

SPRAWNOŚĆ CIEPLNA PROCESU GTAW PRZY NADTAPIANIU ODLEWÓW Z ŻELIWA

Władysław ORŁOWICZ, Andrzej TRYTEK
Zakład Odlewnictwa i Spawalnictwa, Politechnika Rzeszowska,
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

I. Wstęp

O produkcji spawalniczej trzeciego tysiąclecia będzie decydować wydajność i jakość procesu przy równoczesnej dbałości o ochronę środowiska. Podstawowymi metodami spawania będą nadal metody łukowe a szczególnie metody wysokoenergetyczne [1]. Dla poprawy wydajności doskonalone są urządzenia, opracowuje się nowe materiały dodatkowe, mieszanki gazów ochronnych i topniki. Podstawowym czynnikiem zapewniającym jakość złącza jest dobór i monitorowanie energii liniowej łuku elektrycznego.

Dokładna znajomość ilości ciepła dostarczonego przez łuk elektryczny do nagrzewanego obszaru jest podstawą opracowania prawidłowej technologii robót spawalniczych. Matematyczne opracowanie tego zagadnienia jest możliwe dopiero po dostarczeniu wiarygodnego materiału doświadczalnego dotyczącego rzeczywistej ilości ciepła dostarczonego do nagrzewanego obszaru odlewu, geometrii przetopień i struktury materiału krzepnącego w warunkach gwałtownej krystalizacji. W związku z tym że niecała ilość ciepła wytworzonego w łuku elektrycznym jest przejmowana przez nagrzewany detal wprowadzono pojęcie sprawności cieplnej η która jest ilorazem wartości ciepła przejętego przez detal do wartości ciepła powstałej w łuku elektrycznym.

Proces GTAW schematycznie przedstawia rysunek 1. W procesie GTAW łuk jarzy się pomiędzy elektrodą wolframową (katodą) a obrabianym przedmiotem (anodą). Między katodą i anodą przepływa strumień elektronów i zjonizowanych cząstek gazów. W efekcie oddziaływania sił pola elektrycznego w łuku występuje siła ciągu plazmy. Na siłę ciągu wywiera wpływ rodzaju stosowanej atmosfery gazowej. Cięższy argon daje większą siłę ciągu w porównaniu do lżejszego helu. Ze wzrostem natężenia prądu spawania rośnie temperatura w łuku elektrycznym czemu odpowiada wzrost przewodności cieplnej i elektrycznej oraz obniżenie gęstości plazmy. Sprzyja to wzrostowi szybkości strumienia plazmy oraz strumienia elektronów. Średnica słupa łuku powiększa się. Rośnie strumień ciepła przenoszony do anody. Wzrasta również ciśnienie łuku wywie-

