

Badania nad zastosowaniem zgrzewania wybuchowego do wytwarzania blach bimetalicznych ze stopów CuSn5/AgPd30

Wstęp

Wymagania techniczne, jak również dążenie do obniżenia kosztów produkcji, sprawiają, że w elementach elektronicznych stosuje się coraz częściej materiały platerowane dwu- i wielowarstwowe. Materiały takie bardzo często odznaczają się oryginalnymi własnościami niemożliwymi do uzyskania dla litego materiału.

Nowoczesna elektronika, zwłaszcza kontaktronika, coraz częściej wykorzystuje te własności w urządzeniach przełączających oraz łączących. Biorąc pod uwagę zaprogramowany szybki rozwój polskiej elektroniki i związane z tym potrzeby materiałowe przedstawiono metodę otrzymywania mikroprofilu bimetalowych na podstawie zgrzewania wybuchowego. Celem pracy było opracowanie technologii otrzymywania mikroprofilu oraz prześledzenie zmian strukturalnych zachodzących w trakcie zaproponowanego procesu.

1. PLATEROWANIE METODĄ ZGRZEWANIA WYBUCHOWEGO

Platerowanie metodą wybuchową nie stanowi obecnie konkurencji w stosunku do platerowania galwanicznego, czy też walcowania na gorąco, rozszerza jednak w sposób bardzo korzystny zakres platerów możliwych do otrzymywania.

Metodą platerowania wybuchowego mogą być łączone metale, które dyfundują w czasie ich łączenia na gorąco tworząc kruche fazy międzymetaliczne, bądź metale, których wspólne walcowanie jest niemożliwe.

1.1. Sposoby zgrzewania metali wybuchem

Zgrzewanie wybuchowe polega na połączeniu dwóch lub więcej elementów metalowych za pomocą energii wyzwalającej się przy detonacji kruszącego ładunku wybuchowego. Sposoby łączenia wybuchem można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

(1) sposoby polegające na pośrednim działaniu detonacji ładunku wybuchowego na łączone elementy; w tym przypadku ładunek wybuchowy usytuowany jest z dala od łączonych elementów zaś energia konieczna do uzyskania połączenia jest przenoszona od miejsca detonacji do miejsca połączenia przez wodę lub odpowiedni mechanizm;

(2) sposoby polegające na bezpośrednim działaniu detonacji ładunku wybuchowego na łączone elementy; w tym przypadku ciśnienie gazów powstających przy detonacji materiału wybuchowego oddziałuje bezpośrednio na łączone elementy, ponieważ materiał wybuchowy złożony jest bezpośrednio na ich powierzchni.

W praktyce, ze względu na koszty, znalazły zastosowanie głównie sposoby polegające na bezpośrednim działaniu energii wyzwalającej się przy detonacji na łączone elementy. Są to sposoby bardzo do siebie zbliżone, różniące się na ogół niewielkimi szczegółami w technice ustawienia płyt. We wszystkich sposobach materiał wybuchowy ułożony jest na chronionych przez podkładki ochronne zwróconych ku górze powierzchniach nastrzeliwanych płyt*, jak to pokazano na rys. 4. Detonacja kruszącego materiału wybuchowego wywołana zostaje przez zapalnik.

1.2. Przebieg łączenia, warunki uzyskania połączenia

Na skutek detonacji materiału wybuchowego, płyty ustawione pod pewnym kątem lub równoległe do siebie, są odrzucone ku sobie z odpowiednią prędkością i zderzają się z sobą.

Zjawisko to zachodzi, ponieważ przesuwaną się wzdłuż płyty detonacja materiału wybuchowego powoduje kolejne odrzucenie i zginanie ustawionej początkowo pod kątem płyty nastrzeliwanej.

Zderzenie płyt może spowodować ich połączenie o ile zostaną spełnione dwa podstawowe warunki:

(1) uzyska się odpowiednią prędkość V_p , pozwalającą na przejście obszaru zderzenia łączonych metali w stan plastyczny,

(2) powstanie strumienia cząsteczek, w którym błonki powierzchniowe z rejonu zderzenia łączonych płyt metalowych zostają usunięte.

Należy nadmienić, że uzyskanie dokładnego przylegania dwóch płyt i ich złączenie jest możliwe jedynie wtedy, gdy znajdujące się na powierzchniach łączonych tlenki i zaabsorbowane gazy zostaną usunięte. W przypadku zgrzewania metali wybuchem, usunięcie błonek powierzchniowych może nastąpić wtedy, gdy zderzeniu płyt metalowych towarzyszy upłynnienie metali, w których znajdują się warstwy powierzchniowe łączonych płyt. Podczas detonacji ciśnienie w punkcie zderzenia płyt osiąga wartość rzędu milionów paskali i wystarcza, aby traktować ruch metali w obszarze zderzenia jako przepływ ściśliwego nielepkiego płynu.

1.3. Technologia zgrzewania wybuchem. Parametry zgrzewania i ich dobór

Podstawowymi parametrami technologicznymi zgrzewania wybuchem są: [1]:

- A) kąt α , pod jakim ustawione są łączone płyty,
- B) własności i ilość materiału wybuchowego,
- C) stan powierzchni łączonych płyt,
- D) własności mechaniczne łączonych płyt.

