

W celu przeprowadzenia oceny skłonności do pęknięć gorących wybranych stali austenitycznych opracowano następujący program badań:

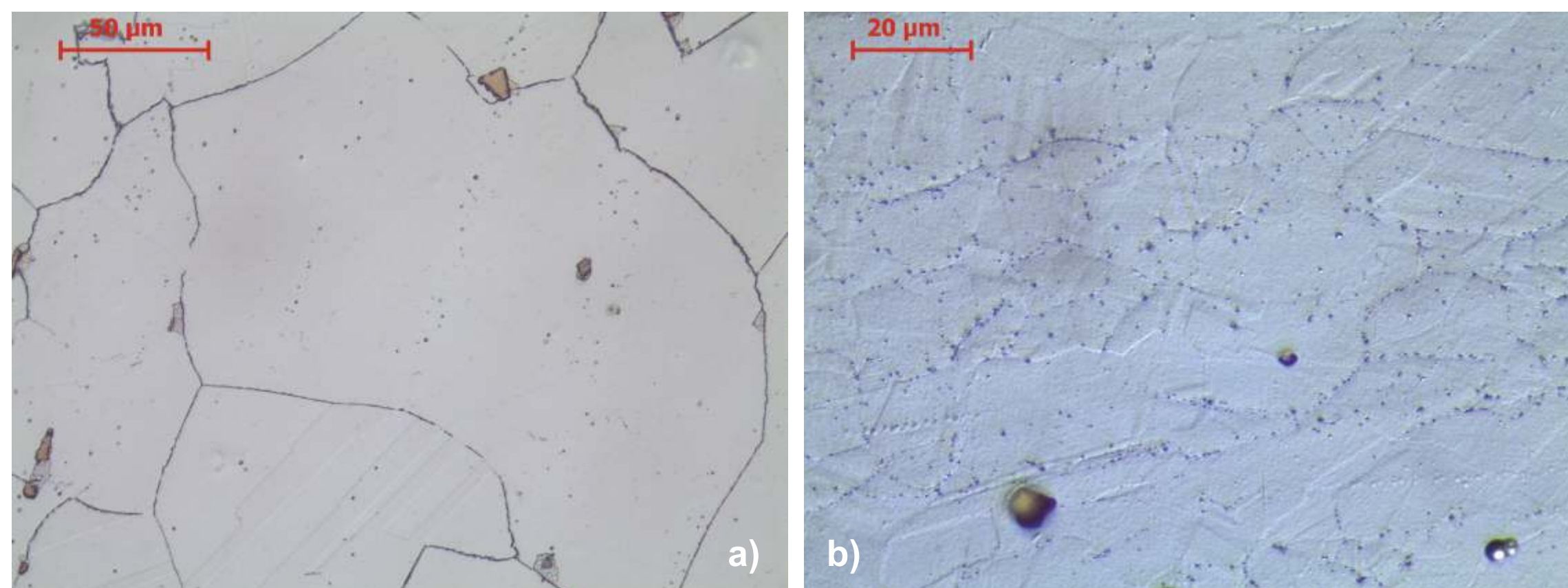
- ocena składu chemicznego z wykorzystaniem spektrometrii iskrowej,
- ocena mikrostruktury z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej,
- przeprowadzenie oceny skłonności do pęknięć gorących blach grubych w próbie Transvarestraint,
- przeprowadzenie oceny skłonności do pęknięć gorących blach cienkich w próbie Blancheta.

Materiał do badań

Do badań wykorzystano stale austenityczne w gatunkach AISI/ASTM 304 (X5CrNi18-10, 1.4301 wg EN 10088) i 314 (X6CrNi25-20, 1.4842 wg EN 10088) o składzie chemicznym zawartym w tabeli 1. Są to gatunki stali o strukturze austenitycznej (rys. 1) i korzystnych właściwościach antykorozyjnych dzięki dużej zawartości chromu (min. 16% wag.) i niklu (min. 6% wag.). W mikrostrukturze tych stali, szczególnie po spawaniu może występować również ferryt δ . Jego zbyt duża zawartość, powyżej 10%, może powodować utratę takich właściwości jak ciągliwość, czy odporność na korozję. Zbyt mała natomiast, poniżej 5%, powoduje skłonność do pęknięć gorących stali podczas spawania.

stal	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
304	71,1	0,0507	0,432	1,39	0,0282	<0,005	17,6	0,189	8,68	0,0372	0,0532	0,148	0,0166	0,0035	0,114	<0,02
314	53	0,0957	1,89	1,47	0,0254	<0,005	23,1	0,191	19,3	0,068	0,339	0,165	0,0407	0,0602	0,103	0,0396

Tabela 1. Wyniki analizy składu chemicznego spektrometrem iskrowym stali X5CrNi18-10 (304) i X6CrNi25-20 (314), % wag.



