

JULIUSZ SIANOS
Katedra Spawalnictwa

WPLYW PARAMETRÓW SPAWANIA NA KSZTAŁT I WYMIARY JEZIORKA PRZY AUTOMATYCZNYM SPAWANIU ŁUKIEM KRYTYM

Streszczenie: W pracy opisano pomiary i obliczenia wymiarów jeziorka przy automatycznym spawaniu łukiem krytym.

Stwierdzono wyraźną zależność wymiarów jeziorka od parametrów spawania. Stwierdzono bardzo małą rozbieżność między wynikami pomiarów i obliczeń szerokości i długości jeziorka.

1. Wstęp

Rozpowszechnienie metody spawania łukiem krytym pociąga za sobą konieczność głębszej analizy procesów cieplnych, występujących podczas spawania tą metodą. Zagadnieniu temu poświęcił dużo uwagi N.N. Rykalin, podając swoje metody obliczeń w książce pt. "Raschioty tepłowych processow pri swarkie". W oparciu o podane tam wzory można teoretycznie obliczyć wymiary jeziorka spawalniczego, podać rozkład temperatur w danej chwili, maksymalną temperaturę, do jakiej nagrzaną zostanie metal oraz czas przebywania metalu w stanie ciekłym.

Wymiary i kształt jeziorka decydują często o możliwości wykonywania obwodowych, a nawet prostych spoin.

Pomiar wielkości ciekłego jeziorka, jak również określenie kształtu jego dna przy spawaniu łukiem krytym, jest utrudnione. Bezpośrednia obserwacja jeziorka podczas spawania utrudniona jest przez samą metodę spawania, ponieważ łuk spawalniczy oraz ciekłe jeziorko znajdują się pod warstwą topnika. Natomiast po wygaszeniu łuku roztopiony metal bardzo szybko stygnie wypełniając powstające podczas spawania krater.

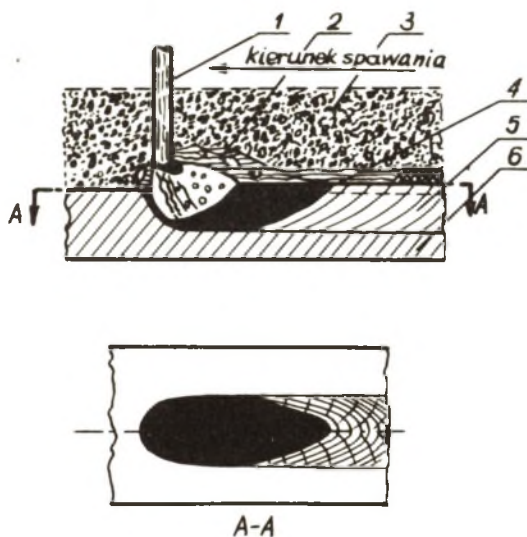
Dla określenia wymiarów ciekłego jeziorka, jak również określenia jego kształtu należałoby więc wygasić łuk elektryczny i w tym samym momencie usunąć jeszcze ciekły metal.

W celu określenia wymiarów ciekłego jeziorka oraz kształtu jego dna przy spawaniu łukiem krytym w pracy niniejszej zastosowano metodę nagłego wywrócenia spawanej próbki, doprowadzając w ten sposób do wylania się ciekłego metalu.

2. Kształtowanie się spoiny przy spawaniu łukiem krytym

Zaraz po zajarzeniu łuku powstaje ciekłe jeziorko. Równocześnie pary o pewnym ciśnieniu, powstałe ze stopionego metalu i topnika, tworzą wokół łuku i jeziorka zamkniętą przestrzeń. Ścianki tej przestrzeni utworzone są z roztopionego topnika. Spawanie odbywa się więc w zamkniętej, odizolowanej od powietrza przestrzeni.

Kształt jeziorka podczas spawania łukiem krytym przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Profil jeziorka przy spawaniu łukiem krytym

1 - drut elektrodowy, 2 - ciekły żużel, 3 - topnik, 4 - ciekły metal, 5 - spoina, 6 - materiał rodzimy

Łuk elektryczny działając na kapiel metalową z pewną siłą powoduje odsuwanie ciekłego metalu w kierunku przeciwnym do kierunku spawania. Proces ten jest uzupełniany dużym ciśnieniem gazów. Zjawiskom tym zawdzięcza się głębokie wtopienie.

Kształt ciekłego jeziorka na powierzchni jest wydłużony, a teoretyczny zarys jeziorka ciekłego metalu odpowiada chwilowej powierzchni izotermicznej dla temperatury topnienia.

W praktyce zarys jeziorka nie odpowiada teoretycznemu zarysowi, ponieważ równania rozchodzenia się ciepła nie uwzględniają wszystkich czynników wpływających na kształtowanie jeziorka. Wystarczy tu wymienić kilka z nich:

- parametry spawania nie są stabilne;
- płaszczyzny ograniczające nie są adiabatyczne;
- zachodzące podczas spawania reakcje chemiczne są egzotermiczne lub endotermiczne.

Pomimo tych uproszczeń wymiary jeziorka obliczone teoretycznie różnią się nieznacznie od pomierzonych. Ciekłe jezioro spawalnicze określa się jego długością (L), szerokością (b), głębokością (h) oraz kształtem dna i zarysem brzegów.

Wymiar b jest równoznaczny z szerokością prawidłowo wykonanej spoiny, a wymiar h określony jest głębokością wtopienia.

Wymiary te można określić na zglądach makro, wykonanych w kierunku poprzecznym do osi spoiny.

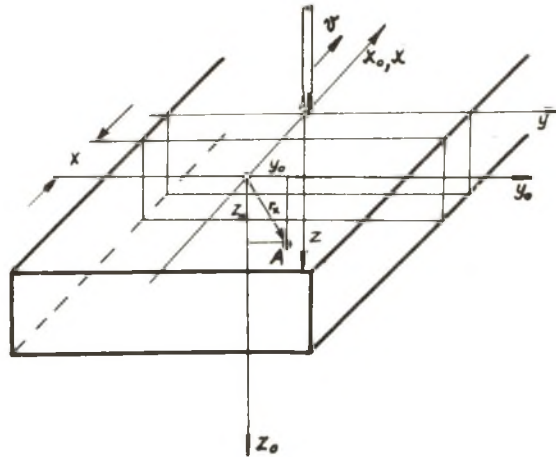
3. Źródło ciepła o dużej mocy i dużej prędkości

Przy dużej mocy źródła ciepła i dużej prędkości jego przesuwania się można przyjąć, że ciepło rozprzestrzenia się tylko w kierunkach prostopadłych do wektora prędkości spawania.

Rysunek 2 przedstawia przyjęty układ współrzędnych stały (x_0, y_0, z_0) i poruszający się wraz ze źródłem ciepła (x, y, z) dla przypadku nagrzewania ciała masywnego skupionym i szybko przesuwającym się źródłem ciepła.

W tym przypadku temperaturę $T(y_0, z_0, t)$ w dowolnym punkcie $A(y_0, z_0)$ można wyliczyć ze wzoru [1]:

$$T(y_0, z_0, t) = \frac{q}{2\pi\lambda v t} \exp\left(-\frac{y_0^2 + z_0^2}{4at}\right), \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat rozchodzenia się ciepła w grubej blasze. Stały i ruchomy układ współrzędnych

gdzie:

$$y_0^2 + z_0^2 = r_x^2,$$

$q \left[\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right]$ - efektywna moc cieplna źródła ciepła,

$\lambda \left[\frac{\text{cal}}{\text{cm s deg}} \right]$ - współczynnik przewodzenia cieplnego,

$v \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$ - szybkość poruszania się źródła ciepła,

$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \right]$ - współczynnik przewodzenia temperatury,

$c \left[\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot \text{deg}} \right]$ - ciepło właściwe,

$\gamma \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$ - gęstość spawanego materiału.

