

JERZY GUBAŁA, ZBIGNIEW KRÓLIKOWSKI  
Katedra Metaloznawstwa

## BADANIE METALOGRAFICZNE SPIEKÓW KONTAKTOWYCH

Streszczenie. Przeprowadzono badanie metalograficzne spieków kontaktowych: W-Ag, W-Cu, W-Ni, Ag-grafit Cu-grafit, Ni-CdO. Określono struktury w zależności od sposobu otrzymywania lub przeróbki kształtek oraz budowy połączeń spieków z podłożem uzyskanych przez lutowanie lutowiem twardym lub zalewanie ciekłą miedzią kształtki porowatej.

Przedstawiono serię mikrofotografii charakterystycznych struktur spieków oraz połączeń z podłożem.

### 1. Wstęp

W urządzeniach elektrycznych bardzo czułymi elementami są styki, stanowiące części składowe wyłączników, przerywaczy, komutatorów i różnego rodzaju aparatury łączeniowej. Styki te podzielić można ze względu na warunki pracy na dwie podstawowe grupy:

- iskrowe, stosowane do przerywania lub łączenia obwodów i narażone przez to na działanie łuku elektrycznego;
- przewodnikowe, zadaniem których jest przewodzenie prądu a nie przerywanie obwodu.

Uszkodzenie lub zniszczenie styków następuje najczęściej w wyniku działania ciepła wywołującego się przy przepływie prądu o dużym natężeniu, iskrzenia powstającego przy przerywaniu obwodu oraz zużycia mechanicznego.

Z wymienionych czynników na trwałość styków najbardziej niekorzystnie wpływa łuk elektryczny. Wysoka temperatura łuku powoduje spiekanie bądź utlenianie powierzchni kontaktowych, zaś przepływający prąd umożliwia przenoszenie materiału z ka-

tody na anodę (elektroerozja). Stąd powszechnie stosowane są środki zapewniające maksymalne obniżenie prądu łuku oraz skrócenie czasu jego przepływu, przy równoczesnym ciągłym doskonaleniu materiałów stykowych [1, 2, 3].

## 2. Własności wymagane dla materiałów stykowych

Specyficzne warunki pracy styków powodują, że materiały stykowe winny wykazywać następujące własności:

- wysoką przewodność elektryczną i cieplną, zapewniającą w danych warunkach maksymalne obniżenie temperatury styków;
- dużą gęstość atomową, zapewniającą obniżenie ubytku elektroerozyjnego [2];
- odpowiednią twardość, zapewniającą dobrą odporność na zużycie mechaniczne oraz zmniejszenie elektroerozji [2];
- wysoką temperaturę topnienia, zapewniającą dobrą odporność na spiekanie i zgrzewanie;
- odporność na korozję w różnych ośrodkach.

W przypadku styków przewodnikowych, wymagana jest przede wszystkim wysoka przewodność elektryczna, a także odporność na ścieranie jeżeli styki pracują jako ślizgowe. Natomiast w odniesieniu do styków iskrowych, które pracują w o wiele bardziej złożonych warunkach, często wymagane jest optymalne połączenie całokształtu wymienionych uprzednio własności w jednym materiale.

Zważywszy, że nie ma pierwiastka odpowiadającego wszystkim wymaganiom stawianym materiałom na styki iskrowe oraz że metale o dużej przewodności (Ag, Cu) i metale o dużej gęstości i twardości (W, Mo) charakteryzuje wzajemna nierozpuszczalność lub zupełny jej brak zarówno w stanie stałym jak i ciekłym, jedyną drogą otrzymania większości materiałów stykowych spełniających różnorakie i złożone wymagania jest metalurgia proszków. Materiały te, np. W-Cu, W-Ag określa się mianem pseudostopów.

### 3. Materiały stykowe

#### 3.1. Styki przewodnikowe

Styki tej grupy dzielą się na nieruchome i ślizgowe. Ponieważ warunki pracy styków przewodnikowych nieruchomych są stosunkowo lekkie, a wymagania stawiane tworzywu ograniczają się w zasadzie do wysokiej przewodności elektrycznej, zastosowanie znalazły tu głównie miedź i aluminium oraz ich stopy otrzymywane metodami konwencjonalnymi. W przypadku styków ślizgowych, służących najczęściej do przewodzenia prądu pomiędzy obrotowymi (komutator, pierścienie) a nieruchomymi (szczotki) częściami maszyn elektrycznych, istotne znaczenie mają niektóre własności fizyczne tworzywa, jak przewodnictwo elektryczne, twardość, gęstość oraz współczynnik tarcia.