Rys. 1. Austenityczna struktura stali 304 (a) i 314 (b)

Ocena skłonności do pęknięć gorących

Teoretyczna analiza skłonności obejmuje wyznaczenie stosunku równoważnika chromu i niklu w oparciu o wzór (1) oraz zawartość P i S.

$$(1) \quad \frac{R_{Cr}}{R_{Ni}} = \frac{Cr + Mo + 0.7 Nb}{Ni + 35C + 2N + 0.25Cu}$$

gdzie: R_{Cr} – równoważnik chromu; R_{Ni} – równoważnik niklu; Cr, Mo, Nb... – udział wagowy pierwiastków stopowych w spoinie.

Gatunek stali	R_{Cr}	R_{Ni}	R_{Cr}/R_{Ni}	P+S	% ferrytu
304 wg normy	21.13	8-13.9	1.52-2.64	0.075	
304 z badań	17.80	10.49	1.70	0.033	0.5 2.7
314 wg normy	30.50	27.5-30.5	1-1.11	0.075	
314 z badań	23.32	22.69	1.03	0.030	0.1 0.2

Tabela 2. Wartość równoważnika chromu i niklu oraz zawartość ferrytu zmierzonego ferrytomierzem (objętość fazy magnetycznej)

Z wartości równoważnika chromu i niklu wynika, że badane stale 304 i 314 charakteryzują się strukturą austenityczną z siatką wydzieloną ferrytu δ po granicach. Stal 304, ze względu na stosunkowo niską zawartość P i S, wysoką liczbę ferrytową oraz $R_{Cr}/R_{Ni} > 1.5$, nie powinna wykazywać skłonności do pęknięć gorących. W stali 314 spodziewane są pęknięcia o charakterze krystalizacyjnym.

Próba Transvarestraint

Ocenę technologicznej wytrzymałości metalu prowadzi się w oparciu o trzy kryteria:

1. minimalne odkształcenie konieczne do wywołania pęknięcia, tzw. próg pęknięcia,
2. sumaryczna długość wszystkich pęknięć,
3. maksymalna długość pęknięcia.



Rys. 2. Stal 304 (155) o grubości 5 mm, promień gięcia 135 mm. Lico wtopienia. Pęknięcia w obszarze L+S. Najdłuższe pęknięcie 1 mm

