

Ocena mikrostruktury i wybranych własności mechanicznych złączy zgrzewanych wybuchowo po obróbce cieplnej

Evaluation of microstructure and selected mechanical properties of explosive welded joints after heat treatment

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki oceny makro- i mikrostruktury złączy zgrzewanych wybuchowo poddanych obróbce cieplnej. Materiałem podstawowym do wykonania platerów była stal niestopowa P355NH, a materiałami nakładanymi były stale austenityczne 316L i 254SMO oraz stal superduplex SAF2507. Ocenie poddano mikrostrukturę stali podłoża oraz nakładanych powłok ze szczególnym uwzględnieniem miejsca połączenia. Badania przeprowadzono na zglądach metalograficznych w przekroju poprzecznym złącza z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej. Dodatkowo, w celu określenia właściwości mechanicznych złączy wykonano pomiary twardości.

Słowa kluczowe: zgrzewane wybuchowe; mikrostruktura; właściwości mechaniczne; obróbka cieplna

Abstract

The paper presents results of macro- and microstructure evaluation of explosive welded joints after heat treatment. As the base plate was non-alloyed steel – P355NH. The cladding plate were two austenitic steels (316L and 254SMO) and super duplex steel (SAF2507). The microstructure testing was carried out near to fusion line on the side of base plate and cladding plate. The evaluation was carried out in the cross sections of joints. To assess the mechanical properties changes before and after heat treatment, the hardness measurement was done.

Keywords: explosive welding; microstructure; mechanical properties; heat treatment

Wstęp

Wstęp Technologia zgrzewania wybuchowego pozwala na łączenie ze sobą metali i ich stopów o różnych właściwościach fizycznych w tym nie wykazujących wspólnej rozpuszczalności lub tworzących kruche fazy międzymetaliczne. W procesie zgrzewania wybuchowego uzyskiwane jest złącze o charakterystycznej falistej budowie w obszarze zgrzania. Ze względu na przebieg procesu, w tym silne odkształcenie plastyczne materiału nakładanego, obserwowane są zmiany właściwości mechanicznych i mikrostruktury przy linii zgrzania [1,3]. W wyniku zgrzewania wybuchowego w pobliżu złącza obserwowane jest umocnienie zgniotowe, co przekłada się na znaczny wzrost twardości w tym obszarze. W celu usunięcia powstałych naprężeń i efektu zgniotu stosuje się obróbkę cieplną platerów obejmującą wyżarzanie odprężające, rekrytalizujące lub normalizujące [2,3]. W przypadku złączy stali austenitycznych istotny jest odpowiedni dobór parametrów obróbki cieplnej w celu uniknięcia wydzielenia się węglików po granicach ziarn mogących być przyczyną np. korozji międzykrystalicznej [2].

Do badań wykorzystano złącza zgrzewane stali niestopowej ze stalami stopowymi poddane obróbce cieplnej. Badania obejmowały ocenę mikrostruktury i wybranych właściwości mechanicznych.

Metodyka badań

Do badań wykorzystano złącza zgrzewane stali niestopowej P355NH (materiał podłoża) i stali 316L, SAF2507, 254SMO. Składy chemiczne materiałów podłoża i nakładanych przedstawiono odpowiednio w tablicy I i II. Złącza zostały wykonane w Zakładzie Technologii Wysokoenergetycznych EXPLOMET Gałka Szulc Sp. J. Opola. Próbkę do badań oznaczono: x/1, x/2, x/3, gdzie x to numer odpowiadający danemu materiałowi nakładanemu, a odpowiednio 1 oznacza próbkę bez obróbki cieplnej, 2 po obróbce cieplnej w temperaturze 610 °C przez 90 min, i 3 po obróbce cieplnej w temp. 910 °C przez 30 min. Materiały nakładane mają przyporządkowaną następującą numerację: 2 - stal SAF2507, 4 - stal 254SMO, 5 - stal 316L. Złącza zgrzewane poddane zostały badaniom ultradźwiękowym, które nie ujawniły występowania wad zgrzein.

