

Ocena jakości złącza różnoimiennego ze stali HARDOX 450[®] i Strenx 700 MC[®]

Quality assessment of dissimilar welded joint of HARDOX 450[®] and Strenx 700 MC[®] steel

Streszczenie

W pracy poddano weryfikacji pod względem jakości złącze spawane ze stali HARDOX 450[®] i Strenx 700MC[®]. W tym celu wykonano różnoimienne złącze doczołowe metodą MAG z wykorzystaniem materiału dodatkowego w postaci drutu w gatunku 4Si1. Zakres badań obejmował badania nieniszczące: badania wizualne (VT), penetracyjne (PT) oraz radiograficzne (RT). Wykonano także badania niszczące polegające na obserwacjach makro- i mikroskopowych na przekroju złącza.

Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie materiału dodatkowego w postaci drutu w gatunku 4Si1 do łączenia stali HARDOX 450[®] ze stalą Strenx 700MC[®] zapewnia uzyskanie wymaganej jakości „B” połączeń spawanych. Analizowane złącze charakteryzowało się typową mikrostrukturą dla użytych materiałów rodzimych.

Słowa kluczowe: HARDOX 450[®]; Strenx 700MC[®]; jakość złączy spawanych; spawanie metodą MAG

Abstract

The paper presents the results of quality assessment of welded joints. The scope of the work was to investigate the non-destructive testing: visual testing (VT), penetration testing (PT) and radiological testing (RT). The study included also the survey breaking the macro- and microstructural test on the welded joint section.

The research has shown that the use of the welding consumables in form of a wire 4Si1 to joint HARDOX 450[®] with Strenx 700MC[®] ensures the required „B” quality of welded joints in accordance with regulatory requirements. The analyzed joint was characterized by typical microstructure for native materials used.

Keywords: HARDOX 450[®]; Strenx 700MC[®]; quality of welded joint; MAG method

Wstęp

Firmy produkujące naczepy dążą do obniżenia masy swoich produktów – ram pojazdów, zabudów, skrzyni ładunkowych – przede wszystkim poprzez zmianę konstrukcji w oparciu o nowoczesne materiały konstrukcyjne. Producenty stali, aby sprostać wymaganiom przemysłu motoryzacyjnego oraz ciągłemu trendowi redukcji masy pojazdów muszą wytwarzać coraz to nowsze materiały o znacznie lepszych właściwościach mechanicznych. Zmniejszenie masy konstrukcji zwiększa możliwości przewozowe, co jest bardzo korzystne na użytkowników [1,2]. Kluczowe zadania, jakie odgrywa tutaj materiał użyty do wykonania wyrobu to: zmniejszenie masy własnej, zwiększenie niezawodności oraz polepszenie funkcjonalności. Do projektowania konstrukcji spawanych naczep stosuje się materiały konstrukcyjne o podwyższonej wytrzymałości oraz wysokiej odporności na ścieranie, które można łączyć wieloma metodami spawania. Do takich materiałów zalicza się między innymi stal HARDOX 450[®] oraz Strenx 700MC[®]. Stal HARDOX 450[®]

charakteryzuje się wysoką odpornością na zużycie ścierne, dobrą spawalnością, wysokimi właściwościami mechanicznymi oraz odpornością na obciążenia udarowe [2,3]. Z kolei stal Strenx 700MC[®] jest to wysokowytrzymały materiał konstrukcyjny o dobrej spawalności i udarności w strefie wpływu ciepła, co czyni tą stal odporną na kruche pękanie [4]. Celem pracy była ocena jakościowa oraz mikrostrukturalna różnoimiennego złącza spawanego ze stali HARDOX 450[®] oraz Strenx 700MC[®]. Badane złącze wykonano w ramach kwalifikowania technologii spawania tych stali.

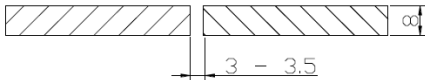
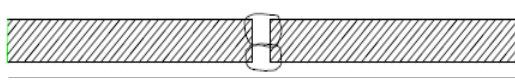
Materiał i metodyka badań

Materiałem badawczym było różnoimienne złącze spawane uzyskane z blach o grubości o 8 mm wykonanych ze stali Strenx 700MC[®] oraz HARDOX 450[®]. Złącze spawane wykonano za pomocą metody MAG w pozycji PA

Mgr inż. Klaudia Klimaszewska; dr hab. inż. Grzegorz Golański, prof. PCz – Politechnika Częstochowska; **mgr inż. Rafał Lis** – Wielton S.A.; **dr hab. inż. Jacek Słania, prof. nzw IS** – Instytut Spawalnictwa.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: kaudia.klima93@gmail.com