Dla tego przypadku można również podać maksymalną temperaturę $T_m(r_x)$, jaka zostanie osiągnięta w danym punkcie $A(y_0, z_0)$ odległym od osi x o r_x , mianowicie:

$$T_m(r_x) = \frac{2 q}{\pi e v c \gamma r_x^2}, \quad (2)$$

gdzie:

e - podstawa logarytmu naturalnego.

Temperaturę tę osiągnie ten punkt po upływie czasu t_m , kiedy źródło ciepła i punkt A były w tej samej płaszczyźnie prostopadłej do osi x. Wyraża to wzór:

$$t_m = \frac{r^2}{4a} \quad (3)$$

Długość, szerokość i głębokość jeziorka można obliczyć ze wzorów Rykalina (1) i (2) przez ich odpowiednie przekształcenie.

Parametry te są praktycznie trudne do wyznaczenia. Ciekły metal jeziorka krzepnie bardzo szybko, nie pozwalając na bezpośrednie pomiary. Długość ciekłego jeziorka oraz zarys brzegów można jeszcze określić na końcu ściegu po spawaniu. Odwzorowanie kształtu dna ciekłego jeziorka jest możliwe tylko przez usunięcie ciekłego metalu w bardzo krótkim czasie po wygaszeniu łuku.

Podstawiając we wzorze (1) $r = 0$ oraz $T(y_0, z_0, t) = T_{top}$, tzn. równą temperaturze topnienia metalu oraz zakładając $v = const$ można wyprowadzić wzór na długość ciekłego jeziorka. Otrzymamy wówczas:

$$L = \frac{q}{2\pi \lambda T_{top}} = \frac{0,24 \eta U I}{2\pi \lambda T_{top}} \quad (4)$$

gdzie:

- η - efektywny współczynnik sprawności źródła ciepła (łuku elektrycznego),
- $U[V]$ - napięcie łuku elektrycznego,
- $I[A]$ - natężenie prądu spawania.

Oznaczając stałe wielkości powyższego wzoru współczynnikiem proporcjonalności przez p_2 , długość ciekłego jeziorka można wyrazić uproszczonym wzorem:

$$L = p_2 U I. \quad (5)$$

Współczynnik proporcjonalności p_2 dla spawania łukiem krytym, według Rykalina, waha się w granicach:

$$2,8 \div 3,6 \left[\frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{VA}}} \right] \cdot 10^{-3}$$

Wynika stąd wniosek, że geometryczne wymiary ciekłego jeziorka uzależnione są od parametrów spawania.

Maksymalny czas przebywania metalu jeziorka w stanie ciekłym można wyliczyć z zależności:

$$t_{\max} = \frac{q}{2\pi \lambda v T_{\text{top}}}, \quad (6)$$

lub

$$t_{\max} = \frac{l}{v}. \quad (7)$$

Wynika stąd, że im dłuższe jeziorko i mniejsza prędkość spawania, to czas przebywania metalu w stanie ciekłym jest dłuższy

4. Badania własne

Próby ustalenia geometrycznych wymiarów ciekłego jeziorka przy spawaniu łukiem krytym przeprowadzono poprzez napawanie ściegów na płytach próbnych w pozycji podolnej. Przez nagłe przewrócenie płyty próbnej o kąt 180° doprowadzono do wylania się ciekłego metalu z jeziorka.

Przed każdorazowym ułożeniem następnego ściegu płyta była studzona do temperatury otoczenia.

Każdą próbę napawania powtarzano trzykrotnie dla upewnienia się co do prawidłowości wyniku.

Do napawania stosowano prąd stały otrzymywany z jednej lub dwóch spawarek wirujących.

Po wykonaniu prób napawania i dokładnym oczyszczeniu próbek mierzono suwmiarką wymiary powstałego krateru. Pomiarów te sprawdzono następnie za pomocą badań makroskopowych, wykonanych na przekrojach podłużnych i poprzecznych krateru.

Próba zważenia metalu wylanego z ciekłego jeziorka nie powiodła się. Ciekły metal wylewając się z krateru mieszał się bowiem z roztopionym żużlem i topnikiem, zastygając następnie w formie bezkształtnej porowatej masy. Metalu zastygłego w licznych otworach żużla oraz wtopionego topnika nie można było usunąć. Zważenie w ten sposób skrzepłej masy nie wykazywałoby rzeczywistego ciężaru stopionego metalu.

Ze względu na niepowodzenie prób zważenia ciekłego metalu przeprowadzono pomiary pojemności krateru.

Wykonane zdjęcia całego krateru oraz zdjęcia makroskopowe pozwoliły określić i utrwalić zarys brzegów i kształt dna ciekłego jeziorka przy spawaniu łukiem krytym przy różnych parametrach.

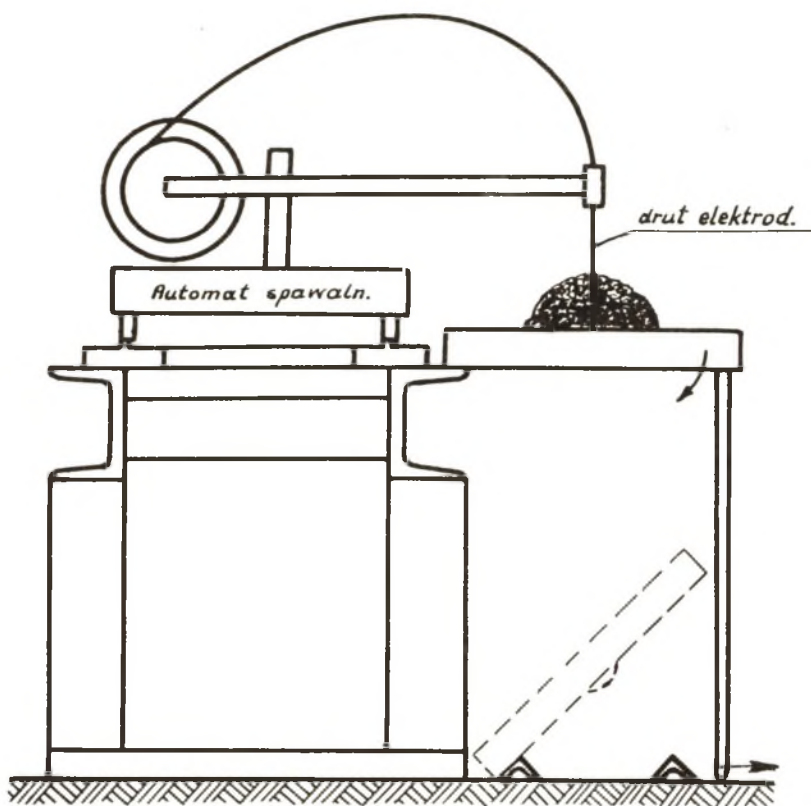
5. Urządzenie do spawania. Oprzyrządowanie. Metody badań

Do przeprowadzenia prób spawalniczych, zmierzających do określenia wymiarów jeziorka przy spawaniu łukiem krytym, użyto automatu spawalniczego typu As7d-1200.

