

OSRODEK
NAUKOWO-
PRODUKCYJNY
MATERIAŁÓW
PÓŁPRZEWODNIKOWYCH
WARSZAWA

PRACE ONPMP

BADANIE WPŁYWU
WARUNKÓW ŁĄCZENIA
CERAMIKI KORUNDOWEJ Z METALEM
NA KINETYKĘ TWORZENIA SIĘ
WARSTWY SPINELOWEJ

WŁASNOŚCI I ZACHOWANIE SIĘ
WARSTW NIKLOWYCH
W ZŁĄCZACH CERAMIKA-METAL

Autorzy pragną serdecznie podziękować
mgr *H. Kozłowskiej* i mgr *M. Pawłowskiej*
za wykonanie badań za pomocą sondy elektronowej
i mikroskopu scanningowego.

OŚRODEK NAUKOWO-PRODUKCYJNY
MATERIAŁÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH

Wanda CUBER, Władysław WŁOSIŃSKI

**BADANIE WPŁYWU WARUNKÓW
ŁĄCZENIA CERAMIKI KORUNDOWEJ Z METALEM
NA KINETYKĘ TWORZENIA SIĘ
WARSTWY SPINELOWEJ**

Wacław MUSZKAT, Władysław WŁOSIŃSKI

**WŁASNOŚCI I ZACHOWANIE SIĘ
WARSTW NIKLOWYCH
W ZŁĄCZACH CERAMIKA-METAL**

KOLEGIUM REDAKCYJNE

Redaktor Naczelny: Bolesław JAKOWLEW

Z-ca Redaktora Naczelnego: Paweł DRZEWIECKI

Redaktorzy Działowi:

Jan BEKISZ

Bohdan CISZEWSKI

Zenon HORUBAŁA

Andrzej HRUBAN

Czesław JAWORSKI

Edward SZABELSKI

Andrzej TACZANOWSKI

Władysław WŁOSIŃSKI

Sekretarz Redakcji: Krystyna GÓRSKA

Adres Redakcji:

ul. Konstruktorska 6, 02-673 Warszawa

tel. 43-74-61, 43-54-24

WŁASNOŚCI I ZACHOWANIE SIĘ WARSTW NIKLOWYCH W ZŁĄCZACH CERAMIKA-METAL

1. WPROWADZENIE

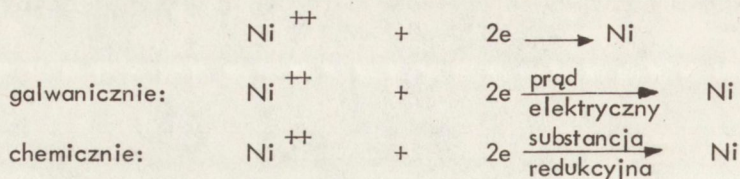
Połączenia ceramika-metal wykorzystywane m.in. w produkcji obudów do diod mocy i tyrystorów oraz w produkcji obudów układów scalonych muszą się charakteryzować m.in. wysoką wytrzymałością mechaniczną. Warstwa niklowa stosowana ostatnio najczęściej zamiast dawniej stosowanych warstw miedziowych i żelazowych jest nakładana na spieczoną warstwę MoMn lub WMn. I chociaż głównym zadaniem warstwy niklowej jest poprawa zwilżalności warstw metalicznych przez lutowie, to sprawa jej wytrzymałości mechanicznej, więzi z podłożem molibdenowo-manganowym i z warstwą lutowia jest również bardzo ważna. W konstrukcji i technologii złączy ceramika-metal chodzi o to, aby warstwa niklowa nie stanowiła najślabszego ogniw wytrzymałościowego. W tym celu stosuje się niekiedy specjalne zabiegi cieplne, jak np. wyżarzanie warstwy niklowej po jej nałożeniu na warstwę MoMn. Również skład chemiczny warstwy niklowej i sposób jej nałożenia wpływa na własności eksploatacyjne złącza. Przy opracowywaniu szeregu nowych obudów i przepustów niejednokrotnie stawialiśmy sobie pytanie: jaki wpływ na własności zaprojektowanego złącza wywiera warstwa niklu. Pytanie takie stawiane było zwłaszcza w przypadkach niepowodzeń technologicznych, wtedy gdy szczególnie ważne staje się ustalenie wpływu poszczególnych operacji technologicznych na efekt końcowy, jakim zazwyczaj są walory użytkowe złącza, np. wytrzymałość mechaniczna, odporność korozyjna lub odporność na nagłe zmiany temperatury. Warstwy pośrednie niklowe nie doczekały się żadnego opracowania w piśmiennictwie polskim, a i w piśmiennictwie światowym posiadają dość skromne publikacje. Aby wypełnić tę lukę, postanowiliśmy zbadać zachowanie się warstwy niklu nakładanego chemicznie i galwanicznie w różnych, dość szeroko zaprogramowanych wariantach obróbki cieplnej, mając nadzieję, że zgromadzony materiał i uzyskane wyniki będą stanowiły dobrą pomoc dla technologów.