A. Dobór kąta α , pod jakim należy ustawić łączone płyty jest zależny zasadniczo od trzech głównych czynników: stosunku prędkości detonacji materiału wybuchowego do prędkości rozchodzenia dźwięku w metalu, rodzaju łączonych metali oraz postulowanej budowy połączenia.

Stosunek prędkości detonacji do prędkości rozchodzenia się dźwięku w metalach wywiera istotny wpływ na dobór kąta α .

W przypadku, gdy

$$\frac{V_p}{V_s} < 1$$

w której V_p – prędkość detonacji

V_s – prędkość rozchodzenia się dźwięku w metalach

* Przez płytę nastrzelowaną należy rozumieć płytę, która pod wpływem detonacji ułożonego na niej materiału wybuchowego zostaje odrzucona w kierunku nieruchomej płyty spoczywającej na podłożu

wielu autorów proponuje równoległe ustawienie łączonych płyt ($\alpha = 0$), podając jednocześnie zależność, z której można wyznaczyć odległość h między łączonymi powierzchniami

$$h = 3 \underline{a} \frac{V_p}{V_s}$$

(g – grubość nastreliwanej płyty).

Równoległe ustawienie łączonych płyt nie jest jednak koniecznym i jedynym ustawieniem, gdy

$$\frac{V_p}{V_s} < 1$$

Płyty mogą być ustawione pod pewnym kątem α względem siebie, przy czym zalecane są kąty $\alpha = 0,5 - 2^\circ$, przy których uzyskuje się najkorzystniejszą budowę połączenia. W przypadku, gdy

$$\frac{V_p}{V_s} > 1$$

dobór kąta α nastęrcza duże trudności i jest nieodłącznie związany z doborem rodzaju i ilości materiału wybuchowego.

B. W procesie zgrzewania metali wybuchem zastosowanie znajdują jedynie materiały wybuchowe kruszące, które charakteryzują się dużą jednorodnością, zdolnością łatwego formowania lub przecinania, dużą trwałością, niezbyt dużą czułością na pobudzenia i zdolnością do detonacji przy małych grubościach warstwy materiału [2].

Prędkość detonacji D , oraz grubość warstwy H lub inaczej masa przypadająca na jednostkę powierzchni płyty nastreliwanej są głównymi parametrami jakie należy brać pod uwagę dobierając materiał wybuchowy. Dobór wysokości H warstwy materiału wybuchowego, analogicznie jak w przypadku doboru kąta α zależy od stosunku prędkości detonacji do prędkości rozchodzenia dźwięku w metalach.

C. Stan powierzchni łączonych płyt. Dotychczas nie ustalono ścisłych związków pomiędzy stanem powierzchni a jakością połączenia przy łączeniu wybuchowym. Teoria zgrzewania wybuchowego mówi, że powierzchniowe błonki tlenkowe są usuwane w strumieniu kruszącym w czasie zderzenia płyt. Taki stan istnieje jedynie wtedy gdy mamy do czynienia ze zderzeniem symetrycznym, tzn. w przypadku łączenia dwóch płyt o jednakowych grubościach i wykonanych z tego samego materiału.

W przypadku łączenia płyt z różnych materiałów i o różnych grubościach strumień usuwający błonki powierzchniowe tworzy się z podziału jednej płyty, tej mianowicie, która jest wykonana z metalu charakteryzującego się mniejszą wartością ciśnienia podziału. Badania wykazały, że przy takim tworzeniu połączeń nie ma możliwości uzyskania połączenia o dobrych własnościach bez odpowiedniego oczyszczania powierzchni przynajmniej jednej z łączonych płyt [3].

Powierzchnie łączone powinny być całkowicie wolne od zgorzeli, rdzy i tłuszczu.

D. Własności mechaniczne metali. Doświadczenie wykazuje, że wszystkie metale można zgrzewać wybuchem oraz że własności mechaniczne metali wpływają na możliwość uzyskania połączenia.

Bobrl stwierdza, że na warunki zgrzewania wpływa stosunek HB/a twardości metalu do jego wydłużenia jednostkowego. Wraz ze wzrostem tego stosunku pogarszają się warunki zgrzewania i zmniejsza się zakres parametrów (α i H), przy jakich można uzyskać połączenie. Wpływ stosunku HB/a na możliwość uzyskania połączenia nie uwidacznia się jednak w przypadku zgrzewania metali o warstwie umocnionej na drodze obróbki powierzchniowej, takiej jak śrutowanie, rolkowanie i młotkowanie [4].

Pomimo wzrostu stosunku HB/a płyty z cienką warstwą umocnienia łączą się podobnie jak płyty nie poddane obróbce powierzchniowej. Zjawisko to tłumaczy się tym, że w obszarze płyt powstają tak wysokie ciśnienia, że warstwa metalu uplastycznia się niezależnie od stanu warstwy powierzchniowej, pod warunkiem jednak, że warstwa powierzchniowa posiada wystarczająco małą grubość.

1.4. Zastosowanie wybuchowego zgrzewania metali

Zgrzewanie metali wybuchem ma szereg korzystnych cech, między innymi:

- (1) szeroki zakres możliwości łączenia różnych metali wynikający z tego, że w metodzie tej praktycznie nie istnieje pojęcie złej spawalności;
- (2) możliwości łączenia elementów zarówno o bardzo dużych, jak i małych powierzchniach;
- (3) dobre cechy mechaniczne i technologiczne połączeń;
- (4) duża odporność na działanie wysokich temperatur i dobra odporność na korozję;
- (5) niezmienny skład chemiczny i stała grubość łączonych elementów;
- (6) niski koszt.

