

Wpływ warunków wykonania napoin na własności stali ARMOX 370T w obszarze wokół napoiny

Influence of the tack weld welding conditions on ARMOX 370T steel properties in the weld area

Streszczenie

Przedstawiono zmianę rozkładu twardości stali ulepszonej cieplnie (pancernej) ARMOX 370T Class 2 w obszarze napoiny wykonanej metodą MAG drutem SG2 oraz drutem G18 8 Mn. W przeprowadzonych eksperymentach napoiny reprezentują różne klasy spoin szczepnych zarówno pomiędzy elementami z tego samego materiału, jak i spoiny szczepne pomiędzy elementami wykonanymi ze stali ARMOX 370T Class 2, a przyrządami usztywniającymi i montażowymi wykonanymi ze stali konstrukcyjnej. Zmiennymi parametrami procesu napawania były: temperatura podgrzewania wstępnego, rodzaj materiału dodatkowego, długość napoiny oraz energia liniowa napawania. Monitorowano także parametry spawania. Wykonane napoiny poddano ocenie wizualnej, badaniom metalograficznym makroskopowym i mikroskopowym oraz zbadano rozkład twardości w obszarze napoin. Wyniki badań wskazały, że w celu ograniczenia twardości w obszarze wokół napoiny (spoiny szczepnej) jej długość powinna wynosić co najmniej 25 mm. Podgrzewanie wstępne do napawania i stosowania niskiej energii liniowej napawania także powoduje obniżenie twardości w materiale rodzimym wokół napoiny (spoiny szczepnej). Gatunek zastosowanego drutu nie wpływa na maksymalne wartości twardości w obszarze napoiny.

Słowa kluczowe: stal pancerna; ArmoX 370T; spoina szczepna; rozkład twardości

Abstract

The article presents the change in the distribution of hardness of ARMOX 370T Class 2 steel in the area around the bead on plate weld made by GMA SG2 wire and G18 8 Mn wire. In the experiments welds represent different classes of tack welds between elements of the same material and tack welds between elements made of steel ARMOX 370T Class 2 and the stiffening and mounting devices made of structural steel. Welding variable were: preheat temperature, type of filler metal, length of weld and heat input. Welding parameters were monitoring during the welding. Tack welds were examined visually and cross section of welds were observed on microscope at macro and micro magnification. Also hardness distribution in the area around weld was tested. Results of tests show that the length of bead on plate (tack weld) should be at least 25 mm to keep the hardness in acceptable limits. Preheating and low heat input in also results in lowering the hardness in the base metal near weld. Type of welding wire does not influence the maximum value of hardness in the area of weld.

Keywords: armoured steel; ArmoX 370T; tack weld; hardness distribution

Wstęp

Nieustanne zapotrzebowanie na produkty o coraz lepszych własnościach mechanicznych, eksploatacyjnych i technologicznych wymusza stały rozwój materiałów na konstrukcje spawane. Postęp, jaki dokonał się w ostatnich latach pozwolił opracować nowe gatunki stali ulepszanych cieplnie, które to wykorzystywane, jako główny materiał konstrukcyjny pozwalają projektować, budować coraz większe i bardziej skomplikowane konstrukcje spawane.

Stale ulepszone cieplnie przeznaczane na konstrukcje spawane są materiałami o bardzo dużej wytrzymałości

sięgającej nawet 1100÷1300 MPa. Tak wysokie własności mechaniczne osiąga się poprzez precyzyjny dobór składu chemicznego stali oraz hartowanie i odpuszczanie od temperatury walcowania. Konstrukcyjne stale ulepszone cieplnie zawierają kombinację pierwiastki stopowych poprawiających hartowność np. chrom, molibden, bor i pierwiastków zapewniających drobnoziarnistą strukturę stali z wydzieleniami. Kombinacja ta zapewnia wysoką wytrzymałość przy stosunkowo wysokich własnościach plastycznych oraz dobrej spawalności, pomimo podwyższonej skłonności do pęknięć zimnych w strefie wpływu ciepła, a także często w spoinach. Niskowodorowe procesy spawania i podgrzewanie

Dr hab. inż. Krzysztof Luksa, prof. PŚl., mgr inż. Rafał Olbrich – Politechnika Śląska, mgr inż. Marek Bednarek – ROSOMAK S.A. Siemianowice Śląskie.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: mrkbednarek@gmail.com

wstępne do spawania są na ogół zalecane przez producentów tych stali, zwłaszcza dla większych grubości blach [1,2,3]. Stale ulepszone cieplnie są często wykorzystywane do budowy konstrukcji o dużej masie własnej, takich jak mosty, zbiorniki, cysterny, suwnice, a specjalne gatunki tych stali zapewniają dobrą odporność balistyczną elementów kadłubów i pancerzy pojazdów wojskowych lub specjalnych. Ze względu na pogorszenie się własności materiału podczas spawania umiejętnie dobranie warunków procesu, podział na podzespoły i odpowiednia kolejności wykonania spoin, minimalizują negatywny wpływ spawania na konstrukcję i efekcie uzyskuje się wyrób lub złącze o pożądanych własnościach. Z uwagi na stosunkowo krótki okres obecności tych stali na rynku, prowadzone są ciągle badania wpływu procesu spawania na własności materiału tych blach [4,5].

Wcześniejsze badania

Badania spawalności stali ulepszanych cieplnie prowadzone w ostatnich latach pozwoliły wypracować szereg warunków technologicznych procesu spawania. Rezultaty uzyskane przez [1,6] pozwoliły określić, że dla spoin ferrytycznych do spawania wymagane jest podgrzewanie wstępne do temp. 75 ± 200 °C w zależności od grubości elementu czy blachy. Temperatura ta powinna być utrzymywana przez cały czas trwania procesu. Dla spoin austenitycznych wystarczająca jest temp. 18 ± 20 °C (pokojowa), jednak dla grubości elementu powyżej 30 mm wskazane jest podgrzewanie wstępne do temp. maksymalnie 200 °C. Stosowanie właściwych spoin do spawania stali ulepszonych cieplnie jest bardzo istotne, gdyż jak podaje [7] stale te są podatne na pękanie zimne, a zakres temperatur podgrzewania wstępnego jest niewielki. Wysokie temperatury spoin i konieczność kontrolowanego ich chłodzenia generuje wiele problemów, stąd konieczność wprowadzenia odpowiednich składników stopowych niereagujących z wodorem. Pozwala to zmniejszyć zawartości wodoru dyfundującego do strefy wpływu ciepła, a tym samym ograniczyć ryzyko pęknięć związanych z kruchością wodorową [14].

