

Materiały stykowe w programie prac ITME i CNPME

Materiały stykowe znajdują się w obszarze zainteresowania ITME od kilkunastu lat. Wynika to zarówno z pokrewieństwa niektórych technologii stosowanych w przemyśle materiałów elektronicznych i przemyśle współczesnych materiałów stykowych, jak i z ekstremalizacji własności eksploatacyjnych tych ostatnich. Szczególnie dotyczy to trwałości i niezawodności.

W czasie pracy łączeniowej /załączania i wyłączania/ aparatów elektrycznych styki poddawane są intensywnym, niszczącym oddziaływaniom prądu elektrycznego. Intensywność niszczenia jest zależna w szczególności od czasowego przebiegu prądu podczas trwania odskoków przy załączaniu, czasu utrzymywania się łuku przy wyłączaniu i konstrukcji układu stykowo-gaszeniowego.

Z istnienia tych procesów wynika więc konieczność stosowania nakładek stykowych wykonanych ze specjalnych materiałów wg unikalnych technologii gdyż często, właśnie nakładki stykowe decydują o żywotności aparatu.

Wybór materiału stykowego musi być oparty na kompromisie, ponieważ nie ma takiego materiału który znosiłby jednakowo wszystkie narażenia. Decyzja o rodzaju materiału musi być z tego względu podejmowana każdorazowo dla określonego zastosowania w oparciu o wszechstronne badania wykonane w warunkach zbliżonych do występujących w eksploatacji.

Metod klasyfikacji materiałów stykowych jest bardzo dużo. Można je klasyfikować wg składu chemicznego i technologii, według rodzaju aparatów elektrycznych, w których są zastosowane, przenoszonych obciążeń, atmosfery pracy i rodzaju urządzeń w które są wmontowane. Klasyfikację materiałów stykowych wg technologii przedstawia tab. 1.

Powszechnie stosowanymi materiałami stykowymi są:

1. czyste metale o różnym stopniu czystości np.:

- metale szlachetne /Au, Pt, Pd, Ag/
 - metale trudnotopliwe /W, Mo/
 - metale nieżelazne /Cu, Sn, Pb, Zn/
2. Stopy metali szlachetnych lub innych metali
 - stopy miedzi /mosiądze, brązy/
 - stopy srebra /AgCu, AgCd itp./
 3. Materiały kompozytowe wytwarzane przez:
 - spiekanie porowatego szkieletu z metalu trudnotopliwego i nasy-
canie go metalem lub stopem dobrze przewodzącym,
 - spiekanie mieszanin proszków metali, oraz ich związków /w fazie
stałej lub z fazą ciekłą/,
 - wewnętrzne utlenianie stopu.

Typowe zastosowania styków wytwarzanych na drodze metalurgii pro-
szków przedstawiono w tab. 2.

Styki elektryczne mogą być wykonane jako jedno lub wielowarstwowe.
Styki wielowarstwowe uzyskuje się przez platerowanie bądź przez nało-
żenie powłoki galwanicznej.

Ze względu na rodzaj pracy styki można podzielić na:

1. styki stałe - przeznaczone do nieruchomego połączenia ze sobą
przewodów,
2. styki ślizgowe - przeznaczone do łączenia ruchomych z nieruchomymi
częściami obwodów elektrycznych,
3. styki rozłączne - przeznaczone do okresowego zamykania i przerywa-
nia obwodów elektrycznych.

Te ostatnie można podzielić na styki słaboprądowe, styki o średniej
obciążalności oraz styki o dużej obciążalności, przerywające obwody
z prądem od kilkudziesięciu do kilku tysięcy amperów.

Materiałami stykowymi nazywamy te materiały, z których wykonywane
są styki rozłączne lub ślizgowe, bądź ich fragmenty - nakładki czy
końcówki stykowe.