2. BADANIA WŁASNE

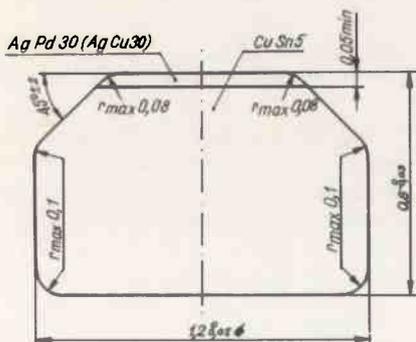
2.1. Zgrzewanie wybuchowe

W technologii wytwarzania mikroprofilu bimetalicznych prowadzono badania nad otrzymaniem mikroprofilu bimetalicznego stosowanego w łącznicach telefonicznych.

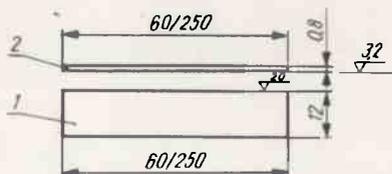
Kształt i wymiary mikroprofilu pokazano na rys. 1. Materiał podłoża stanowił stop CuSn5, natomiast nakładki stop AgPd30. Strukturę wyjściową łączonych materiałów przedstawiono na rys. 2a i 2b. Wymiary płytek podłoża i nakładki podano na rys. 3, na którym zaznaczono również gładkość powierzchni łączonych.

Zgrzewanie wybuchowe prowadzono w Wojskowej Akademii Technicznej, w Instytucie Fizyki Plazmy. Ustawienie płytek łączonych oraz umieszczenie materiału wybuchowego pokazano na rys. 4.

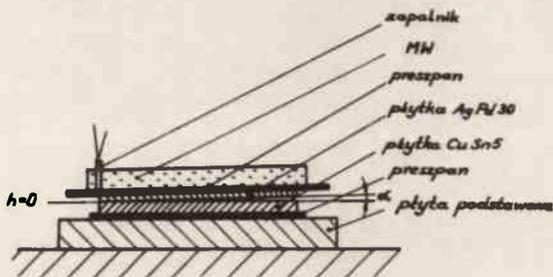
Jako materiału wybuchowego użyto amonitu.



Rys. 1. Mikroprofil bimetaliczny



Rys. 3. Płytki podłoża CuSn5 (1) i nakładki AgPd30 (2)



Rys. 4. Zestaw łączenia wybuchowego

2.2. Przeróbka plastyczna bimetalu uzyskanego metodą zgrzewania wybuchowego

Uzyskany po zgrzewaniu wybuchowym materiał dwuwarstwowy posiadał znaczny stopień umocnienia oraz rozdrobnienie ziaren widoczne tylko w obszarze powstałego złącza (rys. 5). Zmiany struktury oraz twardości zostały wywołane odkształceniem plastycznym, powstałym w trakcie zgrzewania, oraz na skutek energii cieplnej wydzielonej w wyniku wyhamowania prędkości nakładki na podłożu.

Ponieważ umocnienie nastąpiło jedynie w paśmie materiału o grubości $100\ \mu\text{m}$, bimetale walcowano przy użyciu walcarki dwu walcowej firmy Mario Di Maio bez wstępnego wyżarzenia. Walcowanie prowadzono zgmiotami jednostkowymi o wielkości $5\div 10\%$, aż do uzyskania zgmiotu całkowitego o wielkości $Z_c = 70\%$. Po osiągnięciu $Z_c = 70\%$ materiał został na tyle silnie umocowany, że jego dalsza przeróbka plastyczna była niemożliwa. W związku z tym materiał poddano wyżarzaniu zmiękczającemu w rurowym piecu próżniowym o temperaturze 800°C w czasie $0,5\ \text{h}$, przy ciśnieniu $10^{-3}\ \text{Tr}$.

Po wyżarzeniu materiał był walcowany na tym samym urządzeniu aż do osiągnięcia taśmy o grubości $g = 1,1\ \text{mm}$. Po uzyskaniu żądanej grubości całkowity zgmiot wynosił $Z_c = 74\%$. Materiał po uzyskaniu tego zgmiotu ponownie wyżarzano w temperaturze 800°C przez $0,5\ \text{h}$.

Następnie otrzymana taśma bimetaliczna została pocięta na nożycach gilotynowych na paski o długości $300\ \text{mm}$ i szerokości $1,2\ \text{mm}$. Otrzymane paski profilowano na walcierce 4-walcowej „Robertson”, wyposażonej w jeden z walców roboczych z naciętym rowkiem profilującym dla nadania końcowego kształtu mikroprofilowi.

2.3. Badania metalograficzne

Badania metalograficzne prowadzono na mikroskopie świetlnym NEOPHOT-2. Wycięte próbki zalano żywicą w tulejkach mosiężnych i poddano operacjom szlifowania i polerowania na papierach ściernych i pastach diamentowych. Tak przygotowane próbki podłoża trawiono odczynnikami o składzie $2\ \text{g}\ \text{K}_2\ \text{Cr}_2\ \text{O}_7$, $4\ \text{cm}^3\ \text{NaCl}$, $8\ \text{cm}^3\ \text{H}_2\ \text{SO}_4$, uzupełnionym do $100\ \text{cm}^3\ \text{H}_2\ \text{O}$. Materiał nakładki AgPd 30 trawiono odczynnikami $60\ \text{cm}^3\ \text{NH}_4\ \text{OH}$, $15\ \text{cm}^3 - 3\%\ \text{H}_2\ \text{O}_2$, $25\ \text{cm}^3\ \text{H}_2\ \text{O}$. Obrazy ujawnionych struktur pokazano na rys. 2. Struktury bimetalu bezpośrednio po zgrzewaniu wybuchowym oraz po kolejnych operacjach przeróbki i wyżarzaniu przedstawiono na rys. 5–9.