Istotnym czynnikiem jest wspomniane już podgrzewanie wstępne. Wyższa temperatura początkowa spawanego elementu pozwala zmniejszyć szybkość chłodzenia całego złącza, a przez to w stalach ulepszanych cieplnie strefa wpływu ciepła nie ulega znacznemu podhartowaniu. Badania prowadzone przez producentów stali ArmoX dowiodły, że maksymalna temperatura podgrzewania wstępnego powinna wynosić 200 °C [8]. Jako optymalną temperaturę podgrzewania wstępnego dla stali ulepszonych cieplnie wg. [9] ustalono na ok. 190 °C. W przeprowadzonych pomiarach twardości strefy wpływu ciepła wybranych stali twardość nie przekroczyła 400HV. Prowadzono także badania nad procesem szepiania blach. Spoiny szepne są ważnym elementem procesu wytwarzania zapewniając poprawne ustawienie względem siebie spawanych płyt i ograniczenie odkształceń wykonywanej konstrukcji. W przypadku, gdy w spoinie szepnej wystąpiło pęknięcie należy je niezwłocznie usunąć i wykonać nową spoinę szepną. Wykonane

prawidłowo spoiny szepne, po przetopieniu stanowią integralną część złącza, dlatego zaleca się wykonywanie ich we właściwej kolejności, aby generowały jak najmniejsze naprężenia łączonych blach [10]. Dodatkowo, jeśli grubości elementów przekraczają 25 mm wskazane jest wykonywać je w dwóch lub więcej przejściach z minimalną energią liniową spawania. Ponadto doświadczenia wykazały, że istotną jest także długość spoiny szepnej [8]. Producent w przypadku stali ArmoX podał minimalną długość spoiny szepnej równą ok. 50 mm, co uzasadnił optymalnymi warunkami chłodzenia złącza i niewielkim ryzykiem wystąpienia pęknięć zimnych. Dla większości stali ulepszanych cieplnie długości spoin szepnych powinna mieścić się w przedziale 25 ± 50 mm [11]. Znaczna liczba badań związanych z aspektami technicznymi wykonywania złączy w stalach ulepszanych cieplnie pozwoliła opracować zalecenia technologiczne dla ich procesu spawania zwłaszcza, że ciepło spawania niekorzystnie wpływa na spawany materiał, pogarszając jego własności i strukturę.

Cel i zakres badań

Celem poznawczym niniejszych badań jest wyznaczenie optymalnych warunków wykonania krótkich spoin/napoin na stalach konstrukcyjnych ulepszanych cieplnie. Struktura stali ulepszanych cieplnie jest wrażliwa na nagrzewanie związane z procesem spawania, które zazwyczaj prowadzi do pogorszenia własności tego obszaru, a w skrajnych warunkach zwiększenia jego skłonności do pęknięć zimnych. Zjawisko to występuje zwłaszcza przy wykonywaniu krótkich spoin/napoin, ponieważ pole temperatur nie jest ustabilizowane, a szybkie odprowadzenie ciepła z tego obszaru powoduje, że szybkość stygnięcia może być znacznie wyższa niż przy wykonywaniu „długich spoin”. Oszacowana zostanie także „krytyczna” długość napoiny, poniżej której można się spodziewać wzrostu twardości w obszarze wokół spoiny. Wzrost twardości w obszarze spoiny/napoiny jest niekorzystny ze względów spawalniczych, jednak ze względów eksploatacyjnych niekorzystne jest także obniżenie twardości w obszarze spoiny/napoiny. Szczególne zastosowanie stali ARMOX 370T Class 2 na konstrukcje narażone na obciążenia udarowe (wybuchy) powoduje, że jeżeli obszar obniżonej twardości będzie zbyt duży podzespół spawany może utracić wymagane własności eksploatacyjne.

Badania przeprowadzono na stali ARMOX 370T Class 2. Na próbkach wykonano napoiny metodą MAG. Warunki nagrzewania i stygnięcia napoin są zbliżone do warunków cieplnych występujących przy wykonywaniu spoin szepnych złączy doczołowych i podobne do warunków cieplnych występujących przy wykonywaniu niektórych spoin mocujących przyrządy montażowe i usztywniające. Jako zmienne warunki wykonania napoin przyjęto energię liniową spawania, temperaturę podgrzewania wstępnego, skład chemiczny materiału dodatkowego oraz długość napoiny. Dla każdej z wykonanych napoin przeprowadzono badania twardości oraz badania metalograficzne makroskopowe i mikroskopowe.

Tablica I. Skład chemiczny stali ARMOX 370T Class 2 [8,12,13]

Table I. Chemical composition of ARMOX 370T class 2 steel [8,12,13]

Gatunek stali	Skład chemiczny [zawartość maks. w %]								
	C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	Mo	B
ARMOX 370T Class 2	0,32	0,4	1,2	1,8	0,015	0,010	1,0	0,7	0,005
CEV dla ARMOX 370T Class 2 wynosi $0,67 \pm 0,75$									

Tablica II. Własności mechaniczne stali ARMOX 370T Class 2 [12,13]
Table II. Mechanical properties of ARMOX 370T Class 2 steel [12,13]

Gatunek materiału	Grubości blach [mm]	Własności mechaniczne					
		Twardość [HB]	Granica plastyczności $R_{p0.2}$ [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie R_m min [MPa]	Praca łamania KV [J]	Wydłużenie A_5 min [%]	Wydłużenie A_{50} min [%]
ARMOX 370T Class 2	6÷60	280÷330	800	900÷1100	40 (-40° C)	13	15

Tablica III. Parametry wykonania napoin na stali ArmoX 370T Class 2
Table III. Welding parameters of test welds completed on ARMOX 370T Class 2 steel

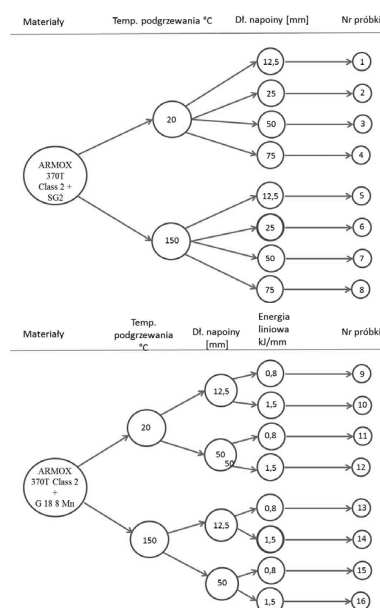
Parametry wykonania napoin							
Ip.	Gatunek drutu	Temperatura podgrzewania wstępnego [°C]	Długość napoiny [mm]	Zarejestrowane parametry napawania		Prędkość spawania [mm/s]	Energia liniowa [kJ/mm]
				Natężenie prądu [A]	Napięcie łuku [V]		
1	SG2	BRAK	12,5	212,7	26,6	5	0,9
2	SG2	BRAK	25	216,7	24,6	5	0,9
3	SG2	BRAK	50	214,3	24,4	5	0,9
4	SG2	BRAK	75	214,3	24,2	5	0,9
5	SG2	150	12,5	208,3	26,6	5	0,9
6	SG2	150	25	208,1	25,6	5	0,9
7	SG2	150	50	212,3	24,5	5	0,9
8	SG2	150	75	213,5	24,2	5	0,9
9	CastoMag45554S	BRAK	12,5	193,4	25,7	5	0,8
10	CastoMag45554S	BRAK	12,5	241,8	32,1	4	1,5
11	CastoMag45554S	BRAK	50	198	25	5	0,8
12	CastoMag45554S	BRAK	50	241	31,8	4	1,5
13	CastoMag45554S	150	12,5	195,2	25,1	5	0,8
14	CastoMag45554S	150	12,5	232,2	32,9	4	1,5
15	CastoMag45554S	150	50	177,6	23,6	5	0,8
16	CastoMag45554S	150	50	234,5	31,8	4	1,5

Badane materiały

Jako materiał podstawowy zastosowano stal konstrukcyjną ulepszoną cieplnie ARMOX 370T Class 2 o grubości 14 mm. Stal ta wykorzystywana jest do budowy konstrukcji, od których wymaga się specjalnych własności, np. wysokiej odporność na obciążenia udarowe. W zastosowaniach cywilnych wykorzystywana w konstrukcjach o wysokiej odporności na obciążenia dynamiczne. Skład chemiczny badanej stali zestawiono w tablicy I [8,12,13], natomiast własności przedstawiono w tablicy II [12,13].

