

Kazimierz KALISZUK

INSTYTUT TECHNOLOGII MATERIAŁÓW ELEKTRONICZNYCH

ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

Jacek SENKARA

POLITECHNIKA WARSZAWSKA, ZAKŁAD SPAWALNICTWA

ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

## **Analiza zjawisk zachodzących w kompozytowych materiałach stykowych w łuku elektrycznym**

Projektowanie kompozytowych materiałów stykowych powinno być poprzedzone analizą zjawisk zachodzących w nakładce stykowej podczas pracy w łączniku elektrycznym. Szczególnie ważnym elementem jest poznanie mechanizmów erozji, w celu zmniejszenia szybkości destrukcji materiału i eliminacji towarzyszących jej, niekorzystnych zjawisk.

Bezpośrednia obserwacja zjawisk erozyjnych jest trudna ze względu na ich szybkość i dynamikę. Czasy palenia się łuku są rzędu mili a czasem mikrosekund, średnica plamki na powierzchni - niewielka, a szybkość jej wędrówki - znaczna. Temperatura stopy łuku szacowana jest, w zależności od napięć i prądów łączeniowych oraz własności materiału stykowego i konstrukcji łącznika, na kilka do kilkunastu tysięcy K [1].

Mamy zatem do czynienia z procesami zachodzącymi w mikroskali w warunkach dużego oddalenia od stanu równowagi termodynamicznej. W artykule podjęto próbę wyjaśnienia mechanizmu zjawisk i opracowania modelu na podstawie badań strukturalnych materiałów stykowych po pracy w odmiennych warunkach: trwałości łączeniowej w styczniku próżniowym i próbie zwarciowej zdolności łączenia w wyłączniku powietrznym.

### **MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ**

Prace prowadzono z zastosowaniem następujących materiałów stykowych:

1. Dwufazowy kompozyt W-Cu30, o szkielecie wolframowym, spiekany z 1% dodatkiem Ni.

Materiał ten jest przeznaczony do pracy w próżniowych komorach gaz-szeniowych styczników niskonapięciowych.

Fazę przewodzącą /Cu/ wzbogacono o dodatek antymonu dla obniżenia prądów ucięcia.

2. Dwufazowy kompozyt W-Ag60, o szkielecie wolframowym, spiekany z 0,5% dodatkiem Ni.

Materiał jest przeznaczony do pracy w powietrznych wyłącznikach niskiego napięcia o podwyższonych parametrach.

Materiały stykowe W-Cu30Sb i W-Ag60 zamontowano w typowych, przeznaczonych dla nich łącznikach elektrycznych: styczniku próżniowym SV-7 i wyłączniku zwarciovym FB-150 /obe produkcji EMA-ELESTER w Łodzi/.

Dane znamionowe stycznika SV-7:

napięcie nominalne	1 kV
częstotliwość nominalna	50/60 Hz
znamionowy prąd ciągły	250 A
prąd zwarciovym	5 kA
częstotliwość łączy	1200 1/h
typowa moc sterowana	250 kW

Dane znamionowe wyłącznika FB-150:

napięcie nominalne wyłącznika	550 V
częstotliwość nominalna	50/60 Hz
nominalny prąd ciągły	30 A
prąd zwarciovym	10 kA

Styczniki SV-7 poddano badaniu trwałości łączy w kategorii AC-4 wg PN-73/E-06152, przy parametrach:

prąd	1,1 kA,
napięcie manewrowe	1 kV/50 Hz,
częstotliwość łączy	600 1/h
cos $\Phi$	0,36,
ilość wykonywanych łączy	50 000.

Wyłącznik FB-150 poddano próbie zwarciovym zdolności łączy w cyklu P-1 wg PN-74/E-06151, przy parametrach:

spodziewany prąd zwarciovym	10 kA
rzeczywisty prąd zwarciovym	do 19 kA
napięcie łączy	550 V
cos $\Phi$	0,3

cykl W - t - ZW

gdzie: W - wyłączenie

Z - załączenie

t - czas około 3 min.

