

WPŁYW ATMOSFERY OCHRONNEJ NA EFEKTYWNOŚĆ PROCESU GTAW PRZY NADTAPIANIU ODLEWÓW ZE STOPU ALUMINIUM

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

1. Wstęp

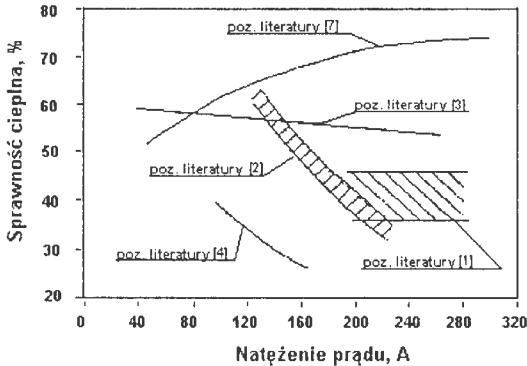
W trakcie nagrzewania materiału skoncentrowanym strumieniem ciepła tworzy się jeziorko ciekłego metalu. Kształt przekroju poprzecznego jeziorka charakteryzuje się poprzez podanie wymiaru głębokości, szerokości oraz pola przekroju poprzecznego. Zazwyczaj dla zmniejszenia skłonności nadtapianego detalu do odkształceń dobiera się takie parametry prądowe aby uzyskać wąskie i głębokie jeziorko. Przy uszlachetnianiu powierzchniowym często korzystniejsze są przetopienia o małej głębokości a znacznej szerokości. Przetopienia takie są właściwe dla konstrukcji o małej podatności do odkształceń. O geometrii jeziorka decyduje kształt słupa łuku elektrycznego, który w procesie GTAW zależy silnie od stosowanych gazów ochronnych oraz ilości ciepła dostarczonego przez łuk elektryczny. Znajomość ilości ciepła dostarczonego przez łuk elektryczny do nagrzewanego obszaru jest podstawą opracowania poprawnej technologii spawania. Dane te są niezbędne dla opracowania możliwie zbliżonych do rzeczywistości modeli matematycznych.

W opracowaniach dotyczących obliczeń ilości ciepła doprowadzonego do nadtapianej powierzchni detalu uzyskane wyniki w zależności od przyjętych założeń są mniej lub bardziej zbliżone do wyników doświadczalnych. Rezultaty doświadczeń mogą także różnić się między sobą, co jest efektem różnych konstrukcji kalorymetrów. Dla określenia efektywności procesu nadtapiania wprowadzono pojęcie sprawności cieplnej η , zdefiniowanej jako iloraz ciepła wydzielonego w łuku elektrycznym Q_{teor} do ilości ciepła przejętego przez nagrzewany element $Q_{\text{dośw.}}$. Autorzy prac [1,2] prowadzili rozważania dla źródła ciepła w formie przesuwającego się punktu wzdłuż powierzchni ciała. W rozważaniach tych uwzględniono warunki wymiany ciepła i właściwości cieplne materiałów w temperaturze średniej (równiej zazwyczaj połowie wartości temperatury topnienia). Wynikiem tych rozważań jest zależność:

$$\eta = [(T - T_0) 2\pi kr / EI] \exp [(v / 2\alpha) (x + r)]$$

gdzie: η – sprawność cieplna, T – temperatura w odległości r od źródła punktowego, T_0 – temperatura otoczenia, k – przewodność cieplna, α – dyfuzyjność cieplna, v – szybkość spawania, x – współrzędna równoległa do kierunku spawania.

Można zauważyć, że sprawność cieplna jest tu wprost proporcjonalna do przewodności cieplnej. Wartości obliczone według tej zależności są niskie i ze wzrostem natężenia prądu wykazują tendencję spadkową, co obrazuje rysunek [4].