Obserwacje makro- i mikrostruktury wykonano przy wykorzystaniu mikroskopii świetlnej. Obserwacje przeprowadzono na zglądach metalograficznych szlifowanych i trawionych. Właściwości mechaniczne oceniano w oparciu o pomiary twardości metodą Vickersa przy obciążeniu wgłębnika 0,5 kG (HV0,5). Odciski wykonano w odstępach co 0,2 mm, po 10 odcisków w materiale nakładanym i podstawowym.

Inż. Natalia Pocica; dr inż. Lechosław Tuz – AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: npocica@gmail.com

Tablica I. Skład chemiczny materiału podłoża
Table I. Chemical composition of the base metal

Gatunek	Skład chemiczny %									
	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Cu	Cr	Ni
P355NH	0,18	0,33	1,23	0,012	0,001	0,003	0,038	0,19	0,03	0,21
	Mo	V	Ti	Nb	*EV1	**EV2	B	Fe		
	0,003	0,003	0,003	0,02	0,03	0,42	0,0003	reszta		

*EV1: V+Nb+Ti
 **EV2: CEV=C+Mn/6+Mo/5+Ni/15+Cr/5+V/5+Cu/15

Tablica II. Skład chemiczny materiałów nakładanych
Table II. Chemical composition of the coat metals

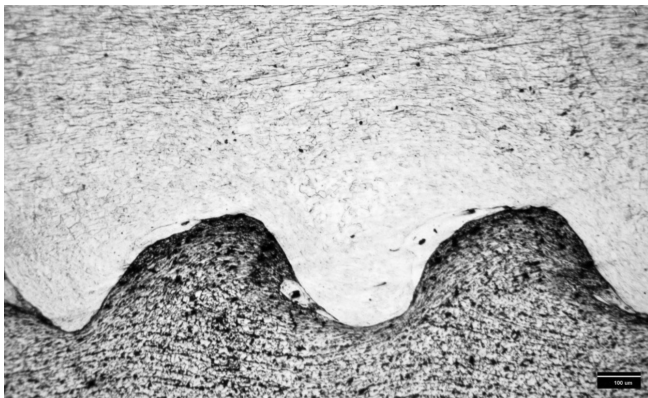
Gatunek	Skład chemiczny %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	N	Nb	Fe
SAF2507	0,015	0,37	0,83	0,026	0,001	24,9	6,86	3,79	0,33	-	0,25	-	reszta
254SMO	0,014	0,39	0,38	0,021	0,001	19,99	17,96	6,05	-	-	-	0,012	reszta
316L	0,024	0,420	1,510	0,024	0,002	16,9	10,0	2,010	-	0,010	0,40	-	reszta

Wyniki badań i ich analiza

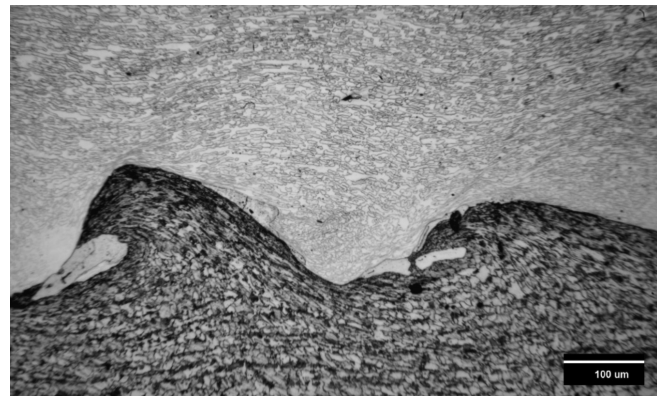
Makro- i mikrostruktura złącza

We wszystkich badanych próbkach zaobserwowano falisty charakter połączenia w miejscu zgrzania. Ujawniono występowanie niewielkiej ilości przetopień, których występowanie uzależnić można od parametrów procesu.

