

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

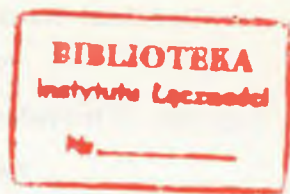
PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

104

1973

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI



PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 13

WARSZAWA 1973

NR 104

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,

mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 650. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 17.09.1973 r.
Druk ukończono w październiku 1973 r.

Errata

Str.	Wiersz	Jest	Powinno być
41	11 od góry	srebrna	średnia
42	WZÓR	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{N} - \text{CH}_2 - \text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C} = \text{O} \quad \quad \quad \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{N} - \text{CH}_2 - \text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C} = \text{O} \quad \quad \quad \text{O}^- \text{Na}^+ \end{array} $

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Cyryl Niewiadomski

NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE MATERIAŁÓW I ELEMENTÓW STYKOWYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Elementy stykowe i materiały sprężynujące telekomuni- kacyjnych przekaźników nie hermetyzowanych oraz wybieraków	3
2.1. Elementy stykowe	3
2.2. Elementy sprężynujące	26
3. Elementy stykowe kontaktronów	31
4. Elementy stykowe złącz wtykowych	37
5. Niektóre metody badań elementów stykowych	43
5.1. Pomiar rezystancji przewężenia /ocena trwałości elementów/	43
5.2. Odporność przeciw korozji styczek	44
5.3. Odporność przeciw korozji elementów złącz wtykowych	46
5.4. Odporność na drgania	48

NAJNOWSZE OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE MATERIAŁÓW I ELEMENTÓW STYKOWYCH

1. WSTĘP

Ostatnie retrospektywne omówienie materiałów stykowych ukazało się w wydawnictwach Instytutu Łączności w 1964 r. i dotyczyło tylko materiałów stykowych zwykłych, nie hermetyzowanych przekaźników telefonicznych, oraz częściowo materiałów pól stykowych /1/. Po tym czasie były publikowane w wydawnictwach Instytutu jedynie wyniki fragmentarycznych badań własnych z zakresu wpływu par substancji organicznych na pracę powyższych zestyków i relaksacji ich sprężyn oraz z zakresu palladowania elementów złączy stykowych telefonicznych urządzeń transmisyjnych /2-4/.

Tymczasem w technice telekomunikacyjnej nastąpiły jednak duże zmiany, w wyniku których przekaźniki elektromagnetyczne nie hermetyzowane tracą coraz bardziej znaczenie oraz są zastępowane w centralach telefonicznych nowego typu przekaźnikami kontaktronowymi lub elektronicznymi, a centrale telefoniczne biegowe zostały wyeliminowane przez centrale krzyżowe. Jest to związane ze stale zwiększającą się liczbą bezpośrednich telefonicznych połączeń dalekosiężnych, a także połączeń teleksowych i teledacyjnych, wymagających zwiększonej niezawodności połączeń i pracy zestyków, zwłaszcza biorących udział w zestawianiu połączeń. Ponadto

wyżej wspomniane zmiany są wynikiem konieczności miniaturyzacji urządzeń telekomunikacyjnych wobec stale zwiększającej się liczby numerów w centralach telefonicznych i krotności systemów teletransmisyjnych, co z kolei wymaga elementów stykowych o mniejszych wymiarach i powierzchni oraz o mniejszych naciskach stykowych /5/. I tak na przykład w jednym stojaku systemu telefoni 300-krotnej jest około 3000 elementów stykowych, a w jednej centrali telefonicznej mającej 1000 numerów - około 150000 tych elementów /6/, przy czym według niektórych danych statystycznych około 40% uszkodzeń central telefonicznych dotychczasowych typów jest wynikiem właśnie uszkodzeń zestyków /7/.

Wprowadzenie central telefonicznych z przekaźnikami kontaktronowymi względnie elektronicznymi eliminuje w zasadzie zagrożenie uszkodzeń przekaźników telefonicznych wobec bardzo małej intensywności ich uszkodzeń. Przez długi czas pozostanie jednak nadal aktualne zagrożenie uszkodzeń elementów stykowych eksploatowanych w dalszym ciągu central biegowych i krzyżowych, które są narażone na bezpośredni wpływ atmosfery, coraz bardziej zanieczyszczonej wskutek zwiększającego się uprzemysłowienia i chemizacji gospodarki narodowej. Na wpływ tej atmosfery są narażone również złącza wtykowe, które wymagają specjalnej uwagi, ponieważ są one coraz częściej stosowane jako umożliwiające uzyskanie dużej gęstości rozmieszczenia elementów oraz ułatwiające wyszukiwanie uszkodzeń i zastępowanie uszkodzonych elementów albo zespołów /8/. I tak na przykład we współczesnym systemie transmisyjnym telefonicznym 60-krotnym urządzenie końcowe i 120 zestyków, a stacja wzmacniakowa 60 zestyków przenoszący u

sygnał, wobec czego w przypadku relacji z 12 stacjami wzmacniającymi otrzymuje się około 1000 złączy wtykowych, z których każde może być potencjalną przyczyną uszkodzeń. Niedoskonały styk takiego złącza może bowiem spowodować spadek poziomu sygnału o 1 Np lub więcej /7/.

Tak więc w celu zobrazowania zagadnień materiałów i elementów stykowych współczesnych organów komutujących i złączy opracowaniem niniejszym zostaną objęte elementy stykowe i sprężynujące przekaźników kontaktronowych oraz złączy wtykowych, a ponadto zostanie przedstawiony najnowszy stan wiedzy o elementach stykowych i sprężynujących nie hermetyzowanych telekomunikacyjnych przekaźników elektromagnetycznych, które będą jeszcze długo znajdować się w eksploatacji.

2. ELEMENTY STYKOWE I MATERIAŁY SPRĘŻYNUJĄCE TELEKOMUNIKACYJNYCH PRZEKAŹNIKÓW NIE HERMETYZOWANYCH ORAZ WYBIERAKÓW

2.1. Elementy stykowe

2.1.1. Uwagi ogólne

Jak widać z tablicy 1 /9/, najwięcej funkcji spośród organów łączeniowych spełniają przekaźniki i wybieraki, których materiały stykowe muszą być szczególnie starannie dobierane. Dobór powinien przy tym uwzględniać warunki pracy zestyków oraz cechy charakterystyczne środowiska, w którym one pracują /tabl.2-3/ /10/.

Głównym zadaniem doboru materiału stykowego jest długotrwałe zapewnienie małej i stabilnej rezystancji przejścia, gdyż wszelkie

wahania rezystancji przejścia powodują powstawanie szumów, zakłócających połączenie. Jest szczególnie to istotne, gdy zestyki rzadko działają, gdyż w takich warunkach istnieje większe prawdopodobieństwo wytworzenia się grubszej, trudniejszej do usunięcia przez omywanie lub tarcie warstewki elektroizolacyjnej na powierzchni stykowej.

2.1.2. Materiały na stycki

Uwzględniając właściwości podstawowych materiałów stykowych, zestawione w tabl. 4 /11/ i przedstawione na rys. 1^{x/} /37/, oraz wieloletnie doświadczenie eksploatacyjne w administracjach telekomunikacji poszczególnych państw przyjęto stosowanie materiałów stykowych podanych w tabl. 5-7.

Zestaw materiałów podanych w tych tablicach nie wyczerpuje materiałów używanych na stycki przekaźników telekomunikacyjnych. I tak oprócz stopu AuNi5 jest zalecany stop AuNi16, którego przenoszenie między elektrodami przy otwieraniu obwodu nie zależy od jego indukcyjności /17/, a ponadto spośród stopów złota są zalecane stopy typu Au-Co i Au-Pd-Co, odznaczające się szczególnie małą rezystancją przejścia przy małym nacisku stykowym i dobrym zachowaniem się w obwodach o dużej indukcyjności /18/, oraz stop AuAg10, stop AuAg20, o zmniejszonej zawartości złota, i stop AuAg25Pt6, z których trzy ostatnie są zalecane do tworzenia dróg rozmownych w wybierakach krzyżowych małowymiarowych /19/, a pierwszy z nich także do komutacji bardzo

^{x/} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

T a b l i c a 1

Funkcje spełniane przez organy łączeniowe przy zestawianiu połączeń telefonicznych

Organ łączeniowy	Rodzaj obciążenia w obwodzie				Prąd					
	Przełączniki, cewki wy- bieraków / obciążenie in- dukcyjne/	Oporniki, żarówki / ob- ciążenie rezystancyjne/	Kabel, kondensatory / ob- ciążenie pojemnościowe/		włącza- nie	przewo- dzenie	włącza- nie	przewo- dzenie	włącza- nie	włącza- nie
Przełączniki	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Wybieraki	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Złącza wtykowe	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-
Połączenia nie- rozłączne	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-