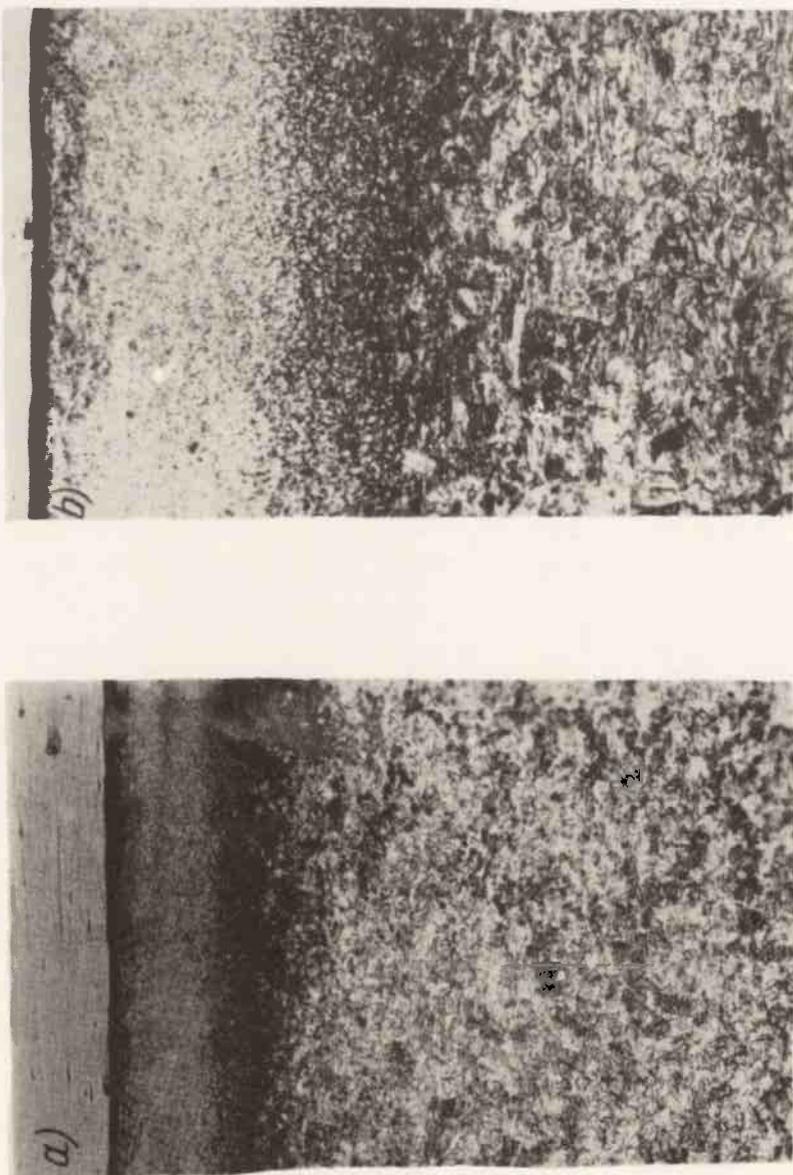
2.4. Badania na mikrosondzie

W celu zorientowania się o zmianach w rozkładzie pierwiastków w otrzymanym bimetalu po zgrzewaniu i wyżarzeniu przeprowadzono badania na mikrosondzie JXA-3A przy napięciu przyspieszającym $30\ \text{kV}$.

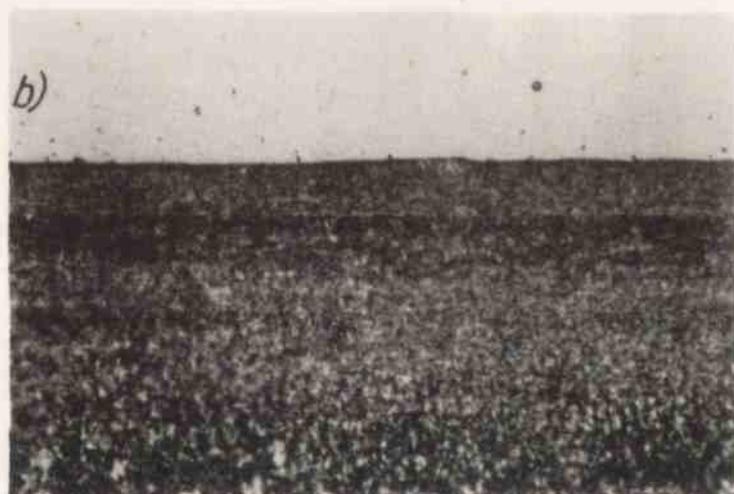
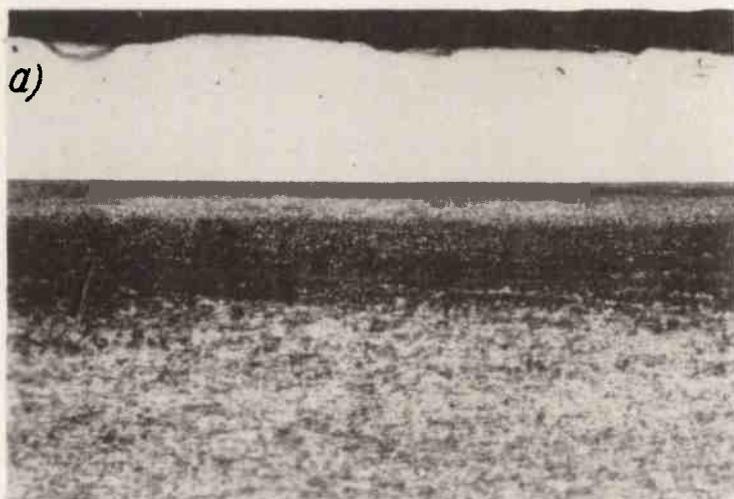
Do analizy wykorzystano próbki użyte w badaniach metalograficznych. Wyniki analizy po charakterystycznych operacjach technologicznych przedstawiono na rys. 8.



