1. WSTĘP

Przy łączeniu stali ferrytyczno-perlitycznych w strukturach spoin uzyskanych łukiem krytym można wyróżnić trzy główne postacie ferrytu, a mianowicie [1,2], /rys.1/ :

- ferryt przedeutektoidalny, który może występować jako poligonalny ferryt bezwęglkowy oraz jako ferryt na granicach pierwotnych kryształów austenitu,
- składnik lameralny zwany często ferrytem bocznopłytkowym, który może występować łącznie z węglkami względnie martenzytem i austenitem szczątkowym pomiędzy prawie równoległymi płytkami ferrytu [3],
- ferryt iglasty występujący w postaci płytek o dużym kącie dezorientacji.

W strukturach tych można również obserwować pewne ilości perlitu oraz tak zwanych mikrofaz (węgliki, azotki, martenzyt, austenit szczątkowy), których obecność wg niektórych badaczy [4] może decydować o własnościach plastycznych spoin. Udziały poszczególnych składników struktury zależą od składu chemicznego i szybkości chłodzenia spoin. Są one wyznaczane zwykle metodą siatkową na zglądach metalograficznych [2,5]. W badaniach własnych przeprowadzono próby określenia przemian strukturalnych na podstawie analizy termicznej cyklu cieplnego.

2. BADANIA WSTĘPNE

Do badania przemian strukturalnych spoin wykorzystano stanowisko, przedstawione na rys. 2. Stanowisko to umożliwiało indukcyjne topienie małych objętości metalu (od 1 g do 15 g), o określonym składzie chemicznym, oraz chłodzenie tych objętości za pomocą argonu z szybkościami 2-10°C/s. W zakresie tym mieszczą się praktycznie wszystkie przypadki spawania łukiem krytym. Układ pomiarowy pozwalał na rejestrację cyklu cieplnego oraz na jego różniczkowanie i określanie temperatur przemian

Występujących w czasie chłodzenia stopiwa. Do badań wykorzystano próbki, których skład chemiczny zestawiono w tabl. 1. Analiza cykli cieplnych oraz krzywych różniczkowych pozwoliła wyznaczyć wykresy CTPc-S przedstawione na rys.3. W celu ustalenia temperatury przemiany ferrytycznej, próbki chłodzono dodatkowo silnym nadmuchem argonu, które następowało kolejno w temperaturach 1200, 1100, 1000, 900, 800, 700, 600 i 500 °C. Na rys.4 przedstawiono wpływ zawartości Mn i szybkości chłodzenia na strukturę stopiwa, przy chłodzeniu ciągłym. Typowe struktury, uzyskane w efekcie przemiany ferrytycznej, pokazano na rys.5. Dla porównania struktur, uzyskanych w badaniach przemian z rzeczywistymi strukturami spoin, przeprowadzono próby rejestrowania cykli cieplnych w procesie spawania łukiem krytym. Przeprowadzono spawanie jednowarstwowe płyt próbnych ze stali 18 G2A o grubości 12 mm materiałami dodatkowymi : SpG1 + TA.St.6, SpG4 + TA.St.1 i Sp 4 + TA.St.1. W czasie spawania określono cykl cieplny, wykorzystując układ pomiarowy przedstawiony na rys.6. Parametry spawania, szybkości chłodzenia i czasy przebywania punktów w zakresie temperatur 800-500°C podano w tabl.2. Na rys.7. przedstawiono typowe struktury spoin.