W programie prac ITME znajdują się:

1. kompozyty warstwowe na styki słaboprądowe,
2. kompozyty na styki o dużej obciążalności:
 - w stycznikach i wyłącznikach powietrznych,
 - w stycznikach i wyłącznikach próżniowych,
 - w energetycznych wyłącznikach pracujących w środowisku SF₆.

MATERIAŁY STYKOWE PRZEZNACZONE DO AUTOMATYCZNYCH WYŁĄCZNIKÓW POWIETRZNYCH

Tradycyjnymi materiałami stykowymi przeznaczonymi do pracy w auto-
matycznych wyłącznikach są kompozyty z grupy srebro-grafit i srebro-
-nikiel. Pierwsze używa się na nakładkę styku nieruchomego, a drugie
ruchomego. Oba te materiały produkowane są metodami klasycznej meta-
lurgii proszków.

Wzrost cen srebra był głównym powodem wycofywania się ze stosowania tych materiałów. Materiały te zawierają bowiem 95% Ag w kompozycji Ag-C lub 70% Ag w kompozycji Ag-Ni. Nie był to jednak powód jedy-ny. Materiały te miały stosunkowo niską trwałość ze względu na małą odporność na erozję.

Głównymi mechanizmami erozji w wyniku działania stopy łuku o wysokiej temperaturze, przemieszczającej się po powierzchni kontaktu, a także sił elektrodynamicznych i narażeń mechanicznych są:

- parowanie z fazy ciekłej,
- rozbryzgiwanie kropli cieczy,
- erozja mostkowa,
- tworzenie się pęknięć pod wpływem szoków termicznych.

Materiały Ag-C i Ag-Ni, szczególnie przy większych obciążeniach nie mają zadawalającej odporności na te mechanizmy erozji.

Z tego powodu konstruktorzy wyłączników wprowadzili na nakładki stykowe materiał kompozytowy Mo-Ag i W-Ag.

Zawartość srebra w tych kompozytach wynosi 30 do 60%. Kompozyty Mo-Ag i W-Ag, podobnie jak poprzednie, produkowane są na drodze metalurgii proszków.

Pierwsze próby zastosowania tych kompozytów zakończyły się jednak niepowodzeniem. Przyczyną tego była dość duża rezystancja zestykowa tych materiałów.

Zjawisko to występowało szczególnie ostro w miarę zużywania się nakładki stykowej. Po odparowaniu srebra w czasie kolejnych wyłączeń, metal trudnotopliwy o trzykrotnie niższej przewodności właściwej niż srebro powodował rozgrzewanie się zestyków. Szczególnie czułe na to zjawisko były wyłączniki zwarciovowe, wyposażone w cieplne bezpieczniki automatyczne.

Zapobiec temu można było przez takie zaprogramowanie struktur kompozytu /głównie szkieletu trudnotopliwego/ by zużyciu warstwy srebra towarzyszyło usunięcie odsłoniętego wolframu lub molibdenu. W ten sposób struktura kompozytu każdorazowo musi być dostosowana do parametrów pracy aparatu. Konstruktorzy wyłączników dodatkowo "utrudniają" życie producentom materiałów stykowych wprowadzając różne kombinacje funkcji zestyku /np. styk czasami pracuje jako przewodzący a czasami jako opalny/.

Tylko nieliczne firmy opanowały technologię materiałów stykowych z kompozytów W-Ag i Mo-Ag.

W krajach socjalistycznych jedynie w Polsce /CEMAT W-wa/ produkuje się tego typu nakładki stykowe.

Wyłączniki powietrzne produkuje się w dużych ilościach. Z tego względu producenci aparatów żądają nakładek stykowych z nałożoną warstwą spoiwa, najlepiej samolutowną. Umożliwia to połączenie nakładki

z podstawą styku na zgrzewarce oporowej bez użycia topnika. CEMAT W-wa produkuje nakładki z nałożonym spoiwem Ag62Cu37P1. Spoiwo to nakładane jest na powierzchnię montażową nakładki, specjalnie profilowaną, co gwarantuje uzyskanie złącza o prawidłowych własnościach mechanicznych i elektrycznych.