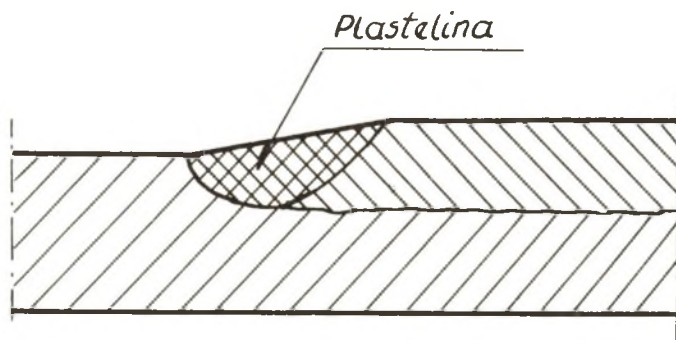
Podczas wykonywania prób wózek automatu spawalniczego poruszał się po szynach, ułożonych na konstrukcji stalowej (rys. 3).

Po wykonaniu odpowiednio długiej napojiny odpychano pręt podtrzymujący płytę próbną i równocześnie wyłączano automat spawalniczy. Opadająca płyta odwracała się o 180° i spadała na ułożone na podłożu kątowniki. Ciekły metal pod wpływem siły ciężkości oraz uderzenia płyty o kątowniki, wylewał się.

Pomiary pojemności krateru, powstałego po wylaniu się ciekłego jeziorka, przeprowadzono za pomocą wypełnienia krateru plasteliną (rys. 4). Plastelinę tę wyjmowano następnie z krateru i wkładano do menzurki z zabarwioną na czerwono wodą. Różnica odczytów przed i po włożeniu plasteliny pozwoliła na określenie pojemności krateru w mililitrach (cm^3). Odczyty wykonywano stycznie do najniższego punktu menisku.



Rys. 3. Schemat wykonywania prób



Rys. 4. Pomiar pojemności krateru

6. Materiały użyte do prób

Próby napawania przeprowadzono na płytach próbnych o wymiarach 400 x 200 x 20 mm, wykonanych ze stali St3S, przy użyciu drutów spawalniczych SP1A o średnicach 3,15, 4 i 5 mm oraz topnika TMnIIa.

Tak zestawione materiały spawalnicze - drut i topnik - są stosowane do spawania stali niskowęglowych. W celu określenia wpływu topnika zastosowano dla pewnej partii próbek topnik TnTi. Skład chemiczny tego topnika, o uniwersalnych właściwościach technologicznych, zbliżony jest do topników bezmanganowych. Topnika tego nie zaleca się wprawdzie stosować z drutem SP1A lecz zastosowano go jedynie w celu określenia wpływu topnika na wymiary geometryczne jeziorka spawalniczego, zachowując pozostałe parametry spawania.

7. Plan badań i wyniki prób

Ustalając parametry spawania podczas wykonywania prób skorzystano częściowo z ogólnie zalecanych parametrów, stosowanych podczas napawania łukiem krytym.

Parametry napawania podczas prób

Natężenie prądu [A]	400	500	600
Napięcie łuku [V]	35	40	45
Szybkość spawania (cm/min)	20	35	50

Próby wykonano dla każdej kombinacji parametrów podanych w tabeli, oznaczając próbki numerami 1 + 27.

Próbki oznaczone numerami 28+32 zostały wykonane dla rozszerzonych danych, potrzebnych dla sporządzenia wykresów.

Tablica 1

Pomierzone i obliczone wymiary geometryczne krateru po wylaniu ciekłego jezioraka przy różnych parametrach napawania łukiem krytym na płytę o grubości 20 mm

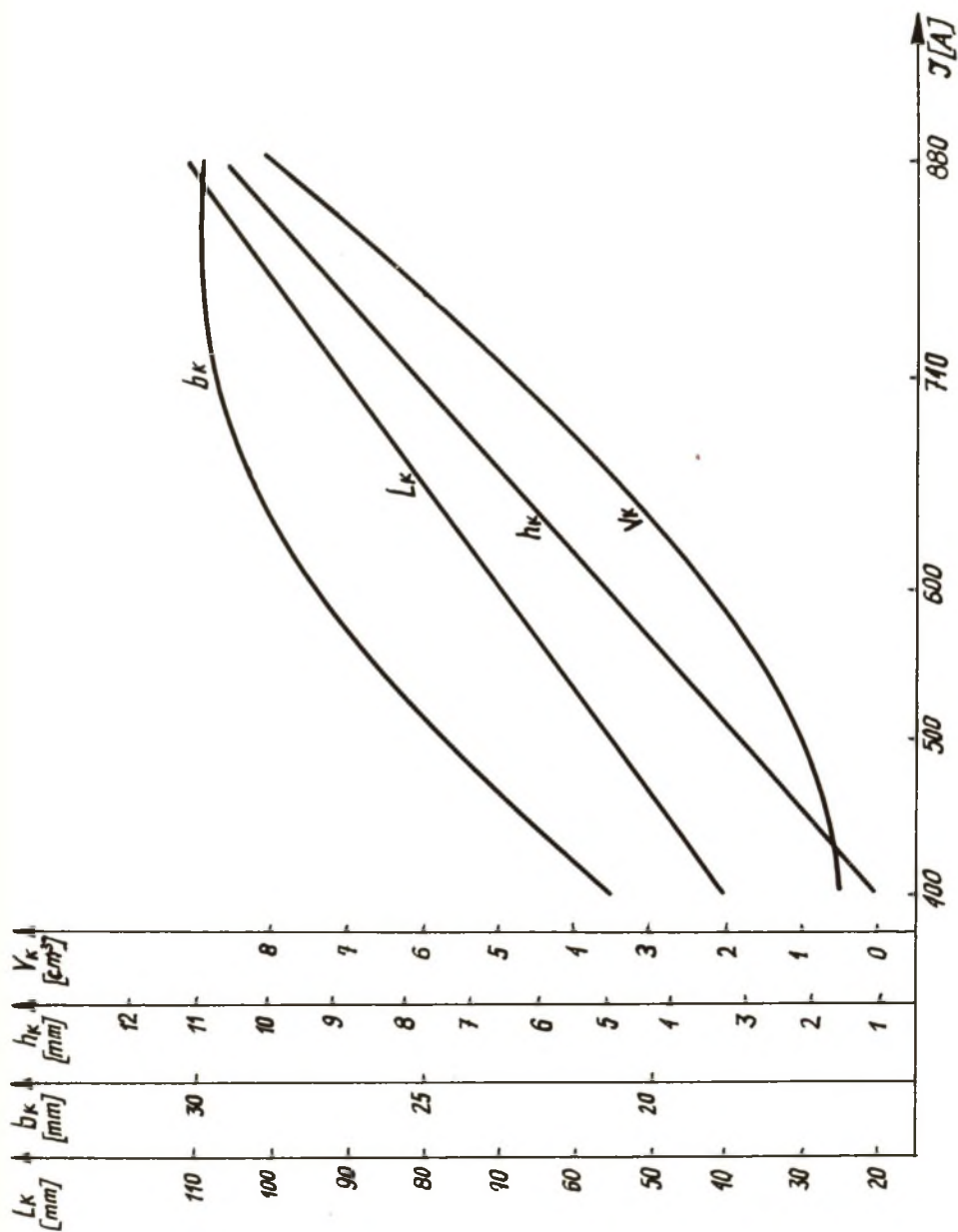
Lp.	Śred- nica elek- trody mm	Topnik	Nate- żenie prądu [A]	Napie- cie na łuku [V]	Szyb- kość spa- wania [cm/ min]	Wymiary krateru [mm]						Po- mie- rzona poj. krate- ru [cm ³]
						długość		szerokość		kłębokość		
						rze- czy włsta	z obli- ożeń	rze- czy- włsta	z obli- ożeń	rze- czy włsta	z obli- ożeń	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	4	TmIIa	400	35	20	43,9	-	24,1	-	3,2	-	-
2	4	"	400	35	35	41,4	-	20,1	-	1,8	-	-
3	4	"	400	35	50	43,5	-	14,3	-	2,0	-	-
4	4	"	400	40	20	47,1	-	28,3	-	1,6	-	-
5	4	"	400	40	35	43,3	44,4	21,3	21,64	1,3	10,82	0,5
6	4	"	400	40	50	46,9	-	17,0	-	2,1	-	-
7	4	"	400	45	20	48,0	-	28,0	-	1,6	-	-
8	4	"	400	45	35	46,8	-	20,6	-	1,5	-	-
9	4	"	400	45	50	46,3	-	16,9	-	2,4	-	-
10	4	"	500	35	20	53,5	-	30,4	-	4,8	-	-
11	4	"	500	35	35	53,8	-	20,9	-	3,3	-	-