Rys. 1. Literaturowe wyniki pomiarów i obliczeń sprawności cieplnej procesu GTAW
Fig. 1. Results of published measurements and calculations of the thermal efficiency in GTAW process

Autorzy pracy [3] przyjęli, że strumień ciepła w łuku elektrycznym posiada rozkład Gaussa, którego maksimum znajduje się w osi słupa łuku. Wykonali oni dla takiego rozkładu analityczne rozwiązanie wymiany ciepła na drodze przewodności. Przyjęcie modelu z takim rozkładem ciepła w porównaniu do modelu źródła punktowego pozwoliło uzyskać wyższe wartości sprawności cieplnej łuku elektrycznego, co obrazuje rysunek 1 [3].

W rozwiązaniach numerycznych rozkładu temperatury uwzględnia się między innymi zmienne właściwości cieplne materiału, ciepło topnienia, wymianę ciepła na skutek ruchu ciekłego metalu, dyfuzję ciepła, wymianę ciepła na drodze przewodzenia. Wartości obliczone przy zastosowaniu takich rozwiązań podają w przybliżeniu rzeczywistą efektywność łuku, która poprzez korektę niektórych danych jest tak dopasowana aby wykazać zgodność między modelem a pomiarami eksperymentalnymi (np. stosuje się wartości przewodności cieplnej nawet czterokrotnie wyższe od wartości określonych dla ciała stałego w temperaturze bliskiej temperaturze topnienia).

W literaturze spotyka się niewiele opracowań dotyczących pomiarów kalorymetrycznych procesu nadtopiania, co wynika z dużego nakładu pracy niezbędnej przy realizacji tych badań [4–6].

Dla weryfikacji teoretycznych modeli wymiany ciepła niezbędne są badania kalorymetryczne, ocena geometrii przetopień oraz analiza struktury kształtującej się w warunkach gwałtownej krystalizacji. Niestety wyniki takich prac bardzo rzadko zamieszcza się w literaturze technicznej. Dlatego celem niniejszej pracy było określenie wpływu atmosfery ochronnej na sprawność cieplną, szerokość, głębokość, pole przekroju poprzecznego przetopienia oraz odległość między osiami głównymi dendrytów fazy α w stopie AK 7.

2. Badania

2.1. *Material i metodyka badań*

Badania prowadzono na stopie AK 7 (7,40% Si, 0,25% Mg, 0,015% Cu, 0,31% Mn, 0,15% Fe, 0,006% Ti, 0,040% Sr, reszta Al). Odlewy płyt o wymiarach 255x50x15mm wykonane w formach piaskowych uszlachetniono powierzchniowo metodą GTAW.

W celu określenia sprawności cieplnej zastosowanej w badaniach metody GTAW obliczono ilość ciepła wytworzonego przez łuk elektryczny $Q_{teor.}$ oraz zmierzono ilość ciepła pochłoniętego przez nadtapiany odlew $Q_{dośw.}$. Teoretyczną ilość ciepła określa się z zależności:

$$Q_{teor.} = U I t$$

gdzie: $Q_{teor.}$ – ilość ciepła wydzielona w łuku elektrycznym, U – napięcie łuku elektrycznego, I – natężenie prądu spawania, t – czas jarzenia się łuku.

W celu określenia ilości ciepła pochłoniętego przez odlew w trakcie jego nadtapiania $Q_{dośw.}$ wykonano pomiary kalorymetryczne. Stanowisko kalorymetryczne opisano w pracy [7]. Odlewy płyt nadtopiono metodą GTAW stosując atmosferę ochronną argonu lub helu oraz natężenie prądu $I = 200A$. Prędkość przemieszczania źródła ciepła była stała i wynosiła $v = 200$ mm/min. Do obliczenia ilości ciepła pochłoniętego przez odlew stosowano zależności:

$$Q_{dośw.} = m_w c_{pw} \Delta T_w$$

gdzie: $Q_{dośw.}$ – ilość ciepła przejęta przez wodę w kalorymetrze, m_w – masa wody, c_{pw} – ciepło właściwe wody w badanym zakresie temperatur, ΔT_w – różnica początkowej i końcowej temperatury wody.