2. NIKLOWANIE WARSTW METALICZNYCH MoMn NA PODŁOŻU CERAMICZNYM W ZASTOSOWANIU DO ZŁĄCZY Z METALEM

Najczęściej dotąd warstwy niklowe nakładało się galwanicznie lub w postaci past z proszku niklu. Obecnie coraz większego znaczenia nabiera sposób chemiczny. Jest on szczególnie wygodny do pokrywania detali o skomplikowanym kształcie /np. z przetłotowymi lub nieprzetłotowymi otworami o małej średnicy/ oraz gdy występują trudności z kontaktowaniem elektrycznym w procesie galwanicznym. Proces chemicznego niklowania jest niezastąpiony przy produkcji obudów ceramiczno-metalowych do układów scalonych i niektórych elementów optoelektronicznych, w których należy poniklować dużą ilość odizolowanych od siebie, skupionych na niewielkiej powierzchni metalicznych ścieżek przewodzących naniesionych na podłoże ceramiczne.

Podstawą galwanicznego i chemicznego procesu wydzielenia niklu jest redukcja za-

wartych w roztworze kationów niklowych, różne jest tylko źródło potrzebnych do tego elektronów:



Stosowane w przemyśle roztwory do niklowania chemicznego zawierają następujące podstawowe składniki [1,2,3,4]:

a/ sól niklową / $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ lub $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /,

b/ substancję redukującą /np. NaH_2PO_2 , NaBH_4 /,

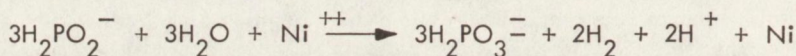
c/ substancję przyspieszającą /alifatyczny kwas dwukarboksylowy/,

d/ substancję chelatującą-kompleksotwórczą,

e/ substancję stabilizującą,

f/ substancję zwilżającą.

Mechanizm chemicznego wydzielania się niklu jest złożony, w procesie zachodzi cały szereg przebiegających z różną szybkością reakcji [1]. Gdy reduktorem jest podfosforyn sodu NaH_2PO_2 , jako najbardziej prawdopodobną wymienia się następującą reakcję sumaryczną:



Reakcją uboczną jest wydzielanie się fosforu:



Chemiczna powłoka niklowa stanowi stały roztwór fosforu w niklu /5 do 10% P/. Wynikają stąd istotne różnice we właściwościach fizycznych i mechanicznych powłok niklowych galwanicznych i chemicznych, co przedstawiono w tabelicy 1 [1]:

Tablica 1

WŁASNOŚCI POWŁOK NIKLOWYCH

Parametry	Nikiel chemiczny /7% P/	Nikiel galwaniczny
Struktura po osadzeniu	amorficzna	krystaliczna
Temperatura topnienia	890°C	1450°C
Oporność właściwa	powyżej 6×10^{-6} om/cm	powyżej $8,5 \times 10^{-6}$ om/cm
Masa właściwa	7,9 g/cm ³	7,7 g/cm ³
Twardość /Vickers/ po osadzeniu	500-550 kg/mm ²	150-250 kg/mm ²

Parametry	Nikiel chemiczny /7% P/	Nikiel galwaniczny
Przyczepność do podłoża metalowego	35 - 50 kG/mm ²	35 - 45 kG/mm ²
Przewodność cieplna	0,0105 - 0,135 cal/cm·s·°C	0,22 cal/cm·s·°C