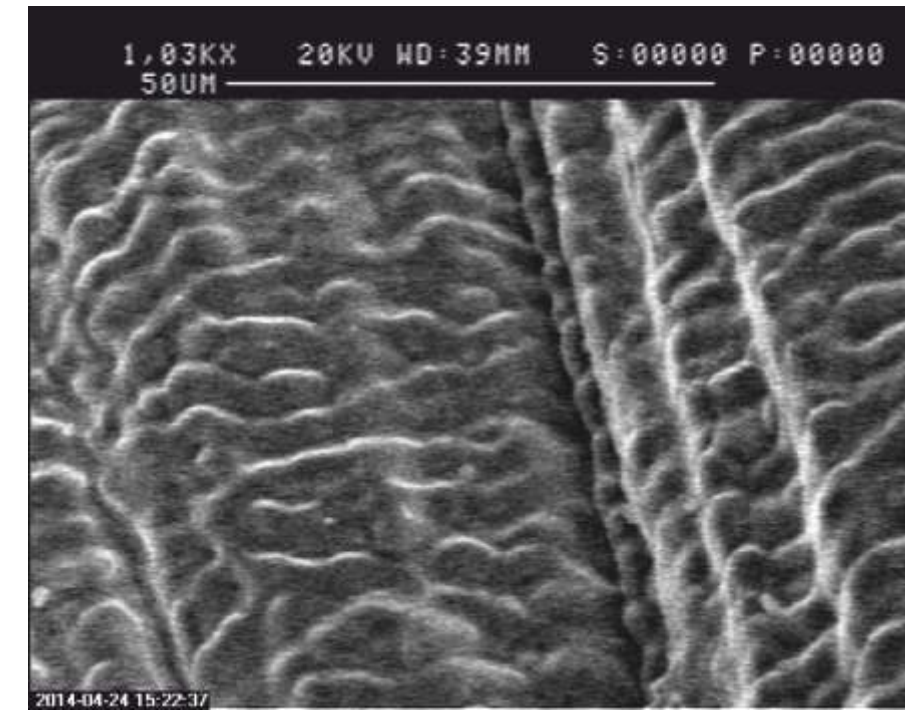


Rys. 3. Stal 314 (335) o grubości 3 mm, promień gięcia 135 mm. Lico wtopienia. Pęknięcia w obszarze L+S. Najdłuższe pęknięcie 2 mm

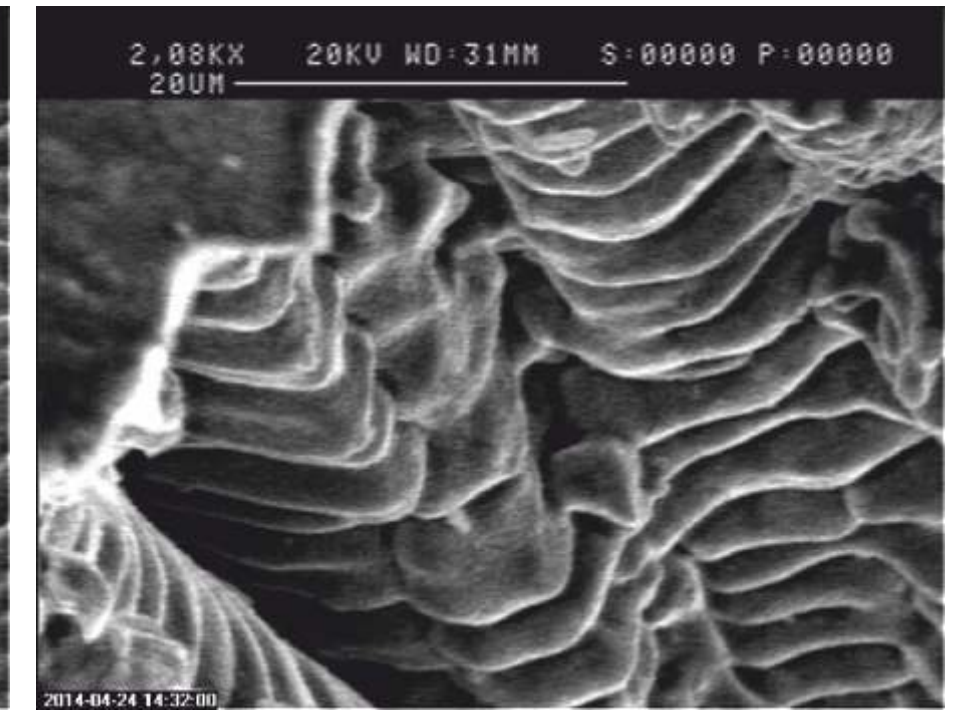
Badania skłonności do pęknięć gorących stali austenitycznych

Autorzy:

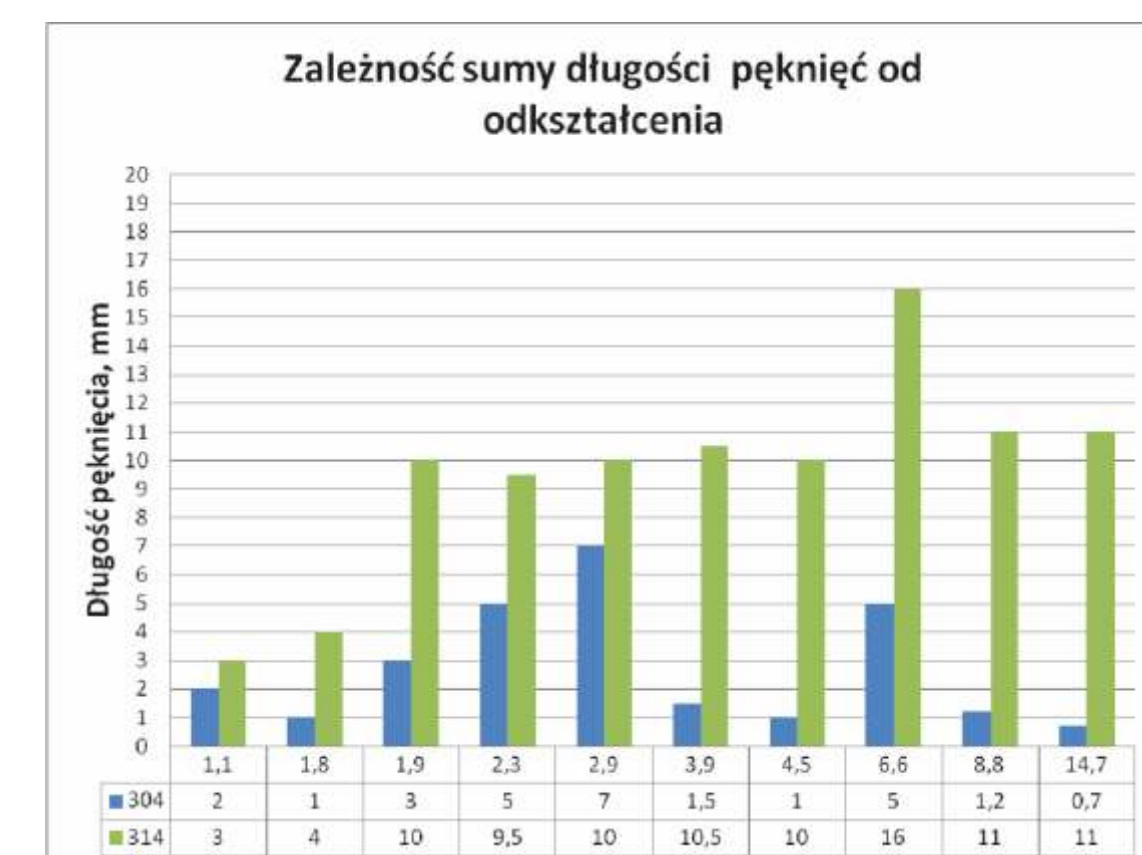
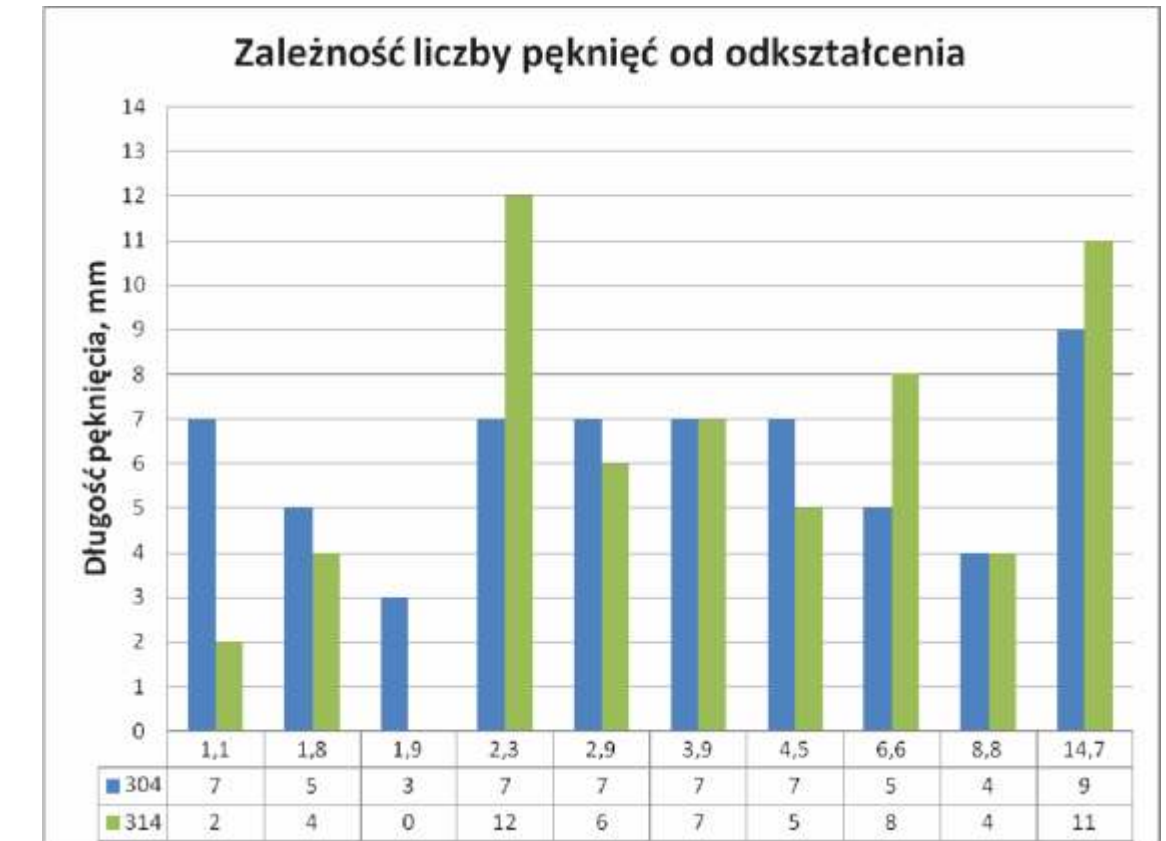
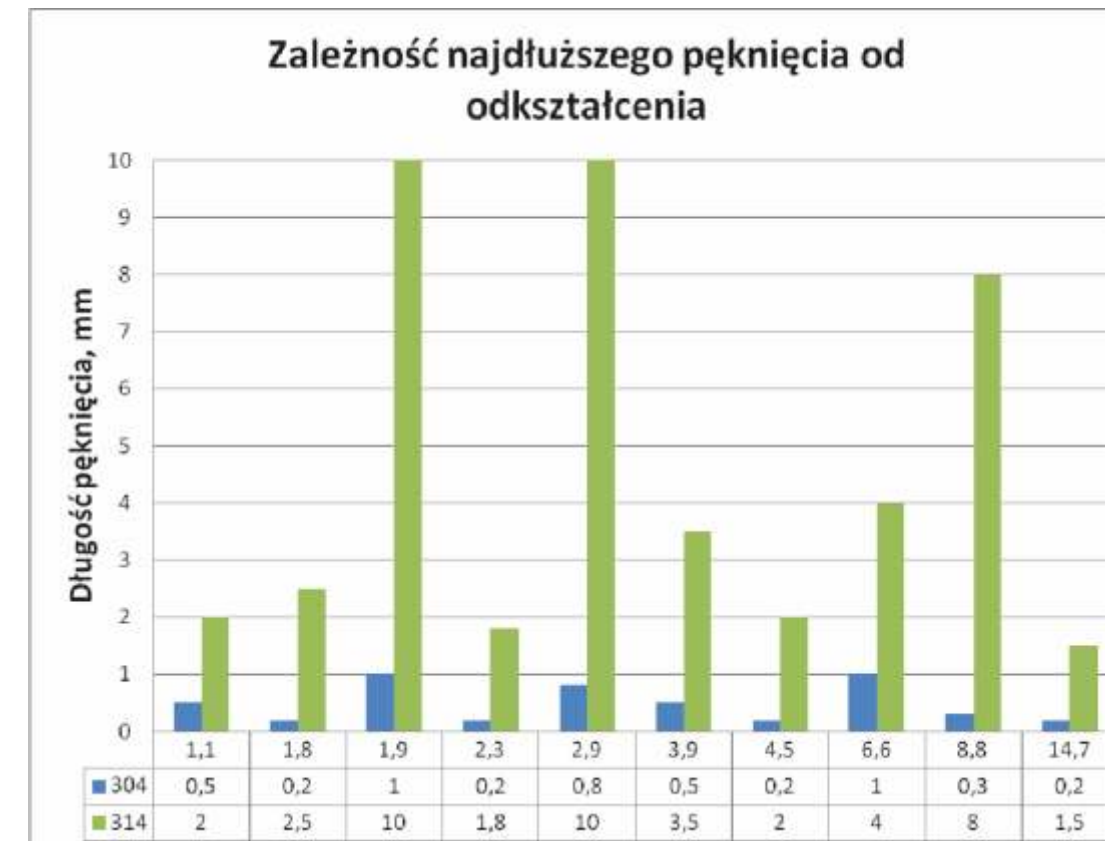
dr inż. Lechosław Tuz, mgr inż. Krzysztof Pańcikiewicz,
prof. dr hab. inż. Edmund Tasak, dr hab. inż. Janusz Adamiec, prof. PŚI,
dr inż. Tomasz Góral