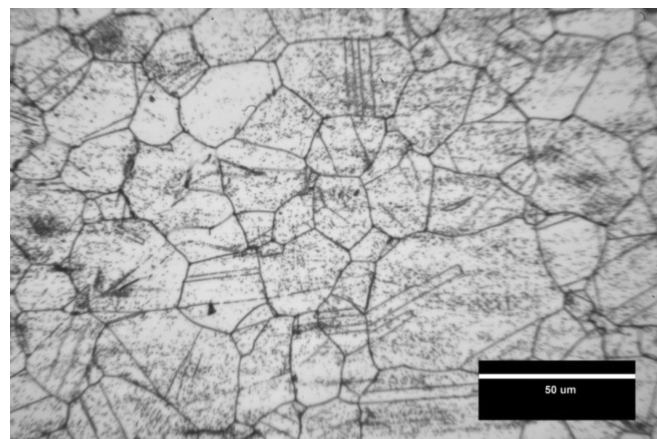
W złączach przed obróbką cieplną ujawniono strukturę ferrytyczno-perlityczną materiału podłoża z silnie odkształconymi ziarnami w pobliżu linii zgrzania. Oddalając się od linii zgrzania występuje struktura ferrytyczno-perlityczna z ułożonymi naprzemiennie pasmami ferrytu i perlitu. Ziarna w tym obszarze nie uległy odkształceniu plastycznemu na skutek procesu zgrzewania (struktura po walcowaniu). Silnie odkształcone ziarna obserwowane są również po stronie materiału nakładanego (rys. 1). W przypadku tych materiałów również oddalając się od linii zgrzania silne odkształcenie zanika. Widoczne jest efekt bliźniakowania – bliźniaki wyżarzania (obecne przed zgrzewaniem i powstałe na skutek wysokiej temperatury procesu) i nowo powstałe bliźniaki mechaniczne (powstałe na skutek odkształcenia plastycznego nakładanej blachy). Ferrytyczno-austenityczna struktura stali superduplex uległa dużemu zniekształceniu przy linii zgrzania (rys. 2).



Rys. 1. Struktura złącza P355NH-316L bez obróbki cieplnej
Fig. 1. Structure of P355NH-316L explosive welded joint without heat treatment



Rys. 2. Struktura złącza P355NH-SAF2507 bez obróbki cieplnej
Fig. 2. Structure of P355NH-SAF2507 explosive welded joint without heat treatment

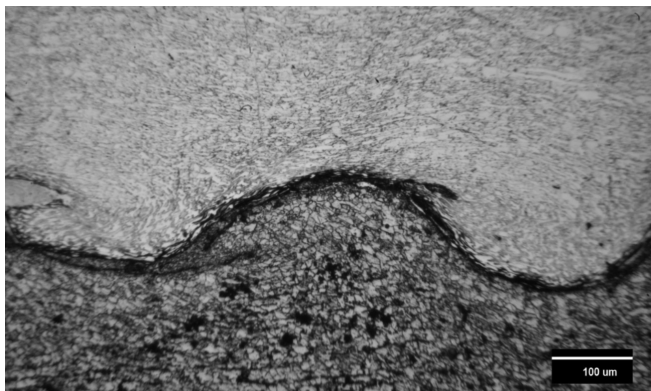


Rys. 3. Struktura stali 254SMO
Fig. 3. Structure of 254SMO steel

W przypadku stali 316L oraz 254SMO zaobserwowano silnie odkształcone ziarna austenitu w pobliżu złącza. Uwidoczniono również liczne pasma poślizgu oraz bliźniaki odkształcenia wynikające z umocnienia zgniotem (rys. 3).