Wykres fazowy układu Ni-P przedstawiono na rys.1 [5]. Jak wynika z tego diagramu, w skład powłoki mogą wchodzić różne fazy. Struktura powłoki jest niestabilna i podczas obróbki cieplnej może przechodzić pewne zmiany. Według [2] powłoka w wyjściowej postaci stanowi mieszaninę fazy roztworu stałego fosforu w α Ni i fazy roztworu stałego fosforu w β Ni. Zwiększanie temperatury obróbki powoduje wydzielanie się związku Ni_3P . Powłoka o zawartości 7% P po obróbce w 880°C zawiera ok.45% roztworu stałego, wydzielającego przy ochładzaniu nadmiar P w postaci cząsteczek Ni_3P oraz 55% mieszaniny eutektycznej składającej się z roztworu stałego i związku Ni_3P . Ilościowy stosunek tych dwu faz w wysokim stopniu zależy od zawartości P oraz temperatury obróbki.

Istnieje bardzo dużo receptur roztworów do niklowania chemicznego. Ogólnie dzieli się je na kwaśne i zasadowe. Parametry procesu /pH, temperatura, czas/ i skład roztworu mają duży wpływ na szybkość wydzielania Ni, zawartość fosforu i strukturę powłoki.

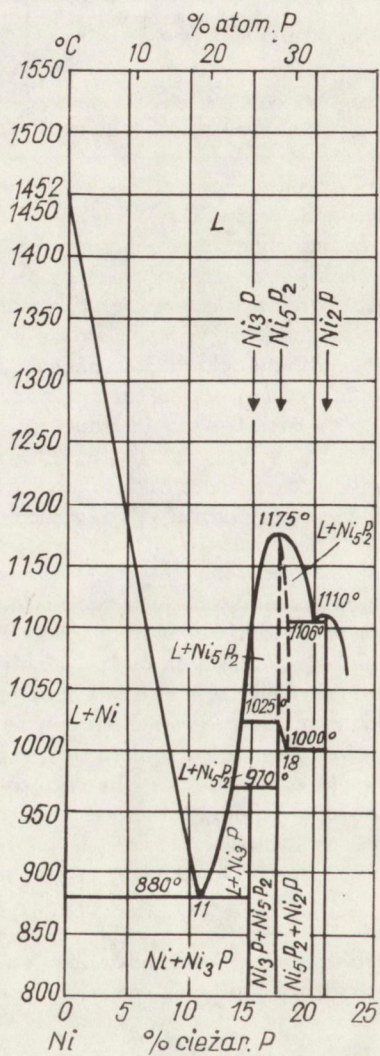
W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie przemysłowe, również do pokrywania warstw metalicznych na ceramice, znajdują roztwory do niklowania chemicznego, w których środkiem redukującym są wodorki boru lub aminoborany [3]. Związki te charakteryzują się większą wydajnością wydzielania potrzebnych do redukcji kationów niklu elektronów, w związku z czym roztwory są trwalsze i bardziej stabilne w pracy, niż roztwory z podfosforem sodowym. Otrzymywane warstwy są stopami boru z niklem o zawartości 0,1-6% B. W świetle powyższego wydaje się, że powłoki niklowe z kąpeli zawierających związki boru mają korzystniejsze własności do wykonywania połączeń ceramika-metal. Do chwili obecnej kąpeli takie nie są jeszcze stosowane u nas do celów produkcyjnych w technice złączowej.

Przebieg procesu technologicznego niklowania warstw metalicznych na ceramice ująć można następująco:

1. Mycie detali. Operacja ta stosowana jest rzadko, ponieważ detale ceramiczne z warstwami metalicznymi wychodzące z pieca z atmosfery wodoru nie posiadają zanieczyszczeń.