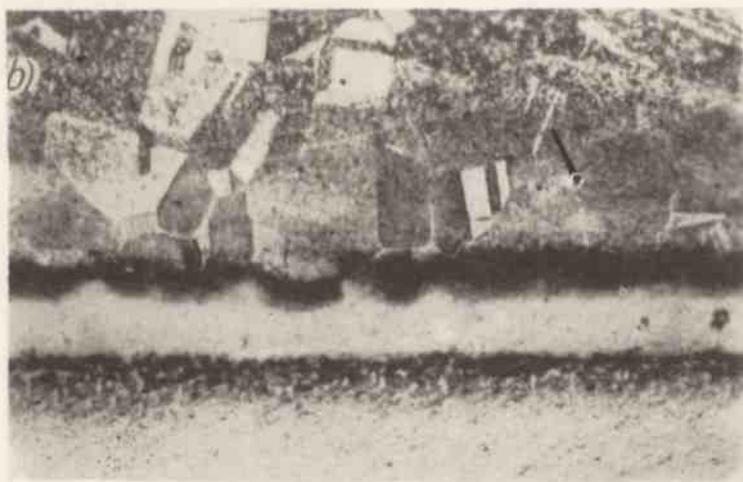
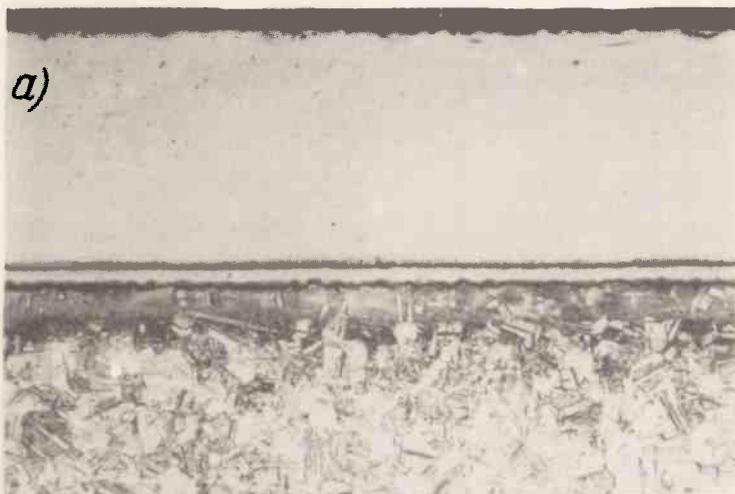
Rys. 2. Mikrostruktura wyściowa łączonych materiałów
a) CuSn5 (pow. 200x), b) AgPd30 (pow. 200x)