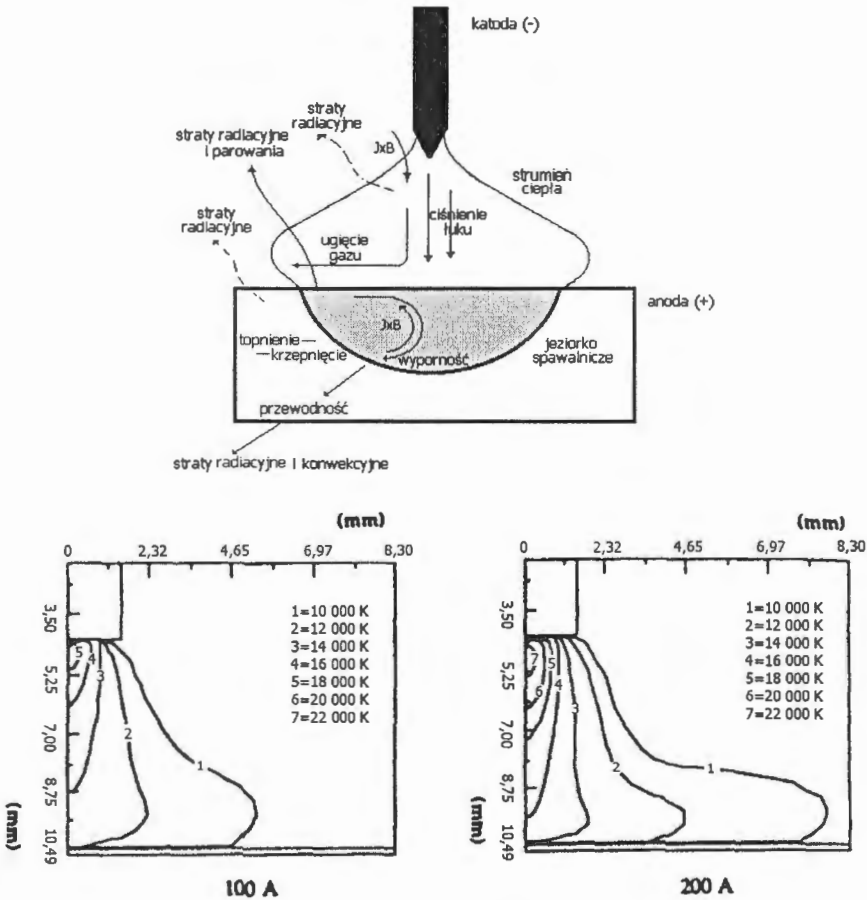


Fig. 1. Diagram of phenomena occurring during GTAW process – a [4].
Temperature distribution in 6.3mm long electric arc at 100A and 200A – b[5]

rane na nagrzewany obszar anody. W efekcie dostarczenia do anody energii cieplej podwyższa się temperatura jej powierzchni i tworzy się jeziorko ciepłego metalu.

Według [6] temperatura powierzchni jeziorka na próbce stalowej przy nagrzewaniu łukiem elektrycznym w atmosferze gazowej przy zastosowaniu prądu spawania o natężeniu 300 A stabilizuje się już po upływie 0,4 s i osiąga wartość 2830 °C. Objętość jeziorka będzie się powiększać do czasu gdy ilość dostarczonego ciepła zrównoważy się ze stratami wskutek przewodności, konwekcji, parowania i promieniowania. Przy obecnym stanie wiedzy zakłada się, że przepływ ciepła w jeziorku ciepłego metalu sterowany jest przez siły termokapilarnie, elektromagnetyczne i wypornościowe. Ruch termoka-

pilarny jest uzależniony od napięcia powierzchniowego ν i temperatury powierzchni T . W zależności od wartości $\delta\nu/\delta T$ zmieniać się będzie geometria przetopienia [5, 6]. Z drugiej strony istotna jest szybkość przemieszczania powierzchni, która wywiera wpływ na wyrównanie się temperatury. Konwekcja decyduje o kształcie jeziorka spawalniczego. Dotychczas opracowane modele matematyczne skuteczności procesu GTAW są mało dokładne co wynika z braku danych doświadczalnych. Dlatego celem niniejszej pracy było określenie przy zastosowaniu metody kalorymetrycznej sprawności cieplnej procesu GTAW przy nadtopianiu odlewów żeliwnych.

2. Badania

2.1. Materiał do badań

Badania wykonano na niestopowym żelwie sferoidalnym (3,49% C, 2,3% Si, 0,66% Mn, 0,01% Ni, 0,17% Cu, 0,039% P, 0,019% S, 0,084% Mg) otrzymanym w żeliwiaku. Odlewy wykonano w postaci płyt o wymiarach 300 x 200 x 20 mm. Z odlewów wycięto próbki o wymiarach 210 x 50 x 10 mm.

2.2. Wykonanie przetopień

Przetopienia płytek żeliwnych wykonano metodą GTAW stosując natężenie prądu $I = 50\div 300$ A, prędkość przemieszczania łuku elektrycznego $v_s = 200\div 800$ mm/min. Przetopienia wykonano elektrodą wolframową (z dodatkiem toru) o średnicy $\varnothing 2,4$ mm, w atmosferze argonu. Przetopienia realizowano na stanowisku wyposażonym w kalorymetr. Metodykę pomiaru i schemat stanowiska badawczego podano w pracy [8].

2.3. Badania geometrii przetopień

Z przetopionych płytek wycięto próbki w kierunku prostym do osi wzdłużnej przetopień. Na próbkach zmierzono szerokość i głębokość oraz obliczono pole powierzchni przekroju poprzecznego przetopień.