Wpływ warunków i środowiska pracy zestyków z metali szlachetnych na przebieg zjawisk zanieczyszczających powierzchnię stykową

Warunki pracy	Rodzaj zanieczyszczenia atmosfery	Proces powstawania zanieczyszczeń powierzchni	Rodzaj wytwarzającego się zanieczyszczenia powierzchni
Mała częstotliwość zadziałań	H ₂ S	Reakcja chemiczna	Siarczek srebra na powierzchni srebra i jego stopów
	Para substancji organicznych	Adsorpcja	Warstewka pary adsorbowanej chemicznie lub fizycznie
Duża częstotliwość zadziałań bez obciążenia elektrycznego	H ₂ S	Reakcja chemiczna /wytwarzanie się i rozkład/	Mieszanina związku siarki i pyłu metalicznego
	Para substancji organicznych	Adsorpcja i polimeryzacja katalityczna	Mieszanina polimeru i pyłu metalicznego /proszek brązowy/
Duża częstotliwość zadziałań z obciążeniem elektrycznym	H ₂ S	Reakcja chemiczna /wytwarzanie się i rozkład/	Mieszanina związku siarki oraz pyłu metalu i tlenku metalu
	Para substancji organicznych	Adsorpcja, polimeryzacja i rozkład polimeru przez łuk	Węgiel, polimer, produkty rozkładu polimeru, pył metalu i tlenek metalu

Wpływ czynników klimatycznych na procesy powodujące wytwarzanie się zanieczyszczeń na powierzchni stykowej

Czynnik klimatyczny	Proces powodujący wytwarzanie się zanieczyszczeń na powierzchni stykowej		
	Dyfuzja	Adsorpcja	Reakcja chemiczna
Temperatura	-	-	+
Wilgotność względna	0	+	+
Ciśnienie atmosferyczne	+	+	+
Stężenie zanieczyszczeń w atmosferze	+	+	+

+ czynnik zwiększający; - czynnik zmniejszający; 0 - czynnik bez wpływu

małych prądów /1-10 μ A, 1-50 mV/ /20/. Stopy te są stosowane w postaci plateru o grubości 0,03-0,04 mm z niklem, ponieważ nikiel dobrze zgrzewa się ze stopem złota i materiałem sprężyny /stalą nierdzewną względnie mosiądzem wysokoniklowym/, przeciwnie niż stop złota. Na Węgrzech stosuje się natomiast w wybierakach krzyżowych stycki ze stopu typu Ag-Ni /21/.

W szczególnych przypadkach, gdy szybkość zaszczepień przekaźników jest bardzo duża i gdy przerywanie obwodów zachodzi przy dużych natężeniach prądu, stosuje się stycki z platyny lub jej stopów, na przykład stopu PtIr10, jeżeli nie można ich zastąpić przez stycki z wolframu, podatnego do utleniania się i wytwarzania dużych rezystancji przejść oraz trudnego do przytwierdzenia do sprężyn przekaźnika /11,20/. Szczególnie interesujący jest

Właściwości podstawowych materiałów stykowych

Właściwości materiału stykowego	Materiał stykowy											
	Ag	Tl	Pt	Au	Cu	Rh	Ag-Cu 72-98 Au	Ag-Pd 20-50% Pd	W	Re	Stopy Au	Stop AuAg25Pt6
Podmienność	Srednia	Zlona	Miala	Zadna	Duzna	Zadna	Srednia	Zadna	Duzna	Duzna	Miala	Zadna
do utlenienia	Duzna	"	"	"	"	"	Duzna	Miala	Zadna	Zadna	"	"
do dzialania związków marki	Zadna	"	Srednia	Miala	Zadna	Miala	Zlona	Nieznana	"	"	"	Srednia
do wytworzenia warstwy ki polimeru	Srednia	Miala	Zadna	Duzna	Duzna	Zlona	Miala	Miala	"	"	Miala	Miala
do zarzucenia się przy zwiergnięciu	Srednia	Miala	Zadna	Duzna	Duzna	Zlona	Miala	Miala	"	"	Miala	Miala
Odporność	Srednia	Srednia	Dobra	Zlona	Zlona	Zlona	Dobra	Dobra do średniej	Duzna	Duzna	Srednia	Srednia
na erozję przez lód	Srednia	Srednia	Dobra	Zlona	Zlona	Zlona	Dobra	Dobra do średniej	Duzna	Duzna	Srednia	Srednia
na przemieszczenie mate- rialu stykowego	Nieznana	Nieznana	Miala	Nieznana	Duzna	Nieznana	Nieznana	Nieznana	Zadna	Zadna	Miala	Miala
na zacieranie	Zlona	Srednia	Duzna	Zlona	Zlona	Duzna	Duzna	Dobra	Duzna	Duzna	Duzna	Duzna
Rezystancja przejścia	Miala	Miala	Miala	Bardzo miala	Srednia	Bardzo miala	Srednia	Miala	Duzna	Srednia	Miala	Miala
Cena	Miala	Miala	Bardzo duza	Duzna	Bardzo miala	Bardzo duza	Miala	Miala	Srednia	Bardzo duza	Duzna	Duzna
Uwagi	Wymaga staran- nego do- boru ma- terialu izolacyj- nego	Zwykle jako powłoka lub plater				Tylko jako powłoka			Koroluje pod wpływem siatek- tych substancji orga- nicznych		Jako dodatki stopowe Pt, Ni, Co, Si lub Ag	

Materialy stykowe przekaźników telekomunikacyjnych stosowane
w NRF /12/

Rodzaj materiału stykowego	Warunki stosowania materiału	Grubość plateru, mm ^{x/}	
		Wysokość stycзки, mm	
		0,6	0,3
Ag	Obwody sygnalizacyjne 60 V/1 mA - 300 mA 12 V/5 A	-	-
AgPd30 AgPd50	Wszystkie obwody rozmówne z omywaniem 220 V/10 mA - - 24 V/5 A	0,3	0,15
AuNi5	Wszystkie obwody rozmówne bez omywania oraz obwody pomiarowe 1 mA - 100 mA	0,3	0,15 ^{xx/}
W	60 V/0,1 - 1 A 24 V/5 A	0,3	-
PtW5	60 V/0,1 A - - 24 V/2 A zamiast W przy szczególnie silnie zanieczyszczonej atmosferze	0,3	-

x/ Jeżeli nie są stosowane stycзки masywne.

xx/ Należy unikać nakładania plateru bezpośrednio na srebro wobec możliwości migracji siarczku srebra.

T a b l i c a 6

Materiały na styuczki przekaźników telekomunikacyjnych stosowane w NRD /13/

Rodzaj materiału stykowego	Warunki stosowania materiału	Wymiary styczek mm
AgPd30 ^{x/}	Obwody rozmówne omywane	2 x 0,6 x 1,3 2 x 0,6 x 2,4
AuNi5	Obwody o małym obciążeniu elektrycznym / < 50 mA/ i obwody nie omywane	Jak wyżej
Ag z powłoką 20 μm AuNi5	Rozwiązanie zastępcze dla styczek masywnych z AuNi5	Jak wyżej
Ag z powłoką 1,5 μm Rh	Jak wyżej	Tylko 2 x 0,6 x 1,3

^{x/} W przypadku obwodów o małym obciążeniu elektrycznym stosuje się też złączenie sposobem elektroerozyjnym.

stop PtIr10, ponieważ rezystancja przejścia tego stopu waha się w granicach 0,05-0,1Ω przy natężeniu prądu 7-10 A i praktycznie nie zależy od wartości natężenia prądu, lecz stop ten, podobnie jak wszystkie platynowce i ich stopy są bardzo czule na wpływ pary substancji organicznych.