MATERIAŁY STYKOWE STOSOWANE W STYCZNIKACH I WYŁĄCZNIKACH PRÓŻNIOWYCH

Próżnia jako medium izolacyjne w stycznikach i wyłącznikach stwarza możliwości użytkowo - łączeniowe nieosiągalne w przypadku powietrza.

Najważniejszymi zaletami styczników i wyłączników próżniowych w porównaniu z konwencjonalnymi są:

- duża trwałość łączeniowa i mechaniczna,
- wysokie częstotliwości łączeniowe,
- zwarta budowa i mała masa,
- zbędność prac konserwacyjnych i dozoru,
- brak szkodliwego oddziaływania na środowisko /ograniczona hałaśliwość, brak emisji toksycznych par metali/,
- nieczułość na szkodliwy wpływ środowiska,
- bezpieczeństwo przeciwwybuchowe,
- dowolna pozycja pracy,
- stosowanie na materiały stykowe metali nieszlachetnych.

Ten ostatni czynnik przy ciągle rosnących cenach metali szlachetnych ma coraz bardziej istotne znaczenie.

Zalety te zdecydowały o coraz powszechniejszym stosowaniu tych aparatów, szczególnie w górnictwie, przemyśle chemicznym, energetycznym i stoczniowym.

Obecnie w kraju produkowane są dwa typy styczników próżniowych na znamionowe napięcie łączeniowe 1000 V /100 lub 250 A/ i jeden typ na znamionowe napięcie łączeniowe 6000 V /250 A/ prądu przemiennego. Daleko zaawansowane są prace nad uruchomieniem wyłącznika próżniowego na napięcie 24 kV.

Podstawową wadą styczników są powstające w indukcyjnych obwodach przeciążeniowych przebiegi łączeniowe wywołane prądami ucięcia.

Występowanie prądów ucięcia jest szczególnie niebezpieczne w obszarze niskich napięć. Przyczyną tego jest fakt, że przy malejącej wartości natężenia prądu emisja par metali z plamki katodowej przestaje wystarczać dla podtrzymania pozornie stabilnego łuku próżniowego. Powoduje to gaśnięcie łuku już przed naturalnym przejściem wartości prądu przez linię zerową. Powstające w efekcie prądu ucięcia przebiegi łączeniowe mogą spowodować uszkodzenie innych elementów obwodu np. izolacji silnika. Wartość tych przebiegów może być bardzo duża np. w przypadku trójfazowego silnika 132 kW, pracującego przy napięciu 380 V, obliczane przebiegi mogą wynieść 6 kV.

Stosowane w świecie stykowe materiały kompozytowe do styczników i wyłączników próżniowych można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- stopy dwu-, trój- i więcej składnikowe z zakresem ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym, otrzymywane ze stanu ciekłego i poddawane obróbce cieplnej w celu wydzielenia się faz związków międzymetalicznych wzmacniających przewodzącą matrycę,
- materiały kompozytowe złożone z fazy erozyjnie odpornej /W, Mo, Ta, Cr, Fe, Re, WC/ oraz przewodzącej /Cu i Ag/ z dodatkiem innych metali nadających dodatkowe własności: zapobiegających szepianiu się styków, aktywujących spiekanie, polepszających adhezję międzyfazową lub obniżających prąd ucięcia. Otrzymuje się je na drodze metalurgii proszków. Obecnie dominują materiały grupy drugiej. Wydaje się jednak, że w przyszłości udział materiałów grupy pierwszej będzie wzrastał.

W stycznikach próżniowych produkcji krajowej jako materiał stykowy stosowany jest kompozyt W-CuSb w przypadku aparatów niskonapięciowych i kompozyt W-Cu w przypadku styczników 6000 V.

W obu przypadkach kompozyt uzyskuje się nasycając porowaty szkielec wolframowy fazą przewodzącą.