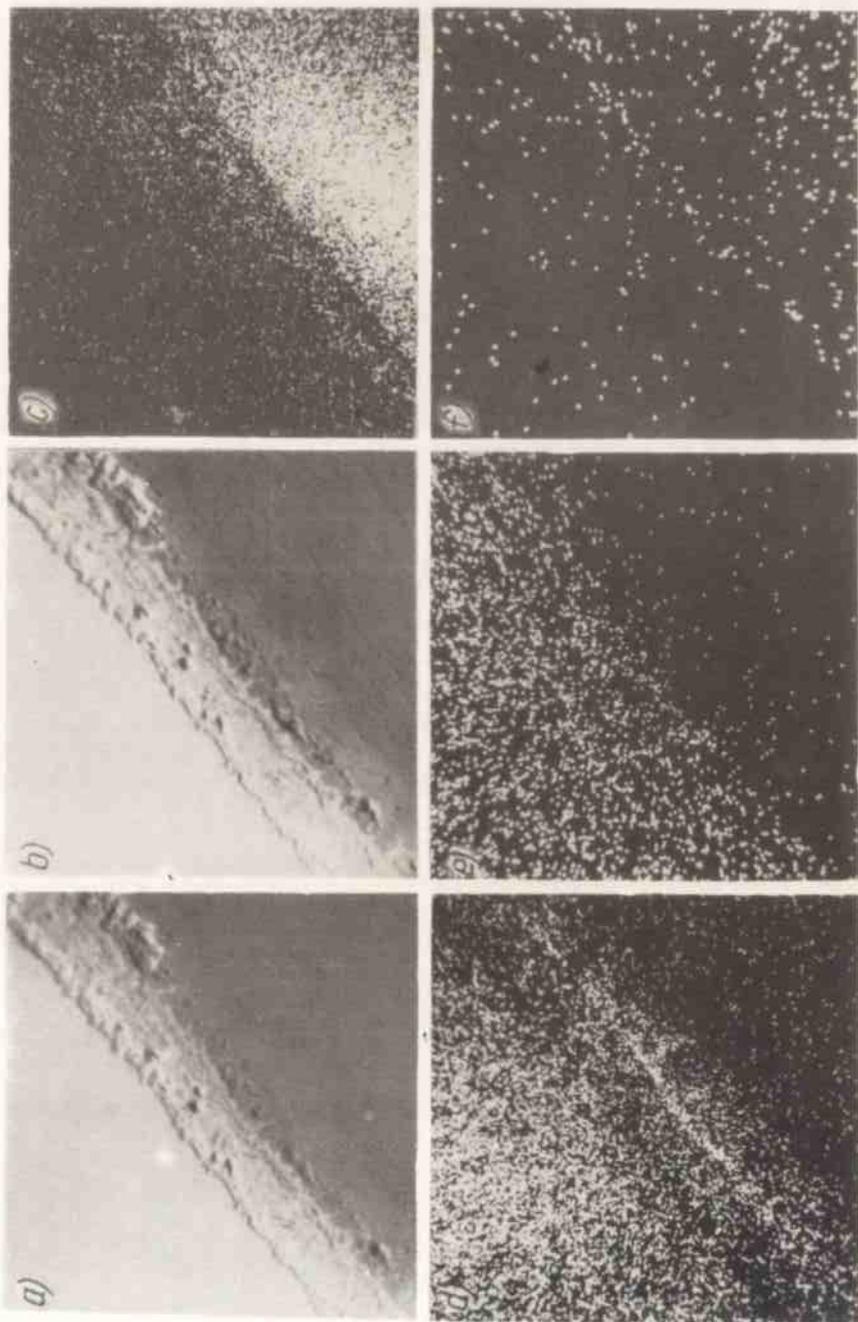
Rys 5. Mikrostruktura materiału dwuwarstwowego CuSn5/AgPd30 bezpośrednio po złączeniu wybuchowym
a) pow. 200x, b) pow. 500x



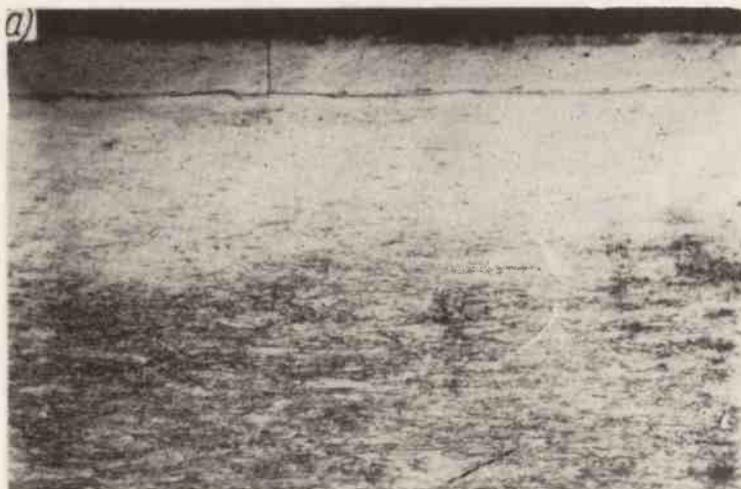
Rys. 6. Mikrostruktura materiału dwuwarstwowego CuSn5/AgPd30 umocnionego zgniotem Z₇₀ 70%
a) pow. 100x. b) pow. 500x



Rys. 7. Mikrostruktura materiału bimetalicznego CuSn5/AgPd30 po wyżarzeniu w temperaturze 800 C w czasie 0,5 h
a) pow. 100x. b) pow. 500x



Rys. 8. Obraz składu chemicznego materiału bimetalicznego CuSn5/AgPd30 wykonany na mikroskondzie po wyżarzeniu w temperaturze 800 C w czasie 0.5 h
a) relief powierzchni, b) obraz składu chemicznego, c) Cu, d) Pd, e) Ag, f) Sn



Rys. 9. Mikrostruktura materiału bimetalcznego CuSn5/AgPd30 po wyżarzeniu, a następnie umocnieniu zgniotem Z_c 70°
a) pow. 100x, b) pow. 500x

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Z obrazów struktur uzyskanych dla materiałów bezpośrednio po zgrzewaniu wybuchowym było widać, że profil zgrzania jest mało falisty. Przy podanej metodyce ujawniania struktury, łatwo zaobserwować występowanie warstw o różnym stopniu umocnienia w materiale podłożowym. W miarę oddalenia się od powierzchni łączenia widać coraz mniejsze rozdrobnienie ziarna. W odległości około 120 μm struktura jest już taka sama, jak w materiale wyjściowym.