Tak więc prawie wszędzie, lecz nie u nas w kraju, unika się stosowania styczek ze srebra, zastępując je styczkami ze stopów srebra z palladem lub ze stopów złota. Stopy te jednak są stosun-

Materiały na styuczki przekaźników telekomunikacyjnych stosowane w Wielkiej Brytanii /14, 15, 16/

Rodzaj materiału stykowego	Warunki stosowania materiału	Maksymalne obciążenie, A	
		rezystancyjne przy napięciu 50 V	w obwodzie indukcyjnym
Ag	Lżejsze warunki pracy	0,3	0,2
Pt	Duże obciążenia, zwłaszcza indukcyjne, i duża częstotliwość zadziałań	1,0	0,3
Pd	Pośrednie warunki pracy między Ag i Pt	1,0	0,3
W	Duże obciążenia, duża częstotliwość zadziałań, duże naciski stykowe	3,0	0,5
AgNi ₃₀ ^{x/}	Materiał zamienny W	3,0	0,5

^{x/} Stop o specjalnej mikrostrukturze

kowo drogie, dlatego też rewelacyjne wydają się wyniki badań japońskich, według których dobrą odporność na siarkowodór i dobre zachowanie się w warunkach pracy przekaźników telefonicznych można uzyskać w przypadku styuczek ze stopu srebra o zawartości cynku około 29,2% i aluminium około 1,7% at /atomowych/ /22/.

Nie wykluczone są także inne nowe stopy o podobnych właściwościach, jak to wynika z rozważań teoretycznych nad wypełnianiem orbitalu d atomów metali /23/.

Interesujące są również najnowsze osiągnięcia technologii wykonywania styczek, z których na szczególną uwagę zasługuje zastosowanie do tego celu nakładania materiału stykowego metodą elektroerozyjną, coraz częściej wdrażaną do produkcji, za pomocą której to metody można pokryć w sposób ekonomiczny materiał stykowy mniej szlachetny materiałem bardziej szlachetnym /24/ lub też całkowicie wyeliminować styczki lite /24, 25/. Zalety pierwszego sposobu nakładania są przy tym następujące:

- materiał bardziej szlachetny można nałożyć lokalnie w dowolnym miejscu materiału mniej szlachetnego, niezależnie od wielkości elementu z tego materiału, podczas gdy inne metody dają jedno- lub obustronne pokrycie całego elementu stykowego, choć właściwa powierzchnia stykowa stanowi zaledwie ułamek jego powierzchni,
- grubość nałożonego materiału może być dowolna i wynosi zwykle 10-50 μm , a w wyjątkowych przypadkach 200 μm ,
- nałożona warstwa jest ściśle związana z podłożem i tworzy z nim w warstwie przejściowej stop, podatny do przeróbki plastycznej,
- metodą tą można nakładać dowolne stopy, na przykład takie, które można uzyskać tylko przez spiekanie, a nie przez stapianie,

- nałożony elektroerozyjnie materiał ma wielokrotnie większą twardość i odporność na ścieranie niż twarda powłoka elektrolityczna.
- rezystancja przejścia nałożonej warstwy jest bardzo mała, a powierzchnia jej gładka, ewentualnie po dodatkowym mechanicznym wygładzeniu,
- nakładanie może być zautomatyzowane lub też wykonywane ręcznie, na zestykach pracujących, bez ich demontażu.

Drugi sposób polega na wykonywaniu sprężyn wybruszonych w miejscu styeczki i nakładaniu na to wybruszenie materiału stykowego o grubości 50-140 μm , co zmniejsza 20-krotnie zużycie materiału stykowego. Ponadto dzięki temu nie występuje obluźnianie się osadzenia styeczki w sprężynie w miarę upływu czasu, powodujące zwiększenie rezystancji przejścia oraz wymagające przeciwdziałających temu rozwiązań konstrukcyjnych. Podobny cel można uzyskać przez nakładanie w sposób ciągły materiału stykowego na taśmę żłobkowaną /falistą/, z której wykonuje się następnie sprężyny.

Innym ciekawym rozwiązaniem technologicznym jest przyspawanie lub wprasowywanie stycek w postaci kulek do sprężyny przekaźnika, zmniejszające rezystancję przejścia między stycząką i sprężyną, upraszczające produkcję przekaźników oraz polepszające gładkość powierzchni stykowej i odprowadzanie ciepła ze styeczki. Do tego celu stosuje się kulki wykonane całkowicie z materiału stykowego lub z powłoką z metalu szlachetnego, dając oszczędność materiału stykowego [20].

2.1.3. Wpływ zanieczyszczeń otoczenia na zanieczyszczanie powierzchni styczek

2.1.3.1. Zanieczyszczenie atmosfery. Wpływ zanieczyszczeń atmosfery na zanieczyszczanie powierzchni styczek nabiera wymowy, jeżeli uświadomi się, iż na przykład w NRF do atmosfery przechodzi rocznie 2,5 mln ton kurzu, 2,5 mln ton związków azotu, 3,0 mln ton węglowodorów, 5,0 mln ton dwutlenku siarki i 7,0 mln ton tlenku węgla oraz znaczne, niestety nie określone ilości siarkowodoru /27/. Stąd też zawartość siarkowodoru w atmosferze wiejskiej wynosi do $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli do $7 \cdot 10^{-7}\%$, w atmosferze miejskiej do $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli $13 \cdot 10^{-7}\%$, a w atmosferze przemysłowej do $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$, czyli $26 \cdot 10^{-6}\%$. Natomiast zawartość dwutlenku siarki w rejonach przemysłowych wynosi do $1 \cdot 10^{-4}\%$ /28, 29/.

2.1.3.2. Wpływ siarkowodoru. Pod względem pogarszania się odporności na korozję powodowaną siarkowodorem główne materiały stykowe można uszeregować w następujący sposób: Au, Pd, AuAg10, AuCu10, PdSn12, PdSb12, PdAg30, PdCu30, AgPd50, AgPd30, Ag /30/. Stąd też wynika bardzo duże zainteresowanie mechanizmem oraz kinetyką korozji srebra i stopów ze srebrem przez siarkowodór, zbadanych bardzo szczegółowo w ostatnich latach.

Działanie siarkowodoru na srebro jest znacznie bardziej intensywne niż dwutlenku siarki i występuje nawet przy minimalnych stężeniach, rzędu $5-50 \cdot 10^{-7}\%$ siarkowodoru /31/, podczas gdy przy stężeniu 0,6 ppm srebro czernieje już po 1 dniu /32/. We-

dług badań W. Abbotta szybkość wytwarzania się siarczku srebra w powietrzu nieruchomym, przy stężeniu siarki $6 \cdot 10^{-7}\%$, wynosi 0,045 nm/h, a przy wymianie atmosfery - do 0,32 nm/h, zależnie od szybkości wymiany atmosfery i zawartości siarki w powietrzu, wobec czego już po 4 miesiącach należy oczekiwać rezystancji przejścia srebra rzędu $10 \text{ m}\Omega$ /tabl. 8/ /33/. Trzeba przy tym jednak zaznaczyć, że mniejszy czas do uzyskania takiej samej rezystancji stopów srebra niż srebra nie jest wynikiem większej szybkości wytwarzania się siarczku srebra na jego stopach, lecz mniejszej wytrzymałości na ścinanie siarczku wytwarzającego się na srebrze bez dodatków stopowych, w wyniku czego, przeciwnie do zasad tunelowej teorii rezystancji cienkich warstwek, nawet stosunkowo grube /o grubości ponad 10 nm/ warstewki siarczku wytwarzającego się na srebrze nie wykazują dużej rezystancji przejścia, pękając już przy bardzo małych naciskach stykowych i obnażając w ten sposób nie zanieczyszczoną powierzchnię metaliczną. I tak przy grubości warstewki siarczku srebra do 100 nm siła powodująca pęknięcie tej warstewki wynosi zaledwie 1-2 G.

Według U. Mayer /31/ wpływ stężenia siarkowodoru w powietrzu na szybkość korozji jest znacznie mniejszy niż wprost proporcjonalny, przy czym największy wpływ i największa szybkość wytwarzania się siarczku występują w pierwszych godzinach, do uzyskania przez warstewkę siarczku grubości 10 nm. U. Mayer stwierdziła również, że bardzo duży wpływ na intensywność wytwarzania się siarczku srebra ma wilgotność powietrza, co uwiadacznia się szczególnie przy najmniejszych zawartościach siarkowodoru w powietrzu. Wpływ temperatury jest zaś istotny dopiero powyżej 30°C .