Wolfram nie tworzy z miedzią roztworów ani faz międzymetalicznych. Składniki kompozytu tworzą więc układ równowagowy. Konieczny jest zatem dodatek pierwiastka aktywnego na granicy międzyfazowej. Dodatkiem tym jest w naszym przypadku nikiel. Obniża on energię międzyfazową tworząc na granicy warstwę pośrednią. Nikiel pełni więc tu podwójną rolę. Bowiem oprócz obniżenia erozji materiału na skutek zmniejszenia energii międzyfazowej, działa silnie aktywująco na proces spiekania wolframu.

Dodatek niklu powinien być możliwie niewielki tak, aby z jednej strony nie pogorszyć przewodności miedzi, a z drugiej - utworzyć tylko cienką warstwę pośrednią. W przeciwnym przypadku dochodziłoby do ciągłej reakcji pomiędzy fazami w trakcie pracy styków i w konsekwencji do naruszenia struktury kompozytu.

Podstawowym zadaniem antymonu w niskonapięciowych stycznikach próżniowych jest obniżenie do minimum prądu ucięcia.

Drugą nie mniej ważną cechą antymonu jest to, że pierwiastek ten daje ujemne odchylenie od prawa Raoultów w zakresie roztworu bogatego w miedź. Dzięki temu obniża on sumaryczną prężność par nad ciekłym roztworem Cu-Sb, pomimo iż jest pierwiastkiem o wyższej prężności par od miedzi. Efekt ten jest korzystny dla materiału stykowego ze względu na zmniejszenie parowania fazy ciekłej w czasie palenia się łuku.

Kompozyty WCuSb i WCu stosowane w nisko i średnio- napięciowych stycznikach nie spełniają wymagań stawianych materiałom stykowym przeznaczonym do pracy w próżniowych wyłącznikach mocy.

Wymagania te są nieco inne niż w stycznikach.

Ilustruje to tab. 3, w której podano parametry materiałów, najistotniejsze z punktu widzenia pracy w różnych typach łączników próżniowych.

Dla wyłączników próżniowych podstawowym wymaganiem jest niezawodność zadziałania i możliwość wyłączenia prądów zwarciovych, co w połączeniu z długim czasem eksploatacji komory próżniowej pozwala na wytypowanie zespołu własności materiału stykowego. Powinien on charakteryzować się dobrym przewodnictwem elektrycznym i cieplnym, odpornością na erozję, małą zawartością gazów.

Oczywiste jest, że wymieniony zespół własności nie może być osiągalny w maksymalnym stopniu przez jeden materiał. Dobór materiału stykowego powinien być rezultatem odpowiedniego kompromisu. Na przykład zmniejszenie prądu ucięcia osiągnąć można kosztem silniejszego odparowania materiału stykowego, ale wówczas obniżona zostaje długowieczność styków, wzrasta skłonność do zespawiania się oraz pojawia się tendencja do ponownych zapłonów przy pracy rewersyjnej.

Obecnie stosuje się w próżniowych wyłącznikach mocy głównie materiały stykowe na bazie Cu-Cr - najczęściej CuCr25 i CuCr40. Kompozyty te można produkować według różnych technologii. Jednak w każdym wariantcie technologicznym decydujące znaczenie ma czystość powierzchni chromu /brak ciągłych warstewek tlenkowych/. Wysokie powinowactwo chromu do tlenu sprawia, że osiągnięcie tego warunku jest bardzo trudne. Jednakże, ze względu na getterujące działanie chromu, obecność tlenu nawet do kilkuset ppm. nie wpływa w istotny sposób na pracę łączeniową. Niebezpieczna jest natomiast podwyższona zawartość H_2 i N_2 .