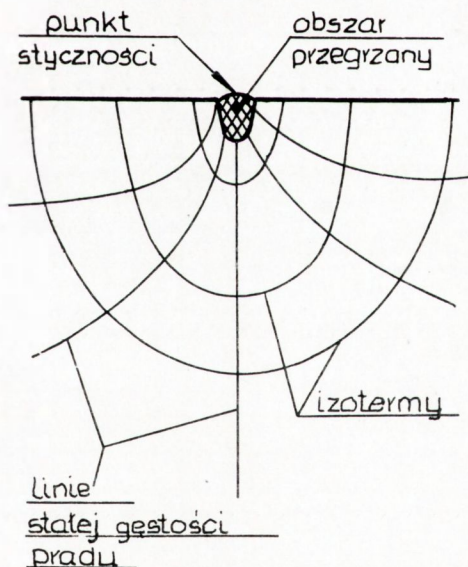
Wszystkie badania elektryczne wykonane zostały w zwarciovym OBR ORAM w Łodzi.



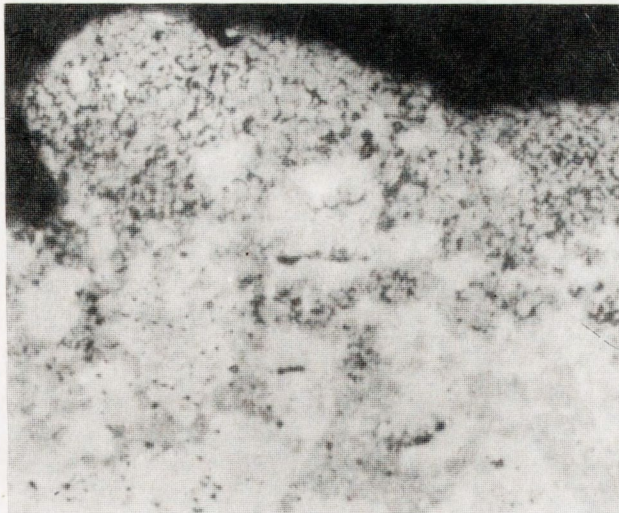
Rys. 1. Struktura nakładki stykowej W-Cu<sub>30</sub>Sb po próbie trwałości łączeniowej w styczniku próżniowym SV-7 Nietrawione. Powiększenie 50x



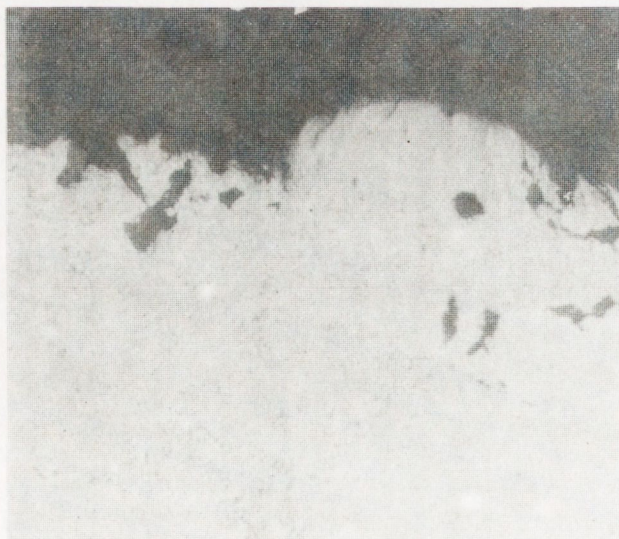
Rys. 2a. Ślady po lokalnym przegrzaniu w punkcie styczności. Nietrawione. Powiększenie 250x