Nie ma natomiast żadnego wpływu na kinetykę działania siarkowodoru zawartość w powietrzu dwutlenku siarki, który nawet może hamować wytwarzanie się siarczku, jeżeli srebro jest zanieczyszczone żelazem /28/. Nie ma także wpływu twardość srebra, przeciwnie niż jego mikrostruktura, gdyż każda zawartość eutektyki z zanieczyszczeniem lub dodatkiem stopowym znacznie pogarsza odporność srebra na korozję siarkowodoru i wymaga odpowiedniej obróbki cieplnej materiału stykowego /34/. Niekorzystna jest

T a b l i c a 8

Przewidywana rezystancja przejścia srebra i jego stopów w normalnych warunkach eksploatacyjnych /przy umiarkowanym zanieczyszczeniu atmosfery/

Materiał stykowy	Przybliżony czas w latach do osiągnięcia rezystancji przejścia		
	10 mΩ ^{x/}	100 mΩ	1000 mΩ
Ag	0,3	-	-
AgPd50	>10	-	-
AgPd30	0,12	0,52	2,2
AgPd10	0,04	0,08	0,2
AgAu50	0,09	0,36	1,3
AgAu30	0,03	0,08	0,24
AgAu10	0,04	0,06	0,10

^{x/} Pomiar przy napięciu 10 mV i nacisku 10 G.

ponadto chropowatość powierzchni srebra, gdyż im gładsza jest jego powierzchnia, tym lepsza jest odporność srebra na siarkowodór /29, 35/.

Nieco inna jest kinetyka wytwarzania się siarczku srebra na jego stopach /36/. I tak w przypadku stopów ze złotem o zawartości poniżej 50% at srebra grubość warstewki siarczku najpierw zwiększa się liniowo z szybkością taką samą jak w przypadku srebra /do osiągnięcia grubości 0,5-0,6 nm w przypadku stopu AuAg30 i 3-3,5 nm w przypadku stopu AuAg50/, a następnie według zależności

$$x^n = kt,$$

w której t jest czasem, a $n = 3/n$ - dąży do jedności w miarę zwiększania się zawartości srebra w stopie/. Na kinetykę wytwarzania się siarczku nie ma wpływu ani zawartość wilgoci, ani zawartość dwutlenku siarki, ani też w drugim etapie stężenie siarki, natomiast stężenie to ma znaczenie w pierwszym etapie wytwarzania się siarczku.

Podobny jest przebieg zjawisk w przypadku stopów typu Ag-Pd, w których jednak dodatek palladu jest bardziej efektywny pod względem zabezpieczenia przed korozją siarkowodoru niż dodatek złota, dzięki czemu stopy o zawartości poniżej 60% srebra są praktycznie odporne na działanie siarkowodoru. Trzeba jednak zaznaczyć, że rezystancja przejścia stopów Ag-Pd jest stosunkowo duża /10-50 m Ω przy grubości warstewki siarczku 10-20 nm/, co wymaga stosowania większego nacisku stykowego /33, 36/.

Trzeba jeszcze wspomnieć o charakterystycznej właściwości siarczku srebra, a mianowicie o jego wiązaniach międzyatomowych o charakterze jonowym, powodujących dużą ruchliwość jonów srebra. Taka właśnie struktura sieci przestrzennej siarczku powoduje zależność jego przewodzenia prądu nie tylko od wartości na-

tężenia prądu i przyłożonego napięcia, lecz również od czasu przepływu prądu i biegunowości materiału stykowego z warstewką siarczku w stosunku do innego materiału metalicznego, współpracującego z nim w obwodzie, co może czynić zestyk nieprzydatnym przy niskich poziomach sygnału. Po przyłożeniu napięcia następuje bowiem w warstwie siarczku jakby elektroliza w stanie stałym, to jest migracja jonów srebra w siarczku, w wyniku której w przypadku dodatniego potencjału srebra jony wędrują do drugiej elektrody i tam osadzają się w postaci warstewki srebra, a w przypadku potencjału ujemnego wędrują w kierunku przeciwnym, w wyniku czego na powierzchni stykowej powstaje warstwa wzbogacona w siarkę, ewentualnie reagującą z materiałem stykowym. drugiej elektrody /20, 37, 38/.

Inną niekorzystną właściwością siarczku jest możliwość wytwarzania przez niego kryształów nitkowych /whiskers/, które mogą spowodować zwarcia /16/. Kryształy te powstają przy grubości warstewki srebra wynoszącej około 400 nm /35/.

2.1.3.3. Wpływ dymu tytoniowego. Jednym ze szkodliwych zanieczyszczeń powietrza jest również dym tytoniowy, który zmniejsza 25-krotnie odporność srebra na zanieczyszczenie jego powierzchni. Nie ma przy tym różnicy między wpływem dymu z papierosów, cygar lub fajki /39/.

2.1.3.4. Wpływ par substancji organicznych. Pogarszanie się odporności na wpływ par substancji organicznych występuje już przy stężeniu odpowiadającym 1 ppm, przy czym w przypadku elementów stykowych z platynowców i ich stopów wytwarza się w

wyniku kondensacji i polimeryzacji przez tarcie tzw. brązowy proszek, podczas gdy w przypadku styczek z innych materiałów stykowych może zachodzić spalanie substancji organicznych lub ich piroliza przy komutacji z łukiem elektrycznym, powodujące aktywację styczek przez produkty spalania lub pirolizy i zwiększoną wskutek tego erozję styczek. Zarówno w przypadku polimeryzacji jak i pirolizy lub spalania par substancji organicznych następuje znaczne zwiększenie rezystancji przejścia, pogarszające albo uniemożliwiające prawidłowe działanie zestyku.

Liczny zestaw substancji organicznych, których para powoduje szkodliwy wpływ na działanie zestyków, jest podany w pracy A. Stobieckiej i J. Wolniewicza /2/. Zestaw ten według innych badań można uzupełnić octanem celulozy, żywicami akryłowymi, poliestrami /11/, poliwęglanami, polipropylenem, poliamidem /11/ /40/ i in., przy czym efektywność wytwarzania się polimerów na styczkach można określać za pomocą ostatnio opracowanego, specjalnego przyrządu, umożliwiającego badania przy różnym stężeniu pary i nacisku stykowym oraz przy różnej częstotliwości zadziałań i przerwie między zadziałańiami /41/.

W związku z dużą czułością palladu na wpływ par substancji organicznych w przypadku stosowania styczek z tego materiału zabezpiecza się je powłoką z utwardzonego złota /37/. Istnieją również sugestie stosowania odpornych na wpływ tych par stopów typu Pd-Ni /42/ względnie stopów zawierających 10% at antymonu lub 15% at cyny /23/ albo też palladu z dodatkiem 1% PbS, zatruwającym jego działanie katalityczne /43/.

2.1.3.5. Wpływ zanieczyszczenia substancjami krzemoorganicznymi /silikonami/. Wybitnie szkodliwe jest także zanieczyszczenie powierzchni stykowej nawet śladami substancji krzemoorganicznej, gdyż substancja ta w przypadku wytworzenia się łuku rozkłada się z utworzeniem krzemionki / SiO_2 / o dużej rezystywności i twardości, której szczególnego działania nie można usunąć przez nacisk stykowy lub inne środki. Niezależnie od tego, samo zanieczyszczenie powierzchni stykowej substancją krzemoorganiczną jest również szkodliwe, gdyż jest to substancja elektroizolacyjna /44/. Dlatego też należy bardzo uważać na zanieczyszczenie styczek smarem silikonowym /na przykład pozostającym na powierzchni wyrobów z tworzyw sztucznych formowanych wtryskowo, których formy są smarowane smarem silikonowym/ lub inną substancją organiczną, a pracownikom produkcji i eksploatacji urządzeń telekomunikacyjnych zabrania się używania kupnych kosmetyków, zawierających przeważnie substancje krzemoorganiczne /11, 15/.

Jeżeli zaś nastąpi zanieczyszczenie powierzchni stykowej produktami rozkładu substancji krzemoorganicznej, charakteryzujące się rezystancją przejścia o wartości do 100 k Ω oraz błyszczącą powierzchnią stykową z ciemnym pierścieniem, wówczas tak zanieczyszczoną powierzchnię i sprężynę stykową należy oczyszczać czystką owiniętą cienką irchą, zwilżoną substancją Fri-Dohna F 113 /fluoropochodna węglowodoru/ albo też perchloroetylenem, a następnie wytrzeć suchą irchą i ewentualnie dodatkowo oczyścić samą czystką /45/.

2.1.3.6. Wpływ kurzu. Równie niebezpieczna jak uprzednio omówione czynniki jest zawartość kurzu w powietrzu, przy czym

bardziej niebezpieczny jest kurz osiadający niż kurz unoszący się w powietrzu, gdyż przerwę styku może spowodować nawet jedna cząsteczka kurzu, która osiadła na elemencie stykowym, jeżeli nacisk stykowy jest niedostateczny. Ponadto cząsteczki kurzu rozkładają się w łuku, a produkty ich rozkładu zanieczyszczają powierzchnię stykową, w przypadku zaś zestyków ślizgowych lub obrotowych twarde, o charakterze materiału ściernego cząsteczki kurzu powodują zużycie mechaniczne materiału stykowego przez rysowanie lub tarcie. Wytwarzający się przy tym pył metaliczny może osiąść na elementach izolacyjnych, powodując powstanie między nimi mostka i w konsekwencji przebicie materiału izolacyjnego /11/.

