

Streszczenie

W niniejszej pracy, rozważaniami objęto wpływ przeprowadzonych zabiegów spawalniczych na właściwości mechaniczne, odporność na zużywanie ścierne oraz obciążenia dynamiczne w strefie złącza spawanego oraz materiału rodzimego wysokowytrzymałych stali Hardox. Powyższe tworzywa są stopowane borem, który dodany w ilościach uznawanych dla pozostałych pierwiastków stopowych za znikome (0,002%), gwałtownie podnosi hartowność. Pierwsze badania nad wpływem tego dodatku na właściwości stali pochodzą z lat 30-tych XX wieku, gdy wprowadzony do wytopu stali żelazostop Al-Si-Zr-Ti zawierał pierwiastki stopowe hamujące negatywny wpływ boru na hartowność, uzyskując w efekcie stale bainityczne o wytrzymałość sięgającej 1200 MPa. Następnie, pierwiastek ten zaczął być szeroko wykorzystywany ze względów ekonomicznych, gdy wojny spowodowały ograniczenia w dostępności drogich pierwiastków, takich jak chrom, nikiel i molibden.

Masowa produkcja stali o podwyższonej odporności na zużywanie ścierne rozpoczęła się w latach 50-tych XX wieku. Ówczesnie, japoński koncern hutniczy JFE Steel Corporation wypuścił na rynek stale JFE EVERHARD, które były rekomendowane do wykorzystania na elementy maszyn przemysłu wydobywczego, budowlanego, transportowego, cementowego czy rolniczego. Powyższa grupa stali jest również współcześnie wykorzystywana na nadwozia wywrotek, łyżki koparek, leje zsypanne, haki.

W Europie, produkcja pierwszych stali o podwyższonej odporności na zużywanie ścierne z dodatkiem boru rozpoczęła się w 1970 roku. Szwedzki koncern SSAB-Oxelösund wytworzył wówczas stal Hardox 400, która charakteryzowała się wysoką twardością i wytrzymałością, pomimo niskiej zawartości węgla, na poziomie ok. 0,15%. Należy zaznaczyć, że nie jest to zapewne przypadkowe, ponieważ szwedzka historia przemysłu wydobywczego i hutniczego ma wielowiekowe tradycje. Ze względu na dostępność drewna i bogate złoża rudy żelaza o wyjątkowej czystości, Szwecja już w XVII wieku odpowiadała za około połowę produkcji europejskiej stali. Współcześnie, w ramach przedsięwzięcia HYBRIT, w którym zakłada się zerową emisję śladu węglowego przy produkcji stali ze względu na wykorzystanie energii elektrycznej i wodoru zamiast kopaliny, niezbędnych do ogrzania rudy podczas procesów redukcji, Szwecja przoduje w zakresie wykorzystania nowoczesnych technologii niskoemisyjnych w hutnictwie.

Stale Hardox zostały sprowadzone do Polski w 1996 roku, natomiast pierwsza informacja w publikacjach krajowych pochodzi z 2004 roku. W pracy wydanej w 2007 roku, powyższy gatunek tworzyw metalicznych został sklasyfikowany do grupy niskostopowych stali martenzytycznych z borem. Szybko zdobył uznanie i zaczęto go szeroko stosować w przemyśle wydobywczym. Testy eksploatacyjne

stali Hardox wykorzystanych na płyty wykładzinowe zsuwni koła czerpakowego koparki KWK-1500s pracującej w kopalni „Turów” potwierdziły ich przewagę nad dotychczas stosowanymi materiałami (w tym stali 18G2A z naniesioną warstwą napoiny Fe-Cr-C). Wśród gatunków o podobnych właściwościach należy wymienić stale Brinar, Raex, Perdur, Creusabro, Relia, Dillidur, Armox.