od. tablicy 1

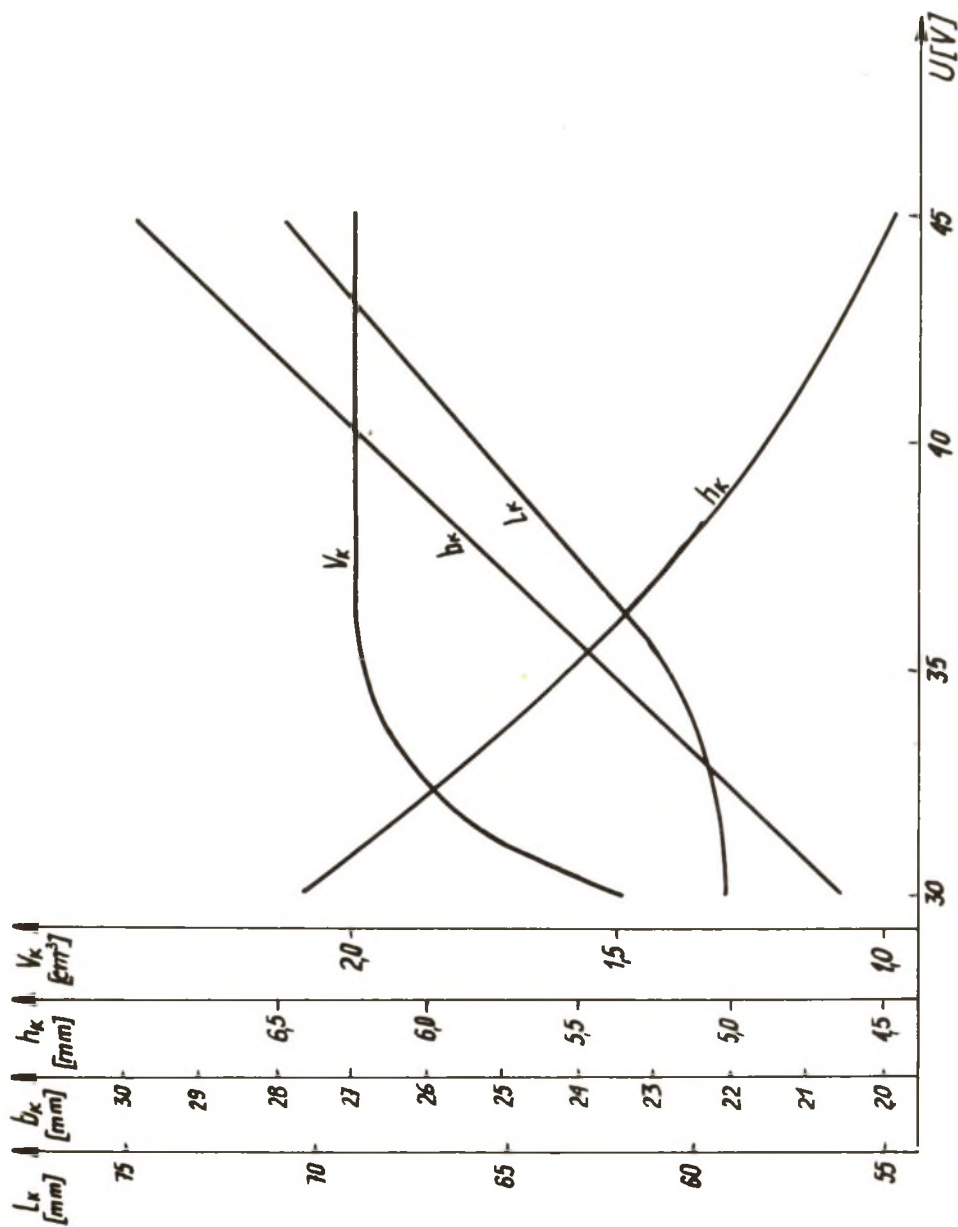
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	4	TMnIIa	500	35	50	51,6	-	19,2	-	2,8	-	-
13	4	"	500	40	20	56,6	-	30,2	-	3,5	-	-
14	4	"	500	40	35	52,7	55,5	23,7	24,2	2,2	12,1	1
15	4	"	500	40	50	53,1	-	20,7	-	2,6	-	-
16	4	"	500	45	20	62,1	-	37,6	-	3,2	-	-
17	4	"	500	45	35	60,8	-	26,4	-	2,9	-	-
18	4	"	500	45	50	55,9	-	21,2	-	3,8	-	-
19	4	"	600	35	20	65,1	58,4	29,4	32,8	7,7	16,4	4
20	4	"	600	35	35	61,1	58,4	23,1	24,76	5,3	12,38	2
21	4	"	600	35	50	63,7	58,4	30,5	20,70	4,8	10,35	2
22	4	"	600	40	20	78,6	-	34,1	-	7,7	-	-
23	4	"	600	40	35	66,2	66,5	27,0	26,44	4,7	13,22	2
24	4	"	600	40	50	66,0	-	25,0	-	4,4	-	-
25	4	"	600	45	20	75,0	-	40,9	-	6,7	-	-
26	4	"	600	45	35	70,9	75,1	29,6	28,08	4,7	14,04	2
27	4	"	600	45	50	72,4	-	24,0	-	3,8	-	-