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Analiza różniczkowa cyklu cieplnego pozwala określić głównie przemiany martenzytyczne i przemiany bainityczne. Przemiany ferrytyczne, a przede wszystkim tworzenie się ferrytu przed-eutektoidalnego, wyznaczono metalograficznie na dodatkowych próbkach. Stwierdzono, że przemiana ferrytyczna występuje w zakresie temperatur 900-700 °C (rys.5), przy czym temperatury początku przemiany są tym niższe, im wyższa jest zawartość Mn w stopiwie. Porównanie krzywych różniczkowych dT ($dt = f/T$) i zglądów metalograficznych wskazuje, że ferryt boczno-płytkowy i ferryt iglasty powstają w ramach przemiany bainitycznej i są prawdopodobnie typami ferrytu bainitycznego, przy czym stwierdzono, że ferryt boczno-płytkowy powstaje w temperaturze około 700 °C (rys.5.). Temperatura powstawania ferrytu boczno-płytkowego i jego udział w strukturze nieznacznie maleją wraz ze wzrostem szybkości chłodzenia i zawartości Mn w stopiwie. Ferryt iglasty tworzy się w temperaturze poniżej 600 °C. Przy wyższych szybkościach chłodzenia i większych zawartościach Mn w stopiwie rośnie udział martenzytu, co jest jednak trudne dla uchwycenia na zglądach metalograficznych i często jedynie krzywe dT ($dt = f/T$) wskazują na występowanie już martenzytu (rys.3.). Uzyskane w badaniach zglądy metalograficzne wykorzystano do określenia udziałów poszczególnych składników w strukturze, które przedstawiono na rys.8. Stwierdzono, że ilość ferrytu przed-eutektoidalnego maleje ze wzrostem szybkości chłodzenia, jak również ze wzrostem Mn, w przeciwieństwie do udziału ferrytu iglastego, którego

ilość wzrasta w tych przypadkach. Podobną zależność stwierdzono na zglądach metalograficznych spoin (rys.8.). Porównanie struktur spoin (rys.7. a, c,) ze strukturami próbek stopiwa, będących podstawą wyznaczenia wykresów CTPc-S (rys.3,4 a), wskazuje na ogólną ich zgodność, przy czym struktury spoin są bardziej gruboziarniste.

4. WNIOSKI

w strukturach badanych stopiw i spoin uzyskanych łukiem krytym stwierdzono następujące prawidłowości:

- ferryt przedeutektoidalny tworzy się w zakresie temperatur 900-700 °C, przy czym temperatura początku przemiany obniża się ze wzrostem zawartości Mn w stopiwie,
- ferryt boczno płytkowy i iglasty należą do struktur bainitycznych i powstają w zakresie temperatur 700-500 °C, przy czym ferryt boczno płytkowy w temperaturach wyższych 700-600°C, a ferryt iglasty w temperaturach poniżej 600 °C,
- udziały objętościowe poszczególnych składników struktury zależą od szybkości chłodzenia i zawartości Mn. Ilość ferrytu przedeutektoidalnego maleje wraz ze wzrostem szybkości chłodzenia i wzrostem zawartości Mn w stopiwie, w przeciwieństwie do ferrytu iglastego, którego ilość w tych przypadkach rośnie.

LITERATURA

- [1] R.C. Cochrane: Weld Metal Microstructures and Terminology. British Steel Corporation, T/PDM/462/1/77/C.
- [2] D.J. Abson, R.E. Dolby: A Scheme for the Quantitative Description of Ferritic Weld Metal Microstructures, IIR DOC IX J-29-80.
- [3] E. Levine, D.C. Hill: Toughness in HSLA Steel Weldments. Metal Construction N.8. 1977 S.346.
- [4] J.G. Garland, P.R. Kirkwood: Towards Improved Submerged Arc Metal. Metal Construction N. 5 i 6 1975 s.275.
- [5] C.L. Choi, D.C.Hill: A Study of Microstructural Progression in AS - Deposited Weld Metal. Weld Journal. N.8 1978 s. 232-5.

Recenzent

Doc.dr hab.inż.J.Pilarczyk

STRUCTURAL TRANSFORMATIONS WHEN COOLING DEPOSITED METAL DURING THE
PROCESS OF SUBMERGED ARC WELDING

SUMMARY

The structural transformations occurring during continuous cooling of deposited metal obtained during submerged arc welding have been studied. The start of the transformations and structural morphology have been analysed.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ШВОВ
ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

РЕЗЮМЕ

В настоящей работе были проведены исследования структурных превращений во время непрерывного охлаждения наплавленного металла под флюсом. Анализ был подвержен момент начала превращений, а также морфология полученных структур.