Ponieważ na skutek zgrzewania wybuchowego silne umocnienie wystąpiło jedynie w małym obszarze wokół powierzchni łączącej istniała możliwość bezpośredniego walcowania po zgrzewaniu bez przeprowadzenia operacji wyżarzania. Z prób wynika, że materiał otrzymany po zgrzewaniu można przerabiać aż do całkowitego zgniotu $Z_c = 70\%$. Uzyskaną strukturę bimetalu po takim zgniocie pokazano na rys. 6. Z uzyskanych obrazów struktur po wstępnym walcowaniu jeszcze wyraźniej widać warstwowość strefy przejściowej. Dodatkowo powstało pasmo o znacznym umocnieniu w bezpośrednim sąsiedztwie powierzchni łączącej. W celu umożliwienia dalszej przeróbki, jak już wspomniano wcześniej, przeprowadzono wyżarzanie. Struktura materiału po tej operacji uległa zgodnie z przewidywaniami znacznym zmianom. Szczególnie interesujące zmiany zaszły w strefie przejściowej. Struktura pasmowa nie tylko pozostała, ale stała się bardziej widoczna. Materiał bimetalu został zrekrytalizowany, przy czym w paśmie o największym umocnieniu rekrytalizacja nie była całkowita, ze względu na odprowadzenie ciepła w kierunku warstwy wierzchniej. Środkowe pasmo o grubości 20 μm zmieniło swój skład chemiczny ze względu na dyfuzję palladu, co wyraźnie sugeruje rozkład tego pierwiastka uzyskany na mikrosondzie. W obszarze na głębokości 100 μm od powierzchni łączenia widać dobrze wykształcone ziarna, w których wnętrzu powstały bliźniaki wyżarzania. Po wyżarzeniu materiał poddano dalszemu walcowaniu aż do uzyskania zgniotu $Z_c = 70\%$.

Strukturę uzyskaną po operacji wyżarzania i walcowania pokazano na rys. 9. Charakteryzuje się ona wyraźną pasmowością wewnątrz materiału podłoża. Ze względu na duże umocnienie w strefie przejściowej ujawniona struktura przy stosowaniu konwencjonalnej metodyki jest bardzo mało czytelna. Z podatności materiału na trawienie należy wnioskować, że warunki trawienia obszaru przejściowego zmieniły się znacznie w odniesieniu do materiału bezpośrednio po zgrzewaniu, na skutek dyfuzji palladu w procesie wyżarzania w temperaturze 800°C.

Badania na mikrosondzie sugerują, że w procesie wyżarzania z nakładki do materiału podłoża dyfunduje przede wszystkim pallad a w mniejszym stopniu srebro. Ponieważ przeprowadzono jedynie analizę jakościową, trudno było określić profil wnikań palladu w podłoże. Można jedynie stwierdzić z pewnym przybliżeniem, że w opisanych warunkach pallad dyfunduje w podłoże na głębokość około 60-70 μm . Sugerują to zarówno badania na mikrosondzie, jak i metalograficzne.

Próby technologiczne przeginania oraz odrywania materiałów łączonych wskazują na bardzo silne połączenie nakładki z podłożem. Właściwości plastyczne bimetalu mogą być regulowane w szerokim zakresie obróbką cieplną.

4. HIPOTETYCZNY OPIS ZJAWISK ZACHODZĄCYCH W WARSTWIE PRZEJŚCIOWEJ

Przedstawiona niżej hipoteza będzie oparta jedynie na badaniach metalograficznych oraz przeprowadzonych na mikrosondzie.

Z obrazu struktury przedstawionego na rys. 5 widać, że powierzchnia połączenia jest pofalowana, a materiał w jej sąsiedztwie został umocniony na głębokość około 80 μm . Warstwę tą będziemy dalej nazywać warstwą przejściową.

Na podstawie rys. 6a i 6b, na których przedstawiono strukturę uzyskaną po walcowaniu (zgniot $Z_c = 66\%$) można sądzić, że umocnienie warstwy przejściowej jest nie-

równomierne. Umocnienie jest najsilniejsze na dole strefy przejściowej oraz na jej powierzchni. Jest to prawdopodobnie wynikiem procesów zachodzących w czasie łączenia wybuchowego oraz następnego walcowania.

Przy założeniu, że energia wybuchu jest odpowiednio wysoka, procesy zachodzące w trakcie wybuchu można przedstawić schematycznie w sposób następujący: energia kinetyczna płyty ze stopu AgPd30 otrzymana w wyniku wybuchu zostaje zamieniona częściowo na pracę odkształcenia plastycznego, a częściowo na ciepło. Dzięki wytworzonemu ciepłu temperatura warstwy wierzchniej silnie wzrasta, prawdopodobnie aż do temperatury topnienia, między innymi dlatego, że odpływ ciepła jest ograniczony wymiarami geometrycznymi płyt. Powstanie warstwy ciekłej na powierzchni łączonej powoduje „wymieszanie” atomów nakładki i podłoża. Umocnienie powstałe w warstwie przejściowej w wyniku udarowego uderzenia zaczyna maleć wskutek powstania temperatury wyższej od temperatury rekrytalizacji. Zachodzi w tym czasie rekrytalizacja przyspieszona, której prędkość jest największa w warstwie wierzchniej stopów. CuSn5 i AgPd30 ze względu na to, że ciepło jest przede wszystkim odprowadzane poprzez warstwę AgPd30.

Po walcowaniu o zgniecie całkowitym $Z_c = 64\%$ ta zrekrystalizowana warstwa wierzchnia ma największe szanse umocnienia, ze względu na powstały rozkład naprężeń.