Największe zastosowanie mają tutaj materiały metaliczno-grafitowe, należące do najstarszych spieków stykowych. Najczęściej spotykane są spieki miedzi lub brązu z grafitem, rzadziej spieki srebrowo-grafitowe. Charakteryzują je właściwe grafitowi dobre własności ślizgowe oraz dobra przewodność elektryczna. Skład szczotek miedziowo-węglowych zmienia się w granicach 5-70% grafitu, 0+10% Sn i 0+10% Pb (reszta - miedź). Przewodność szczotek rośnie ze wzrostem zawartości miedzi w spieku, dodatek cyny podwyższa twardość zaś ołów dodawany jest w celu polepszenia własności ślizgowych.

Podobnie jak w przypadku pseudostopów, spieki miedziowo lub srebrowo-grafitowe mogą być wytwarzane jedynie metodami metalurgii proszków.

#### 3.2. Styki iskrowe

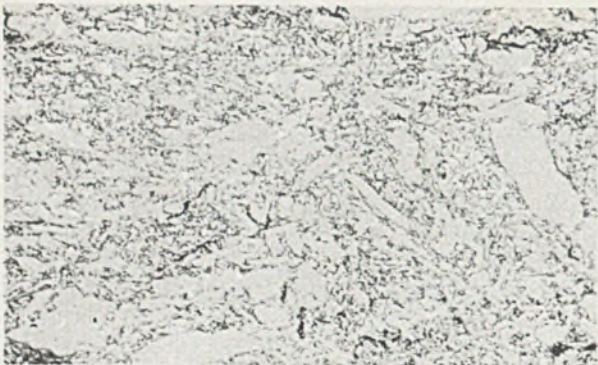
W tej grupie dobór materiału styków szczególnie zależy od warunków ich pracy. Przy małych napięciach i natężeniach prądu, łuk elektryczny nie występuje podczas przerywania obwodu i praca styków ma charakter beziskrowy. W takich przypadkach, szczególnie w obwodach słaboprądowych, na styki stosowane są metale

szlachetne i ich stopy - niekiedy z miedzią (Pd-Cu) lub niklem (Au-Ni) [4].

Podstawowym wymaganiem jest tu wysoka przewodność elektryczna i odporność styków na utlenianie. W kontaktach iskrowych pracujących w obwodach elektrycznych średniej mocy, styki wykonywane są głównie ze stopów Cu, Ag i Cd, przy czym stosowane są tu także metale szlachetne i ich stopy. Ze względu na mały ubytek elektroerozyjny i wysoką przewodność, często stosowane są styki Ag-CdO [4, 5]. W przerywaczach silników spalinowych stosowane są obecnie niemal wyłącznie styki wolframowe, niekiedy z dodatkiem molibdenu. Charakteryzuje je duża trwałość i pewność pracy z uwagi na dużą twardość i mały ubytek elektroerozyjny przy zadawalającej przewodności elektrycznej (ok. 30% przewodnictwa Cu).

Styki iskrowe pracujące w najcięższych warunkach wykonywane są najczęściej z pseudostopów, złożonych z metalu o wysokiej temperaturze topnienia i wrzenia oraz metalu o wysokiej przewodności elektrycznej. Należą tu głównie spieki W-Cu, Mo-Cu, W-Ag i Mo-Ag oraz rzadziej stosowany Ni-Ag. Pseudostopy są najlepszymi materiałami stykowymi ze względu na możliwość regulacji własności styków w szerokich granicach. Własności te, np. przewodność elektryczna, twardość, gęstość, zmieniają się na ogół liniowo ze zmianą składu spieku, w zależności więc od potrzeb można dobrać skład zapewniający optymalne własności. Obecność Ag lub Cu ułatwia lutowanie nakładek z pseudostopów na miedzianych lub mosiężnych częściach wyłączników. Jako lutowie używany jest często stop eutektyczny 72% Ag + 28% Cu, wykazujący dobrą przewodność elektryczną (75% przewodnictwa Cu) [5].