Wykonane eksperymenty

Napoiny wykonano metodą MAG na zrobotyzowanym stanowisku spawalniczym wyposażonym w robota REIS SRV6 i urządzenie spawalnicze TotalArc2 5000. Jako gaz osłonowy wykorzystano mieszankę wg PN-EN ISO 14175: M21 (80% Ar + 20% CO₂). Jako materiał dodatkowy zastosowano druty PN-EN ISO 14341: G3Si1 (SG2) i drut austenityczny PN-EN 12072: G18 8 Mn (CastoMag 45554S) o średnicy 1,2 mm. W czasie napawania rejestrowano napięcie i natężenie prądu spawania rejestratorem parametrów spawania RPS-2.



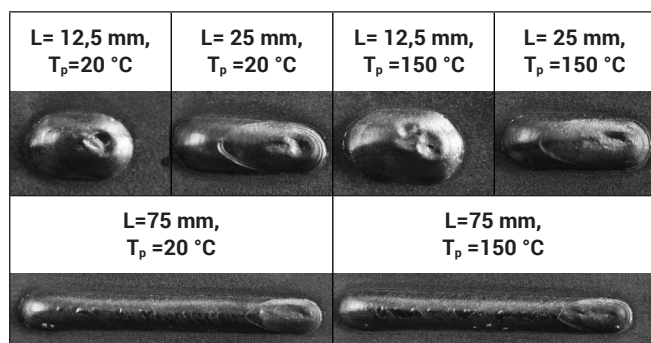
Rys. 1. Plan badań dla napoin wykonanych drutem SG2 i drutem G18 8 Mn na stali ARMOX 370T Class 2

Fig. 1. The plan of experiments for welds made SG2 wire and wire G18 8 Mn on ARMOX 370T Class 2 steel

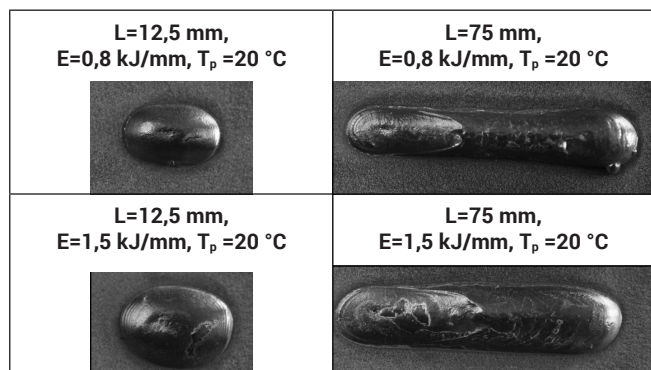
Eksperymenty wykonano zgodnie z planem przedstawionym na rysunku 1. Wstępna analiza wyników badań napoin wykonanych drutem SG2 spowodowała, że ograniczono liczbę długości napoin wykonanych drutem G18 8 Mn i wprowadzono dodatkowy parametr - energię liniową spawania – rysunek 1. Szczegółowe parametry wykonania każdej próbki zestawiono w tablicy III. Napięcie i natężenie prądu spawania zamieszczone w tablicy III są uśrednionymi parametrami pochodzącymi z rejestratora parametrów spawania RPS2.

Badania wizualne wykonanych napoin

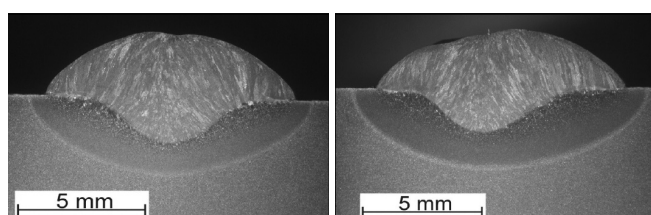
Wykonane napoiny poddano ocenie wizualnej. Badano formowanie napoiny i obecność niezgodności możliwych do wykrycia w badaniach wizualnych. Nie stwierdzono obecności niezgodności, rysunki 2 i 3.



Rys. 2. Widok lica napoin wykonanych metodą MAG, drutem SG2 w osłonie gazowej M21, na blasze ze stali ARMOX 370T Class 2. L - długość napoiny, T_p – temperatura podgrzewania wstępnego
Fig. 2. Face view of MAG made welds. Wire SG2, gas-shielded M21, plate ARMOX 370T Class 2

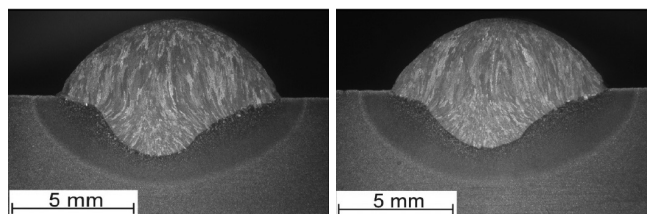


Rys. 3. Widok lica napoin wykonanych metodą MAG, drutem G 18 8 Mn w osłonie gazowej M21, na blasze ze stali ARMOX 370T Class 2 L - długość napoiny, T_p – temperatura podgrzewania wstępnego
Fig. 3. Face view of MAG made welds. Wire SG2, gas-shielded M21, plate ARMOX 370T Class 2



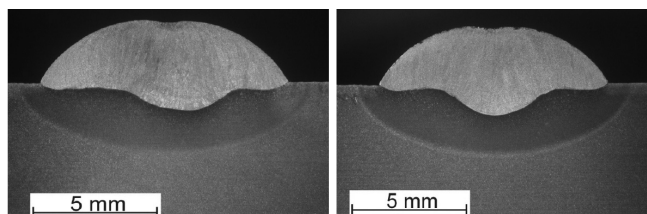
Rys. 4. Makrostruktura przekroju poprzecznego napoin o długości 12.5 mm wykonanych drutem SG2 na stali ArmoX 370T Class 2 bez podgrzewania wstępnego (lewa strona) i z podgrzewaniem wstępnym (prawa strona)

Fig. 4. Macrostructure in cross-section of welds with a length of 12.5 mm made of steel wire SG2 on ArmoX 370T Class 2 without preheating (left side) and preheating (right)