2. Aktywowanie powierzchni. Jest to operacja konieczna, gdy chce się pokryć chemicznie niklem metale nie mające działania katalitycznego. Stosuje się dwa sposoby aktywowania:

a/ aktywacja w roztworze soli palladu - detale pokryte warstwami MoMn zanurza się do gorącego roztworu $PdCl_2$ w rozcieńczonym HCl, płucze i redukuje osadzone na powierzchni warstwy cząsteczki $PdCl_2$ za pomocą roztworu reduktora, do metalicznego Pd. Jakość aktywacji w znacznym stopniu zależy od rodzaju, składu i warunków wypalania warstwy metalicznej. Temperatura, stężenie roztworu



Rys. 1. Wykres fazowy Ni-P

$PdCl_2$ oraz czas zanurzenia detali muszą być ściśle określone, jeżeli chce się uniknąć niepożądanego uaktywnienia powierzchni ceramiki nie pokrytej warstwą metaliczną.
b/ aktywacja za pomocą aluminium - warstwę metaliczną zarysowuje się lekko prętem aluminiowym. Ślady Al wystarczają do zapoczątkowania katalitycznej reakcji. Można również wywoływać ją przez krótkotrwały kontakt niklowanej powierzchni z drutem aluminiowym.

3. Płukanie w wodzie. Jest konieczne, gdy aktywowanie powierzchni przeprowadzane było solami palladu.

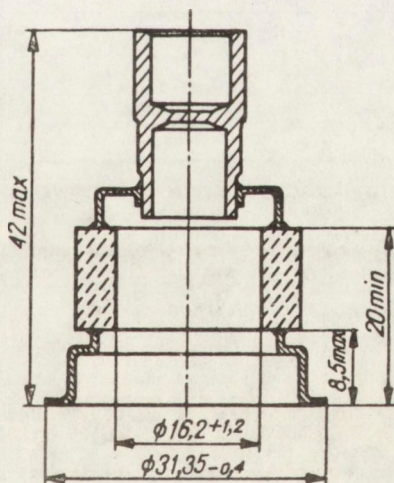
4. Niklowanie chemiczne - detale zanurza się do kąpeli niklującej o ustalonej temperaturze i pH. Czas niklowania zależy od wymaganej grubości powłoki /grubość powłoki jest proporcjonalna do czasu/.

5. Płukanie w bieżącej wodzie zimnej i gorącej. Dokładne płukanie przed operacją lutowania w atmosferze redukcyjnej konieczne jest ze względu na chropowatość powierzchni ceramiki.

6. Suszenie.

3. OPIS STOSOWANYCH PRÓBEK I METOD BADAWCZYCH ORAZ PROGRAM PRÓB

Próby niklowania przeprowadzono na próbkach przedstawionych na rys. 2.



Rys. 2.

Warstwa niklu była nakładana na obydwie powierzchnie czółowe, na znajdujące się tam uprzednio spieczone warstwy metaliczne złożone z MoMnFeSi. Zarówno rodzaj izolatora ceramicznego, jak i skład chemiczny i warunki spiekania warstwy MoMnFeSi były stałe dla wszystkich prób z warstwami niklu. Grubość warstwy MoMnFeSi była stała i wynosiła 30 μm . Lutowie używane do lutowania złączy również miały stały skład chemiczny AgCu28 i stałe wymiary. Detale metalowe wykonane były z kowaru. Lutowanie przeprowadzano w tych samych warunkach temperatury, atmosfery i czasu.

Ocenę wytrzymałości na rozerwanie złączy przeprowadzono na standardowej maszynie wytrzymałościowej typu WPM/FM 500, stosując specjalne oprzyrządowanie.

Badania strukturalne warstw pośrednich wykonano za pomocą mikroskopu scanningowego i sondy elektronowej typu JXA 3A, stosując i od 170 do 200 nA oraz zakres czułości od 1×10^3 do 1×10^4 cps. Zdjęcia, rozkłady liniowe i powierzchniowe pierwiastków zawartych w warstwach pośrednich wykonano w płaszczyźnie prostopadłej do osi próbki po jej przecięciu, szlifowaniu i polerowaniu.

Dla zbadania zachowania się warstw niklowych niklowano próbki metodą chemiczną i galwaniczną. Próbki następnie poddane zostały wyżarzaniu w różnych temperaturach zgodnie z tablicą 2. Grubość warstwy Ni była stała i wynosiła 3- μm .