Rys. 4. Pęknięcie gorące w stali 304 po dołamaniu próbki. Powierzchnia pęknięcia z równoległymi dendrytami, powierzchnia swobodna pęknięcia

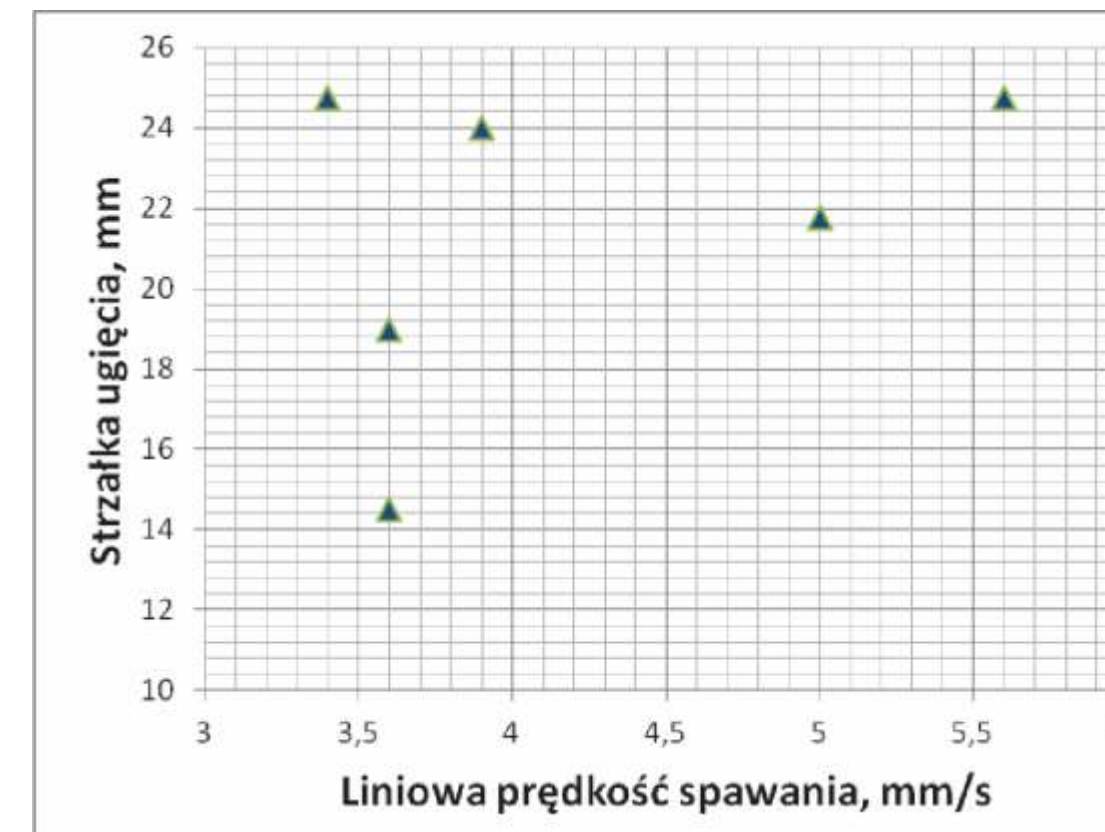


Rys. 5. Pęknięcie gorące w stali 314 po dołamaniu próbki. Powierzchnia pęknięcia, widoczne dendryty równoległe ułożone, powierzchnia swobodna pęknięcia