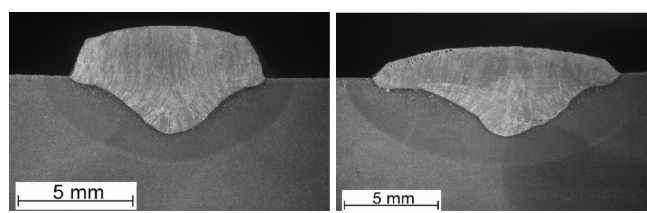
Rys. 5. Makrostruktura przekroju poprzecznego napoin o długości 75 mm wykonanych drutem SG2 na stali ArmoX 370T Class 2 bez podgrzewania wstępnego (lewa strona) i z podgrzewaniem wstępnym (prawa strona)

Fig. 5. Macrostructure in cross-section of welds with a length of 75 mm made of steel wire SG2 on ArmoX 370T Class 2 without preheating (left side) and preheating (right)



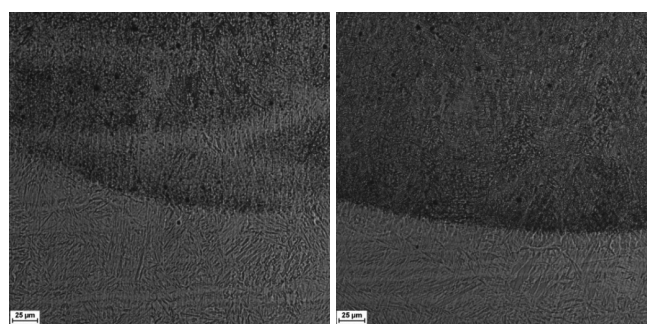
Rys. 6. Makrostruktura przekroju poprzecznego napoin o długości 12,5 mm wykonanych drutem G18 8 Mn na stali ArmoX 370T Class 2 bez podgrzewania wstępnego E=0,8 kJ/mm (lewa strona) i E=1,5 kJ/mm (prawa strona)

Fig. 6. Macrostructure in cross-section of welds with a length of 12.5 mm made of steel wire G18 8 on ArmoX 370T Class 2 without preheating E=0.8 kJ/mm (left side) and E=1.5 kJ/mm (right)



Rys. 7. Makrostruktura przekroju poprzecznego napoin o długości 50 mm wykonanych drutem G18 8 Mn na stali ArmoX 370T Class 2 bez podgrzewania wstępnego E=0,8 kJ/mm (lewa strona) i E=1,5 kJ/mm (prawa strona)

Fig. 7. Macrostructure in cross-section of welds with a length of 50 mm made of steel wire G18 8 on ArmoX 370T Class 2 without preheating E=0.8 kJ/mm (left side) and E=1.5 kJ/mm (right)



Rys. 8. Widok mikrostruktury w obszarze linii stopienia napoin o długości 12.5 mm, wykonanych metodą MAG na blasze ze stali ArmoX 370T Class 2, drutem SG2; bez podgrzewania (lewa strona) i z podgrzewaniem (prawa strona)

Fig. 8. View microstructure in the melt line welds with a length of 12.5 mm, made of MAG on sheet steel ArmoX 370T Class 2, SG2 wire; without preheating (left side) and preheated (right)

Badania metalograficzne napoin

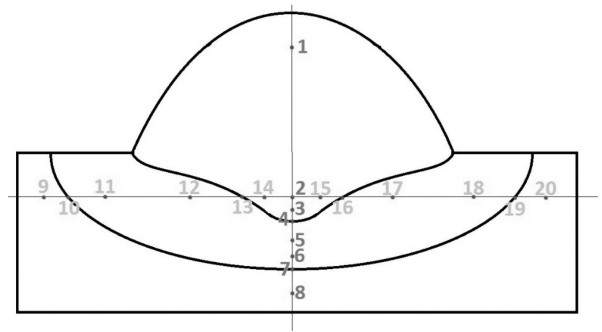
Z wykonanych próbek wykonano zglądy metalograficzne przekrojów poprzecznych napoin. Napoiny o długości 12,5 mm

i 25 mm przecięto w połowie ich długości, natomiast napoiny o długości 50 mm i 75 mm przecięto dwukrotnie w 1/3 i 2/3 długości napoin. Wybrane widoki makroskopowe przekrojów poprzecznych napoin przedstawiono na rysunkach 4÷7. Wyniki badań metalograficznych mikroskopowych w obszarze linii stopienia i strefy wpływu ciepła, dla wybranych próbek przedstawiono na rysunkach 8÷11.

Badania twardości wykonanych napoin

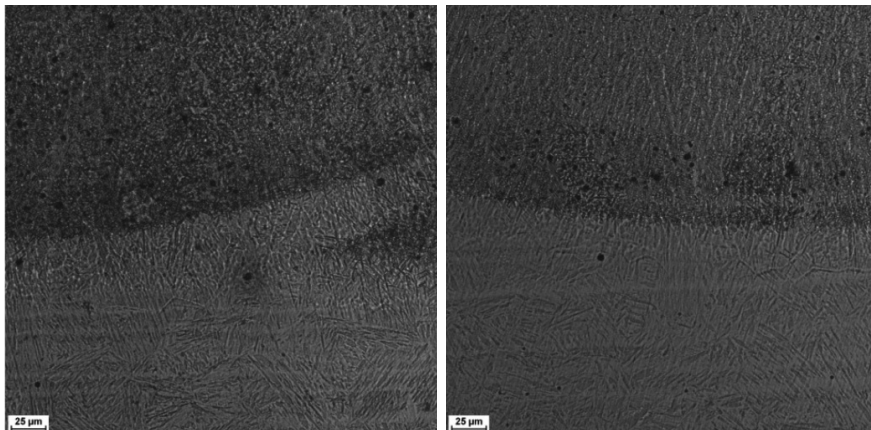
Pomiary twardości HV1 wykonano na przekrojach poprzecznych napoin, w osi symetrii napoiny i wzdłuż linii równoległej do powierzchni blachy, rysunek 12. Przyjmując dla uproszczenia płaski przepływ ciepła w płaszczyźnie pomiaru twardości można przyjąć, że wzdłuż linii równoległej do powierzchni ciepło rozchodzi się w dwóch kierunkach, natomiast wzdłuż linii pionowej ciepło rozchodzi się tylko

w jednym kierunku, więc wzrost twardości w miarę oddalania się od osi napoiny powinien być szybszy.