W normalnym pomieszczeniu zawartość kurzu wynosi 1100-1200 cząsteczek w 1 cm^3 powietrza /46/. Orientacyjny skład chemiczny kurzu jest następujący /w procentach/:

SiO_2	66,4	CaO	2,8
Fe_2O_3	4,4	alkalia /w przeliczeniu na Na_2O /	4,5
Al_2O_3	15,5	straty przy prażeniu	2,6
MgO	0,75	kłaczki bawełny	3,0

a wielkość cząsteczek kurzu /w mikronach/ wynosi:

≤ 5	39%	>20 do 40	18%
>5 do 10	18%	>40 do 80	9%
>10 do 20	16%		

przy czym wielkość osiadania takiego kurzu można przyjąć jako równa $0 \text{ g/m}^2/\text{dobę}$. Ponadto w kurzu mogą znaleźć się cząsteczki smarów, sadzy i niekiedy asfaltu oraz gumy /27/.

Wpływowi kurzu przeciwdziała się przez filtrowanie powietrza,

stosowanie odpowiednich nacisków stykowych i styczek bliźniaczych, pionowe umieszczanie sprężyn przekaźników oraz utrzymywanie wilgotności względnej pomieszczenia w granicach 40-60%, poniżej i powyżej której wpływ kurzu silnie zwiększa się /19, 27, 37, 51/.

2.1.4. Wpływ zjawisk elektrycznych występujących w zestykach oraz wpływ obciążeń elektrycznych na zestyki

2.1.4.1. Erozja mostkowa. Jednym ze zjawisk powodujących nieprawidłowość pracy zestyków jest, jak wiadomo, niesymetryczne rozrywanie się mostka stopionego materiału stykowego, wytwarzającego się między elementami stykowymi podczas rozwierania zestyków, które powoduje utworzenie na jednej z elektrod narośli, a na drugiej krateru.

Jak wykazały ostatnie badania, zjawiska tego można uniknąć przez stosowanie elementów stykowych z różnych materiałów, m.in. anody z AgAu10 i katody z PdAg40, anody z AgPd5 i katody z PtIr20 /47/ lub też anody z wolframu i katody z platyny /46/. Ponadto symetryczne rozrywanie się mostka uzyskuje się w przypadku jednakowych elementów stykowych ze stopu PtNi8, stopów platyny o zawartości 5-12% wolframu i stopu AuNi5 /46/, które jednak wymagają do tego ściśle określonych warunków pracy.

Jeszcze lepszy jest stop typu Ag-Pd-Ir, który w ogóle nie wytwarza narośli i kraterów, lecz jest niestety za twardy. Dlatego też zaleca się z tego punktu widzenia stosowanie stopów typu Ag-Pd, choć ich erozja spowodowana przenoszeniem materiału stykowego wskutek wyładowań elektrycznych jest większa /18/.

2.1.4.2. Erozja wskutek przenoszenia materiału stykowego w wyniku wyładowań między elektrodami. Jak wiadomo, erozja spowodowana przenoszeniem materiału stykowego między elektrodami w wyniku wyładowań między nimi zależy w pierwszej mierze od wielkości obciążenia elektrycznego, zwłaszcza indukcyjnego /rys. 2/ /46/, i pojemnościowego /9/ oraz czasu rozwierania zestyków. Dlatego też w przypadku szczególnie niekorzystnych warunków obciążeń skutkiem ich przeciwdziała się przede wszystkim za pomocą gasików /48/ lub też doboru odpowiednich materiałów stykowych.

I tak można w tym celu zastosować na elementy stykowe materiały o przeciwnym kierunku przenoszenia materiału stykowego, co występuje przy małej indukcyjności i odpowiednim natężeniu prądu w przypadku zastosowania katody z platyny i anody ze srebra lub palladu /49/. Podobny efekt uzyskuje się w przypadku złożenia jednej ze styczek srebrnych /18/.

Należy jednocześnie zaznaczyć, że badania nad erozją spowodowaną przenoszeniem materiału stykowego mogą być bardzo ułatwione przez zastosowanie do tego celu izotopów promieniotwórczych /50/.

2.1.5. Warunki technoklimatyczne pomieszczeń z pracującymi zestykami

W związku z wyżej omówionymi zjawiskami i innymi czynnikami bardzo duże znaczenie dla prawidłowej pracy elementów stykowych mają właściwe warunki technoklimatyczne pomieszczeń, w których pracują przekaźniki telekomunikacyjne i wybieraki.

I tak ze względu na kurz pomieszczenia te powinny mieć bardzo

szczelne okna lub w ogóle nie mieć okien, a ponadto powietrze wtłaczane przez urządzenia klimatyzacyjne powinno być przepuszczane przez filtry zatrzymujące kurz. Wilgotność względna pomieszczeń w przypadku stosowania filtrów z węglem drzewnym powinna przy tym wahać się w granicach 40-60%, gdyż mniejsza wilgotność jest niedopuszczalna w celu uniknięcia tarcia na sucho, silnie zwiększającego zużycie elementów stykowych i iskrzenie, oraz wobec tego, że wilgotność własna węgla wynosi około 40%, podczas gdy większa wilgotność jest niekorzystna z powodu zwiększania się aktywności zanieczyszczeń powietrza i ewentualnie kurzu. Wymiana powietrza powinna być zaś pięciokrotna na 1 h /14, 15, 51, 101/.

Zanieczyszczenia siarkowodoru i dwutlenku siarki z atmosfery powinny być usuwane także przez filtry, a ich zawartość kontrolowana automatycznie lub dorywczo za pomocą selektywnych analizatorów gazu /52-54/. Ponadto należy unikać źródeł wytwarzania się zanieczyszczenia parą siarki i jej związków w samych pomieszczeniach telekomunikacyjnych, gdzie może ona wytwarzać się z litoponu zawartego w dolnej warstwie korka wykładziny podłogowej, farbach i lakierach, z wykładzin i części gumowych itd. /55/.

Tak samo starannie należy unikać wszelkich źródeł wytwarzania się par substancji organicznych, które mogą być wydzielane przez wykładziny podłogowe z polichlorku winylu z nieodpowiednimi plastyfikatorami i klej do wykładzin, zwłaszcza przy zwiększonej operacji słonecznej, a także przez środki do konserwacji i różne inne tworzywa, omówione w pkt. 2.1.3.4 /55/. W każdym razie wskazane jest, aby łączna zawartość zanieczyszczeń w powietrzu nie przekraczała $1 \cdot 10^{-6}\%$ /51/.

Oprócz czynników klimatycznych na zużycie elementów stykowych i jakość transmisji mają wpływ drgania sąsiednich urządzeń, które mogą spowodować rozwieranie zestyków z częstotliwością zależną od ich sztywności, co powoduje przyspieszenie zużycia elementów stykowych /11/. Ponadto drgania powodują powstawanie szumu w torze rozmównym, gdy na elemencie stykowym znajduje się warstewka zanieczyszczenia, której rezystancja przejścia zmienia się wskutek drgań.

Głównym źródłem szumów są styczki przekaźników, na których warstewka powodująca szum wytwarza się w przypadku srebra już po 5-10 dniach po oczyszczeniu, niezależnie od intensywności działania organu komutującego. Szum powoduje także styk zużytej szczotki i zużytego wycinka pola stykowego wybieraka biegowego lub nieodpowiednie wyregulowanie szczotki, przy czym intensywność szumu zależy od oddalenia drgających organów i ich rozmieszczenia, a także od temperatury i wilgotności pomieszczenia /56/.

Nie można też dopuszczać nawet do najmniejszych elektrycznych przeciążeń zestyków, gdyż każde przeciążenie wpływa katastrofalnie na ich trwałość. I tak na przykład przeciążenie zestyku ze styczką ze srebra tylko o 50% powoduje 100-krotne zmniejszenie jej czasu życia /16/.