MATERIAŁY STYKOWE PRZEZNACZONE DO WYŁĄCZNIKÓW Z SF_6

W energetyce krajów wysoko rozwiniętych /Japonia, USA, Kanada, kraje Europy zachodniej/ już dziś znaczna część rozdzielnic wysokich napięć /30-50%/ wykonana jest nie w wersji napowietrznej, a jako rozdzielnice z izolacją gazową SF_6 . Sześciofluorek siarki w stanie czystym jest gazem obojętnym względem innych pierwiastków i związków chemicznych. Charakteryzuje się bardzo dobrymi własnościami izolacyjnymi. Jego wytrzymałość na przebicie jest 2,5-3 krotnie wyższa niż powietrza. Jako gaz niepalny i o dobrej zdolności gaszenia łuku pozwala na znaczne zmniejszenie gabarytów urządzeń rozdzielczych.

Zaletami rozdzielnic z SF_6 są:

- znacznie mniejsze zapotrzebowanie terenu /np. dla stacji rozdzielczej elektrowni atomowej "Warta" zastosowanie rozdzielnic z SF_6 uchroniłoby 70 ha lasów przed wycięciem/,
- większe bezpieczeństwo eksploatacji,
- większa niezawodność pracy i trwałość,
- niezależnienie od środowiska /hermetyczne obudowy/,
- niższe koszty lokalizacyjne.

W Polsce pracuje już kilka rozdzielnic z SF₆ i przewidywany jest dalszy ich rozwój. W polu widzenia zainteresowań ITME znajdują się styki opalne do wyłączników wysokich napięć z SF₆. W wyłącznikach tych bowiem rozdzielone są funkcje styków prądowych, które pracują tylko przy zamkniętych stykach opalnych, od funkcji przerywania obwodu. Tę funkcję spełniają odpowiednio ukształtowane styki opalne. Końcówki obu styków - stałego i ruchomego, na których przy wyłączeniu obwodu pali się łuk, są wykonywane z kompozytów o wysokotopliwym szkielecie /głównie W/ nasyconym fazą przewodzącą /głównie miedź lub jej stopy/. Podczas cyklu wyłączania na styki opalne oprócz łuku działają również duże siły elektrodynamiczne. Stąd od styków tych wymaga się obok odporności na erozyjne działanie łuku, również odpowiednio wysokich własności mechanicznych /twardość, sprężystość, wytrzymałość na rozciąganie, zginanie itp./. Z powyższych względów, szczególnie dla wyższych napięć /110 do 400 kV/ unika się łączenia kompozytowej końcówki opalnej z korpusem styku przez lutowanie. Stosuje się łączenie dyfuzyjne lub odlewa styki jako monolityczne.

PODSUMOWANIE I PERSPEKTYWY

Przedstawiony w artykule przegląd materiałów stykowych uwzględniał przede wszystkim materiały stykowe i technologie opracowane w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych i produkowane w Centrum Naukowo-Produkcyjnym Materiałów Elektronicznych. Już z tego, z konieczności ograniczonego przeglądu wynika, że postęp w tej dziedzinie uzależniony jest od współpracy konstruktorów aparatów z producentami materiałów stykowych. Współpraca ta jest szczególnie ważna, gdyż w najbliższych latach należy się spodziewać dalszego szybkiego rozwoju technologii i konstrukcji poszczególnych aparatów łączeniowych i niezbędnych do tego celu materiałów stykowych.

Wzrastające wymagania konstruktorów łączników, oraz systematyczny wzrost cen metali szlachetnych, a także wejście metali trudnotopliwych i cyny do grupy surowców strategicznych stawia szczególnie trudne zadania przed producentami materiałów stykowych. Nie należy jednak oczekiwać w najbliższym czasie znaczących nowości pod względem materiałów.

W technice galwanicznej oszczędności z jednoczesną poprawą jakości powłok będzie uzyskiwać się dzięki nowocześniejszym elektrolitom, oraz procesom wytrącania.

Uzyskane warstwy cechować będzie mała porowatość i duża odporność na ścieranie. Stosować się będzie coraz powszechniej powłoki wielowarstwowe, w których jedna lub więcej warstw pośrednich utworzona będzie z metali nieszlachetnych. Rosnące znaczenie będzie miał pallad - stosunkowo tani metal z grupy platynowców.