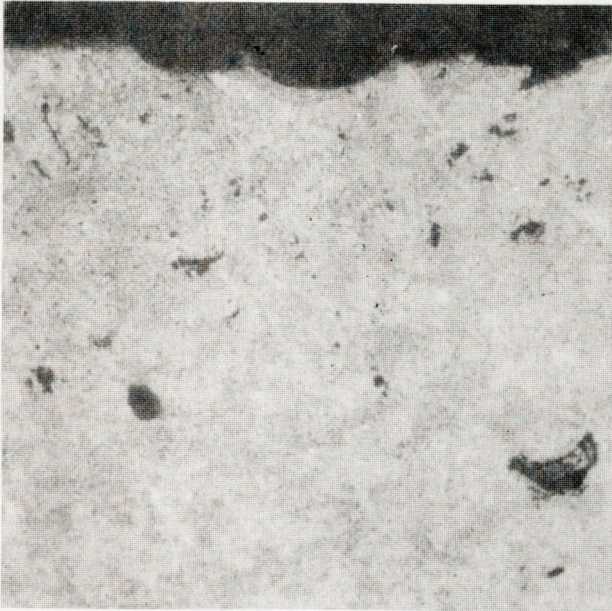
Rys. 2b. Rozpływ prądu i rozkład temperatur wokół punktu styczności



Rys. 3. Wysepka gąbki W. Nietrawione.  
Powiększenie 625x



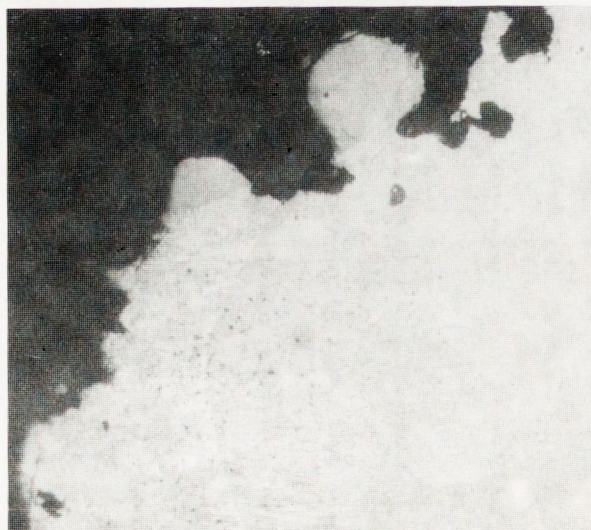
Rys. 4. Przetopiona kropla W. Nietrawione.  
Powiększenie 250x



Rys. 5. Prawidłowa struktura powierzchniowej warstwy kompozytu. Nietrawione. Powiększenie 250x



Rys. 6a. Warstwa przetopionego W na niepracującej części powierzchni roboczej styku stałego. Nietrawione. Powiększenie 250x



Rys. 6b. Zakrzepłe krople przetopionego W na krawędzi styku ruchomego. Nietrawione. Powiększenie 250x

Próbki materiałów stykowych poddano następnie badaniom metalograficznym, po uprzednim wykonaniu zglądów w płaszczyznach prostopadłych do powierzchni roboczej. Zastosowano mikroskop optyczny "Neophot 2".

#### WYNIKI BADAŃ METALOGRAFICZNYCH I DYSKUSJA

Typową strukturę materiału W-Cu<sub>3</sub>OSb w pobliżu powierzchni roboczej nakładki po próbie trwałości łączeniowej przedstawiono na rys. 1.

Warstwa przypowierzchniowa ma wyraźnie zmienioną, wzbogaconą w wolfram, strukturę i tworzy charakterystyczne "łuski".

Widoczne są również pęknięcia, sięgające daleko w głąb materiału stykowego. Obraz ten jest zbliżony z wynikami uzyskanymi we wcześniejszej pracy [2], potwierdzając zarazem zaproponowany tam model wtórnego spiekania kompozytu w łuku elektrycznym.

Tworzenie "łusek" jest efektem istnienia swoistego "gradientu spiekania" w materiale, wynikającego z nałożenia się gradientu temperatury i gradientu stężenia aktywatora spiekania - niklu w fazie przewodzącej. Jest to spowodowane intensywnym parowaniem miedzi z ciekłego roztworu.

Odmienne przedstawia się struktura warstwy powierzchniowej nakładki stykowej W-Ag<sub>60</sub> po próbie zwarciowej zdolności łączeniowej. Wynika to zarówno z odmiennego składu chemicznego jak i warunków pracy łącznika. Nikiel zastosowany w charakterze aktywatora spiekania rozpuszcza się w srebrze w bardzo nieznacznej ilości [3], w związku z czym gradient jego stężenia jest nie znaczący w porównaniu ze stopem CuSb i zjawisko to można pominąć w rozważaniach.