od. tablioy 1

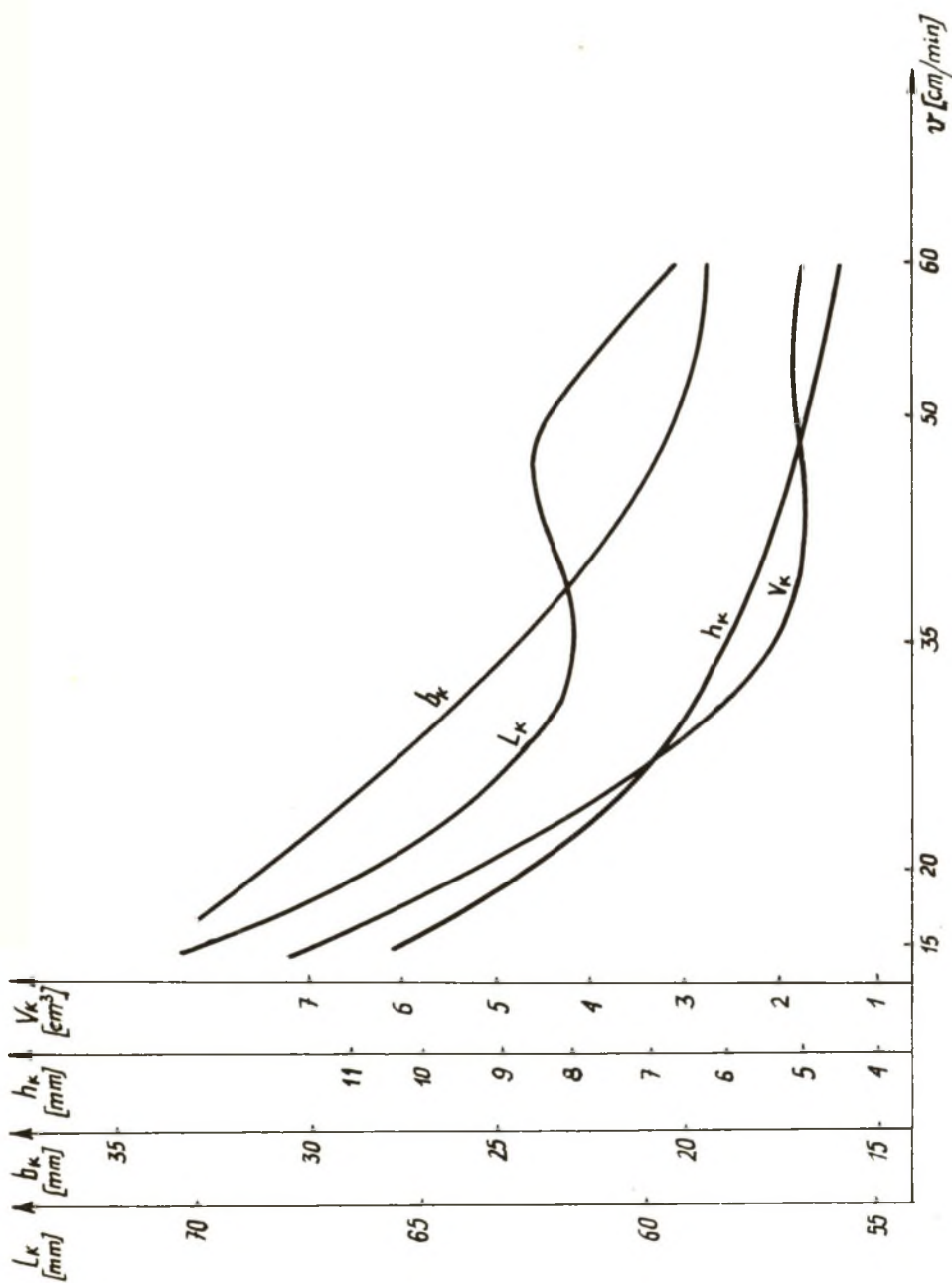
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
28	4	TnIIa	740	40	35	85,5	82,2	28,8	29,4	8,3	14,7	5
29	4	"	880	40	35	111,2	97,7	29,0	32,2	11,2	16,1	8
30	4	"	600	35	15	71,1	58,4	34,9	37,8	10,5	18,9	7
31	4	"	600	35	60	59,4	58,4	19,2	19,9	4,4	9,45	1,5
32	4	"	600	30	35	59,3	50,1	20,9	22,9	6,3	11,45	1,5
33	4	TnTi	490	40	35	55,7	-	23,5	-	4,6	-	-
34	4	"	620	40	35	69,7	-	25,3	-	6,8	-	3
35	4	"	720	40	35	78,1	-	27,2	-	8,6	-	-
36	4	"	800	40	35	89,9	-	27,5	-	10,0	-	-
37	4	"	880	40	35	105,6	-	27,4	-	11,4	-	7
38	3,15	TnIIa	600	40	35	67,7	-	24,5	-	7,4	-	3
39	3,15	"	740	40	35	91,0	-	25,8	-	10,2	-	6
40	5	"	600	40	35	66,1	-	26,8	-	3,3	-	1,5
41	5	"	740	40	35	81,8	-	29,7	-	6,7	-	4
42	4	TnTi	400	40	35	51,8	-	22,0	-	3,0	-	1,5



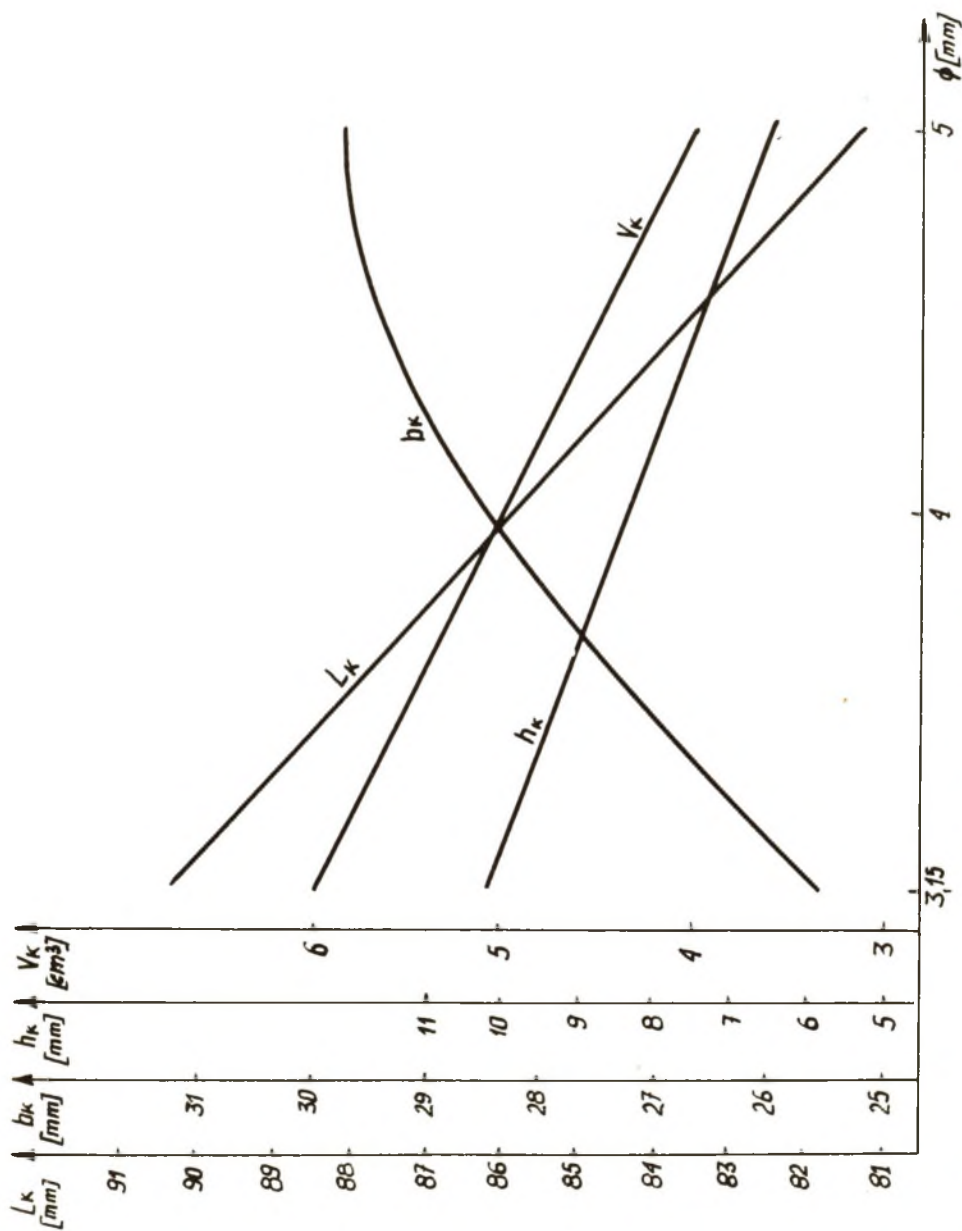
Rys. 5. Wykres zależności wymiarów krateru od natężenia prądu. Warunki spawania: $U = 40$ V, $v = 35$ cm/min, drut SP1A ϕ 4 mm, topnik TMnIIa