Nadmienić tu należy, że w ostatnim okresie opracowano w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych powłoki palladowo-niklowe, które już umożliwiły uzyskanie poważnych oszczędności złota w kilku zakładach przemysłu elektronicznego.

Często rozważana jest możliwość zastępowania metali szlachetnych cyną. Należy jednak pamiętać, zasoby cyny nie są dużo większe od zasobów metali szlachetnych i występują tylko w niektórych krajach. Jedyłą zaletą cyny jest tania technika wydobycia i przede wszystkim w odróżnieniu od metali szlachetnych brak czynników spekulacyjnych.

Podstawowym sposobem oszczędzania metali szlachetnych /obok zmian konstrukcyjnych aparatów/ będzie coraz powszechniejsze stosowanie kompozytów oraz wprowadzenie nowoczesnych metod łączenia nakładek z podstawą styku. Styki masywne będą coraz częściej eliminowane.

W wyłącznikach zabezpieczających średniej wielkości zostaną opracowane nowe materiały kompozytowe srebro-tlenki metali /In, Sn, Zn, Sb, Ce i inn./. Zmniejszy się rola toksycznego kompozytu Ag-CdO. Coraz powszechniej będą stosowane łączniki próżniowe lub z gazem ochronnym. Szczególnie konkurencyjne będą w niskonapięciowej technice energetycznej.

Jako materiały stykowe stosowane będą w nich materiały kompozytowe na bazie W, Mo i innych trudnotopliwych metali z dodatkami zmniejszającymi prądy ucięcia poniżej 1 A.

W technice wysokonapięciowej rozwijane będą łączniki typu SF₆. Materiałem stykowym dla tego typu łącznika będzie kompozyt na bazie wolframu optymalizowany do zastosowania w SF₆.

Podsumowując należy stwierdzić, że w najbliższych latach w technologii materiałów stykowych o średniej i dużej obciążalności będą dominowały kompozyty.

W informatyce będą stosowane przede wszystkim materiały wielowarstwowe, w energetyce - materiały spiekane. Umożliwią one znaczne oszczędności metali szlachetnych, nawet do 1/3 obecnego zużycia. Wzrost kosztów wytwarzania pochłonie jednak część oszczędności materiałowych. Te i inne innowacje w technice i technologii łączników powinny być w Polsce, podobnie jak w krajach rozwiniętych, przygotowywane i wprowadzane w ścisłej współpracy z producentami materiałów stykowych.