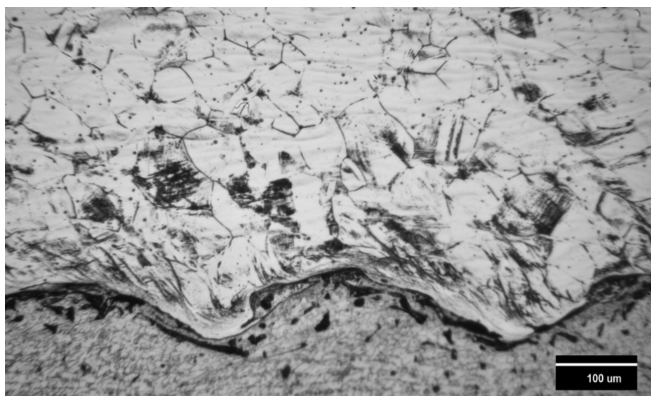
Zastosowana obróbka cieplna w temp. 610 °C przez 90 min nie wpłynęła znacząco na zmiany w strukturze każdej z trzech badanych próbek (rys. 4÷6). Nie zaobserwowano

w żadnej z badanych stali rozrostu ziarna. Wskazuje to, że podczas obróbki cieplnej nie została przekroczona temperatura rekrytalizacji. Nie został usunięty również efekt umocnienia zgniotowego. Potwierdzają to wyniki pomiarów twardości, które są porównywalne do wyników otrzymanych dla próbek nieobrobionych cieplnie.



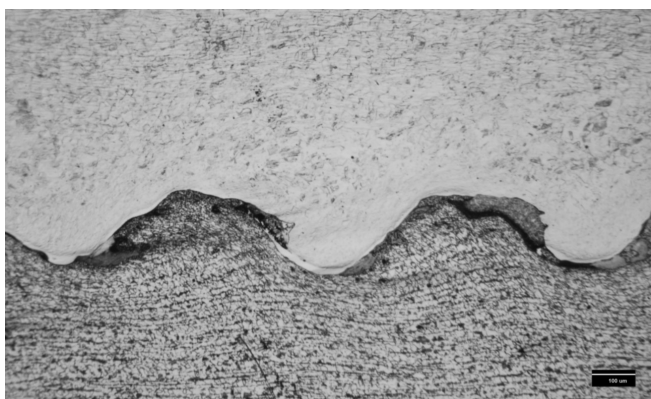
Rys. 4. Struktura złącza P355NH-SAF2507 po obróbce w temp. 610 °C przez 90 min.

Fig. 4. Structure of P355NH-SAF2507 explosive welded joint after heat treatment: 610 °C/90 min.



Rys. 5. Struktura złącza P355NH-254SMO po obróbce cieplnej w temp. 610 °C przez 90 min.

Fig. 5. Structure of P355NH-254SMO explosive welded joint after heat treatment: 610 °C/90 min.

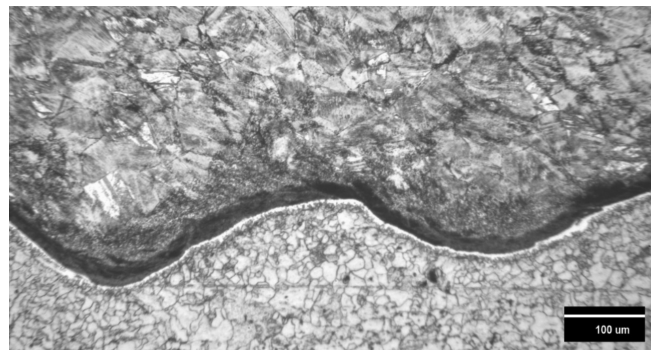


Rys. 6. Struktura złącza P355NH-316L po obróbce cieplnej w temp. 610 °C przez 90 min.

Fig. 6. Structure of P355NH-316L explosive welded joint after heat treatment: 610 °C/90 min.