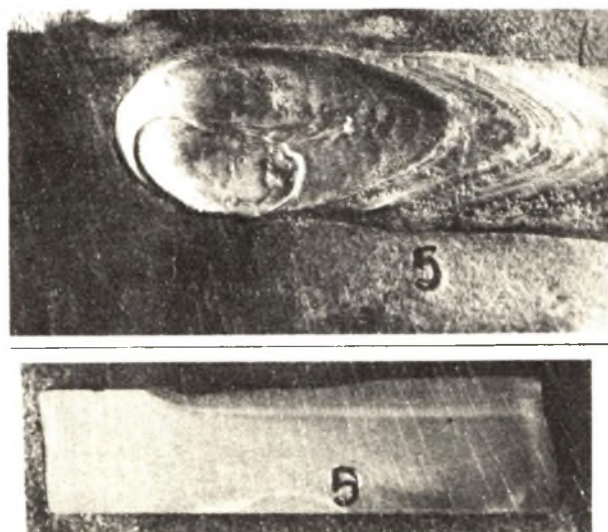
Rys. 6. Wykres zależności wymiarów kraterów krateru od napięcia łuku. Warunki spawania: I=600A, $v = 35$ cm/min, drut SP1A ϕ 4 mm topnik TMnIIa



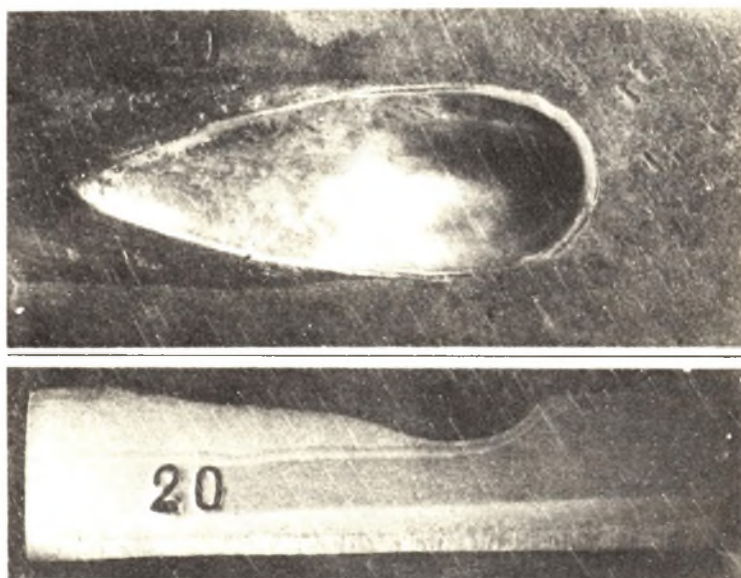
Rys. 7. Wykres zależności wymiarów krateru od prędkości spawania. Warunki spawania: $I = 600$ A, $U = 35$ V, drut SPMA ϕ 4 mm, topnik TMnIIa



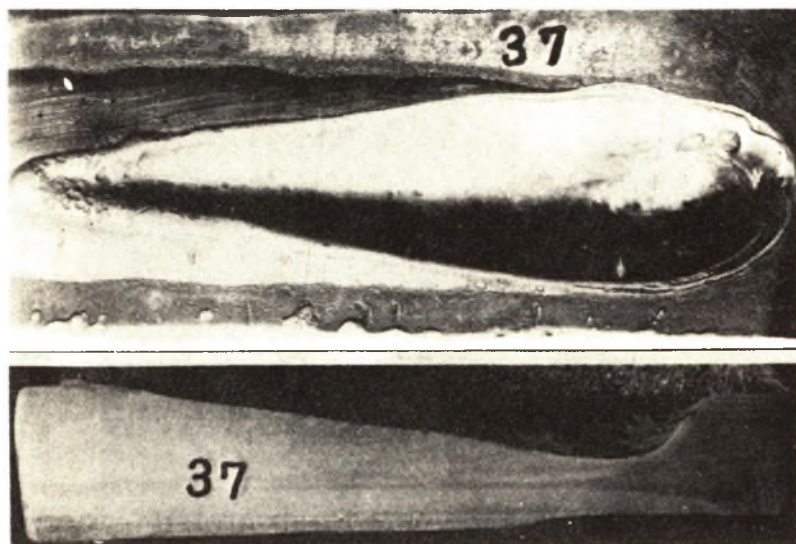
Rys. 8. Wykres zależności wymiarów krateru od średnicy drutu elektrodowego. Warunki spawania: $I = 740$ A, $U = 40$ V, $v = 35$ cm/min. topnik TMnIIa



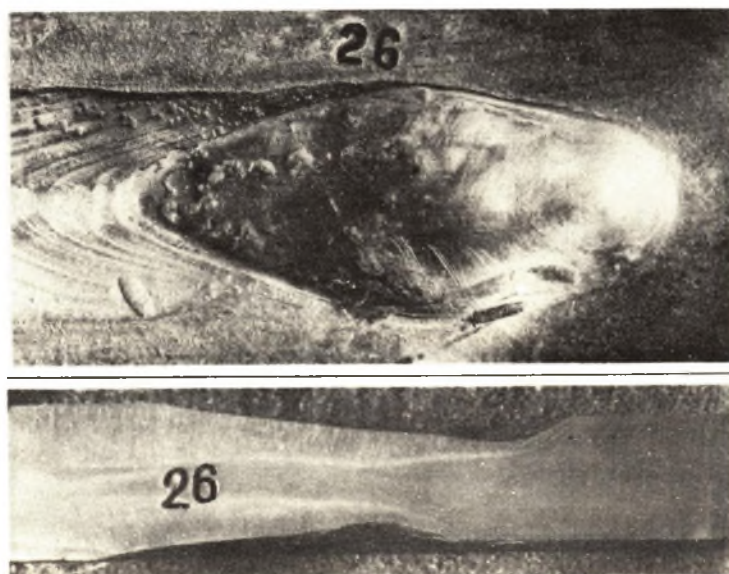
Rys. 9. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki Nr 5.
 Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 4 mm, topnik TMnIIa,
 $I = 400$ A, $U = 40$ V, $v = 35$ cm/min.