Właściwości plastyczne i sprężyste dolnej części warstwy przejściowej w stopie CuSn pozostaje w dalszym ciągu umocnioną spowodowały, że umocnienie po walcowaniu jest nierównomierne, co widoczne jest na rys. 6a i 6b, na których jasne pasmo reprezentuje materiał o mniejszym umocnieniu.

Oprócz zróżnicowanych właściwości mechanicznych warstwy należy liczyć się z pewną segregacją pierwiastków w tej warstwie, wynikłą na skutek dyfuzji w czasie powstania wysokiej temperatury w okresie łączenia wybuchowego, zwłaszcza gdy przyjąć, że na powierzchni w chwili łączenia powstaje cienka warstwa ciekła. Na skutek krótkiego czasu dyfuzji zmiany te są małe i mogą leżeć poza zasięgiem zdolności rozdzielczej mikrosondy.

Proces ten zostaje silniej uwypuklony po wyżarzeniu w temperaturze 800°C w czasie 0,5 h (rys. 7). W strukturze uzyskanej po tej operacji można wyodrębnić nową jakościowo warstwę o grubości ok. 20 μm , odpowiadającą grubości środkowej części trójczęściowej warstwy przejściowej. Temperatura wyżarzania była na tyle wysoka, że dyfuzja mogła zachodzić z dużą prędkością, ponieważ w warstwie przejściowej musi występować bardzo duża gęstość dyslokacji oraz następuje relaksacja naprężeń.

W części warstwy najsilniej umocnionej na skutek dużego odkształcenia sieci i stosunkowo krótkiego czasu wyżarzania dyfuzja mogła zachodzić tylko z małą prędkością.

Warstwa 20 μm mogłaby prawdopodobnie ulec poszerzeniu w głąb podłoża po dłuższym czasie wyżarzania.

Z rozkładu pierwiastków, uzyskanego po jakościowej analizie na mikrosondzie, można przypuszczać, że w głąb podłoża CuSn5 dyfunduje przede wszystkim pallad, w mniejszym stopniu srebro.

Połączenie materiału następuje więc zarówno dzięki procesom cieplno-mechanicznym zachodzącym na powierzchni elementów łączonych, jak i na skutek dyfuzji, zwłaszcza w procesie wyżarzania. Dodatkowo, błędy struktury (dyslokacje), które musiały powstać i przeniknąć dzięki dużym odkształceniom plastycznym zarówno przez warstwę AgPd30 jak i CuSn5 zostały na skutek dyfuzji zakotwiczone co dodatkowo zwiększa siłę połączenia warstw.

Potwierdzeniem badań na mikrosondzie odnośnie do dyfuzji są obrazy struktur na rys. 9a i 9b. Warstwa w obszarze połączenia została bardzo słabo wytrawiona, pomimo że mieszanka trawiąca była taka sama, jak przy ujawnieniu struktury po zgrzewaniu wybuchowym. Jest to prawdopodobnie spowodowane dyfuzją palladu do tej warstwy, który, jak widać z poprzednich zdjęć, jest odporny na działanie stosowanej mieszanki.

Zjawisko zachodzące w warstwie AgPd trudniej jest zaobserwować ze względu na dużo mniejszą jej grubość jak również ze względu na trudności z dobozem odczynnika trawiącego.

Przedstawiona hipoteza zostanie sprawdzona badaniami rentgenograficznymi oraz na mikroskopie elektronowym.

Wnioski

Z przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1) Metoda zgrzewania wybuchowego materiałów AgPd30 i CuSn5 daje zadawalające wyniki odnośnie do wytrzymałości złącza oraz szczelności na powierzchniach łączonych.

2) Otrzymany mikroprofil z materiału bimetalicznego zgrzewanego wybuchowo spełnia wszystkie wymagania mechaniczne stawiane tego typu wyrobom.

3) Zaproponowana technologia wykonania mikroprofilu pozwala przez zmianę parametrów procesu na sterowanie jego własnościami mechanicznymi według życzeń odbiorcy. Żądane własności użytkowe można uzyskać przez stosowanie odpowiednich zgniotów między operacyjnych jak również na drodze obróbki cieplnej.

4) W czasie procesu łączenia powstaje strefa przejściowa sięgająca ok. 60 μm w głąb podłoża, która decyduje o wytrzymałości połączenia.

5) Połączenie nakładki z podłożem następuje w wyniku odkształceń plastycznych powstałych po wybuchu jak również na skutek dyfuzji zachodzącej w trakcie wyżarzania międzyoperacyjnego.

6) W czasie wyżarzania międzyoperacyjnego w temperaturze 800°C następuje dyfuzja palladu do materiału podłoża. Przy wyżarzaniu przez 0,5 h głębokość dyfuzji wynosi ok. 50 do 60 μm .

Podziękowanie

Autorzy dziękują prof. Babulowi z Wojskowej Akademii Technicznej za pomoc i cenne wskazówki dotyczące metodyki zgrzewania wybuchowego oraz Pani E. Cabanowskiej za wykonanie badań metalograficznych.

LITERATURA

1. Walczak W. *Zgrzewanie wybuchowe metali*, Warszawa, WNT 1970
2. Drecker L. W. Zastosowanie nacisków wywołanych wybuchem do kształtowania i łączenia metali. *PW Spaw.*, 3, 1968
3. Tylecte R. F. Pressure welding in practice. *Brit. Welding I. T.*, 4, 1957 113-120
4. Deribas A. A. *Fizyka upiocznienija i swarki wzrywom*. Nowosybirsk 1972.