Tablica I. Przygotowanie próbek do spawania i parametry spawania
Table I. Preparation of samples to welding process and parameters of the welding

Szczegóły przygotowania złącza do spawania wg [5]				Kolejność spawania			
							
Szczegóły dotyczące spawania							
Ścieg	Metoda spawania	wymiar spoiwa [mm]	natężenie prądu [A]	napięcie łuku [V]	rodzaj prądu/biegunowość	prędkość przesuwu [cm/min]	ilość prowadzonego ciepła [kJ/mm]
1	135	∅ 1,2	180	20,5	DC/+	20	0,91
2	135	∅ 1,2	240	26	DC/+	29	1,02

z wykorzystaniem drutu w gatunku 4Si1 jako materiału dodatkowego. Parametry spawania oraz szczegóły przygotowania materiału do spawania przedstawiono w tablicy I.

Analiza składu chemicznego materiału rodzimego została wykonana za pomocą spektrometru iskrowego firmy Spectro-Lab K2. Skład chemiczny materiałów rodzimych oraz zastosowanego spoiwa przedstawiono w tablicach II-IV. W celu określenia poprawności wykonanego złącza spawanego przeprowadzono badania nieniszczące: VT – wizualne, PT – penetracyjne, RT – radiograficzne oraz niszczące: analizę makro- i mikroskopową przy użyciu mikroskopu świetlnego Axiovert 25 (OM) firmy Carl-Zeiss Jena. Obserwacje wykonano na zgładach metalograficznych trawionych nitaliem.

Tablica II. Skład chemiczny stali HARDOX 450®, % masy
Table II. The chemical composition of HARDOX 450® steel, % mass

C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	N	B
0,20	0,49	1,37	0,008	0,004	0,011	0,016	0,08	0,001

Tablica III. Skład chemiczny stali Strenx 700MC®, % masy
Table III. The chemical composition of Strenx 700MC® steel, % mass

C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	N	B
0,09	0,03	1,90	0,016	0,006	0,10	0,06	0,10	–

Tablica IV. Skład chemiczny materiału dodatkowego – drutu 4Si1, % masy [6]

Table IV. The chemical composition of welding consumables – wire 4Si1, % mass [6]

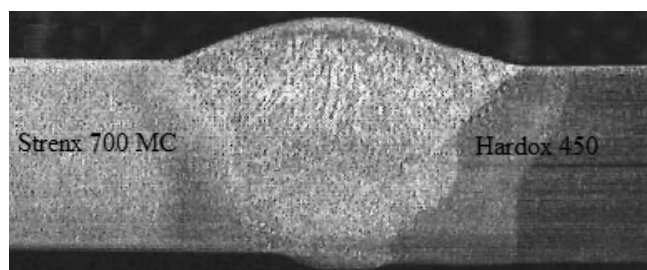
C	Si	Mn
0,10	1,00	1,70

Badania strukturalne złącza spawanego i ich analiza

W celu określenia jakości złączy spawanych, a tym samym poprawności ich spawania zostały wykonane badania metalograficzne makroskopowe, których wyniki zaprezentowano na rysunku 1. Obserwacje te oraz wyniki badań nieniszczących (VT, PT, RT) wykazały, że w badanym złączu spawanym nie stwierdzono żadnych niezgodności przekraczających poziom jakości „B” zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie [7].