2.1.6. Wpływ czynności konserwacyjnych

Jedną z najważniejszych czynności konserwacyjnych jest regulacja nacisku stykowego, która jest szczególnie ważna, gdy materiał sprężyny stykowej nie został poddany odprężaniu i jest podatny do relaksacji naprężeń wewnętrznych /3/. Nacisk stykowy po-

winien być tak dobrany, aby rezystancja przejścia była odpowiednio mała, przy czym nacisk stykowy jest tym mniejszy, im mniejsza jest twardość materiału stykowego /rys. 3/ /18/. Rezystancja przejścia ustala się nie natychmiast po przyłożeniu nacisku, lecz po około 2000 s, zmniejszając się w tym czasie tym bardziej, im mniejszy jest nacisk stykowy /57/.

Najlepszym, jak dotychczas, sposobem oczyszczania zanieczyszczonych styczek jest czyszczenie ich za pomocą czystki oraz częste polerowanie styczek i pól stykowych irchą. Nie jest wykluczone przy tym, że polerowaniu temu towarzyszy wytworzenie się na powierzchni elementów stykowych cienkiej warstewki lanoliny, znajdującej się w irsze /16/.

Natomiast smarowanie elementów stykowych przekaźników i wybieraków za pomocą specjalnej mieszaniny olejów mineralnych lub innych substancji jest stosowane w ostateczności, ponieważ substancje te tracą z czasem swoją efektywność i nawet mogą być powodem znacznego zwiększenia rezystancji przejścia z powodu wysychania, rozkładu przy przepływie prądu oraz wskutek pochłaniania kurzu /16/. Między innymi w badaniach Instytutu Łączności nie potwierdzono przydatności do tych podzespołów szeroko zalecanej swojego czasu substancji Electrolube.

2.2. Elementy sprężynujące

Materiał na sprężyny przekaźników telekomunikacyjnych nie hermetyzowanych powinien odznaczać się następującymi własnościami:

- odpowiednimi własnościami wytrzymałościowymi i sprężystymi w stanie statycznym,

- odpowiednią wytrzymałością zmęczeniową,
- odpornością na relaksację naprężeń wewnętrznych,
- odpornością na korozję zanieczyszczeń atmosferycznych,
- podatnością do zginania, wykrawania lub innej operacji technologicznej,
- podatnością do spawania i lutowania względnie wykonywania połączeń owijanych.

Szczególnego znaczenia nabiera przy tym ostatnio sztywność materiału sprężynującego ze względu na miniaturyzację przekładników /46/, w których stosuje się obecnie taśmy o grubości nawet 0,15 mm i druty o średnicy 0,25 mm /61/.

Jeszcze do niedawna najczęściej stosowanymi materiałami na sprężyny przekładników były: brąz fosforowy o zawartości 7-9% cyny i do około 0,35% fosforu oraz mosiądz wysokonikłowy /nowe srebro/ o zawartości 54-58% miedzi, 24-28% cynku i 16-19,5% niklu, a poza tym niekiedy brąz berylowy /58, 59, 60/. Przy dużym zanieczyszczeniu atmosfery siarkowodorem stosowano ponadto cynowanie sprężyn /32/.

W przypadku mosiądzu wysokonikłowego optymalny stopień zgniotu wynosi 60%, a optymalna temperatura odprężania 225°C /3/, natomiast w przypadku brązu fosforowego optymalny stopień zgniotu wynosi 60-80%, a temperatura odprężania około 300°C /59/ lub też stopień zgniotu 97%, a temperatura odprężania 260°C /61/. Zasadniczym celem odprężania jest polepszenie odporności na relaksację, choć poza tym odprężanie polepsza także własności wytrzymałościowe, a zwłaszcza granicę sprężystości zarówno mosiądzu wysokonikłowego, jak i brązu fosforowego /58, 61/. Bardzo ważna jest również duża gładkość powierzchni materiału sprężynującego,

którego nierówność nie powinna przekraczać 3% grubości materiału w celu uniknięcia znacznego pogorszenia jego wytrzymałości zmęczeniowej /62/, a poza tym trzeba wspomnieć o niekorzystnych cechach prostowania materiału sprężynującego po walcowaniu lub ciągnięciu względnie odkształcaniu sprężyn przez zginanie lub profilowanie. Tego rodzaju operacje mogą bowiem zmniejszyć granicę sprężystości nawet do $1/10 - 1/2$ jej wartości przed odkształcaniem, gdy odkształcenie trwale przekracza 0,2%, co jest spowodowane zjawiskiem Bauschingera. W przypadku zginania można przeciwdziałać temu zjawisku przez zginanie w przeciwnym kierunku o kąt większy niż 2° /62/.

W celu zmniejszenia zużycia metali nieżelaznych i zmniejszenia kosztów przez pewien czas istniała tendencja zastępowania metali nieżelaznych typową stałą nierdzewną 18-8 /o zawartości 18% chromu i 8% niklu/ /62, 63/. Stopień zgniotu tej stali nie może przekraczać 60%, ponieważ przy większym zgniocie sprężyny odpuszczane pękają przy zginaniu, a odpuszczanie tej stali, o strukturze austenityczno-martenzytycznej przy stopniu zgniotu ponad 40%, powinno być przeprowadzane przy temperaturze $300-600^\circ\text{C}$, gdyż przy takich warunkach uzyskuje się polepszenie wytrzymałości zmęczeniowej o $10-20 \text{ kg/mm}^2$ i bardzo duży stosunek granicy sprężystości do wytrzymałości na rozciąganie, wynoszący 0,8 - 0,9. Optymalną wartość modułu sprężystości podłużnej uzyskuje się przy tym po odpuszczaniu w atmosferze amoniaku przez 1 h przy temperaturze 300°C , wytrzymałości na rozciąganie - po odpuszczaniu przy temperaturze 500°C , a granicy sprężystości - po odpuszczaniu przy temperaturze 600°C możliwie jak najbardziej

utwardzonego materiału /dwukrotne zwiększenie granicy sprężystości w porównaniu ze stałą nieodpuszczaną, o stopniu zgniotu ponad 60%/ , przy której dopiero zresztą zaczyna także zanikać anizotropowość własności walcowanej taśmy. Ponieważ zaś odpuszczanie powoduje pogorszenia odporności stali przeciw korozji, zaleca się poddawać ją natychmiast po odpuszczaniu obróbce przez 3 min roztworu o zawartości 30% HNO_3 i 1% HF o temperaturze 30°C , który usuwa nalot wytwarzający się przy odpuszczaniu i ponadto pasywuje stal, po czym stal starannie przemywa się w gorącej wodzie i suszy. Wskazane jest również, aby powierzchnia stali była możliwie gładka, gdyż nierówności powierzchni sprzyjają korozji i pogarszają własności sprężyste stali.

Sprężyny ze stali nierdzewnej mają lepsze własności wytrzymałościowe, w tym także wytrzymałość zmęczeniową, niż sprężyny ze stopu miedzi, charakteryzują się prawie całkowitym brakiem naprężeń wewnętrznych i bardzo dobrą płaskością, dzięki czemu nadają się do wyrobu sprężyn o skomplikowanym kształcie, oraz są odporne przeciw korozji i tanie, wobec czego zaczęto je stosować do przekaźników zminiaturyzowanych i sprężyn telefonów klawiaturowych. W produkcji i eksploatacji okazało się jednak, że stal nierdzewna sprawia bardzo duże kłopoty wskutek szczególnie dużej anizotropowości jej własności, a poza tym stwierdzono, że w atmosferze silnie zanieczyszczonej dwutlenkiem siarki i związkami azotu występuje gwałtowne pogarszanie się wytrzymałości zmęczeniowej stali /62, 64/, nad czym nie można było przejść do porządku dziennego wobec stale zwiększającej się zawartości azotanów w powietrzu /65/.

Własności mechaniczne materiałów na sprężyny

Material	Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm^2	Wydłużenie przy zerwaniu %	Granica sprężystości kG/mm^2	Moduł sprężystości podłużnej kG/mm^2	Wytrzymałość zmęczeniowa kG/mm^2
Mosiądz wysokoniklowy					
Walcowany	83,0	1,2	60,0	12300	28,0
Odpężany 350°C	86,0	4,2	78,0	12600	32,0
Stop CuNi20					
Walcowany	66,0	1,5	36,0	14500	25,0
Odpężany 350°C	62,1	8,0	52,0	15100	23,0
Stop CuNi20Si0,6					
Walcowany	66,0	1,0	57,0	15000	26,0
Starzony 500°C	78,0	10,0	80,0	15600	33,0
Starzony 600°C	87,5	9,0	77,3	14480	-
Stal 18-8	120-160	-	60-120	20000	

Uwagi. Dane dwóch ostatnich pozycji dotyczą drutów.