Tablica 2

RODZAJ WYKONANYCH PRÓB WYŻARZANIA

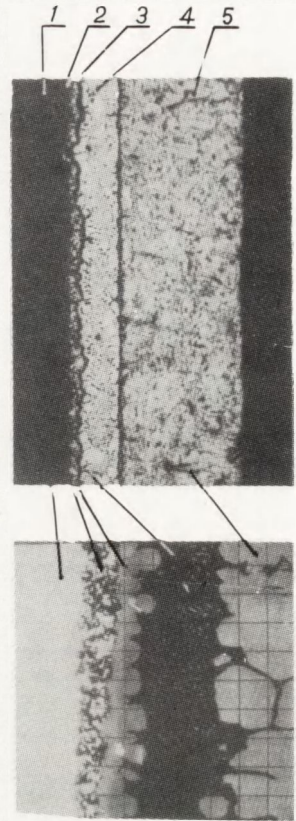
Numer próbki	Rodzaj warstwy niklowej	Temperatura wyżarzania °C
1	} chemiczna	} bez wyżarzania 900 1050 1200
2		
3		
4		
5	} galwaniczna	} bez wyżarzania 900 1050 1200
6		
7		
8		

Próbki porównawcze nie były poddawane procesowi wstępnego wyżarzania i nie były lutowane.

Proces wyżarzania przeprowadzany był w piecu taśmowym f-my BTU. Czas cyklu wyżarzania był zawsze stały i wynosił 2,5 h z tym, że czas przebywania w wysokiej temperaturze wynosił ok. 1/3 czasu całkowitego cyklu.

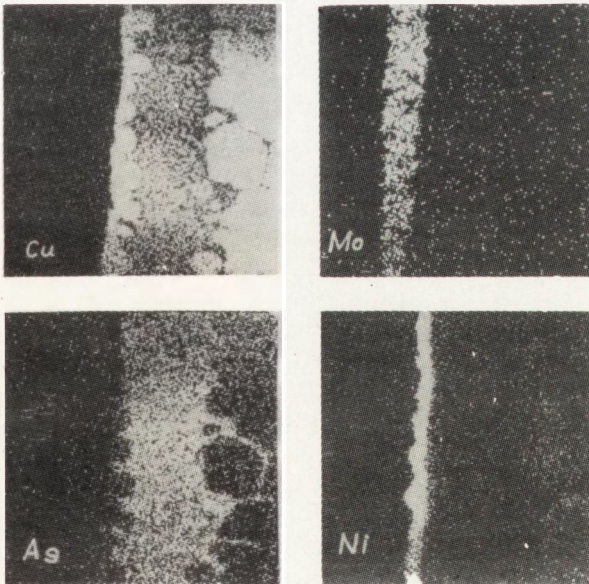
4. BADANIA STRUKTURALNE WARSTW PRZEJŚCIOWYCH

Przedmiotem zainteresowania w trakcie badań strukturalnych była warstwa niklowa, jej położenie, wygląd i wymiary. Chodziło o to, aby sprawdzić, jak na te cechy wpływa temperatura wyżarzania i w jakim stosunku pozostaje zachowanie się warstwy niklu do wielkości wytrzymałości na rozerwanie badanych złączy. Badania strukturalne wyko-

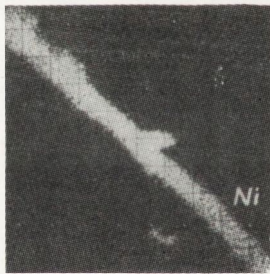
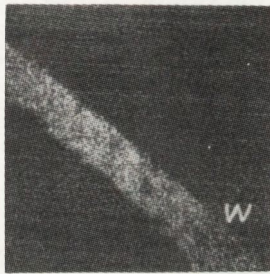
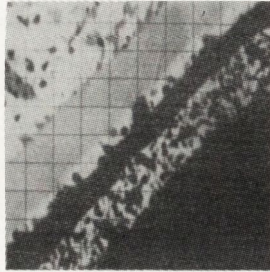


Rys. 3. Warstwy pośrednie w złączeniu ceramika-metal. Zdjęcie górne wykonane za pomocą mikroskopu metalograficznego /100x/
 1 - podłoże ceramiczne, 2 - warstwa metaliczna typu MoMn, 3 - warstwa niklowa, 4 - warstwa lutownia, 5 - kowar