W wyłącznikach wysokiego napięcia, gdzie natężenie prądu łuku dochodzi do 60 kA przy napięciu ok. 6 kV stosowane są wyłącznie styki wolframowe, ze względu na stosunkowo niskie straty elektroerozyjne oraz wysoką temperaturę topnienia (ok. 3400°C) i temperaturę wrzenia (ok. 5000°C) wolframu. Styki te łączy się z odpowiednimi częściami wyłączników przez zalanie miedzią w próżni lub atmosferze ochronnej.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

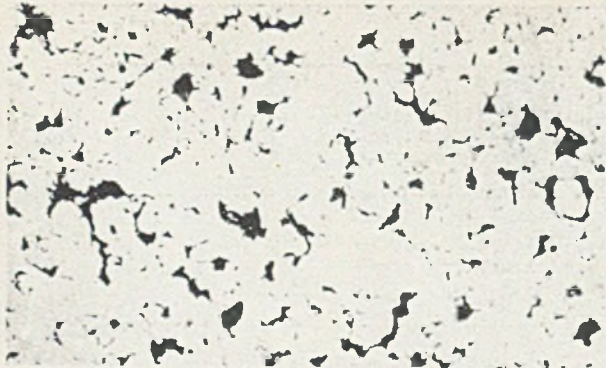


Rys. 5



Rys. 6

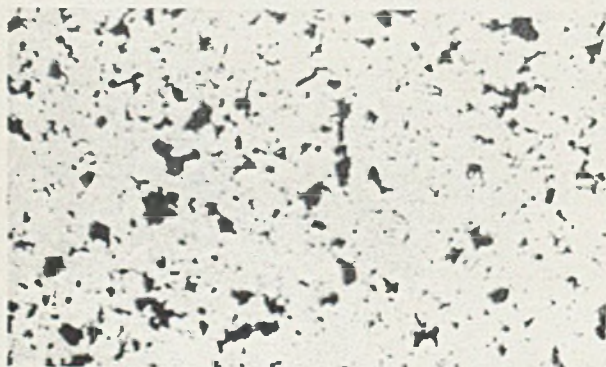
Nr rys.	Opis struktury	Powiększenie x
1	Spiek gat. WS25 - w osnowie srebrowej, bardzo liczne, na ogół wielkie ziarna wolframu, układające się pasmowo. Nietraw.	100
2	Szczegół rys. 1	500
3	Spiek gat. WS50 - w osnowie srebrowej, bardzo liczne drobne ziarna wolframu, rozłożone równomiernie. Nietraw.	100
4	Szczegół rys. 3	500
5	Spiek gat. SN15 - w osnowie srebrowej, drobne ziarna niklu rozłożone nierównomiernie. Nietraw.	100
6	Spiek gat. WM20 - pory wolframowego szkieletu wypełnione miedzią; liczne drobne pory. Nietraw.	100



Rys. 7



Rys. 8



Rys. 9



Rys. 10



Rys. 11



Rys. 12

Nr rys.	Opis struktury	Powiększenie x
7	Spiek Ag - grafit (5% grafitu) - w osnowie srebrowej grafit pasemkowy rozłożony nierównomiernie. Nietraw.	50
8	Spiek Cu - grafit (20% grafitu) - w osnowie miedziowej wydłużone pasma grafitu. Nietraw.	50
9	Spiek Ni-CdO - w osnowie niklowej równomierne rozmieszczone tlenki kadmu. Nietraw.	50
10	Szczegół rys. 9.	250
11	Struktura lutowanego połączenia spieku z podłożem: eutektyka podwójna srebro-roztwór cynku w miedzi (lutowie Ag-Cu-Zn). Traw. FeCl <sub>3</sub>	500
12	Struktura połączenia uzyskanego przez zalanie kształtki wolframowej miedzią. Jasne pola - miedź, szare - wolfram. Nietraw.	100

#### 4. Badania metalograficzne

Cechą charakterystyczną struktur spieków kontaktowych jest nieobecność roztworów, związków czy faz międzymetalicznych poszczególnych składników, które nie reagują z sobą, ani nie rozpuszczają się wzajemnie, nie tworzą nowych struktur. Z tego też powodu, jeśli tylko jest znany gatunek badanego spieku, określenie struktury nie przedstawia większych trudności.