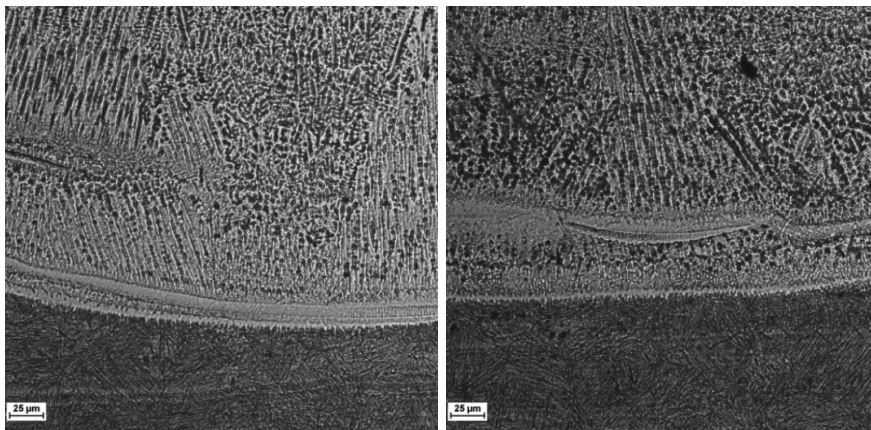
Rys. 12. Rozkład punktów pomiaru twardości w przekroju poprzecznym wykonanych napoin

Fig. 12. The plan of hardness measurement in cross-section of made tack welds



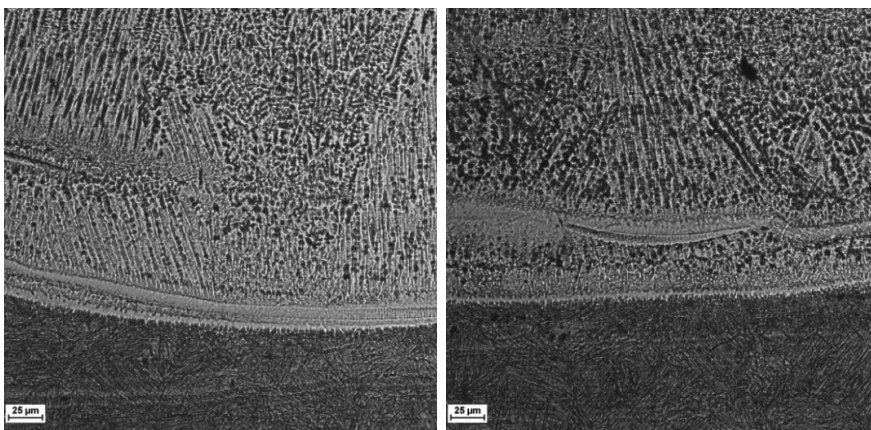
Rys. 9. Widok mikrostruktury w obszarze linii stopienia napoin o długości 75 mm, wykonanych metodą MAG na blasze ze stali Armax 370T Class 2, drutem SG2; bez podgrzewania wstępnego (lewa strona) i z podgrzewaniem wstępnym (prawa strona)

Fig. 9. View microstructure in the melt line welds with a length of 75 mm, made of MAG on sheet steel Armax 370T Class 2, SG2 wire; without preheating (left side) and preheated (right)



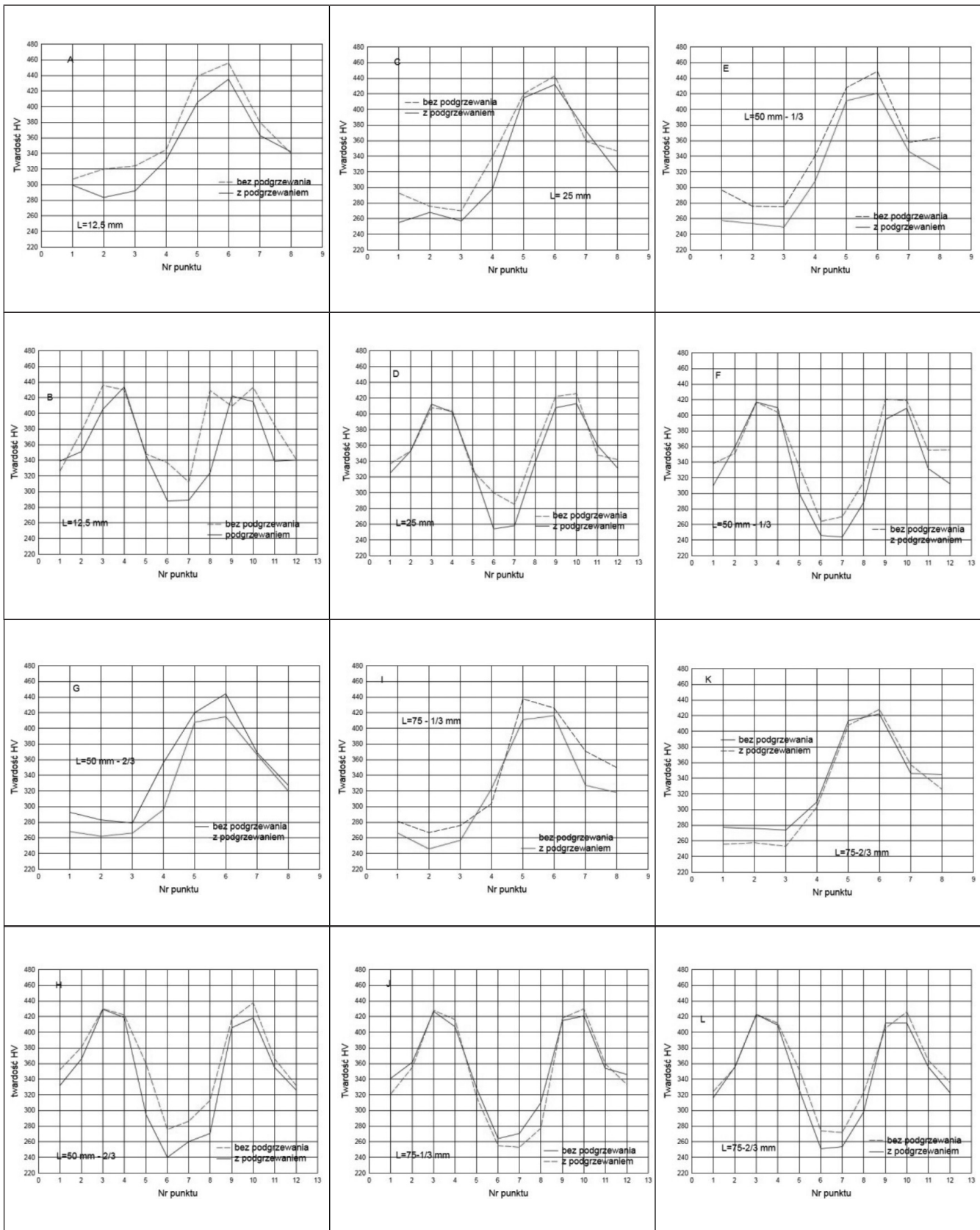
Rys. 10. Widok mikrostruktury napoin o długości 12,5 mm, wykonanych metodą MAG na blasze Armax 370T Class 2, drutem G18 8 Mn bez podgrzewania wstępnego energią liniową E=0,8 kJ/mm (lewa strona) i E=1,5 kJ/mm (prawa strona)

Fig. 10. View the microstructure of welds with a length of 12.5 mm, made of MAG on sheet Armax 370T Class 2, wire G18 8 Mn without preheating heat input of E=0.8 kJ/mm (left side) and E=1.5 kJ/mm (right side)