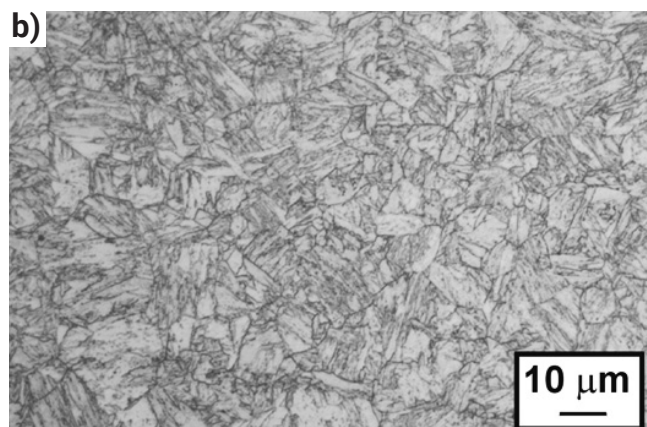
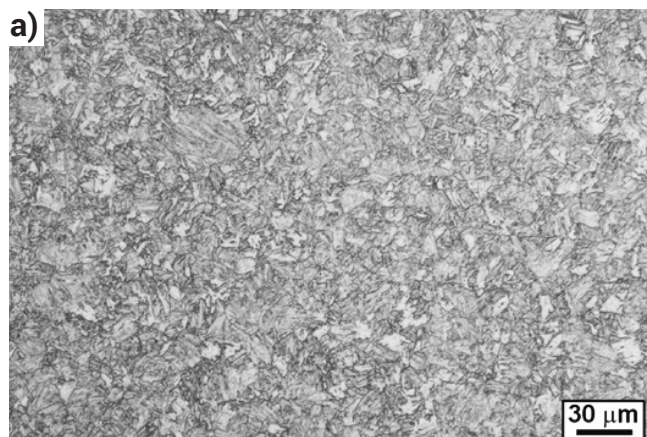
Stal HARDOX 450® w stanie dostawy posiadała strukturę bainityczną (bainityczno-martenzytyczną) (rys. 2). Obserwowana charakterystyczna budowa bainitu – jego „pierzasta” postać – wskazuje na prawdopodobną obecność w strukturze stali bainitu dolnego.

W pobliżu linii wtopienia widoczna była gruboigłasta struktura bainityczna (bainityczno-martenzytyczna). Zaobserwowane duże ziarno byłego austenitu determinujące wielkość pakietów martenzytycznych, co związane jest z oddziaływaniem wysokiej temperatury zbliżonej do temperatury A₄. Struktura strefy wpływu ciepła (SWC) stali HARDOX 450® (rys. 3) była zróżnicowana w zależności od odległości od linii



Rys. 1. Makroskopowy obraz analizowanego złącza spawanego, pow. 3x

Fig. 1. Macroscopic picture of the welded joint, mag. 3x

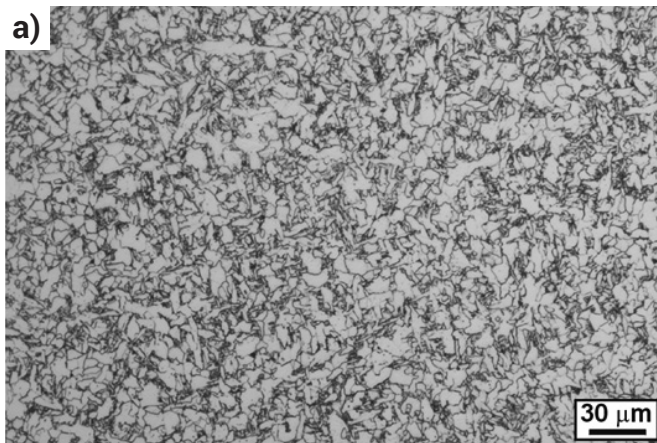


Rys. 2. Struktura stali HARDOX 450® – materiał rodzimy (MR)
Fig. 2. Structure of HARDOX 450® steel – base material (BM)

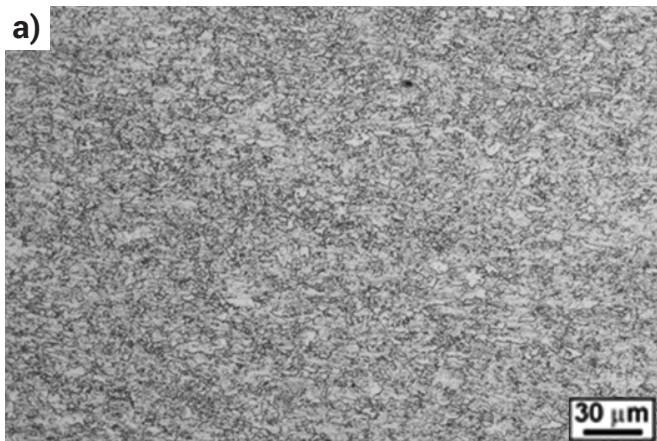
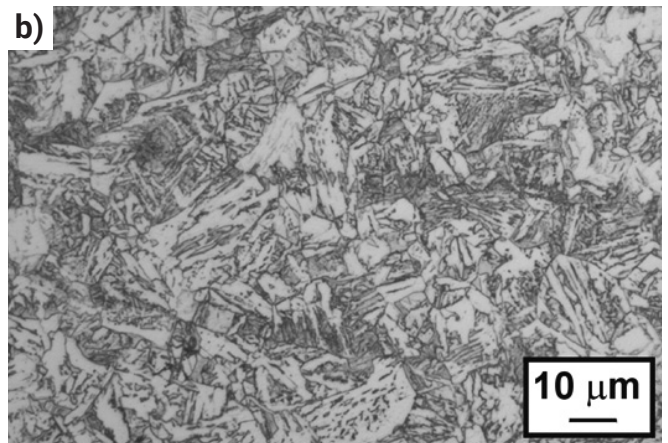
wtopienia. W miarę oddalania się od linii wtopienia w kierunku materiału rodzimego (MR) widoczne było rozdrobnienie ziarna i przejście SWC od struktury bainitycznej (bainityczno-martenzytycznej) poprzez strukturę ferrytyczno-bainityczną do struktury odpowiadającej materiałowi rodzimemu.