##### 4.1. Struktury spieków z proszków czystych metali

Ze spieków czystych metali znajdują zastosowanie przede wszystkim miedź, srebro, wolfram, rzadziej platyna.

Kształtki spiekane zazwyczaj poddawane są przeróbce plastycznej, najczęściej walcowaniu, w wyniku czego ich struktury upodabniają się do struktur materiałów konwencjonalnych, a więc odlewanych i walcowanych. Spieki takie można więc traktować jak metale niespiekane. Jeśli spieki z proszków czystych metali nie są walcowane, struktury ich charakteryzują się dużą ilością por, a ziarna są na ogół równoosiowe.

##### 4.2. Struktury pseudostopów

Na nietrawionych zglądach ze spieków tej grupy zawsze wyraźnie widoczne są obydwa składniki, ale ich rozkład zależny jest od sposobu wytwarzania. Jeśli kształtkę uzyskuje się przez spiekanie zmieszanych proszków składników, wyraźnie uwidaczniają się zaokrąglone ziarna proszku wysokotopliwego w osnowie niskotopliwej. Przykłady takich struktur podano dla spieków W-Ag - rys. 1, 2, 3 i 4 i W-Ni - rys. 5.

Pasmowość struktury, świadcząca o przeróbce plastycznej po spiekanu uwidacznia się na rys. 2.

Struktura kształtek wytwarzanych przez nasycanie szkieletu (kształtki porowatej) z metalu wysokotopliwego charakteryzuje się wybitnie nieregularnym kształtem wielkich por, wypełnionych metalem niskotopliwym. Przykładem spieku w ten sposób otrzymanego jest spiek W-Cu i struktura jego jest pokazana na rys. 6.

Ponieważ poszczególne składniki pseudostopów metalicznych wykazują najczęściej znaczne różnice twardości (szczególnie przy spiekach z wolframu), występują trudności przy wykonywaniu zglądów metalograficznych, a mianowicie powstaje relief, który z kolei nie pozwala na otrzymanie ostrych zdjęć fotograficznych przy większych powiększeniach.

#### 4.3. Struktury spieków metaliczno-grafitowych

W skład spieków metaliczno-grafitowych wchodzi grafit oraz metal - najczęściej srebro lub miedź, w których to metalach grafit się nie rozpuszcza, ani nie tworzy z nimi związków. Wobec tego ich strukturą będzie grafit w osnowie metalicznej. Pod mikroskopem obraz takiego spieku będzie bardzo zbliżony do struktury nietrawionego żeliwa szarego. Charakter rozkładu grafitu jest zależny od sposobu wytwarzania kształtek: gdy są prasowane i spiekane, grafit i pory rozłożone są równomiernie, przy prasowaniu na gorąco - ilość por jest niewielka, a grafit rozkłada się jak w żeliwie szarym - rys. 7, jeśli po spiekaniu stosuje się walcowanie, grafit występuje w formie wydłużonych wtrąceń - rys. 8.

Zgłady metalograficzne ze spieków metaliczno-grafitowych należy wykonywać starannie i uważać, aby nie wykruszyć grafitu (podobnie jak i dla żeliwa szarego), gdyż to może doprowadzić do powstania reliefu.

#### 4.4. Struktury spieków metaliczno-tlenkowych

W tej grupie spieków najczęstsze zastosowanie znajdują Ni-CdO oraz Ag-CdO. Struktury ich wykazują odrębność w porównaniu z innymi spiekami, gdyż w osnowie metalicznej występują tu ziarna związku chemicznego - rys. 9 i 10. Ponieważ otrzymuje się je najczęściej ze spieku Ni-Cd lub AgCd, albo nawet ze stopów tych metali, przez utlenianie wewnętrzne, tlenki kadmu rozłożone są równomiernie w osnowie metalu.



Tlenki kadmu są krucho, z tego też powodu, podobnie jak i grafit w spiekach metaliczno-grafitowych łatwo ulegają wykruszeniu.

