ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: MECHANIKA z. 56 Nr kol. 437

Jerzy DZIUBIŃSKI, Piotr ADAMIEC,
Piotr MAKOSZ, Marceli MAZUR

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa

WPŁYW ENERGII LINIOWEJ ŁUKU NA SKŁONNOŚĆ DO PĘKANIA SPOIN WYKONANYCH ŁUKIEM KRYTYM NA STALI KONSTRUKCYJNEJ Mn-V-N

Streszczenie. Przeprowadzono badania skłonności do pękania spoin wykonanych łukiem krytym na blachach ze stali konstrukcyjnej Mn-V-N o grubości 9 i 25 mm. Stwierdzono, że skłonność spoin do pękania zależy od energii liniowej łuku oraz od prędkości spawania. Przy stałej energii liinowej mniejszą skłonność do pękania wykazują spoiny wykonane mniejszymi prędkościami spawania. Stwierdzono także, że wstępne podgrzanie blach przed spawaniem wyraźnie zmniejsza skłonność spoin do pękania.

1. Wstęp

Możliwość zastosowania przemysłowego stali konstrukcyjnych o podwyższonej wytrzymałości wiąże się ściśle z ich spawalnością. Zagadnienie spawalności jest bardzo złożone i jest funkcją szeregu wzajemnie powiązanych czynników. Jako podstawowe kryterium oceny spawalności, przyjmuje się skłonność złącz spawanych do występowania pęknięć. Pęknięcia w zależności od zakresu temperatur ich powstawania dzielą się na gorące, zimne (zwłoczne) i kruche. O pęknięciach gorących decyduje czystość metalurgiczna stopiwa oraz szybkość narastania odkształceń w procesie krystalizacji [1].

Pęknięcia zwłoczne są efektem jednoczesnego oddziaływania naprężeń, wodoru i martenzytu [2] najczęściej w strefie wpływu ciepła, gdzie następuje zapoczątkowanie pęknięcia. Przy pęknięciach kruchych decydujące znaczenie posiada spiętrzenie naprężeń w obecności karbu, przy czym skłonność do ich występowania rośnie z obniżaniem temperatury oraz ze wzrostem wielkości ziarna i współczynnika zablokowania dyslokacji [3]. Analizując warunki powstawania pęknięć, można stwierdzić, że czynniki decydujące o pękaniu zależą od czystości metalurgicznej stopiwa i energii liniowej łuku spawalniczego, decydującej o kształcie i wielkości jeziorka ciekłego metalu, warunkach krystalizacji i odkształceniach metalu spoiny, szybkości chłodzenia spoiny i strefy wpływu ciepła oraz o składzie chemicznym stopiwa. Wielkość energii liniowej nabiera szczególnego znaczenia w przypadku spawania stali o podwyższonej wytrzymałości z mikrododatkami metodami wysokowydajnymi np. łukiem krytym lub w osłonie CO_2 [4].

Badania Eichhorna i Niederhoffa [5] przeprowadzone przy spawaniu stali St37-3 w osłonie CO_2 wykazały, że o własnościach połączeń spawanych nie decyduje wyłącznie wielkość energii liniowej łuku E = U . I/Vs, lecz również kombinacja parametrów spawania jak: napięcie łuku U, natężenie prądu I i prędkość spawania Vs, przy stałej wartości energii liniowej E.

Celem badań jest ustalenie wpływu energii liniowej łuku, szybkości spawania przy stałej wartości tej energii oraz temperatury wstępnego pogrzewania blach ze stali konstrukcyjnej Mn-V-N o grubości 9 i 25 mm na skłonność do pękania spoin wykonanych łukiem krytym. Dla oceny skłonności spoin do pękania zastosowano próbę Fisco [6].

2. Badania własne

Badania przeprowadzono na blachach ze stali konstrukcyjnej Mn-V-N o grubości 9 i 25 mm (tabl. 1). Do spawania łukiem krytym stosowano drut SP4 o średnicy 3 i 4 mm, zawierający 0,015 - 0,22% C; 0,9 - 1,2% Mn; 0,7-1,1% Si oraz topnik neutralny TASt1. Spoiny układano przy pomocy automatu AS7d-1200, zasilanego z transformatora spawalniczego EATe-900 lub transformatora ETc-500. Pęknięcia wykrywano defektoskopem do badań magnetyczno proszkowych typu MEP-2. Wymiary próbek stosowanych do badań oraz schemat wykonywania spoin próbnych przedstawia rys. 1. Spoiny próbne 1-3 układano kolejno po sobie przy stałych parametrach kontrolowanych w procesie spawania.