W obszarze niepełnej normalizacji (odpowiadającej temperaturze w zakresie $A_1 \div A_3$) widoczne w strukturze ziarna bainitu (martenzytu) wydzielone były zarówno po ich granicach ziaren, jak i w postaci odrębnych obszarów. Stal Strenx 700MC[®] charakteryzowała się strukturą bainityczno-ferrytyczną (rys. 4). W mikrostrukturze tej stali obserwowano liczne wydzielenia o charakterystycznym kształcie, prawdopodobnie azotków tytanu [8,9]. Struktura SWC stali Strenx 700MC[®] w pobliżu linii wtopienia (rys. 5) składa się z gruboziarnistej struktury bainitycznej z licznymi, drobnymi

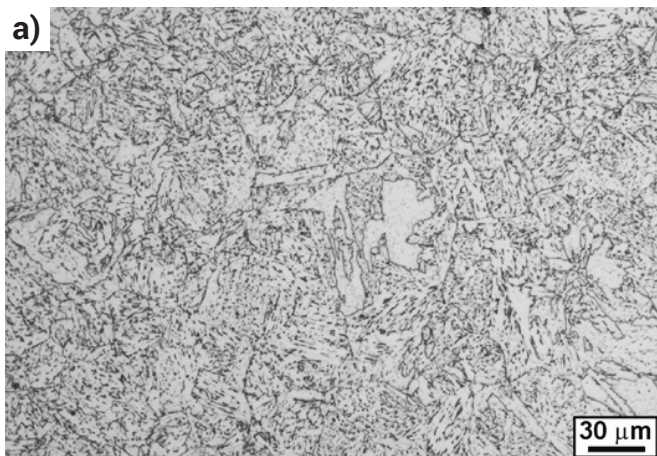
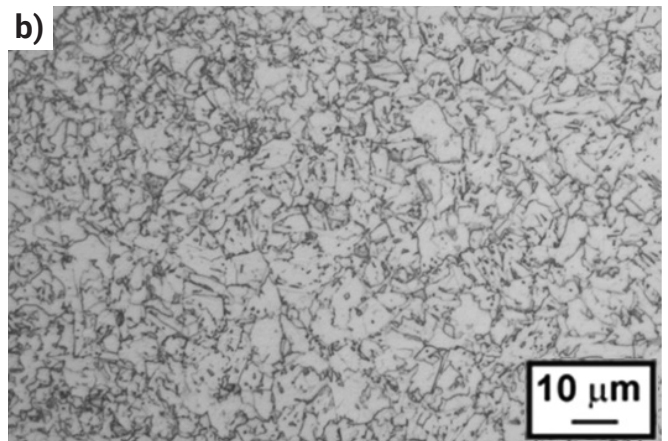
wydzielaniami wewnątrz ziaren, co wskazuje o możliwości samoodpuszczania powstającej struktury, co zapewne wynika z wysokiej temperatury M_s tej stali. Wielkość ziarna w SWC uzależniona była od temperatury w danym mikroobszarze, w pobliżu linii wtopienia była największa, a później ulegała zmniejszeniu. W SWC tej stali (rys. 6) podobnie, jak w materiale rodzimym widoczne były charakterystyczne wydzielania azotków tytanu. W SWC w obszarze zrekrytalizowanym obserwowano mikrostrukturę bainityczno-ferrytyczną o równoosiowych ziarnach (rys. 6). Struktura materiału spoiny (rys. 7) składała się z bainitu i ferrytu iglastego oraz ferrytu ziarnistego wydzielonego po granicach tych obszarów. Widoczny był zarys kolumnowej struktury pierwotnej, który był zorientowany w kierunku krystalizacji, co związane było z kierunkiem odprowadzania ciepła [10].