T a b l i c a 1

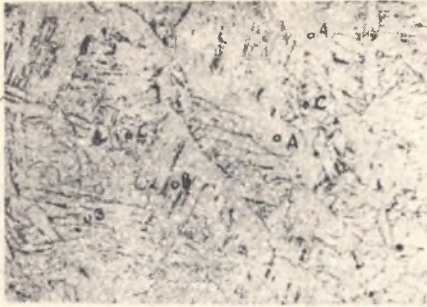
Składy chemiczne stopiw stosowanych do badania
przemian przy chłodzeniu ciągłym

Lp.	Skład chemiczny %					Stopiwo
	C	Mn	Si	P	S	
1.	0,09	0,67	0,21	0,012	0,019	SpG 1 + UV 440 TT
2.	0,11	1,03	0,48	0,026	0,022	SpG 1 + TA.St. 6
3.	0,12	1,43	0,39	0,023	0,019	SpG 4 + TA.St. 1
4.	0,11	1,90	0,41	0,019	0,018	Sp 4 + TA.St. 1

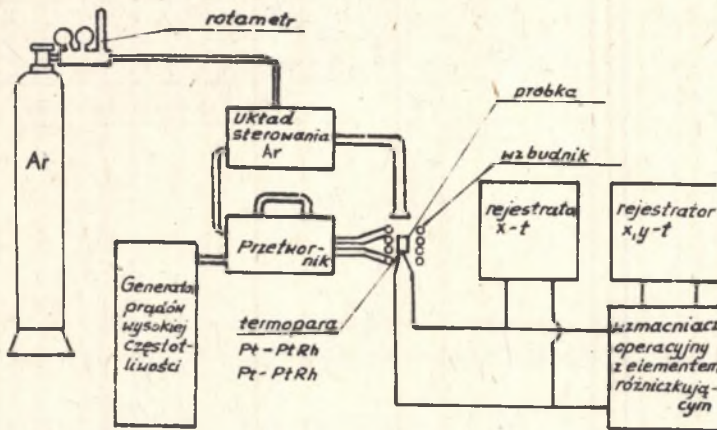
T a b l i c a 2

warunki spawania i parametry chłodzenia spoin
przy jednostronnym spawaniu stali - 18 G2A

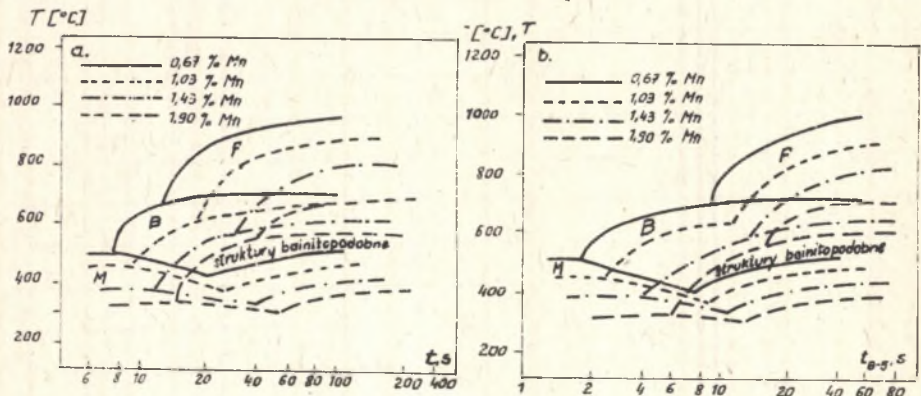
Lp.	Materiały dodatkowe	Parametry spawania			Param. chłodzenia	
		I, A	U, V	E MJ/m	\dot{w}_{8-5} °C/s	τ_{8-5} °C/s
1.	SpG1 + TA.St.6	500	32	2	14,3	21,0
2.	SpG1 + TA.St.6	550	35	3	7,1	42,5
3.	SpG1 + TA.St.6	650	36	4	3,7	80,5
4.	SpG1 + TA.St.6	750	40	6	2,0	150,0
5.	SpG4 + TA.St.1	500	32	2	16,2	18,5
6.	SpG4 + TA.St.1	550	35	3	7,5	40,0
7.	SpG4 + TA.St.1	650	36	4	4,0	75,0
8.	SpG4 + TA.St.1	750	40	6	2,1	145,0
9.	Sp 4 + TA.St.1	500	32	2	17,1	17,5
10.	Sp 4 + TA.St.1	550	35	4	6,8	44,2
11.	Sp 4 + TA.St.1	650	36	4	3,5	84,5
12.	Sp 4 + TA.St.1	750	40	6	2,2	135,5