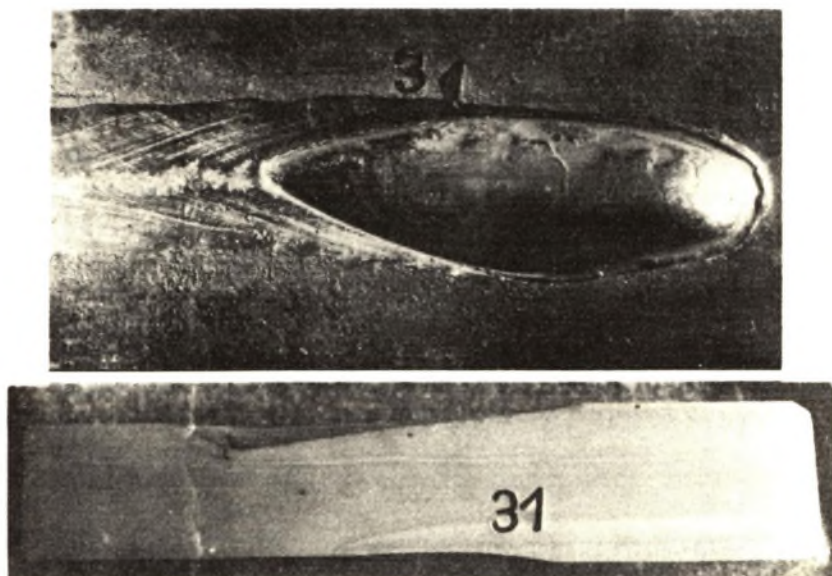
Rys. 10. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki nr 20.
 Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 4 mm, topnik TMnIIa,
 $I = 600$ A, $U = 35$ V, $v = 35$ cm/min.



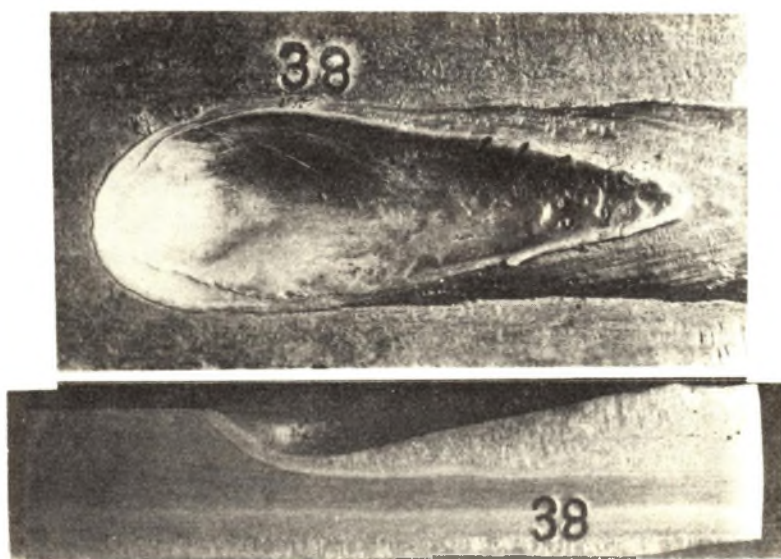
Rys. 11. Widok ogólny i przekrój krateru próbki 37. Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 4 mm, topnik TnTi, $I = 880$ A, $U = 40$ V, $v = 35$ cm/min.



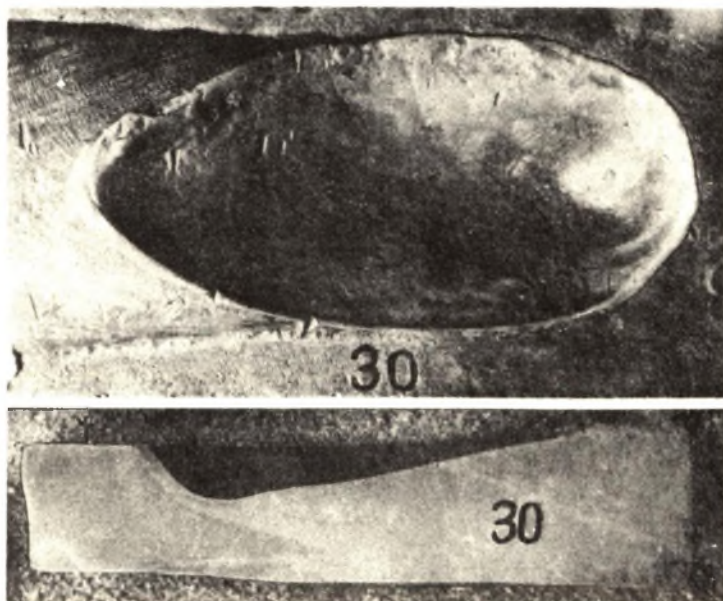
Rys. 12. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki nr 26. Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 4 mm, topnik TMnIIa, $I = 600$ A, $U = 45$ V, $v = 35$ cm/min.



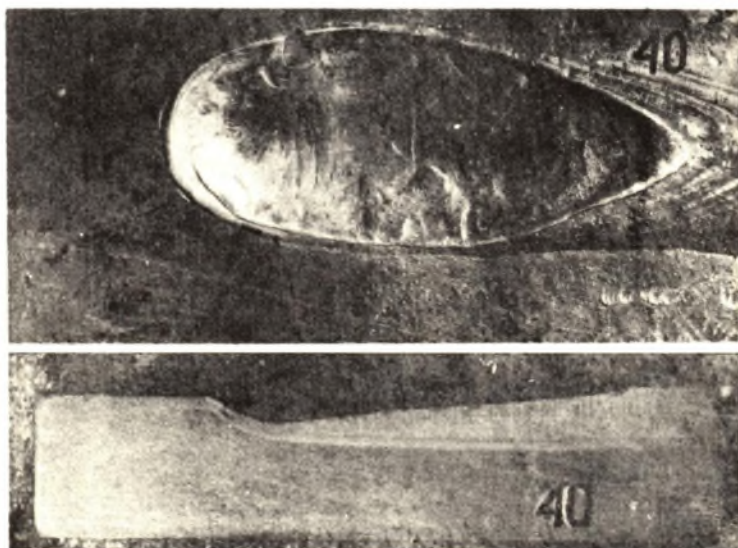
Rys. 13. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki nr 31.
Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A ϕ 4 mm, topnik TMnIIa,
I = 600 A, U = 35 V, v = 60 cm/min.



Rys. 14. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki nr 38.
Warunki spawania: blacha St3S, drut elektrodowy SP1A ϕ 3,15,
topnik TMnIIa, I = 600 A, U = 40 V, v = 35 cm/min.



Rys. 15. Widok ogólny i przekrój krateru próbki nr 30. Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 4 mm, topnik TMnIIa, I = 600 A, U = 35 V, v = 15 cm/min.



Rys. 16. Widok ogólny i przekrój podłużny krateru próbki nr 40. Warunki spawania: blacha St3S, drut SP1A \varnothing 5 mm, topnik TMnIIa, I = 600 A, U = 40 V, v = 35 cm/min.

Dla określenia wpływu topnika powtórzono niektóre próby, stosując dla tych samych parametrów topnik Tnfi. Próbki oznaczono numerami 33÷37 oraz 42.

W celu określenia wpływu średnicy drutu elektrodowego niektóre z parametrów prób, przy użyciu drutu \emptyset 4 mm i topnika TMnIIa, przyjęto jako stałe. Przy tak ustalonych parametrach przeprowadzono próby przy użyciu drutu elektrodowego \emptyset 3,15 mm i \emptyset 5 mm oraz topnika TMnIIa. Próbki oznaczono numerami 38÷41.