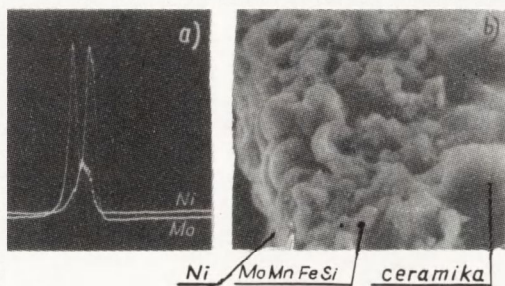
Zdjęcie dolne przedstawiające obraz składu chemicznego wykonane za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego



Rys. 4. Rozkłady powierzchniowe Cu, Ag, Mo i Ni w złączeniu uwidocznionym na rysunku 3

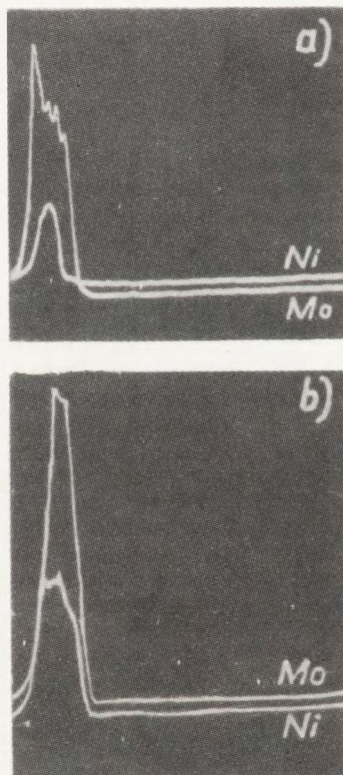


Rys. 5. Obraz składu chemicznego warstw pośrednich i rozkłady powierzchniowe W i Ni występujące w obudowach ceramiczno-metalowych układów scalonych



Rys. 6. Rozkłady liniowe Ni i Mo

a/ po nałożeniu warstwy, przed wyżarzaniem, b/ oraz struktura tej warstwy uwidocz-
niona za pomocą mikroskopu scanningowego /2400x/



Rys. 7. Rozkłady liniowe Ni
po wyżarzaniu w temperaturze 1200°C przez 0,5 h oraz
dodatkowo w temperaturze 860°C w atmosferze suchego
wodoru przez 0,5 h
a/ warstwa niklowa nakładana metodą chemiczną,
b/ warstwa niklowa nakładana metodą galwaniczną

nano dla wszystkich próbek, które były wyżarzane zgodnie z tab. 3 oraz dla porównania na próbce, która nie była wyżarzana. Obserwacje mikroskopowe i dokumentacja fotograficzna zostały wykonane za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego oraz częściowo za pomocą mikroskopu metalograficznego. Rysunek 2 przedstawia typowe złącze ceramika-metal występujące w obudowie diody energetycznej.

Rozkłady liniowe Ni przeprowadzono zawsze na tle rozkładów liniowych Mo, który jak wynika z naszych wcześniejszych prac nie ulega przemieszczaniu ani w procesie lutowania, ani w czasie obróbki termicznej w zakresie temperatur do 1330 °C [6,7]. Przyjęcie takiego uzasadnionego technicznie założenia było również konieczne dla przesłedzenia zachowania się warstwy niklowej po różnych zabiegach obróbki cieplnej.