Dla oceny geometrii przetopień i ilościowej analizy strukturalnej z odlewów po badaniach kalorymetrycznych wycięto próbki w kierunku prostopadłym do osi wzdłużnej przetopień. Szerokość a , głębokość h , oraz pole powierzchni przekroju poprzecznego przetopień F określono na zglądach metalograficznych.

Na tych samych zglądach metalograficznych wykonano również ilościową analizę strukturalną. Obejmowała ona wyznaczenie odległości między osiami głównymi dendrytów fazy α (parametr λ) na głębokości przetopienia. Metodę pomiaru podano w pracy [8].

3. Wyniki badań

Wyniki obliczeń oraz pomiarów kalorymetrycznych ilości ciepła wydzielonego w łuku elektrycznym, jarzącym się w atmosferze argonu lub helu oraz sprawności cieplnej procesu GTAW a także wyniki pomiarów geometrii przetopienia podaje tablica 1.

Tablica 1. Wyniki badań sprawności cieplnej procesu GTAW oraz pomiarów geometrii przetopień uzyskanych w efekcie nadtopiania odlewów ze stopu AK 7.

Table 1. The results of research on the thermal efficiency of GTAW process and the measurements of fusion geometry obtained in surface fusion of AK7 alloy casting.

Parametry procesu		Atmosfera ochronna	Pomiary cieplne			Geometria przetopień		
I, A	v, mm/min		$Q_{teor.}$, J	$Q_{dośw.}$, J	η , %	a, mm	h, mm	F, mm ²
200	200	Ar	110000	62994	57	5,12	0,82	3,00
		He	190000	120738	64	9,92	3,32	18,76

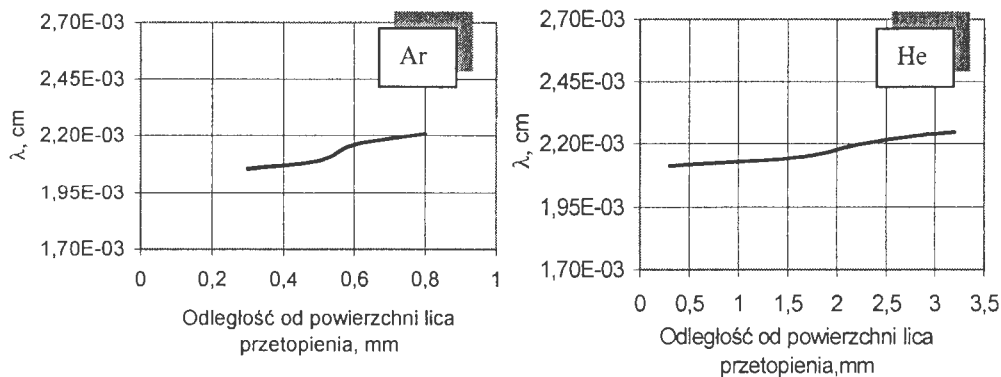
Wyniki pomiaru odległości między osiami głównymi dendrytów fazy α (parametru geometrycznego λ) na głębokości przetopienia przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki pomiaru parametru geometrycznego λ .

Table 2. The results of measurements of λ geometric parameter.

Atmosfera Ochronna	Odległość od powierzchni h, mm	λ , cm
Argon	0,3	2,05E-03
	0,5	2,09E-03
	0,6	2,16E-03
	0,8	2,21E-03
Hel	0,3	2,11E-03
	1,6	2,15E-03
	2,2	2,19E-03
	2,8	2,23E-03
	3,2	2,25E-03

Wykresne przedstawienie powyższych wyników obrazuje rysunek 2.



Rys. 2. Wpływ argonu i helu oraz odległości od powierzchni lica przetopienia na wartość odległości między osiami głównymi dendrytów fazy α (parametr λ).

Fig. 2. The effect of argon and helium and the fusion face surface distance on the value of the distances between main axes of dendrites of the α phase (the λ parameter).

4. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań sprawności cieplnej procesu GTAW podczas nadtapiania odlewów ze stopu AK 7 stwierdzono, że:

- stosowanie atmosfery helu pozwala na przekazanie do jego powierzchni większej ilości ciepła niż przy zastosowaniu atmosfery argonu,
- sprawność cieplna procesu GTAW przy stosowaniu atmosfery helu ($\eta = 64\%$) jest wyższa niż sprawność cieplna procesu przy stosowaniu atmosfery argonu ($\eta = 57\%$).

Okazuje się, że przy stosowaniu tej samej wartości natężenia prądu podczas procesu nadtapiania odlewu ze stopu AK 7 atmosfera ochronna wywiera istotny wpływ na wartość napięcia łuku elektrycznego. Napięcie łuku jarzącego się w atmosferze argonu wynosiło 11V, a napięcie łuku jarzącego się w atmosferze helu wynosiło 19V. Hel w porównaniu do argonu wykazuje wyższe przewodnictwo cieplne, co wywiera istotny wpływ na utworzenie większego strumienia cieplnego plazmy łuku elektrycznego. Efektem tego jest większa ilość ciepła przekazana do nadtapianego odlewu.

Efektom różnych wartości strumieni cieplnych jest różna geometria przetopień. Uzyskane wyniki badań geometrii przetopień pozwalają stwierdzić, że:

- stosowanie atmosfery helu w procesie GTAW skutkuje znacznie większą głębokością, szerokością i polem powierzchni przetopienia.

Wytłumaczyć to można większą ilością ciepła przekazywaną przez łuk jarzący w atmosferze helu w porównaniu do łuku jarzącego się przy takim samym prądzie spawania, ale w atmosferze argonu.

Wyniki badań odległości między osiami głównymi dendrytów fazy α (parametr λ) pozwoliły stwierdzić, że:

- parametr λ przetopień wykonanych w atmosferze argonu wykazuje wartości niższe w porównaniu do przetopień wykonanych w atmosferze helu,
- parametr λ tuż pod powierzchnią wykazuje najniższą wartość i rośnie w miarę przemieszczania się w głąb przetopienia.

Pierwsze stwierdzenie wytłumaczyć można tym, że przetopienia uzyskane w atmosferze helu wykazują większą objętość w porównaniu do przetopień uzyskanych w atmosferze argonu i dlatego różne będą ich szybkości krystalizacji. Ze wzrostem szybkości krystalizacji wartość parametru λ maleje. Znajduje to potwierdzenie w wynikach pracy.

Uzyskane wyniki sugerują, że parametr λ zależy od szybkości krzepnięcia.

Literatura

1. Christensen N., Davies V., Giermundsen K.: Distribution of temperatures in arc welding. *British Welding Journal* 12 (12), 1965, p. 54–75.
2. Niels R., Jackson C.E.: Weld thermal efficiency of the GTAW process. *Welding Journal* 54 (1), 1975, p. 26–32.
3. Eager T.W., Tsai N.S.: Temperature fields produced by traveling distributed heat sources. *Welding Journal* 62 (12), 1983, p. 346–355.
4. Giedt W.H., Tallerico L.N., Fuerschbach P.W.: GTA welding efficiency: calorimetric and temperature field measurements. *Welding Research Supplement*. *Welding Journal* January 1989, p. 28–32.
5. Havalda A.: Tepelna kinetika pri zvarani elektrickim oblukom. Slovenske Vydavatelstvo Technickej Literatiry, Bratislava 1960.
6. Krzyżanowski M.: Umocnienie powierzchniowe stopów żelaza przy wykorzystaniu nagrzewania plazmowego. *Rozprawy, monografie* 29. Wydawnictwo AGH, Kraków 1995.
7. Orłowicz W., Mróz M., Trytek A.: Wydajność cieplna w procesie GTAW. *Acta Metallurgica Slovaca*, nr 2/1999, s. 539–543.
8. Guzik E., Kopyciński D.: Analysis of growth of oriented irregular eutectic. *Archives of Metallurgy*, 1996, vol. 41, p. 203–214.

Recenzował: dr hab. inż. Andrzej Ambroziak