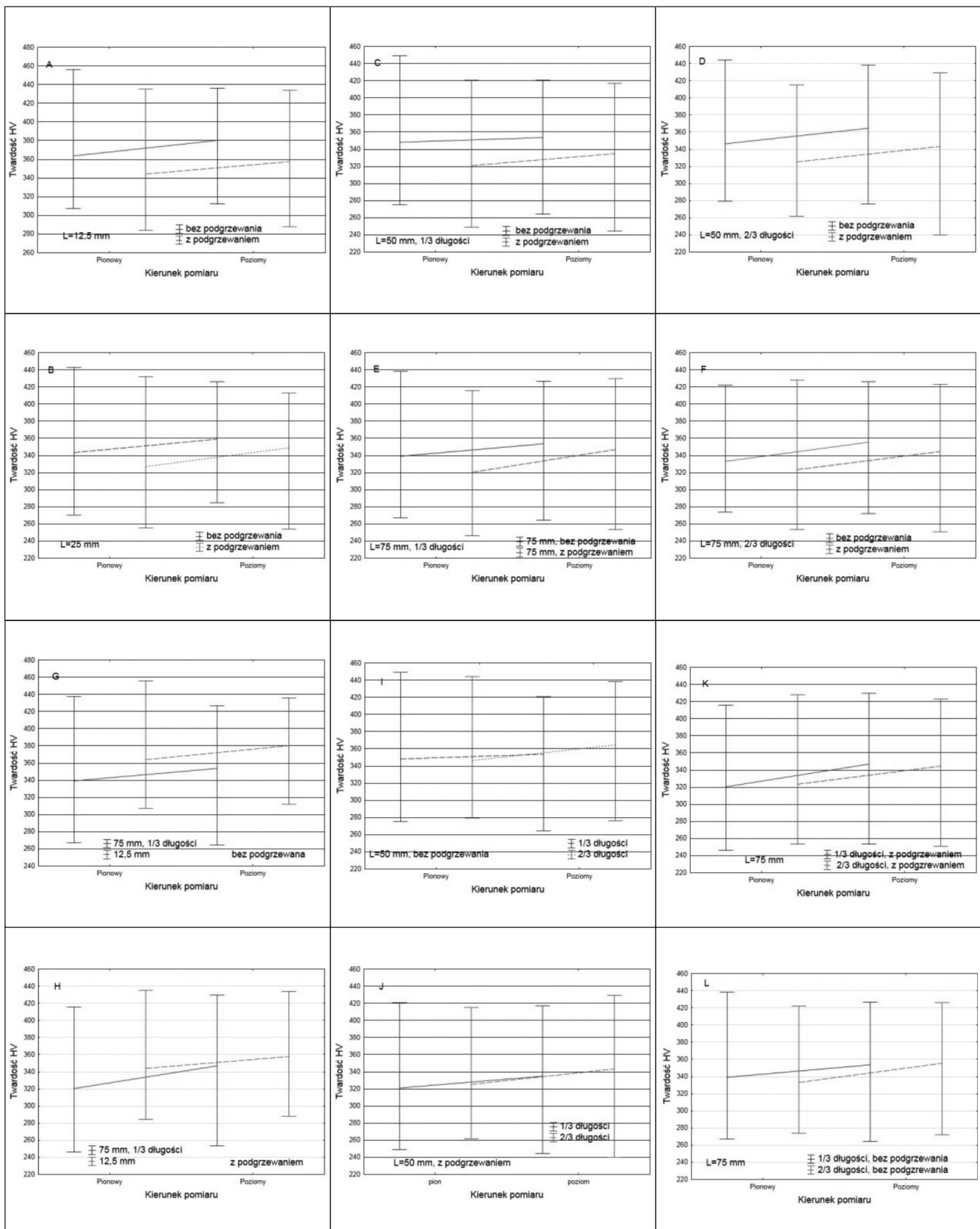
Rys. 11. Widok mikrostruktury napoin o długości 50 mm, wykonanych metodą MAG na blasze Armax 370T Class 2, drutem G18 8 Mn bez podgrzewania wstępnego energią liniową E=0,8 kJ/mm (lewa strona) i E=1,5 kJ/mm (prawa strona)

Fig. 11. View the microstructure of welds with a length of 50 mm, made of MAG on sheet Armax 370T Class 2, wire G18 8 Mn without preheating heat input of E=0.8 kJ/mm (left side) and E=1.5 kJ/mm (right side)



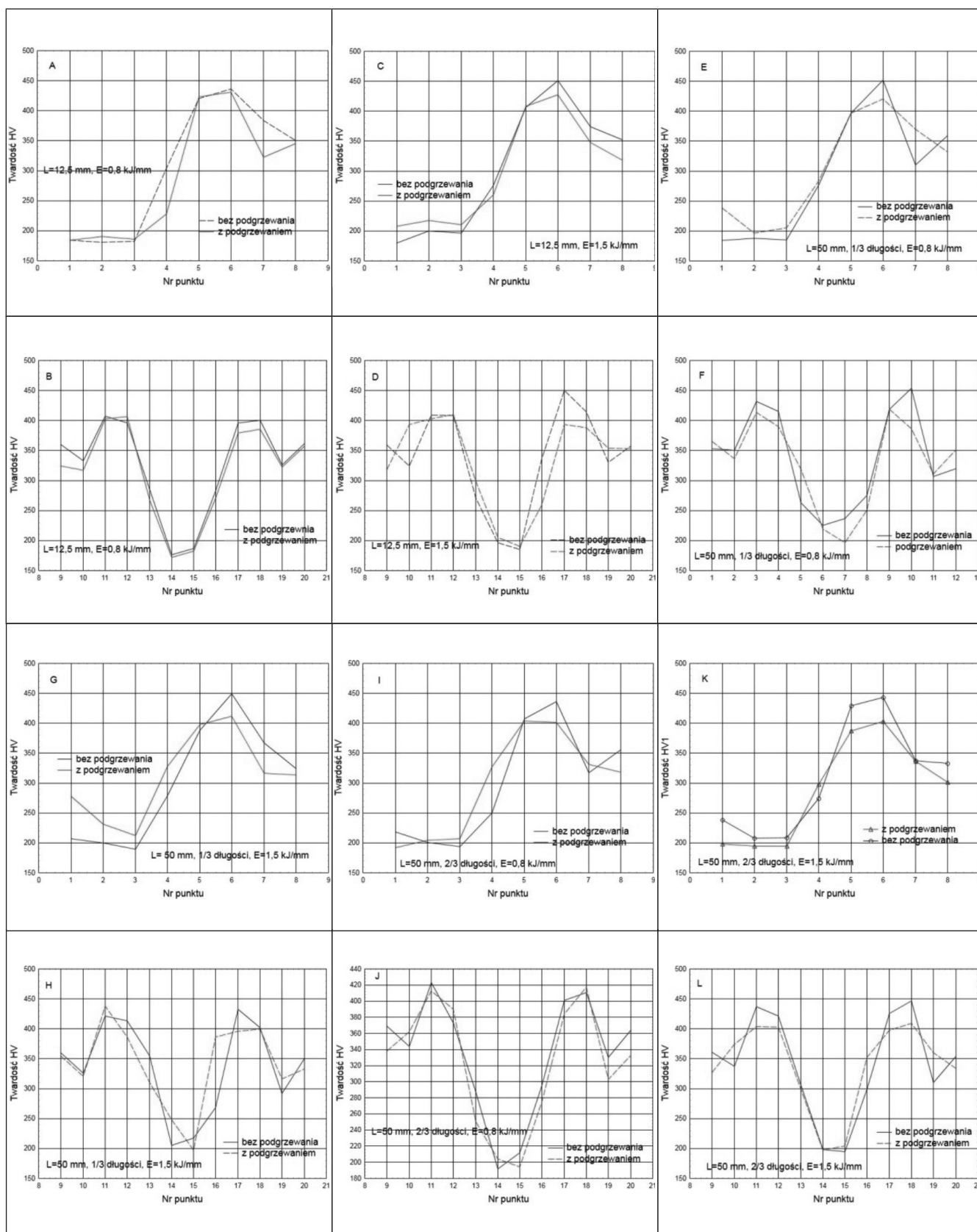
Rys. 13. Wpływ długości napoiny i podgrzewania wstępnego na rozkład twardości wzdłuż pionowej i poziomej linii pomiarowej (rys. 12) w obszarze napoiny wykonanej drutem SG2 na stali ARMOX 370T Class 2. L – długość napoiny; 1/3, 2/3 – pomiar wykonany w 1/3 oraz 2/3 długości napoiny