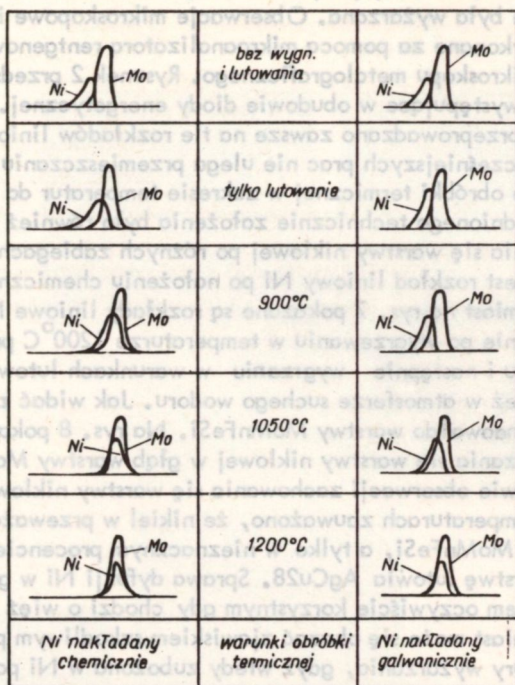
Na rys. 6 pokazany jest rozkład liniowy Ni po nałożeniu chemicznym i bez żadnej obróbki cieplnej. Natomiast na rys. 7 pokazane są rozkłady liniowe Ni nałożonego chemicznie i galwanicznie po wygrzewaniu w temperaturze 1200 °C przez 0,5 h w atmosferze suchego wodoru i następnie wygrzaniu w warunkach lutowania tzn. w temperaturze 860 °C, również w atmosferze suchego wodoru. Jak widać z tego rysunku, nikiel całkowicie dyfundował do warstwy MoMnFeSi. Na rys. 8 pokazany jest proces stopniowego przemieszczania się warstwy niklowej w głąb warstwy MoMnFeSi w funkcji temperatury. Na podstawie obserwacji zachowania się warstwy niklowej w czasie wygrzewania w różnych temperaturach zauważono, że nikiel w przeważającej części dyfunduje w głąb warstwy MoMnFeSi, a tylko w nieznacznym procencie jest rozpuszczany przez roztopioną warstwę lutownia AgCu28. Sprawa dyfuzji Ni w głąb warstwy MoMnFeSi jest zjawiskiem oczywiście korzystnym gdy chodzi o więz pomiędzy warstwami metalicznymi, natomiast może się okazać zjawiskiem szkodliwym przy zastosowaniu zbyt wysokiej temperatury wyżarzania, gdyż wtedy zubożona w Ni powierzchnia przeznaczona do lutowania przestaje być dobrze zwilżana przez lutowie. Dlatego należy projektować taki proces obróbki cieplnej warstwy Ni, aby na powierzchni przeznaczonej do lutowania pozostawała warstwa Ni o grubości min. 0,5 grubości w stanie surowym, która zazwyczaj wynosi 3-8 µm.

5. WYNIKI PROB WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

Wyniki badań wytrzymałościowych, przedstawione w tablicy 3 potwierdziły wnioski wypływające z badań na mikroanalizatorze rentgenowskim /rys.8/.

Tablica 3
WYNIKI BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

Temperatura wyżarzania °C	Rodzaj powłoki niklowej	Bez wyżarza- nia	900	1050	1200
Chemiczna		500 kG	500 kG	60 kG	brak zwilżania
Galwaniczna		500 kG	500 kG	155 kG	42 kG



Rys.8. Rozkłady liniowe Ni i Mo w funkcji temperatury obróbki termicznej

Wyraźny spadek wytrzymałości połączeń spowodowany pogorszeniem zwilżania warstwy przez lutowie zaobserwowano dla próbek niklowanych chemicznie i galwanicznie wyżarzanych w temperaturze 1050°C. Spadek ten jest bardziej gwałtowny dla próbek niklowanych chemicznie. Zjawisko zwilżania warstw wyżarzanych w temperaturze 1200°C praktycznie nie występuje. Znajduje to potwierdzenie w wykresach rozkładów liniowych Ni - Mo przedstawionych na rys.8.

6. PODSUMOWANIE UZYSKANYCH WYNIKÓW I WNIOSKI KOŃCOWE

W wyniku badań strukturalnych i wytrzymałościowych stwierdzono, że w czasie wyżarzania i lutowania nikiel dyfunduje głównie do warstwy MoMnFeSi /rys.8/, a częściowo jest rozpuszczany przez roztopione lutowie. Szybki proces dyfuzji Ni do podłoża MoMnFeSi jest zjawiskiem korzystnym z punktu widzenia więzi tych warstw, jednak powoduje, iż stosunkowo szybko warstwa niklowa zmniejsza się poniżej 0,5 grubości początkowej. Zbyt mała grubość warstwy Ni uniemożliwia dobrą jej zwilżalność przez lutowie. Wnioski uzyskane z badań strukturalnych zostały również potwierdzone badaniami wytrzymałościowymi /tabl.3/, okazało się że próbki wyżarzane powyżej 1000°C charakteryzują się znacznym spadkiem wytrzymałości mechanicznej.