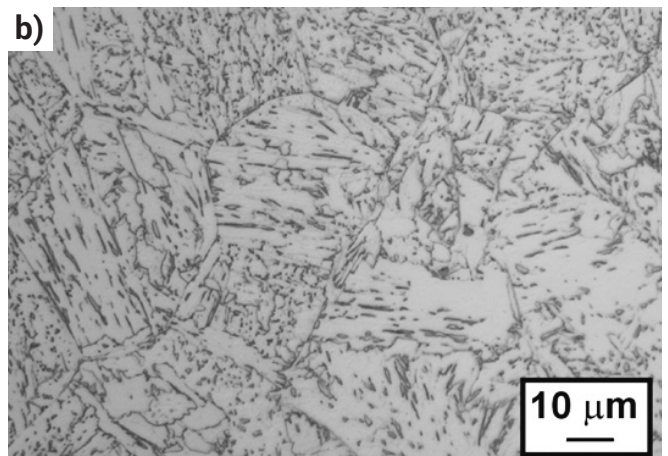
Rys. 3. Struktura stali HARDOX 450[®] – SWC
Fig. 3. Structure of HARDOX 450[®] steel – HAZ

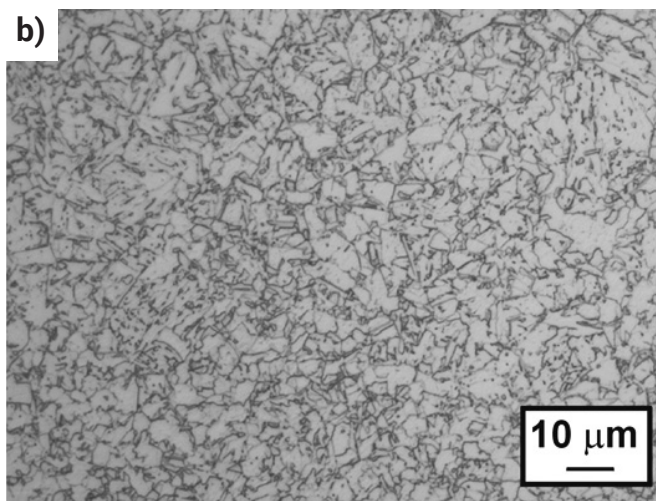
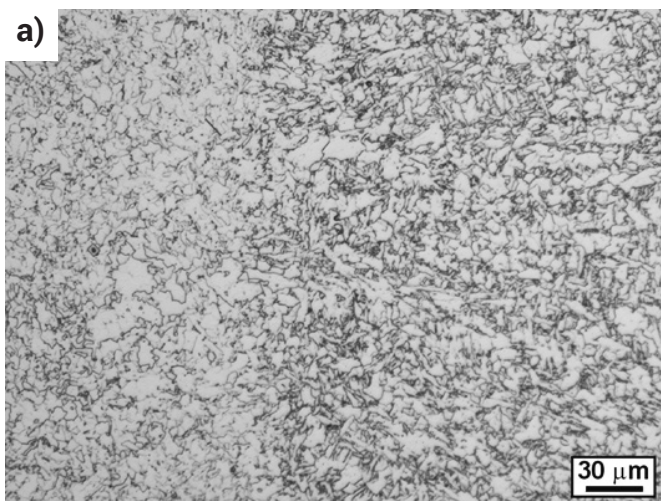


Rys. 4. Struktura stali Strenx 700MC[®] – materiał rodzimy (MR)
Fig. 4. Structure of Strenx 700MC[®] steel – base material (BM)