Fig. 13. Effect of length of the weld and preheating for the distribution of hardness along the vertical and horizontal measurement line (fig. 12) in the area of weld made on steel ARMOX 370T Class 2 wire SG2. L – length of weld; 1/3, 2/3 measurement made in 1/3 or 2/3 of the length of the weld)



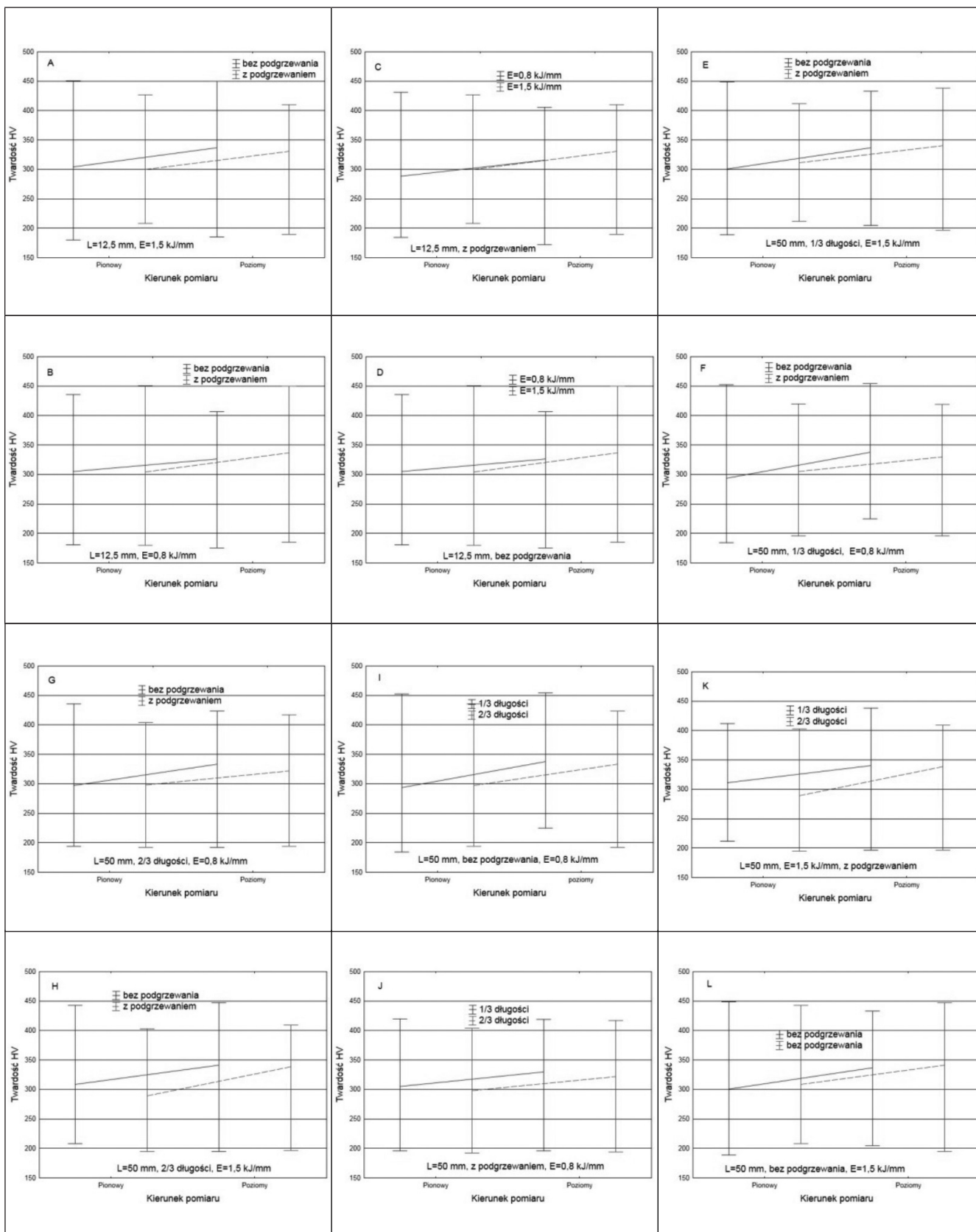
Rys. 14. Wpływ długości napoiny i podgrzewania wstępnego na wartość maksymalną, minimalną i średnią twardości wzdłuż pionowej i poziomej linii pomiarowej (rys. 12) w obszarze napoiny wykonanej drutem SG2 na stali ARMOX 370T Class 2. L – długość napoiny; 1/3, 2/3 pomiar wykonany w 1/3 lub 2/3 długości napoiny

Fig. 14. Effect of length of the weld and preheating for the value of the maximum, minimum and average hardness along the vertical and horizontal measurement line (fig. 12) in the area of weld made on ARMOX 370T Class 2 steel wire SG2. L – length of the deposit; 1/3, 2/3 measurement made 1/3 or 2/3 of the length of the weld



Rys. 15. Wpływ długości napoiny, podgrzewania wstępnego i energii liniowej łuku na rozkład twardości wzdłuż pionowej i poziomej linii pomiarowej (rys. 12) w obszarze napoiny wykonanej drutem G18 8 Mn na stali ARMOX 370T Class 2. L – długość napoiny; 1/3, 2/3 pomiar wykonany w 1/3 lub 2/3 długości napoiny

Fig. 15. Effect of length of the weld, preheating and heat input for the distribution of hardness along the vertical and horizontal measurement line (fig. 12) in the area of weld made on steel ARMOX 370T Class 2 wire G18 8 Mn. L – length of weld; 1/3, 2/3 measurement made in 1/3 or 2/3 of the length of the weld



Rys. 16. Wpływ długości napoiny, podgrzewania wstępnego i energii liniowej łuku na rozkład twardości wzdłuż pionowej i poziomej linii pomiarowej (rys. 12) w obszarze napoiny wykonanej drutem G18 8 Mn na stali ARMOX 370T Class 2. L – długość napoiny; 1/3, 2/3 pomiar wykonany w 1/3 lub 2/3 długości napoiny

Fig. 16. Effect of length of the weld, preheating and heat input for the distribution of hardness along the vertical and horizontal measurement line (fig. 12) in the area of weld made on steel ARMOX 370T Class 2 wire G18 8 Mn. L – length of weld; 1/3, 2/3 measurement made in 1/3 or 2/3 of the length of the weld