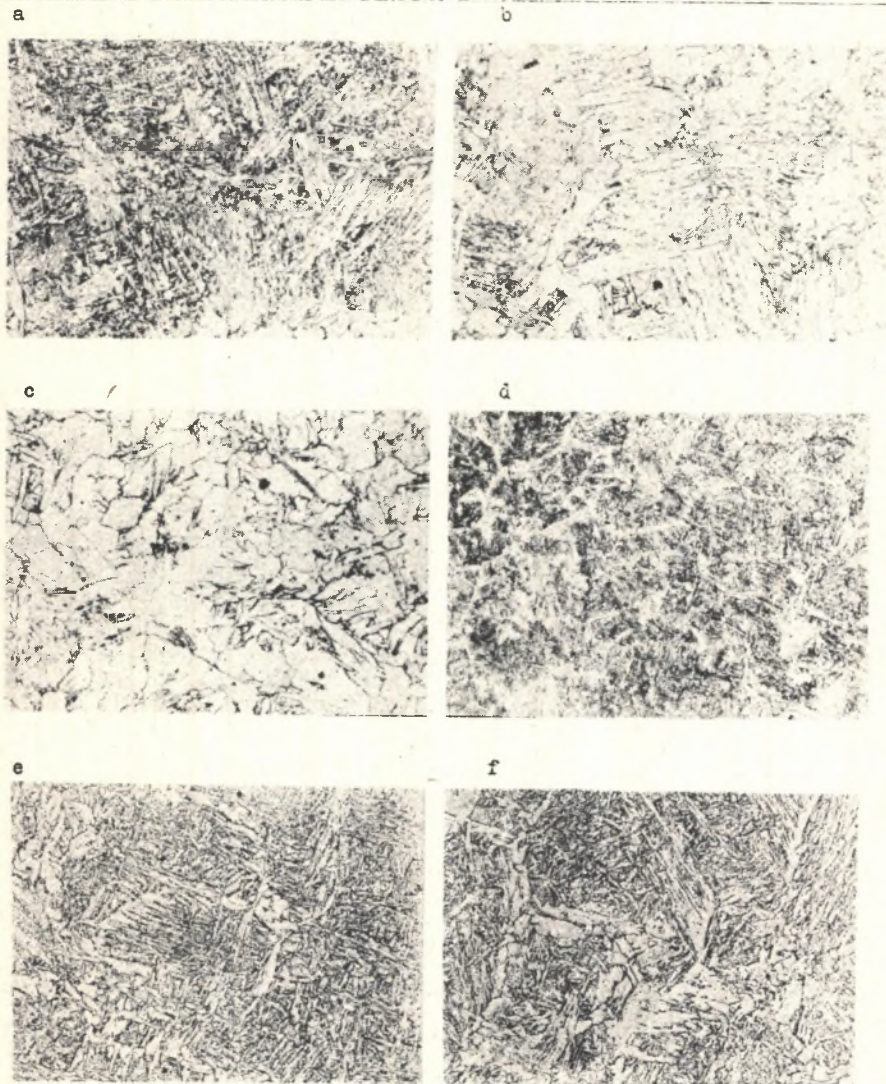
Rys.1. Typowa struktura bainity uzyskanych żukiem krytym,
a) ferryt przedeutektoidalny,
b) ferryt boczno płytkowy,
c) ferryt iglasty.
Traw. Nital, pow. 250 x.