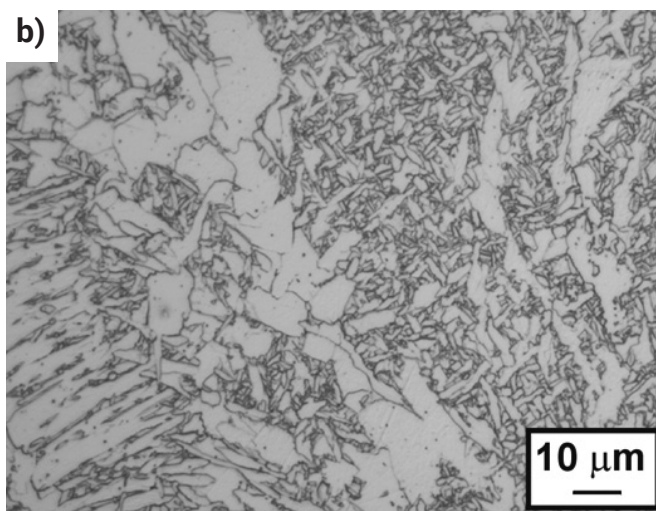
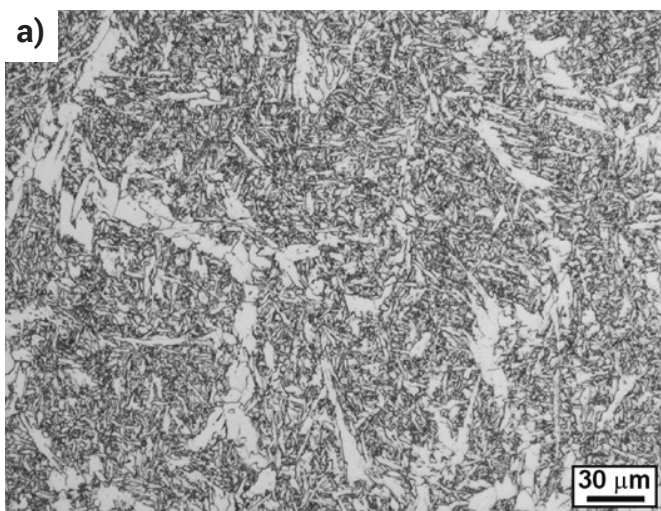


Rys. 5. Struktura stali Strenx 700MC[®] – SWC: a) w pobliżu linii wtopienia, b) w obszarze zrekrytalizowanym
Fig. 5. Structure of Strenx 700MC[®] steel – HAZ: a) near the fusion line, b) in the recrystallized area





Rys. 6. Struktura stali Strenx 700MC[®] – SWC
Fig. 6. Structure of Strenx 700MC[®] steel – HAZ



Rys. 7. Struktura materiału spoiny
Fig. 7. Structure of joint material

Podsumowanie

Zastosowany materiał dodatkowy w postaci drutu w gatunku 4Si1 pozwolił na uzyskanie jakości „B” badanego złącza spawanego zgodnie z wymaganiami normatywnymi. Badania niszczące ujawniły, że analizowane złącze spawane charakteryzowało się prawidłową mikrostrukturą o strukturze zależnej od ilości wprowadzonego ciepła w danym obszarze SWC. Kierunek dalszych badań będzie obejmował ocenę jakości złącza spawanego ze stali HARDOX 450[®] i Strenx 700MC[®] przy zastosowaniu materiału dodatkowego o wyższych właściwościach wytrzymałościowych w stosunku do spoiwa 4Si1.

Literatura

- [1] Mazur M., Ulewicz R.: Innovative materials in construction of semitrailers car, *Zeszyty Naukowe, Quality. Production. Improvement*, 1, 2014, pp. 45-54.
- [2] Ulewicz R., Mazur M., Bokůvka O.: Structure and mechanical properties of fine-grained steels, *Transportation Engineering*, 41/2, 2013, pp. 111-115.
- [3] Hardox – Das Verschleißblech der vielen Möglichkeiten, Wydawnictwo SSAB Oxelösund, 2002, dostęp 02.11.2017.
- [4] Skowrońska B., Szulc J., Chmielewski T., Golański D.: Wybrane właściwości złączy spawanych stali S700MC wykonanych metodą hybrydową plazma+MAG, *Przegląd Spawalnictwa*, 10, 2017, s. 104-111.
- [5] PN-EN ISO 9692-1:2014-02 – Spawanie i procesy pokrewne – Rodzaje przygotowania złączy – Część 1: Ręczne spawanie łukowe, spawanie łukowe elektrodą metalową w osłonie gazów, spawanie gazowe, spawanie metodą TIG i spawanie wiązką stali.
- [6] www.wdi.de, dostęp 22.10.2017.
- [7] PN-EN ISO 5817:2014-05 Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [8] Konat Ł., Pękalski G., Oskwarek M.: Macro and microstructural properties of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, XIX Scientific Conference „Development Problems of Working Machines”, Technical Magazine, Zakopane, January 2006, pp. 15-27.
- [9] Oskwarek M.: Structural features and susceptibility to cracking of welded joints of Hardox 400 and Hardox 500 steels, *Conference Proceedings, IV Scientific Conference of Students*, Wrocław University of Technology Publishing House, Wrocław 2006.
- [10] Tasak E., Ziewiec A.: Pęknięcie spoin w procesie krzepnięcia, *Przegląd Spawalnictwa* 1, 2007, s. 14-18.