Dane pozostałych pozycji dotyczą próbek z taśm pobranych prostopadle do kierunku walcowania.

Z tego właśnie względu zaczęto ostatnio wprowadzać sprężyny ze stopu CuNi20 i z tego stopu z dodatkiem do 0,7% krzemu. Stop ten wymaga obróbki cieplnej drogą przesycania przy temperaturze 800-900°C, i następnie starzenia przy temperaturze 500-600°C, przy czym przesycanie przeprowadza się po przeróbce plastycznej na gorąco materiału, a starzenie po przeróbce plastycznej na zimno ze stopniem zgniotu 80%. Starzenie może być przeprowadzane przy temperaturze 550°C przez 1 h lub przy temperaturze 600°C przez 1 min /66, 67/.

Stop typu Cu-Ni-Si odznacza się doskonałą odpornością przeciw korozji atmosferycznej, m.in. naprężeniowej, a także bardzo dobrymi własnościami mechanicznymi, podanymi w zestawieniu z własnościami innych materiałów na sprężyny w tabl. 9.

3. ELEMENTY STYKOWE KONTAKTRONÓW

W obecnym stanie techniki telekomutacji dotychczas stosowane przekaźniki nie hermetyzowane są zastępowane coraz powszechniej przez kontaktrony, których zalety są następujące: maksymalna rezystancja w stanie rozwartym, minimalna rezystancja przejścia w stanie zwartym elementów stykowych, nie zniekształcone przenoszenie sygnałów fonicznych, mała pojemność elektryczna, minimalny poziom szumów wnoszonych do przesyłanych sygnałów, mała energia sterowania, całkowite oddzielenie obwodu rozmownego od sterującego oraz duża niezawodność i trwałość. Dlatego też znalazły one szerokie zastosowanie w matrycach /macierzach/ komutacyjnych central półelektronicznych, a w centralach telefonicznych innego typu - w obwodach sterowania i sygnalizacji. Ponadto stosowane są one w przełącznikach klawiszowych /68/.

Elementy stykowe kontaktronowe są wykonywane najczęściej ze stopu typu Fe-Ni o zawartości 48-52% niklu i 0,2-0,4% manganu, którego własności są następujące /69/:

indukcja nasycenia	14000-15000 Gs
natężenie powściągające maks.	0,4 Oe
maksymalna przenikalność	$3-4 \cdot 10^4$ Gs/Oe
temperatura Curie	500°C
rezystywność przy temperaturze 25°C	0,4 om. \cdot mm ² ·m ⁻¹
własności mechaniczne w stanie wyżarzonym	
wytrzymałość na rozciąganie	55 ± 5 kG/mm ²
granica płynności Q _{0,2}	25 kG/mm ²
wydłużenie przy zerwaniu	ponad 25%
twardość Vickersa	110-120 kG/mm ²
moduł sprężystości podłużnej	16000-17000 kG/mm ²

U nas w kraju stosuje się natomiast elementy stykowe ze stopu typu Fe-Ni-Co /kowaru/ /68/, a w Czechosłowacji ze stopu typu Fe-Co-Cr /70/.

Ponieważ ze względów konstrukcyjnych nacisk stykowy w kontaktronach jest rzędu 4 G oraz ponieważ rezystancja przejścia elementów stykowych powinna być możliwie mała, aby szum spowodowany zmianami rezystancji przejścia był także jak najmniejszy, końce elementów stykowych pokrywa się powłoką z materiału o bardzo dobrej odporności przeciw korozji /71/. Takie warunki spełnia powłoka ze złota o grubości 3 μm /według innych danych 10-20 μm/ /69/ nakładana elektrolitycznie, którą poddaje się następnie wygrzewaniu w atmosferze azotu przy temperaturze 800°C, aby zachodząca przy tym dyfuzja spowodowała utworzenie na powierzchni

elementu stopu typu Au-Ni-Fe o znacznie większej twardości niż złoto. Czas wygrzewania musi być bardzo ściśle przestrzegany, gdyż za mały czas powoduje za małą dyfuzję żelaza i niklu, a za duży - zwiększenie rezystancji przejścia wskutek wytwarzania się na powierzchni tlenku żelaza, jeżeli w gazie kontaktronu znajduje się jako zanieczyszczenie tlen /71/. Tego rodzaju obróbka cieplna jest niezbędna, gdyż sama powłoka ze złota ma skłonność do zgrzewania się już po 10^6 - 10^8 zadziałań /72/.

Jakkolwiek obróbka dyfuzyjna polepsza odporność na zgrzewanie się elementów stykowych i własności magnetyczne powłoki, nie jest ona jednak korzystna pod względem odporności przeciw korozji powodowanej zanieczyszczeniami gazu ochronnego kontaktronu. Dlatego też zamiast tej obróbki stosuje się powłoki ze stopów złota, przeważnie typu Au-Ni i Au-Co, lub też z rozproszoną fazą związków przewodzących, albo na powłoce przewodzącej z dwutlenku rutenu względnie borku metalu, a także powłoki z rodu, renu, palladu, stopu PdAg₃₀, platyny i jej stopów, wolframu, molibdenu i in. /5,73-75/. W kraju natomiast stosuje się powłoki ze stopów Au-Co, W-Co lub Mo-Co /68/, z których stop Au-Co charakteryzuje się dobrą odpornością na erozję spowodowaną zjawiskami elektrycznymi, a stopy wolframu i molibdenu dobrą niezawodnością pracy przy dużych obciążeniach i właściwością gaszenia łuku. Powłoki te mogą być nakładane różnymi metodami, a mianowicie elektrolityczną, przez odparowanie w próżni lub rozpylanie katodowe, a także przez platerowanie i metodą elektroerozyjną, z których najmniej korzystną wydaje się metoda elektrolityczna. Szczególnie niekorzystna jest ta metoda w przypadku powłok z palladu i ro-

du, gdyż nakładane powyższą metodą powłoki mają mikropęknięcia i są źle przyczepne do podłoża /71/.

Jako gaz ochronny w kontaktronach stosuje się u nas w kraju wodór /68/, natomiast inni producenci stosują przeważnie azot z dodatkiem 3-5% wodoru /69/, w którym zawartość zanieczyszczeń /tlenu, pary wodnej lub par substancji organicznych/ nie powinna przekraczać $1 \cdot 10^{-4}\%$ /71/, a według innych danych 0,1% /69/. Wszelkie zanieczyszczenia gazu sprzyjają bowiem zwiększaniu się rezystancji przejścia elementów stykowych, przy czym w przypadku powłok z platynowców szczególnie niekorzystne jest zanieczyszczenie parą substancji organicznych, która może przedostawać się z uszczelnień maszyn hermetyzujących i pomp próżniowych podczas produkcji kontaktronów /71/. Według E. Kaisera można też stosować jako gaz ochronny argon o zawartości do 9% powietrza, a wtedy elementy stykowe mogą mieć według niego powłokę ze srebra, zapewniającą użyteczność do 10^8 zdarzeń /73/.

Podobnie jak w przypadku elementów stykowych przekaźników nie hermetyzowanych duże znaczenie dla pracy kontaktronów mają rodzaj i wartość obciążeń elektrycznych. I tak należy unikać zarówno nadmiernych obciążeń rezystancyjnych, aby w miarę możliwości natężenie prądu przepływającego nie przekraczało 100 mA, a napięcie na elementach stykowych 50 V /76, 77/, jak też nadmiernych obciążeń pojemnościowych /75/ i indukcyjnych, z których ostatnie najczęściej występują w obwodach telekomunikacyjnych z kontaktronami /78/.

W przypadku obciążeń rezystancyjnych występuje przede wszystkim erozja mostkowa, natomiast w przypadku innych obciążeń

erozja spowodowana przenoszeniem materiału stykowego w wyniku wyładowań elektrycznych. W związku z tym wysoce korzystna jest powłoka z molibdenu naniesiona na element stykowy, gdyż materiał ten nie wytwarza mostka /78/.