Przyjęty schemat obliczeń zakłada, że przekrój wtopionej części napojny jest połową koła. Dlatego też obliczeniowa głębokość wtopienia głębokość krateru, stanowiąca połowę szerokości krateru, wielokrotnie przewyższa głębokość pomierzoną dla wszystkich kraterów.

Obliczeniowe szerokości i długości jeziorek są bardzo bliskie wielkościom pomierzonym.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawione są w tablicy 1. Wpływ natężenia prądu spawania I , napięcia łuku U , szybkości spawania v , a także średnicy użytego drutu elektrodowego na wymiary jeziorka przedstawiono na wykresach (rys. 5÷8), gdzie b_k , L_k , h_k , V_k - oznaczają odpowiednio: szerokość, długość, głębokość i pojemność krateru.

Kształt kraterów przy różnych parametrach spawania ilustrują załączone zdjęcia (rys. 9÷16).

8. Obliczanie wymiarów ciekłego jeziorka

W celu obliczenia długości ciekłego jeziorka zastosowano wzór (1). Ponieważ $y_0 = 0$, $z_0 = 0$, $T(y_0, z_0, t) = T_{top}$, natomiast $v t = x$, co odpowiada długości jeziorka L , wówczas wzór (1), po przekształceniu przyjmuje postać (4).

Dla obliczenia głębokości i szerokości posłużono się wzorem (2), z którego wynika

$$r_x = \sqrt{\frac{0,368 \times 0,24 U x I}{\frac{\pi}{2} v x \rho x \gamma T_{top}}}$$

Ponieważ $r_x^2 = y_0^2 + z_0^2$, to w przypadku określania głębokości $y_0 = 0$, a w przypadku określania szerokości jeziorka $z_0 = 0$. Do obliczeń przyjęto następujące wartości:

$$c = 0,11 \frac{\text{cal}}{\text{g deg}}, \quad \lambda = 0,09 \frac{\text{cal}}{\text{cm s deg}},$$

$$\eta = 0,95, \quad \gamma = 7,85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}, \quad T_{\text{top}} = 1450^\circ\text{C}.$$

Obliczenie wymiarów jeziorka przeprowadzono dla niektórych spośród wykonanych próbek, a mianowicie dla próbek Nr 5, 14, 19, 20, 21, 23, 26, 28, 29, 30, 31, 32. Parametry, przy których powyższe próbki zostały wykonane, jak też wyniki obliczeń podano w tablicy 1.

9. Wnioski

1. Dokładne określenie wymiarów ciekłego jeziorka, jak również zarysu brzegów i kształtu jego dna przy spawaniu łukiem krytym, jest trudne. Powodem tego jest duża szybkość przebiegu procesu spawania. Przy pomocy zwykłych badań makroskopowych można określić tylko głębokość jeziorka.
2. Pomiarów wymiarów jeziorka obarżone są błędem "przyklejonej" warstwy. Krzepnąca na powierzchni dna ciekłego jeziorka warstwa metalu układa się prawie równomiernie, dzięki czemu można wnioskować o kształcie dna i linii brzegowej ciekłego jeziorka.
3. Ciekłe jeziorko przy spawaniu łukiem krytym ma opływowy kształt i jest wydłużone w kierunku przeciwnym do kierunku spawania. Kształt jeziorka przyrównać można do kształtu spadającej kropli cieczy. Zarys brzegów jeziorka odpowiada chwilowemu położeniu izotermy dla temperatury topnienia.
4. Wymiary i kształt ciekłego jeziorka uzależnione są od parametrów spawania.

5. Wzrost natężenia prądu spawania wpływa bardzo wyraźnie na zwiększenie długości, głębokości oraz pojemności ciekłego jeziorka. Szerokość jeziorka wzrasta przy tym nieznacznie i zdąża do stałej wartości przy większych prądach.
6. Pod wpływem wzrostu napięcia łuku wzrasta długość i szerokość ciekłego jeziorka, natomiast jego głębokość ulega zmniejszeniu. Nie stwierdzono większego wpływu zmiany napięcia łuku na pojemność jeziorka.
7. Wzrost prędkości spawania powoduje wyraźne zmniejszenie się szerokości ciekłego jeziorka oraz spadek jego pojemności. Również zmniejsza się długość i głębokość jeziorka. Dla tych ostatnich wymiarów daje się jednak zaobserwować nieznaczne tendencje ich wzrostu lub stabilizacji, zwłaszcza w warunkach spawania z prędkością ok. 50 cm/min. Zjawisko to można niewątpliwie traktować jako wynik działania podmuchu łuku.
8. Zmniejszenie gęstości prądu poprzez zwiększenie średnicy drutu elektrodowego wpływa na wymiary geometryczne jeziorka odwrotnie niż wzrost natężenia prądu przy stałej średnicy drutu. Zmniejsza się długość, głębokość i pojemność jeziorka, szerokość jego nieznacznie wzrasta.
9. Nie ujawniono istotnego wpływu przebadanych topników na wymiary geometryczne jeziorka.
10. Teoretyczne obliczenie długości i szerokości ciekłego jeziorka daje zadowalające wyniki przy stosowaniu podanych przez Rykalina wzorów obliczeniowych dla przypadku działania źródła ciepła o dużej mocy i dużej prędkości. Obliczeniowa głębokość ciekłego jeziorka jest znacznie większa niż rzeczywista (tzn. pomierzona). Obliczeniowa długość ciekłego jeziorka nie zależy od szybkości spawania, co wynika ze wzoru (4). Pomiar wykazały natomiast zależność długości ciekłego jeziorka od prędkości spawania. Teoretyczne wyniki obliczeniowe wykazały wzrost głębokości ciekłego jeziorka ze wzrostem napięcia łuku. Pomiar prak-

tyczne natomiast wskazują na zmniejszanie się głębokości ciekłego jeziora przy wzroście napięcia łuku (patrz tablica 1). Przyczyną tej rozbieżności jest prawdopodobnie przyjęcie uproszczonego schematu obliczeń opartego na założeniach odbiegających od rzeczywistości.

LITERATURA

- [1] Rykalin N.N.: Raschioty tieplowych processow pri swarke - Moskwa 1951 r.
- [2] Węgrzyn J., Korkiewicz R.: Automatyczne spawanie i napawanie pod topnikiem - Warszawa 1967 r.
- [3] Lanoaster J.F.: Metalurgia procesów spawalniczych - Warszawa 1967 r.
- [4] Praca zbiorowa: Poradnik spawalnicy - WN-T - Warszawa - 1967 r.
- [5] Lipa W.: Praca dyplomowa - Gliwice 1968 r.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ НА ФОРМУ И РАЗМЕРЫ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

Р е з ю м е

В работе были проведены измерения и расчёты размеров сварочной ванны при автоматической сварке под флюсом.

Была установлена заметная зависимость размеров ванны от режимов сварки. Установлено очень небольшое расхождение результатов измерений и расчётов ширины и длины сварочной ванны.

THE INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS ON SHAPE AND SIZE
OF WELDING POOL AT SUBMERGED ARC WELDING

S u m m a r y

The measuring and counting of the sizes of the submerged welding pool. The distinct correlation between the sizes of the welding pool and welding parameters were established. The measuring and counting data for length and width of submerged welding pool are similar.