Tabela 1. Technologie materiałów stykowych

M E T A L U R G I A

ELEKTROCHEMIA

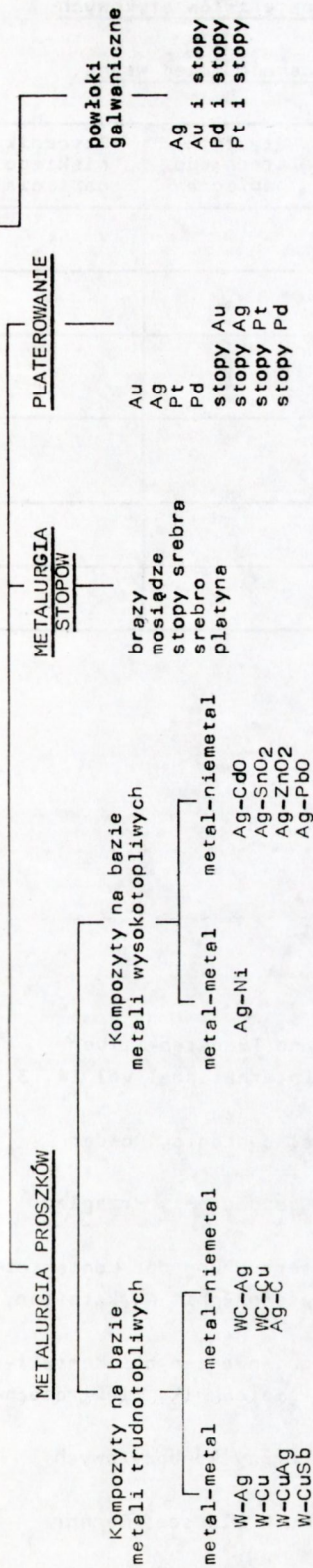


Tabela 2. Materiały stykowe wytwarzane drogą metalurgii proszków

Zastosowanie	Warunki pracy	Materiał	Podstawowe zalety materiału	Przykłady aparatów /PRL/
Aparaty łączeniowe niskiego napięcia	ciężkie, łuk elektryczny, częste złączanie, powietrze	Ag-CdO	odporność na topienie i zgrzewanie	SLA-63 SLA-85
Styczniki, startery silników, /powietrze/ wyłłączniki	słabe prądy, poślizg styków	Ag-C	samosmarowność	VIS-100 VIS-400
Aparaty łączeniowe średnio-niskiego napięcia	niskie napięcia, słabe prądy, powietrze	Ag-Ni	odporność na topienie i zgrzewanie, niska oporność przejścia	SLA-7 SLA-12
Wyłłączniki olejowe, wysokonapięciowe wyłłączniki próżniowe, elektrody do zgrzewania i drążenia	wyższe napięcia, większe prądy	W-Ag	niskie spadki napięć na zestykach, odporność erozyjna i na szczerzenie	FB-150 LA-630
Styczniki próżniowe	wysokie napięcie, duże prądy	W-Cu	odporność na erozję, odporność na pracę w oleju	HSV-7
Próżniowe wyłłączniki mocy	niskonapięciowe komory próżniowe 12-13 kV, próżnia	W-CuSb Cu-Cr	mały prąd ucięcia wytrzymałość napięciowa, getterowanie	SV-5 SV-7

Tabela 3. Klasyfikacja najistotniejszych własności materiałów stykowych w różnych typach łączników próżniowych.

"+" własność pierwszoplanowa "/+/" - własność mniej ważna

Odpowiadające sobie własności		Wyłącznik mocy średn. napięcia	Stycznik średniego napięcia	Stycznik niskiego napięcia
materiału stykowego	łącznika			
Prąd ucięcia	Przecięcie	/+/ +	+	+
Wytrzymałość napięciowa	Podatność na przebicie	+	/+/ +	+
Uwalnianie gazów i getterowanie	Utrata zdolności łączeniowej	+	+	+
Podatność na szepianie	Zwarciova zdolność łączeniowa	+		
Erozja właściwa	Trwałość łączeniowa		+	+
Oporność przejścia	Temperatura zestyków	/+/ +		

LITERATURA

1. Kothari N.C.: Factors affecting Tungsten-Copper and Tungsten-Silver electrical contact materials, Powder Metallurgy International vol 14, 3, 1982
2. Des Forges C.D.: Sintered materials for electrical contacts, Powder Metallurgy 3, 1979
3. Bełdowski T., Pawuła Z.: Rozdzielnice z izolacją gazową SF₆, Przegląd elektrotechniczny, R.LXV, 2/1989
4. Jäger K.W., Gengenbach B.: Anwendungsbezogene Untersuchung der Kontakteigenschaften von Strang gepressten Silber- und Kupfergraphit Werkstoffen, Metall 7, 1981
5. Jäger K.W., Saeger K.E., Vinarcky E.: Entwicklungstendenzen bei Kontaktwerkstoffen und Haltgeräten der elektrischen Energietechnik, Elektrotechnik 18, 1982
6. Senkara J.: Studia procesów zachodzących podczas pracy kompozytowych materiałów stykowych, 1985, Sprawozdanie ITME
7. Katalogi i prospekty firm Doduco, Gibson, Metallwerk Plansee, Renner i Siemens