Tablica 1

Skład chemiczny badanych stali

Grubość blachy mm	Skład chemiczny %											C_E *) %
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	V	Al	N_2	
9	0,16	1,60	0,40	0,016	0,021	0,02	0,03	0,05	0,18	0,04	0,0250	0,46
25	0,18	1,54	0,46	0,032	0,033	0,07	0,30	0,08	0,18	0,07	0,0131	0,48

*) $C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{V}{14}$ %

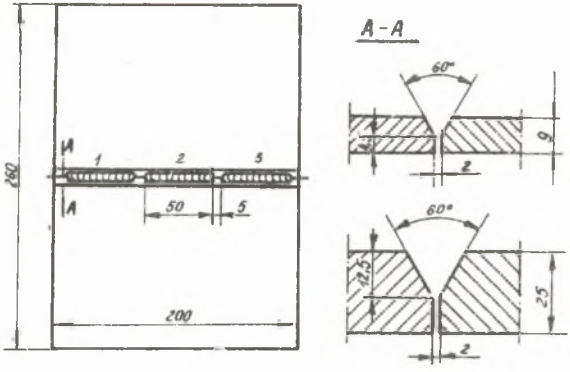
Skłonność do pękania oceniano na podstawie zależności:

$$fa = \frac{\text{suma długości pęknięć spoin próbnych}}{\text{suma długości spoin próbnych}} \cdot 100\%,$$

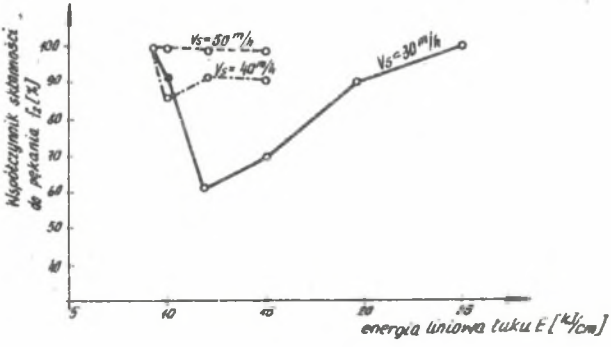
gdzie:

fa - współczynnik skłonności do pękania %,

a - wielkość odstępu między próbkami mm; w badaniach stosowano a=2 mm

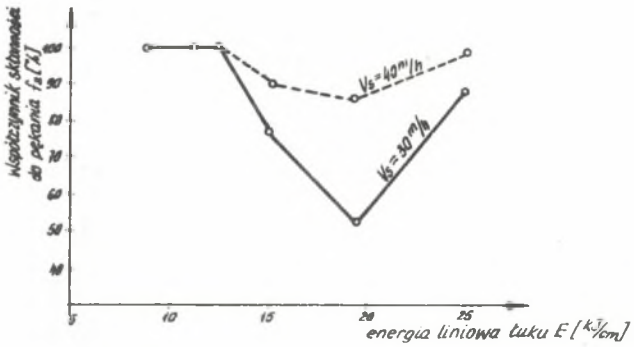


Rys. 1. Wymiary próbek stoscwanych do badań oraz schemat wykonywania spoin próbnych

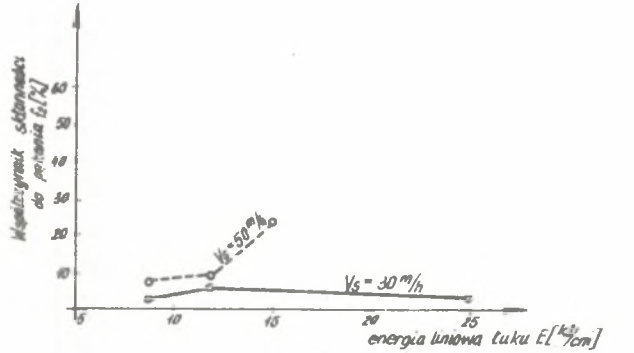


Rys. 2. Zależność współczynnika skłonności do pękania od energii liniowej łuku przy różnych prędkościach spawania; grubość blachy g = 9 mm