Obróbka cieplna platerów w temp. 910 °C przez 30 min spowodowała odwęglenie stali P355NH w pobliżu linii złącza dla każdej z badanych próbek (rys. 7 i 8). Występuje głównie ferryt z niewielką ilością perlitu. Zaobserwowano również rozrost ziaren ferrytu w materiale podstawowym

oraz rozrost ziaren austenitu w materiale nakładanym, co jest wynikiem procesu rekrytalizacji. Zmiany struktury w złączach potwierdzają pomiary twardości, która znacznie spadła w obszarze złącza co świadczy o tym, że efekt zgniotu został usunięty.



Rys. 7. Struktura złącza P355NH-254SMO po obróbce cieplnej w temp. 910 °C/30 min.

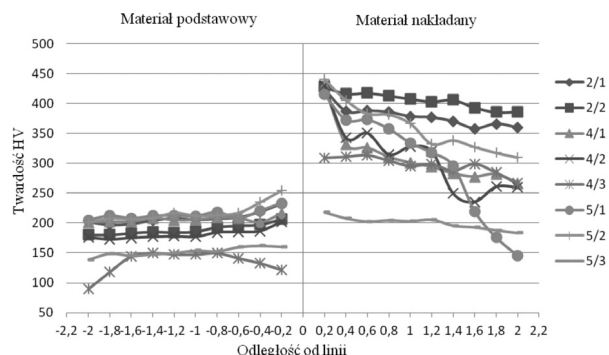
Fig. 7. Structure of P355NH-254SMO explosive welded joint after heat treatment: 910 °C/30 min.



Rys. 8. Struktura złącza P355NH-316L po obróbce cieplnej w temp. 910 °C/30 min.

Fig. 8. Structure of P355NH-316L explosive welded joint after heat treatment: 910 °C/30 min.

Wykonane pomiary ujawniły nieznaczny wzrost twardości o ok. 30÷50 HV_{0,5} w materiale podstawowym (stal P355NH) w wyniku procesu zgrzewania. Obszar o podwyższonej twardości sięga ok. 0,4÷0,8 mm od linii zgrzewania. Podobny efekt wzrostu twardości zaobserwowano również w platerach – najsilniejszy w stali 316L (o ok. 150 HV_{0,5}), a najmniejszy w stali SAF2507. Zastosowana obróbka w OC2 (910 °C/30 min) spowodowała spadek twardości zarówno metali podłoża jak i platerów austenitycznych. W przypadku stali 316L obserwowana jest najmniejsza różnica twardości pomiędzy podłożem i platerem. Obróbka cieplna OC1 (610 °C/90 min) nie wpływa znacząco na zmianę twardości.



Rys. 9. Rozkład twardości w badanych złączach

Fig. 9. Hardness distribution in the analysed explosive welded joints

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Technologia zgrzewania wybuchowego powoduje znaczne odkształcenie materiałów łączonych w pobliżu linii zgrzania,
2. Obróbka cieplna platerów w temp. 610 °C nie powoduje zmian strukturalnych w materiale podstawowym i nakładanym i nie wpływa na obniżenie efektu umocnienia zgniotowego.
3. W wyniku obróbki w temp. 910 °C/30 min. obserwuje się spadek właściwości mechanicznych zarówno w materiale podstawowym, jak i nakładanym.



*Praca powstała z wykorzystaniem części badań prowadzonych
w ramach programu M-Era.net
„Nowe, odporne korozyjnie materiały wytworzone metodą wybuchową
dla zastosowań w instalacjach geotermalnych”;
współfinansowany z środków NCBiR decyzją numer DZP/M-ERA.NET-2013/2309/2014.*



Literatura

- [1] Babul W., 1980: Odkształcenie metali wybuchem. Wyd. Naukowo – Techniczne, Warszawa.
- [2] Pocica A., Bański R., Waindok P., Szulc Z., Gałka A., 2008: Wpływ czasu obróbki cieplnej na własności bimetalu tytan-stal. XVI Międzynarodowa Konferencja „Spawanie w energetyce”. Opole-Jarnołtówek 23-25 kwietnia 2008, Opole.
- [3] Walczak W., 1989: Zgrzewanie wybuchowe metali i jego zastosowanie. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.