Warstwy niklowe nakładane metodą galwaniczną są mniej podatne na dyfuzję w głąb podłoża MoMnFeSi /rys.8/ i tym też prawdopodobnie należy tłumaczyć fakt, iż złącza z tymi warstwami wyżarzonymi w temperaturze 1050 i 1200°C są bardziej wytrzymałe mechanicznie od złącz z warstwami niklowymi nakładanymi chemicznie wyżarzonymi w tych samych temperaturach /tabl. 3/.

Na podstawie przeprowadzonych prób i badań można wyciągnąć następujące wnioski:

- Dla poprawienia przyczepności warstwy niklowej do warstwy MoMnFeSi można przeprowadzać operację wygrzewania dyfuzyjnego z tym, że temperatura nie powinna być wyższa niż 900°C.
- Nie stwierdzono różnic w zachowaniu się warstw niklowych nakładanych chemicznie i galwanicznie dla tych przypadków, gdy temperatura procesu lutowania obudów nie przekraczała 900°C i wyroby nie były wcześniej poddawane wyżarzaniu powyżej tej temperatury. Pewne różnice wytrzymałości mechanicznej i zwilżalności zaobserwowano w złączach, które były celowo wyżarzane powyżej temperatury 1000°C. W tych warunkach korzystniej zachowuje się warstwa nikłu galwanicznego.
- Zastosowana grubość warstwy Ni wynosząca 3-1 μm jest zupełnie wystarczająca do uzyskania dobrych własności wytrzymałościowych złącza.
- Proces niklowania chemicznego w kąpielach z podfosforem sodowym może być z powodzeniem stosowany w produkcji. Wydaje się, że również dobre wyniki będzie można osiągnąć stosując warstwy niklowe zawierające bor.
- Proces niklowania chemicznego może być stosowany również do innych wyrobów spiekanych z proszków molibdenowych lub wolframowych, np. podkładki dylatacyjne. Operację wyżarzania dla tych wyrobów należy również przeprowadzać poniżej temperatury 900°C.

LITERATURA

1. Nikandrowa L.J.: Chemiczskie sposoby połączenia metalicznych pokrytyj - wyd. Maszynostrojenije, Leningrad 1971
2. Wiszenkow C.A.: Chemiczskie i elektrotermochemiczskie sposoby osadzenia metalopokrytyj - Maszynostrojenije, Moskwa, 1975
3. Frick W.: Galvanotechnik, 7/1971
4. Colin R.: Galvanotechnik, 3/1966
5. Orman M.: Układy równowagi podwójnych stopów metali, PWN, 1955
6. Włosiński W.: Zjawiska dyfuzyjne w warstwach granicznych połączeń ceramika-metal w aspekcie optymalizacji technologii - Prace ONPMP 11/1976
7. Włosiński W., Olesińska W., Maliszewski B.: Zastosowanie warstw MoMnFeSi - Materiały Elektroniczne, 4/1973

SPIS TREŚCI

I. BADANIE WPLYWU WARUNKÓW ŁĄCZENIA CERAMIKI KORUNDOWEJ Z METALEM NA KINETYKĘ TWORZENIA SIĘ WARSTWY SPINELOWEJ

1. Wprowadzenie	3
2. Stan zagadnienia	3
3. Metodyka pracy i program prób i badań	4
3.1. Przygotowanie zestawów spinelowych	5
4. Obliczenia potencjałów termodynamicznych	6
5. Wyniki prób technologicznych	10
6. Wstępne wyniki analiz fazowych próbek spinelowych	12
7. Wnioski	13
Literatura	14

II. WŁASNOŚCI I ZACHOWANIE SIĘ WARSTW NIKLOWYCH W ZŁĄCZACH CERAMIKA-METAL

1. Wprowadzenie	15
2. Niklowanie warstw metalicznych MoMn na podłożu ceramicznym w zastosowaniu do złączy z metalem	15
3. Opis stosowanych próbek i metod badawczych oraz program prób	19
4. Badania strukturalne warstw przejściowych	20
5. Wyniki prób wytrzymałościowych	21
6. Podsumowanie uzyskanych wyników i wnioski końcowe	22
Literatura	24