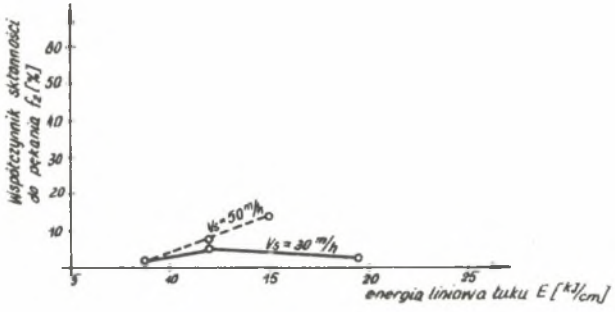
Próbki podgrzane przed spawaniem grzano w piecu do temperatury 200 - 250°C tak, aby po zamocowaniu ich w przyrządzie osiągnęły temperatury 150 i 250°C. W przypadku badania wpływu prędkości spawania na skłonność spoin do pękania, próbki spawano trzema stałymi prędkościami Vsp = 30, 40 i 50 m/h, zmieniając natężenie prądu i napęcie łuku tak, aby zachować stałą energię liniową łuku. Wyniki zmian współczynnika skłonności do pękania w zależności od energii liniowej łuku przy różnych prędkościach spawania przedstawiają rys. 2 i 3, natomiast wpływ energii liniowej łuku i szybkości spawania na skłonność do pękania spoin wykonanych na blachach podgrzanych wstępnie do 150°C i 200°C - rys. 4 i 5.



Rys. 3. Zależność współczynnika skłonności do pękania od energii liniowej łuku przy różnych prędkościach spawania; grubość blachy g = 25 mm



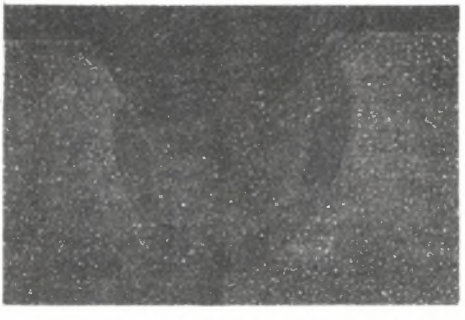
Rys. 4. Zależność współczynnika skłonności do pękania od energii liniowej łuku przy różnych prędkościach spawania blach g = 9 mm, podgrzewanych przed spawaniem do temperatury 150°C



Rys. 5. Zależność współczynnika skłonności do pękania od energii liniowej łuku przy różnych prędkościach spawania blach g = 9 mm, podgrzewanych przed spawaniem do temperatury 200°C

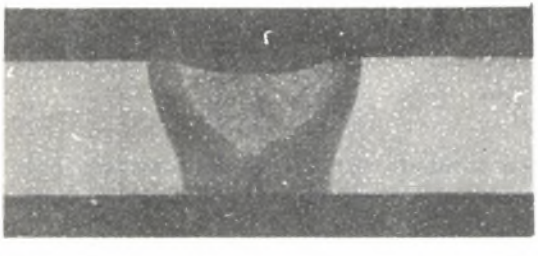
Charakterystyczne przebiegi pęknięć w spoinach widoczne są na rys.6 i 7

a) E = 24,6 kJ/cm

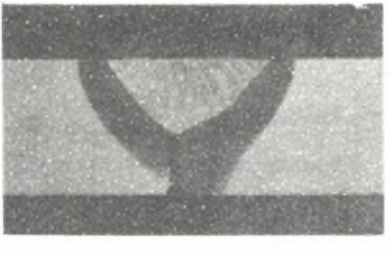


b) E = 9,0 kJ/cm

Rys. 6. Przebieg pęknięć makroskopowych w spoinach próbnych. Blacha g = 25 mm. Pow. 2x. Traw. odcz. Adlera



a) E = 15,0 kJ/cm



b) E = 12,0 kJ/cm

Rys. 7. Przekroje poprzeczne spoin bez pęknięć. Blacha g = 9 mm podgrzewana przed spawaniem do temp. 200°C. Pow. 2x. Traw.odcz. Adlera

3. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania wykazały zależność współczynnika skłonności spoin do pękania w procesie spawania od energii liniowej łuku oraz prędkości spawania, przy stałej energii liniowej. Stwierdzono, że istnieje zakres optymalnych energii liniowych łuku i zarówno wzrost, jak i zmniejszenie tej energii powoduje zwiększenie skłonności spoin do pękania. Optymalny zakres energii, wyznaczony dla stali 18G2VA w oparciu o próbę Fisco wa ha się, w przypadku spawania bez podgrzewania wstępnego, w granicach 10 - 1! kJ/cm dla blach o grubości 9 mm i 18 - 22 kJ/cm dla blach o grubości 25 mm (rys. 2 i 3). Przy małych energiach liniowych łuku pęknięcia zapoczątkowane są w strefie wpływu ciepła (rys. 6a) i mają charakter pęknięć zwłocznych, natomiast przy energiach dużych występują głównie pęknięcia gorące w strefie transkrystalizacji (rys. 6b). W pierwszym przypadku o charakterze pęknięć decyduje duża szybkość chłodzenia i możliwość powstania struktur o dużej kruchości. Natomiast pęknięcia gorące są efektem niewystarczającej czystości metalurgicznej i możliwej segregacji zanieczyszczeń w spoinie. Duży wpływ posiada prędkość spawania, której wzrost przy stałej energii liniowej łuku zwiększa skłonność spoin do pękania (rys. 2 i 3) Wzrost szybkości spawania z 30 do 50 m/h przy spawaniu blach o grubości 9 mm powoduje zwiększenie współczynnika fa z 50 do 100% dla wszystkich energii liniowych łuku (rys. 3). Jest to wynikiem niekorzystnych zmian kształtu jeziorka i warunków krystalizacji ze wzrostem szybkości spawania. Kształt powierzchni krystalizacji decyduje o kształcie i wielkości dendrytów oraz pośrednio o koncentracji wtrąceń niemetalicznych. Zwiększone stężenie wtrąceń w przestrzeniach międzydendrytycznych względnie w strefie transkrystalizacji prowadzi niewątpliwie do zwiększenia skłonności do pęknięć, głównie krystalizacyjnych. Zmniejszeniu skłonności spoin do pękania sprzyja wstępne podgrzanie blach przed spawaniem do temperatury 150°C i 200°C. W tym przypadku zaznacza się także wpływ energii liniowej łuku jak i szybkości spawania przy tej samej energii liniowej łuku. Podgrzewanie blach przed spawaniem powoduje zmniejszenie się szybkości chłodzenia strefy wpływu ciepła i naprężeń wewnętrznych, wynikających z odkształceń cieplnych w procesie spawania.

4. Wnioski

Spoiny wykonane łukiem krytym na blachach ze stali konstrukcyjnej Mn - V-N wykazują dużą skłonność do pękania, zależną od energii liniowej łuku, szybkości spawania i temperatury spawanych blach.

Najmniejszą skłonność do pękania wykazują spoiny wykonane przy energii liniowej łuku od 10 do 14 kJ/cm dla blach o grubości 9 mm i od 18 do 22 kJ/cm dla blach o grubości 25 mm.

Przy stałej energii liniowej łuku ze zmniejszeniem szybkości spawania, maleje skłonność spoin do pękania.

Podgrzewanie wstępne blach przed spawaniem do temperatury 150-200°C zmniejsza wydatnie skłonność spoin do pękania.

LITERATURA

[1] Frołow J.W. - Tieoriticzeskije osnowy swarki, Wysszaja Szkoła, Moskwa 1970.

[2] Granjon H. - Dok. MIS 384-71.

[3] Dahl W. - Stahl u.Eisen 11, 1968, 578.

[4] Węgrzyn J. - Materiały I Konf. "Stan obecny i perspektywy rozwoju spawalnych stali mikrostopowych w PRL i CSRS" - Ustroń-Dobra, 1973.

[5] Eichhorn F., Niederhoff K. - Schweissen u.Schneiden, 10, 1972, 339.

[6] Schnadt H.M. - Oerlikon Schweissmitteilungen, 27, 1957, 71.

ВЛИЯНИЕ ПОГОННОЙ ЭНЕРГИИ ДУГИ НА СКЛОННОСТЬ К ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ ШВАХ ВЫПОЛНЕННЫХ ПОД ФЛЮСОМ НА КОНСТРУКЦЁННОЙ СТАЛИ Mn-V-N

Р е з ю м е

Проведено исследования склонности к образоввнию трещин в сварных швах выполненных автоматической сваркой под флюсом на листовой конструкцённой стали Mn-V-N толщиной в 9 и 25 мм. Установлено, что склонность к трещинообразованию зависит од погонной энергии дуги и скорости сварки. При постоянной погонной энергии меньшую склонность к трещинообразованию проявляют сварные швы выполненные при более низких скоростях сварки. Установлено, что предварительный подогрев до сварки стчётливо уменьшает склонность сварных швов к образованию трещин.

THE INFLUENCE OF HEAT INPUT ON THE SUSCEPTIBILITY TO CRACKING OF SUBMERGED ARC WELD METALS ON CARBON-MANGANESE STEEL WITH A VANADIUM AND NITROGEN ADDITION

S u m m a r y

The susceptibility to cracking of welds made by submerged arc welding process on manganese steel plates with V and N additions of 9 and 25 mm in thickness has been tested. It has been stated that the susceptibility to cracking depends on the heat input and a high influence on the cracking parameter has also the welding speed. Welds made with lower welding speeds at a constant heat input show smaller susceptibility to cracking. Ranges of heat inputs at which the susceptibility to cracking was the lowest have been stated. It has been determined that a preheating of plates decreases markedly the susceptibility to cracking of weld metals.