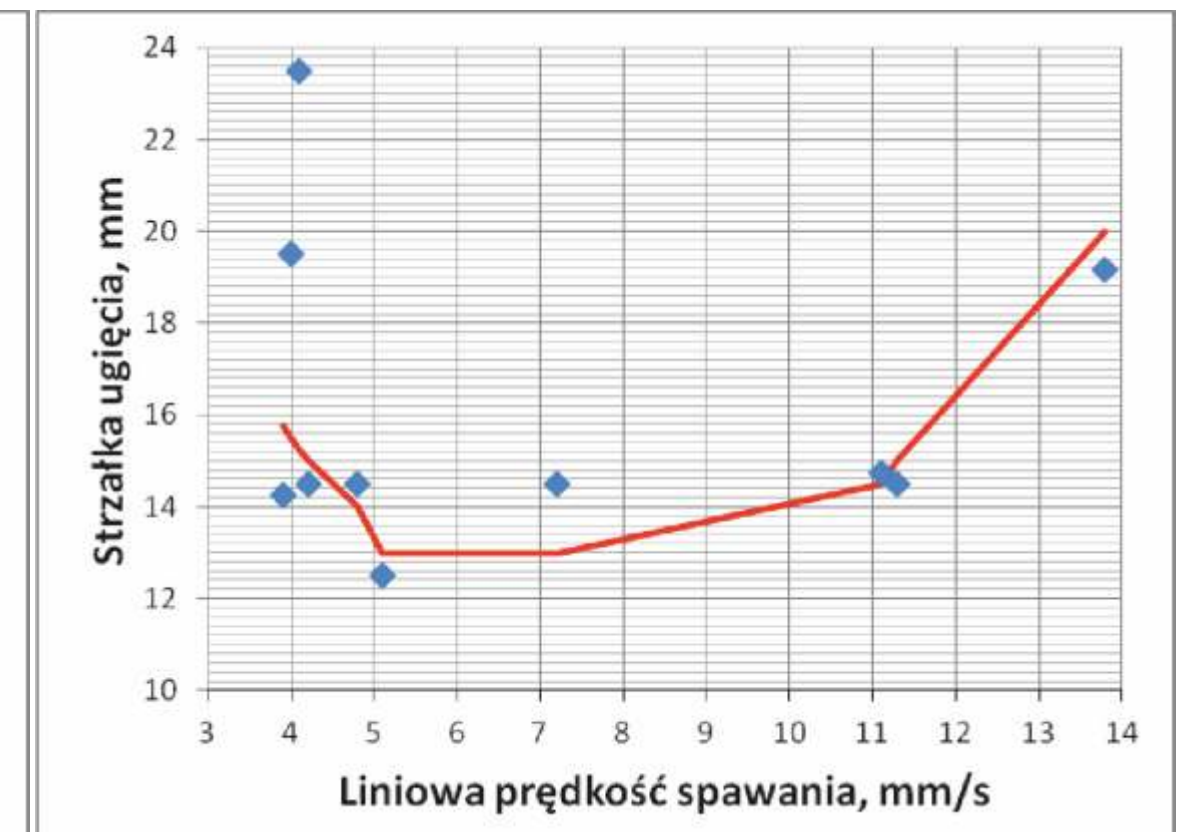


Metoda Blancheta

Miarą odporności na pęknięcie gorące jest wartość strzałki wstępnej ugięcia, przy której podczas spawania pojawiają się pęknięcia.



Rys. 6. Wyniki pomiarów skłonności do pęknięć gorących metodą Blancheta stali 304. Cały obszar bez pęknięć



Rys. 7. Wyniki pomiarów skłonności do pęknięć gorących metodą Blancheta stali 314. Obszar powyżej krzywej łamanej – obszar skłonności do pęknięć gorących

Wnioski

Wykonane próby wykazały, że:

- blachy ze stali 304 o grubości 1 mm nie wykazują skłonności do pęknięć gorących. Dla stali 314 wyznaczono obszary w funkcji odkształcenia i prędkości spawania, w których pęknięcia się rozpczynają. Dla stali 314 nie wyznaczono obszaru pęknięć kołowych, ponieważ znajdowały się one poza obszarem pomiarowym przyrządu pomiarowego.
- zaobserwowano wzrost skłonności do pęknięć gorących badanych stali w zależności od wielkości odkształcenia. Pęknięcia powstają w obszarze stało-ciekłym podczas tworzenia się dendrytów. Obecność ciekłego metalu pomiędzy dendrytami powoduje obniżenie plastyczności i wytrzymałości metalu będącego już w stanie stałym.
- w próbie Transvarestraint zaobserwowano pęknięcia o innym charakterze niż ujawnione pęknięcia w SWC w obszarze L+S dla stali 314; przypuszcza się, że są to pęknięcia typu DDC.

Podziękowania

Badania oceny skłonności do pęknięć gorących finansowane w ramach projektu PBS1/A5/13/2012 pt.: Technologia spawania laserem rur ozebroanych ze stali austenitycznych i stopów niklu przeznaczonych do pracy w kotłach o parametrach nadkrytycznych i ultranadkrytycznych" przez NCBIR.

Kontakt:

Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Próbki do badań przygotowano w ramach pracy statutowej AGH WIMiR nr 11.11.130.957.

Al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków
www.agh.edu.pl; ltuz@agh.edu.pl