Rys.2. Schemat stanowiska do badań przemian strukturalnych w czasie chłodzenia stopiwa.

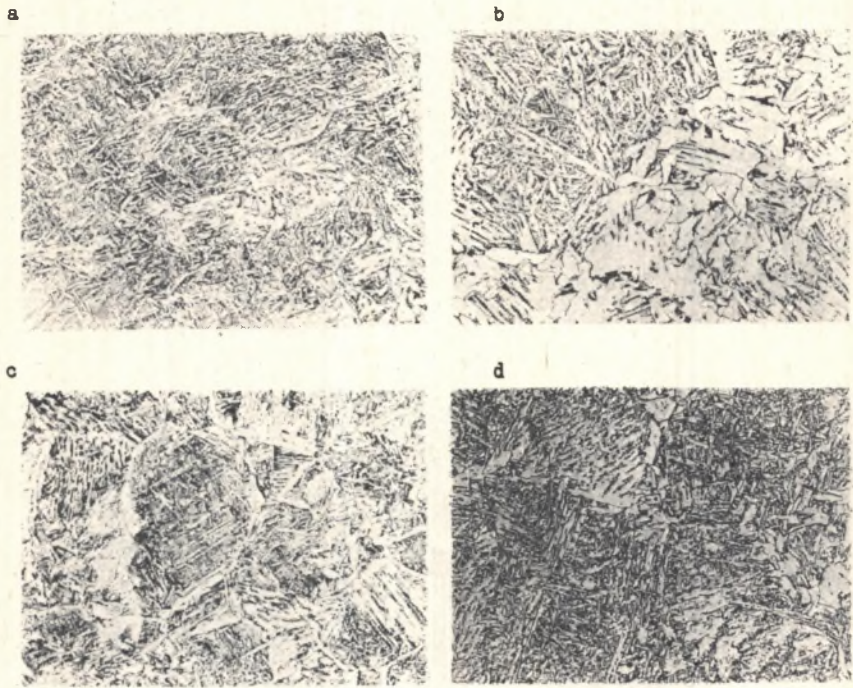


Rys.3. Wykresy CTPc-S uzyskane przy ciągłym chłodzeniu stopiwa,
a) przemiany w funkcji czasu chłodzenia, t (s),
b) przemiany w funkcji czasu przebywania w zakresie temperatur 800-500 °C, t_{8-5} (s).



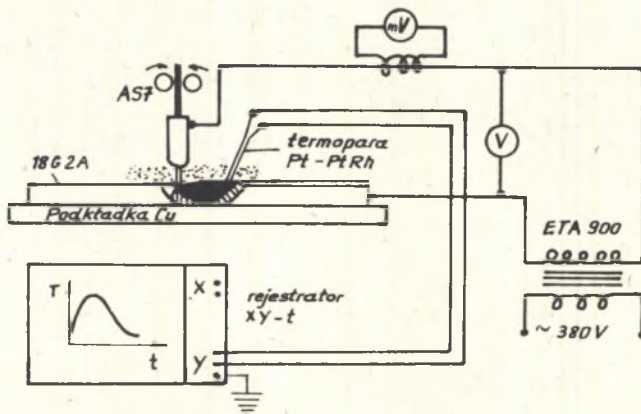
Rys.4. Wpływ szybkości chłodzenia W_{8-5} i zawartości Mn na struktury stopiwa. Traw. Nital. pow. 250 x.