Analiza wyników

W artykule przedstawiono wyniki badań rozkładu twardości w obszarze napoiny wykonanej metodą MAG drutem przeznaczonym do spawania stali konstrukcyjnych (SG2) i drutem o składzie stali austenitycznej (G18 8 Mn) na materiale rodzimym o twardości 280÷330 HV (ARMOX 370T Class 2). Połączenia tych materiałów występują przy wykonywaniu spoin szczepnych oraz przy mocowaniu elementów podzespołu do przyrządów montażowych i usztywniających. W zależności od warunków wykonania napoin możliwe jest uzyskanie w materiale rodzimym obszarów o zmniejszonej lub zwiększonej twardości, które pozostaną w konstrukcji i mogą wpływać na własności użytkowe pojazdów wykonanych z blach ARMOX. Wzrost twardości zmienionej w wyniku nagrzania ciepłem spawania struktury metalograficznej jest niekorzystny ze względu na możliwość zainicjowania w tym obszarze pęknięć w czasie eksploatacji pojazdu. Obniżenie twardości jest również niekorzystne, zwłaszcza na zewnętrznych powierzchniach pojazdów specjalnych, z uwagi na obniżenie ich odporności balistycznej. Badania przeprowadzono na blachach o grubości 14 mm zmieniając warunki wykonania napoin, rysunek 1: temperaturę podgrzewania, materiał dodatkowy, energię liniową spawania oraz długość napoiny. W napoinach o długości 50 i 75 mm twardość mierzono w dwóch przekrojach 1/3 i 2/3 długości napoiny. Ponieważ względem punktu leżącego w osi jeziora spawalniczego ciepło rozchodzi w 2 kierunkach względem osi symetrii napoiny, a w jednym kierunku względem powierzchni blachy twardość także mierzono w dwóch kierunkach (rys. 12).

Analizując przedstawione widoki makroskopowe przekrojów poprzecznych obserwuje się zwiększoną szerokość SWC dla próbek podgrzewanych wstępnie, rysunek 4÷7. Ze względu na długości spoin, a więc ilość ciepła wprowadzonego w obszar spoiny, wtopienie jest najmniejsze dla spoin krótkich o długości 12,5 mm, największe zaś dla spoin o długości 75 mm. Podgrzewanie wstępne w niewielkim stopniu wpłynęło na struktury w wykonanych napoinach (rys. 8÷11).

Twardości w punktach pomiarowych, charakterystycznych dla SWC na osi pionowej: 5,6,7 i poziomej: 10÷13, 16÷19 są największe dla wszystkich próbek. Obszary określone tymi punktami chłodzą się najszybciej, stąd duży wzrost twardości. Jednak jest on zależny również od ilości ciepła wprowadzonego do złącza, a więc częściowo od długości spoiny. Stąd najwyższa twardość występuje w obszarze spoin o małej długości wykonanych bez zastosowania podgrzewania wstępnego, rysunek 13÷16. Wyniki próbek z podgrzewaniem wstępnym wykazały obniżone twardości w SWC. Spoiny wykonane dużą energią liniową cechują się dużą twardością w SWC, nawet 450HV1. Spoiny o długości 75 mm wykazały najmniejsze twardości we wszystkich strefach. Rodzaj drutu wpływa nieznacznie na twardość SWC spoin (rys. 13÷16).

Uwzględniając wszystkie wyniki i na ich podstawie otrzymane zależności, jako minimalną długość spoin szczepnych można uznać długość 25 mm ze względu na najmniejszą twardość strefy przegrzania złącza. Ponadto stwierdzono, że napoiny należy wykonywać możliwie małą energią liniową spawania oraz w miarę możliwości zastosować podgrzewanie wstępne do możliwie najwyższej temperatury, przy której nie ulegają zmianie własności blach, jeżeli zaleca je producent.

Literatura

- [1] L.Kuzmikova, H.Norrish, J.Pan: „Development of safe optimized welding procedures for high strength Q&T steel welded with austenitic consumables”. *Revista Soldagem e Inspecao*, nr 18 (2), 2013, str. 169÷175.
- [2] I.Barenyi, O.Hires, P.Liptak: „Degradation of mechanical properties of armored steels after its welding”. *Materiały konferencyjne International Conference of Scientific Paper Afases, Brasov*, 26-28 maj, 2011, str. 845÷848.
- [3] I.Barenyi, O.Hires, P.Liptak: „Over tempering of ArmoX armored steels at after secondary processing”. *Materiały konferencyjne International Conference of Scientific Paper Afases, Brasov*, 24-26 maj, 2012.
- [4] R.Willms: „High strength steel for constructions”. *Materiały konferencyjne Nordic Steel Construction Conference*, 2-4 października, Malmo, Szwecja 2009.
- [5] F.Schroter, T.Lehner: „Trends in the application of high-performance steel in European bridge building”. *Materiały konferencyjne The Eight International Conference Bridges in Danube Basin*, 2013, str. 35÷50.
- [6] E.Brezova, H.Masiar, P.Radic: „Welding of high strength materials used in the manufacture special equipment”. *University Review*, tom 8, nr 3-4, 2014, str. 51÷61.
- [7] G.Magudeeswaran, V.Balasubramanian, R.G.Madhusudhan: „Hydrogen induced cold cracking studies on armour grade high strength, quenched and tempered steel weldments”, *International Journal of Hydrogen Energy* 33/2008, str. 1897÷1908.
- [8] SSAB, Inc.: „ArmoX Protection Plate. Workshop Recommendations” [online]. [Dostępny 25 stycznia 2015]. Dostępny w internecie: http://www.ssab.com/Global/ArmoX/Brochures/en/701-ArmoX_Workshop%20recommendations.pdf.
- [9] M.Gaspar, A.Balogh: „GMAW Experiments for advanced Q+T high strength steels”, *Production Processes and Systems*, tom 6, nr 1, 2013, str. 9÷24.
- [10] K.Hakansson: „Weld Metal Properties for Extra High Strength Steels”. *Praca Doktorska*, ISSN 1650 – 1888, Division of Welding; Department of Production Engineering; The Royal Institute of Technology, sierpień 2002.
- [11] Ryszard Karcz, Sławomir Kwiecień, Marian Godniak, Ryszard Jastrzębski: „Spawanie stali wysokowytrzymałych cz. II” *Projektowanie i konstrukcje inżynierskie*, nr 9, 2013.12.
- [12] PN-EN 10025:6+A1:2009: „Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 6: Warunki techniczne dostawy wyrobów płaskich o podwyższonej granicy plastyczności w stanie ulepszonym cieplnie”.
- [13] SSAB, Inc.: „ArmoX 370T Protection Plate” [online]. [dostęp 25 stycznia 2015]. Dostępny w internecie: <http://www.ssab.com/en/Brands/ArmoX/Products/ArmoX-370T-Class-2/#>
- [14] D.Schroepfer, A.Kromm, T.Kannengiesser: „Improving welding stresses by filler metal and heat control selection in component related butt joints of high strength steel”. *Welding in the World*, styczeń 2015.