3. Wyniki badań

Wartość ciepła wydzielonego w łuku elektrycznym $Q_{obl.}$, ilość ciepła przejętego przez nagrzewany odlew Q_k oraz wartość sprawności cieplnej η procesu przetapiania niestopowego żeliwa sferoidalnego w atmosferze argonu przedstawiono w tablicy 1. Wykreślne przedstawienie wyników wartości ciepła i sprawności cieplnej obrazuje rysunek 2.

Table 1. Results of the thermal efficiency investigation concerning GTAW process carried-out in argon atmosphere

Lp.	Parametry przetapiania		Wartość ciepła		Sprawność
	I, A	v_s , mm/min	$Q_{obl.}$, kJ	Q_k , kJ	η , %
1	50	200	28,75	20,998	73
2	100	200	60,0	44,621	74
3	150	200	97,5	73,493	75
4	200	200	140,0	106,302	76
5	250	200	187,5	141,736	76
6	300	200	247,5	191,606	77
7	50	400	11,5	7,349	64
8	100	400	24,0	15,748	66
9	150	400	39,0	26,247	67
10	200	400	56,0	38,321	68
11	250	400	75,0	51,445	69
12	300	400	99,0	69,293	70
13	50	600	5,75	2,887	50
14	100	600	12,0	6,562	55
15	150	600	19,5	11,024	57
16	200	600	28,0	16,273	58
17	250	600	37,5	22,048	59
18	300	600	49,5	29,922	60
19	50	800	2,875	1,05	37
20	100	800	6,0	2,362	39
21	150	800	9,75	3,937	40
22	200	800	14,0	5,774	41
23	250	800	18,75	7,874	42
24	300	800	24,75	10,761	43

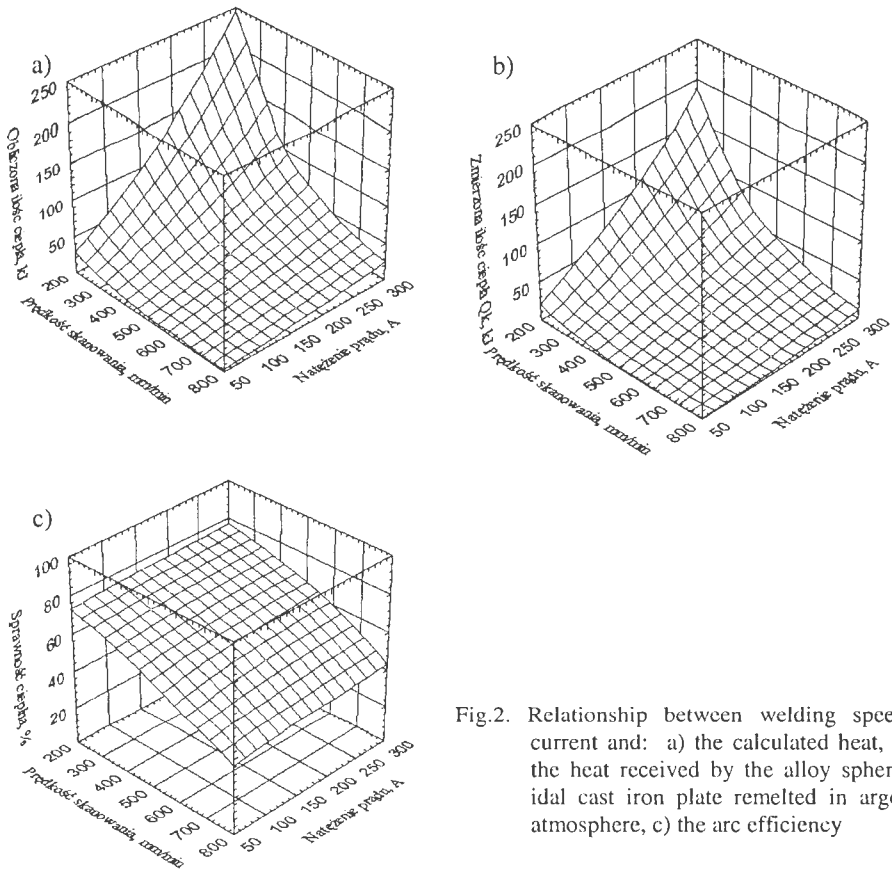
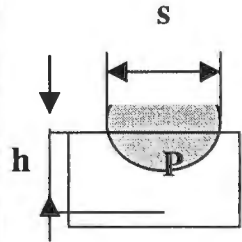