Ponadto przewodnictwo elektryczne i ciepłe srebra jest wyższe niż dla stopu CuSb [4]. Również warunki pracy w cyklu zwarciowym są diametralnie różne: nakładki stykowe nagrzewają się wstępnie w stanie zamkniętym, do momentu zadziałania wyzwalaczy termicznych, po czym styki zaczynają się otwierać, a między nimi pojawia się łuk o dużej energii, który zostaje zgaszony przed pełnym rozwarciem styków. Po przerwie 3 min. następuje powtórne zamknięcie styków przy pełnym obciążeniu obwodu probierczego. Przed zetknięciem powierzchni styków następuje ponowny zapłon łuku. Po zamknięciu styków następuje przemieszczenie styku ruchomego względem stałego, usuwając mechanicznie produkty destrukcji z fazy rozwierania, po czym po krótkim czasie przewodzenia następuje ponowne zadziałanie wyzwalaczy termicznych i cykl rozwarcia powtarza się od początku.

Na podstawie przeprowadzonych badań proponuje się następujący model erozji materiału stykowego w cyklu zwarciowym:

1. W stanie zamkniętym występują w materiale lokalne obszary przegrzania, związane ze wzrostem gęstości prądu w okolicach punktów styczności. Dokumentuje to rys. 2a, na którym widoczny jest obszar

zmienionej struktury sięgający daleko w głąb materiału. Powstałe pory związane są niewątpliwie z lokalnym wrzeniem srebra w kapilarach szkieletu.

Rys. 2b przedstawia propozycję rozkładu gęstości prądowych i związany z nim rozkład temperatur.

2. W czasie palenia się łuku następuje odparowanie srebra z rejonów położonych w pobliżu stopy łuku. Pojawiają się "wysepki" gąbki wolframowej, wykazującej większy stopień spieczenia niż pierwotny szkielec /rys. 3/.
3. Powtórne pojawienie się łuku w tym miejscu powoduje, wobec braku efektu chłodzenia związanego z odparowywaniem srebra, stopienie wolframu. Na rys. 4 obserwujemy przekrój przez taką kroplę. Widoczne są podłużne ziarna wolframu, narastające w kierunku odprowadzania ciepła, na ziarnach szkieletu, będących zarodkami krystalizacji. Mamy zatem do czynienia z klasyczną krystalizacją heterogeniczną.
4. Na powierzchniach roboczych nakładek stykowych na skutek tarcia obu powierzchni styków w fazie przemieszczania oraz działania sił elektrodynamicznych w fazie rozwierania, następuje kruszenie, odrywanie i odrzucanie produktów erozji /spieczona gąbka i zakrzepłe krople wolframu/.  
Odsłania się "zdrowa" struktura kompozytu o dużym udziale fazy przewodzącej /rys. 5/.
5. Na fragmentach powierzchni styków, będących poza strefą wzajemnego oddziaływania mechanicznego, mogą pozostać produkty erozji /rys. 6a, b/.

#### PODSUMOWANIE

Przeprowadzono próbę analizy porównawczej zjawisk zachodzących w kompozytowych materiałach stykowych w warunkach pracy łączeniowej przy parametrach nominalnych i zwarciovych. Wykazano, że mimo pewnych podobieństw zachodzi istotna różnica w mechanizmie destrukcji.

W rozważaniach dla uproszczenia nie uwzględniono różnicy środowisk pracy styków /próżnia, powietrze/, nie zaobserwowano bowiem, aby środowisko w opisywanych warunkach badań odgrywało pierwszoplanową rolę w przedstawionych mechanizmach destrukcji materiału stykowego.

#### LITERATURA

1. Holm R.: "Electrical Contacts", Springer Verlag, Berlin 1967
2. Senkara J.: Science of Sintering. Vol. 19 1987, s. 133-142
3. Hansen M., Anderko K.: "Constitution of Binary Alloys", Mc Graw Hill, 1958
4. Metals Handbook, VIII the Edition, Metals Park 1973, Ohio