#### 4.5. Trawienie zglądów ze spieków kontaktowych

Spieki kontaktowe, szczególnie pseudostopy, ze względu na swoją niejednorodną budowę, sprawiają wiele trudności przy trawieniu, gdyż trudno dobrać odczynnik, którym by równocześnie można wytrawić np. osnowę srebrową i wolfram; z tego też powodu zazwyczaj stosuje się odczynniki do odpowiednich metali i trawi tylko jeden z tych składników. Metoda takiego "trawienia wybiórczego" może dać także dobre wyniki przy orientacyjnej identyfikacji składników, należy jednak do tego celu dysponować specjalnie dobranym zestawem odczynników.

Trawienie spieków metaliczno-tlenkowych przy pomocy kwasów doprowadza do wyzarzarcia wtrąceń  $CdO$  i przez to następuje zniekształcenie struktury.

Stosunkowo łatwe jest trawienie spieków metaliczno-grafitowych, z którymi postępować należy jak ze zglądami z zeliwa szarego, oczywiście dobierając dla osnowy metalicznej odpowiedni odczynnik.

Trawienie spieków z proszków czystych metali nie sprawia żadnych trudności, gdyż traktuje się jak metale konwencjonalne.

Przy spiekach z grafitem i o znacznej ilości por, po wytrawieniu próbki należy starannie płukać w alkoholu, aby nie dopuścić do powstania nalotów wokół por.

Należy podkreślić, że najczęściej wystarcza obserwacja próbek nietrawionych, a więc trawienie można pominąć; znaleźć może ono zastosowanie przy identyfikacji "trawieniem wybiórczym".

#### 4.6. Budowa połączeń spieków z podłożem

Jak już wspomniano, spieki kontaktowe z podłożem łączy się najczęściej przy pomocy twardego lutowia. Przykład struktury połączenia lutowanego przy pomocy lutowia srebrowo-miedziowo-cynkowego podano na rys. 11. Charakterystyczna jest tam eutektyka srebro - faza  $\alpha$  (roztwór Zn w Cu). Rzadziej stosuje się połączenia przy pomocy zalewania kształtki wolframowej miedzią lub srebrem. Połączenia takie są znacznie trwalsze i lepsze pod względem elektrycznym, ale trudniejsze w wykonaniu. Na rys. 12 wyraźnie widoczna jest granica między W i Cu, połączenie jednak jest trwałe ze względu na wzajemne zaklinowania się ziarn na powierzchni rozkładu, co jest doskonale widoczne.

Artykuł niniejszy jest tylko krótkim przeglądem problemu badań metalograficznych spieków kontaktowych. Materiały ilustrujące uzyskano z badań próbek dostarczonych przez zakłady przemysłowe, a przeprowadzonych w Zakładzie Badania Materiałów Politechniki Śląskiej.

#### LITERATURA

- [1] Kieffer R. Hotop W.: Metalurgia proszków i materiały spiekane, PWT Katowice 1951, str. 294-308.
- [2] Praca zbiorowa pod red. J. Wulffa: Powder Metallurgy, ASM Cleveland str. 470-482 i 493-496.
- [3] Rutkowski W.: Metalurgia proszków w nowoczesnej technice, Śląsk Katowice 1963, str. 283-292.
- [4] Praca zbiorowa Werkstoff-Handbuch: Nichteisenmetalle, VDI Düsseldorf 1960, str. IVB3.
- [5] Praca zbiorowa Metals Handbook, ASM Cleveland 1948, str. 1113-1115.

## МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

## Р е з ю м е

Проведено металлографическое исследование металлокерамических контактов: W-Ag, W-Cu, W-Ni, Ag-графит, Cu-графит и Ni-CdO. Определяли микроструктуру контактов изготовленных разными методами и микроструктуру их соединений с деталями выключателей, полученных посредством пайки твёрдыми припоями и заливки контактов жидкой медью. Дается серия характеристических микроструктур металлокерамических контактов.

## METALLOGRAPHIC INVESTIGATION OF THE COMPOUND CONTACT MATERIALS

## S u m m a r y

Metallographic investigation of the compound contact materials W-Ag, W-Cu, W-Ni, Ag-graphite, Cu-graphite and Ni-CdO had been carried out. Microstructure of the contacts made by various methods had been defined. Microstructure of the joints contact - base metal obtained by brazing with silver solders or pouring of contact with liquid copper had been also examined. A series of the characteristic microstructures of contacts and joints has been presented.