Łyżki koparek, elementy koła czerpakowego, leje i przesypy są narażone również na pracę w warunkach obciążeń dynamicznych, wobec czego uważa się, że obok wysokiej twardości, dodatkowym kryterium klasyfikacyjnym materiału powinny być jego właściwości plastyczne (A, Z) i udarność. Pozostałe wymagania uwzględniają odporność korozyjną, a także aspekty technologiczne, w tym zadowalającą spawalność. Jednakże, w stalach martenzytycznych stopowanych borem, pomimo deklarowanego zadowalającego współczynnika *CEV*, po przeprowadzeniu prób spawania zaobserwowano niekorzystne zmiany, które wpływały na znaczne skrócenie trwałości elementów wykonanych z ww. materiałów. Liczne zmiany mikrostrukturalne, a także w wielu przypadkach nieodpowiednio przeprowadzona obróbka cieplna, skokowo zmniejszały odporność omawianej grupy stali na zużywanie ściernie i doprowadzały do diametralnego obniżenia ich właściwości mechanicznych oraz użytkowych. Dla przykładu, zamontowane technikami spawalniczymi na czerpaku listwy noża wykonane ze stali Hardox 400 uległy zużyciu w czasie dwukrotnie krótszym niż te wykonane ze stali 18G2A (P355), jednak najintensywniejsze zużycie nastąpiło nie w obszarze materiału rodzimego, ale w szerokiej strefie wpływu ciepła i materiale stopiwa. Na tej podstawie, wychodząc z ogólnie przyjmowanego założenia, iż za odporność stali na procesy zużywania ściernego odpowiadają jej wysokie parametry mechaniczne i plastyczne, można wskazać, że na skutek zmian mikrostrukturalnych powstających w procesie spawania, następuje diametralne obniżenie wszystkich cech użytkowych. Otrzymanie mikrostruktury martenzytycznej, determinującej uzyskanie wysokich właściwości wytrzymałościowych materiału, jest problematyczne bezpośrednio po procesie spawania. Co więcej, w obszarze strefy wpływu ciepła występuje tzw. karb mikrostrukturalny, przejawiający się spadkiem właściwości mechanicznych aż o 50%. W odniesieniu do powyższego, autorka niniejszego opracowania zdecydowała się poddać szerszej analizie możliwości spawania niskostopowych stali martenzytycznych z borem (na przykładzie stali Hardox 450 i Hardox Extreme), przy założeniu uzyskania zbliżonych do materiału rodzimego wskaźników mechanicznych i odporności na zużywanie ściernie w strefie materiału stopiwa i w strefie wpływu ciepła. Rezultaty badań zostały przedstawione w trzech rozdziałach:

1. W pierwszej części badawczej pracy skupiono się na analizie materiałoznawczej wybranych stali Hardox w stanie wyjściowym z huty.

2. W drugiej części badawczej pracy zreferowano wyniki badań nad właściwościami materiału stopiwa, strefy wpływu ciepła oraz strefy materiału rodzimego.

3. W trzeciej części badawczej pracy przedstawiono wyniki testów odporności balistycznej przeciwko amunicji pośredniej 7,62 × 39 mm nb. wz. 43 z poc. PS oraz 7,62 × 54R mm nb. kb. ŁPS połączeń spawanych stali Hardox 450.

W każdym przypadku, przeprowadzone badania materiału rodzimego i złącza spawanego obejmowały identyfikację mikroskopową struktur, badania wielkości ziarna byłego austenitu, wytrzymałości na rozciąganie R_m , udarności i budowy przełomów udarnościowych w funkcji temperatury, odporności na zużywanie ściernie w obecności luźnego ścierniwa i glebowej masy ścierniej.

Na podstawie uzyskanych rezultatów badań opracowano charakterystyki materiałowe stali Hardox i ich połączeń spawanych w różnych wariantach obróbki cieplnej oraz sformułowano propozycję ich zastosowania na elementy zabudowy balistycznej, które są montowane technikami spawalniczymi. Przedstawiono także rekomendacje odnośnie technologii spawania stali Hardox 450 i Hardox Extreme oraz późniejszej obróbki cieplnej złączy spawanych.