Fig.2. Relationship between welding speed, current and: a) the calculated heat, b) the heat received by the alloy spheroidal cast iron plate remelted in argon atmosphere, c) the arc efficiency

Wyniki pomiarów geometrii i pola powierzchni przekroju przetopienia w płaszczyźnie prostopadłej do osi wzdłużnej ściegu przetopienia przedstawiono w tablicy 2. Na rysunku 3 przedstawiono wykresy wyników pomiarów geometrii i pola powierzchni przekroju poprzecznego przetopienia w zależności od natężenia prądu spawania i prędkości przemieszczania łuku elektrycznego w atmosferze ochronnej argonu.

Table 2. The geometry and surface area of fusion run/bead in perpendicular plane to its longitudinal axis P

Lp.:	Parametry przetapiania		Geometria przetopień		P mm ²
	I, A	v_s , mm/min	s, mm	h, mm	
1	50	200	2,6	0,5	0,83
2	130	200	4,6	1,8	4,6
3	210	200	6,2	2,5	8,51
4	300	200	11,4	2,8	19,72
5	50	400	2,2	0,2	0,29
6	130	400	3,9	1,3	2,95
7	210	400	5,2	1,8	5,39
8	300	400	8	2,2	10,67
9	50	600	1,8	0,1	0,12
10	130	600	3,6	1,1	2,35
11	210	600	4,6	1,5	4,04
12	300	600	6	2	6,98
13	50	800	1,6	0,1	0,11
14	130	800	3,1	0,8	1,52
15	210	800	4,3	1,3	3,33
16	300	800	5,9	1,8	6,31



3. Podsumowanie

W badanym zakresie parametrów procesu przetapiania niestopowego żeliwa sferoidalnego (3,49% C, 2,3% Si, 0,66% Mn, 0,01% Ni, 0,17% Cu, 0,039% P, 0,019% S, 0,084% Mg) w procesie GTAW stosowano elektrodę wolframową (z dodatkiem toru) o średnicy \varnothing 2,4 mm. Prędkość przemieszczania łuku elektrycznego wynosiła $v_s = 200, 400, 600, 800$ mm/min. Prąd spawania zmieniano w granicach $I = 50 \div 300$ A. Całkowity dopływ ciepła wahał się w zakresie od 1,05 do 191 kJ.

W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono że:

- najwyższą sprawność cieplną procesu $\eta = 75\%$ uzyskano stosując natężenie prądu $I = 300$ A i prędkość przemieszczania łuku elektrycznego $v_s = 200$ mm/min,
- najniższą sprawność cieplną procesu $\eta = 37\%$ uzyskano stosując natężenie prądu $I = 50$ A i prędkość przemieszczania łuku elektrycznego $v_s = 800$ mm/min,