- a) $W_{8-5} = 60^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,03 %
- b) $W_{8-5} = 15^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,03 %
- c) $W_{8-5} = 4^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,03 %
- d) $W_{8-5} = 60^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,90 %
- e) $W_{8-5} = 15^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,90 %
- f) $W_{8-5} = 4^{\circ}\text{C/s}$, (Mn) = 1,90 %

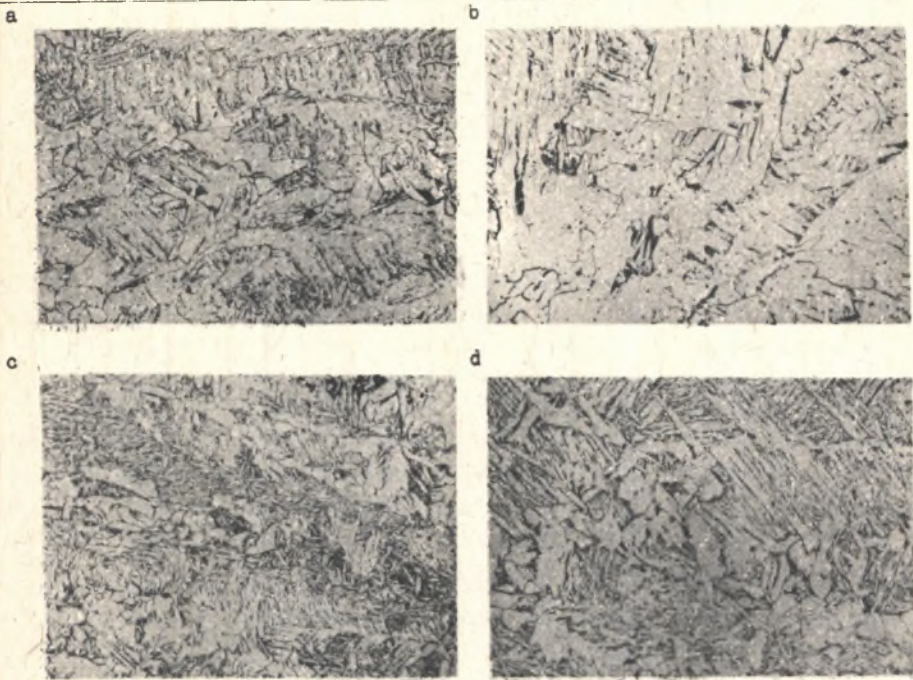


Rys.5. Wpływ temperatury na przebieg przemiany ferrytycznej.
Temperatura dodatkowego chłodzenia:

a 100°C , b 850°C , c 800°C , d 700°C .

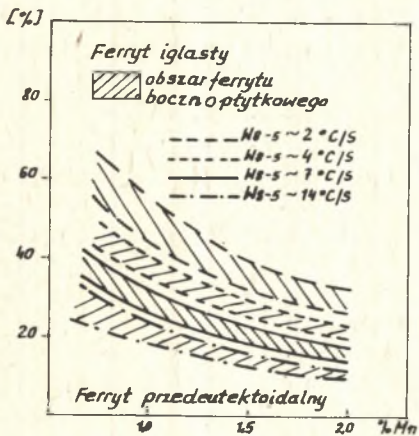


Rys.6. Schemat układu pomiarowego szybkości chłodzenia spoiny.



Rys.7. Typowe struktury spoin. Traw. Nital, pow. 250 x.

a	Mn = 0,93 %	$W_{8-5} = 11,3^{\circ}\text{C/s}$
b	Mn = 1,10 %	$W_{8-5} = 3,7^{\circ}\text{C/s}$
c	Mn = 1,83 %	$W_{8-5} = 17,1^{\circ}\text{C/s}$
d	Mn = 1,87 %	$W_{8-5} = 3,5^{\circ}\text{C/s}$



Rys.8. Zależność udziału składników od szybkości chłodzenia W_{8-5} i zawartości Mn.