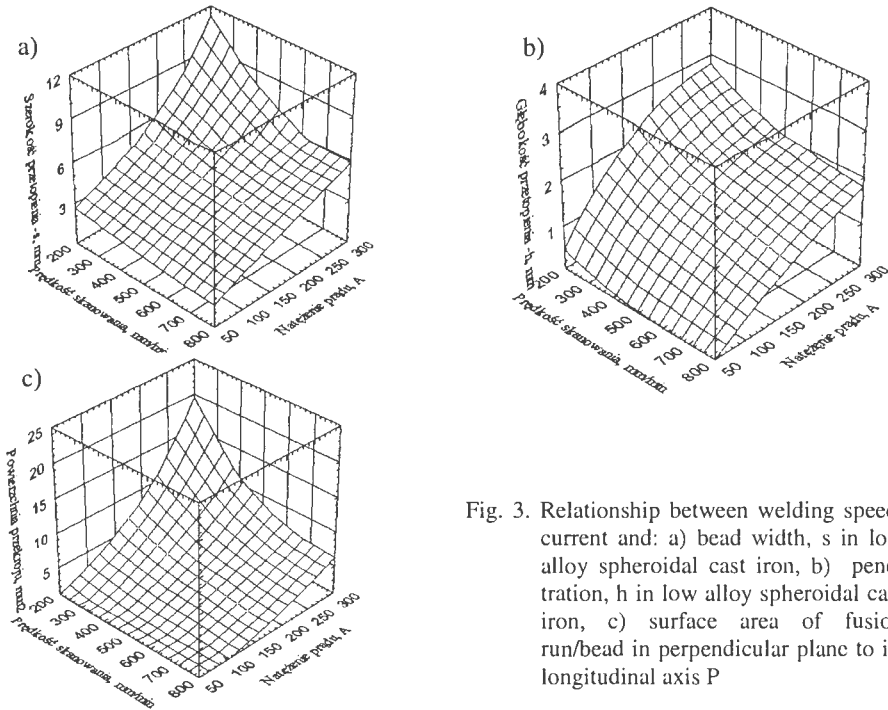


Fig. 3. Relationship between welding speed, current and: a) bead width, s in low alloy spheroidal cast iron, b) penetration, h in low alloy spheroidal cast iron, c) surface area of fusion run/bead in perpendicular plane to its longitudinal axis P

- największą głębokość, szerokość i pole powierzchni przekroju poprzecznego ściegu uzyskano stosując natężenie prądu $I = 300$ A i prędkość przemieszczania łuku elektrycznego $v_s = 200$ mm/min czyli dla przypadku największej sprawności cieplnej,
- najmniejszą głębokość, szerokość i pole powierzchni przekroju poprzecznego uzyskano stosując natężenie $I = 50$ A i prędkość przemieszczania łuku elektrycznego $v_s = 800$ mm/min czyli dla przypadku najmniejszej sprawności cieplnej,
- wzrost natężenia prądu i zmniejszenie prędkości przemieszczania łuku elektrycznego odpowiada wzrostowi głębokości, szerokości i pola powierzchni przekroju poprzecznego przetopienia.

Uzyskane wyniki badań można wytłumaczyć faktem że przepływ strumienia ciepła i konwekcja w jeziorce ciekłego metalu jest ważna z punktu widzenia penetracji jeziorka. Ponieważ konwekcja wzmacnia wymianę ciepła to w przypadku małych wymiarów jeziorka w stosunku do średnicy słupa łuku, co obserwuje się przy szybkim przemieszczaniu łuku elektrycznego i przy małych natężeniach prądu, czynnik ten nie może być w pełni wykorzystany.

Literatura

- [1] Pilarczyk J.: Spawalnictwo w trzecim tysiącleciu. Przegląd spawalnictwa nr 1, 2000, s. 2–7.
- [2] Weallens J.W., Allen B.: Effect of process variables in TIG welding. *Welding And Metal Fabrication*, May 1969, p. 208–213.
- [3] Lundin C.D., Ruprecht W.J.: The effect of shield additions on the penetration characteristics of plasma arc welds. *Welding Research Supplement. Welding Journal*, January 1977, p. 1–7.
- [4] Choo R.T., Szekely J.: The effect of gas shear stress on Marangoni flows in arc welding. *Welding Research Supplement. Welding Journal*, September 1991, p. 223–233.
- [5] Choo R.T., Szekely J., Westhoff R.C.: On the calculatuion of the free surface temperature of GTAW pools from first principles: Part I. Modeling the weld arc. *Metallurgical Transactions B*, Vol. 23B, June 1992, p. 357–369.
- [6] Suboth Kumar, Bhaduri S.C.: Three-dimensional finite element modeling of Gas-Metal-Arc welding. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 25B, p. 435–441.
- [7] Zacharia T., David S.A., Vitek J.M., Kraus H.G.: Computational modeling of stationary Gas-Tungsten-Arc weld pools and comparison to stainless Steel 304 experimental results. *Metallurgical Transactions B*, Vol. 22B, April 1991, p. 243–257.
- [8] Orłowicz W., Mróz M., Trytek A.: Wydajność cieplna w procesie GTAW. *Acta Metallurgica Slovaca* nr 2/1999, s. 539–543.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 7 T08C 010 17 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Recenzent: Edward Guzik