W celu zmniejszenia skutków obciążenia pojemnościowego należy dążyć do zmniejszenia napięcia oraz długości przewodów i kabli połączonych z kontaktronami, gdyż do pewnej wartości pojemności erozja jest do niej proporcjonalna i zwiększa się ze wzrostem napięcia /75/. Niekorzystne skutki obciążeń pojemnościowych i indukcyjnych można zmniejszyć też przez zmniejszenie ciśnienia gazu ochronnego w kontaktronie /78, 79/, zmniejszenie chropowatości powierzchni elementu stykowego, która nie powinna przekraczać $0,6 \mu\text{m}$ /69/, wprowadzenie w obwód kontaktronu dodatkowego rezystora lub dławika wielkiej częstotliwości /78/, lepszy dobór materiału stykowego itd. Ogółem H. Stocker /78/ wylicza 18 poniższych czynników, które mają wpływ na wytwarzanie się wyładowań między elementami stykowymi:

- rodzaj materiału stykowego,
- czystość powierzchni stykowej,
- rodzaj gazu ochronnego,
- ciśnienie gazu,
- zdolność materiału stykowego do absorpcji gazu,
- szybkość jonizacji gazu,
- szybkość rekombinacji nośników ładunku przy wyładowaniu,
- praca wyjścia elektronów z materiału stykowego,
- szybkość parowania materiału stykowego,
- prężność pary materiału stykowego,

- szybkość rozwierania elementów stykowych,
- częstotliwość zadziałań,
- synchronizm przy działaniu pola magnetycznego,
- pojemność względem ziemi,
- pojemność sprzężeniowa,
- kolejność rozmieszczenia kontaktronu w obwodzie,
- rodzaj okablowania.

Oprócz powyższych czynników wpływ mają jednak także czynniki konstrukcyjne, a zwłaszcza wielkość szczeliny stykowej, która powinna być jak najmniejsza ze względu na sprawność eksploatacyjną i zmniejszenie drgań. Wielkość szczeliny jest jednak ograniczona, m. in. z następujących powodów /14/:

- zmniejszenie szczeliny utrudnia montaż ze względu na zawsze występujące w produkcji odchyłki wymiarów,
- mała szczelina zmniejsza przestrzeń, w której ewentualnie wytwarzają się narośle materiału stykowego, spowodowane erozją elektryczną, co powoduje wcześniejsze występowanie uszkodzeń wskutek zwarć,
- mniejsza szczelina wymaga większego ciśnienia gazu, aby uniknąć przebicia między elementami stykowymi.

Przez odpowiednie czynniki konstrukcyjne, a mianowicie nadanie elementom stykowym pewnego wygięcia, można też zmniejszyć czas ich odskoków do 15 ms /73/.

Tak więc dzięki różnym środkom materiałowym i konstrukcyjnym można uzyskać stałą, małą rezystancję przejścia elementów styko-

wych rzędu co najwyżej kilkuset milionów, trwałość do $3 \cdot 10^8$ zdarzeń /68/ i intensywność uszkodzeń rzędu $1 \cdot 10^{-9}$ /h /71/.

4. ELEMENTY STYKOWE ZŁĄCZ WTYKOWYCH

Podstawowymi elementami złączy wtykowych są elementy stykowe, wykonywane z materiałów sprężynujących, które powinny charakteryzować się następującymi własnościami:

- dużą granicą sprężystości,
- możliwie małym modułem elastyczności,
- małą relaksacją naprężeń wewnętrznych,
- wystarczającą przewodnością elektryczną,
- podatnością do przeróbki plastycznej,
- lutownością,
- bardzo dobrą odpornością przeciw korozji.

W związku z tym na elementy stykowe złączy wtykowych stosuje się przeważnie brąz berylowy typu CuBe₂, brąz fosforowy, brąz cynowocynkowy, CuNi₉Sn₂, stopy typu Cu-Ni, mosiądz wysokoniklowy /nowe srebro/, mosiądz CuZn₃₈ i stop NiBe₂ /61, 80-83/, a gdy element ma bardzo małe wymiary i wymagane jest od niego bardzo dobre przewodzenie prądu - stop AgPd₃₀ lub typu Ag-Mn-Ni, utwardzony dyspersyjnie /84/.

Szczególnie dobre własności wytrzymałościowe mają stopy z berylem, których własności w stanie ulepszonym cieplnie są następujące /83/:

Brąz berylowy	Stop Ni-Be
1,8-2,0% Be	1,95% Be
0,20% Co	0,50% Ti

Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm ²	116-133	151-190
Granica plastyczności, Q _{0,2} , kG/mm ²	98-116	105-162
Moduł sprężystości, kG/mm ²	13000	18900
Wytrzymałość zmęczeniowa na zginanie /10 ⁸ zginań/, kG/mm ²	28,1	63,6

Ponadto stopy te mają dobrą odporność przeciw korozji i nie są podatne do relaksacji naprężeń, a brąz berylowy charakteryzuje się dużą przewodnością elektryczną. Niestety materiał ten jest dość kosztowny i dlatego też elementy sprężynujące wykonuje się najczęściej z brązu, przeważnie fosforowego, lub z mosiądzu w parze z brązem berylowym, z którego wykonuje się elementy obejmujące /gniazda wtykowe/.

Ponieważ od elementów stykowych telekomunikacyjnych złączy wtykowych wymaga się jednak małej, wynoszącej poniżej 15 mΩ i stałej rezystancji przejścia /81,85/, czego nie może zapewnić żaden stop miedzi wskutek korozji atmosferycznej, powodującej wntwarzanie się na jego powierzchni tlenków i siarczku miedzi /86/, powierzchnię stykową powyższych elementów pokrywa się powłoką elektrolityczną, najczęściej ze złota, zwłaszcza gdy złącza są zminiaturyzowane oraz gdy w obwodzie jest małe natężenie prądu. Zagadnienie pokrywania powłoką złota ma przy tym zasadnicze znaczenie, uwzględniając, że w USA złoci się miliard elementów stykowych tygodniowo /87/, a zużycie złota na powłoki w kraju wynosiło już w 1968 r. 54 tony /88/.

Od złącz wtykowych stosowanych w telekomunikacji wymaga się do 500 połączeń i rozłączeń w czasie ich życia /85, 89/, przy sile wkładania i wyjmowania do 1,8 kG /85/ lub większej /81/, czego nie wytrzyma powłoka z samego złota z powodu za małej odporności na ścieranie. Dlatego też powłoki nakłada się ze stopów złota z dodatkiem srebra, kobaltu, niklu, antymonu, wolframu lub indy /89/, m.in. np. ze stopów z dodatkiem 2,6% at niklu i 1,6% at kobaltu /90,91/, uważanych za optymalne pod względem współczynnika tarcia, ze stopu AuAg27Sb2 o 25-30 razy większej odporności na ścieranie niż złoto /92/ i in. Powłoki z takich stopów mają twardość w granicach 150-250 kG/mm², a ich grubość jest rzędu 5-7 μm albo też tylko 0,5 μm, jeżeli pod powłoką złota znajduje się warstwa plateru o grubości 6 μm ze stopu AgPd30, AuNi5 lub AuAg25Cu5 /85/.

C.A. Harper zaleca ponadto, aby elementy obejmujące miały powłokę ze stopu złota, a obejmowane z samego złota, ponieważ takie rozwiązanie powoduje efekt polerowania, co polepsza odporność na ścieranie i zmniejsza rezystancję przejścia /80/.

Jak wykazały badania /89/, zużycie powłoki przy tarcniu zachodzi przede wszystkim z powodu adhezji powierzchni stykowych, a także z powodu samego ścierania mechanicznego lub pęknięcia kruchych powłok, podczas gdy wielkość zużycia przy tarcniu zależy od wielu czynników, m.in. od rodzaju materiału, zanieczyszczenia jego powierzchni i warunków tarcia /obciążenia, kształtu elementów ciernych/. Zużycie spowodowane tarcieniem może zachodzić różnymi sposobami, zależnie od gładkości powierzchni stykowej /cierniej/, nacisku stykowego, długości tarcia, twardości oraz struktury po-

wierzchni ciernej i in. , z których w przypadku złącz wtykowych jest dopuszczalny tylko sposób z przechodzeniem materiału ciernej z jednej do drugiej powierzchni /z tzw. przechodzeniem niesymetrycznym/, a mianowicie z elementu o większej powierzchni ciernej do elementu o mniejszej powierzchni ciernej.

W celu zmniejszenia tarcia stosuje się niekiedy smarowanie powierzchni stykowej ze złota, do czego nadają się smary organiczne z cząsteczkami o długim łańcuchu z grupą polarną na końcu, na przykład chlorowoderek oktadecyloaminy /ODA . HCl/ w ilości 0,15 - 0,2 $\mu\text{g}/\text{mm}^2$ /93/, tzw. Armeen 18D produkcji firmy Armour and Co-USA, lub też ciekły pięciopierścieniowy eter polifenyłowy zmieszany z woskiem parafinowym w ilości 0,1 - 0,5 $\mu\text{g}/\text{mm}^2$ albo fluoropochodne estrów względnie polichlorotrójfluoroetylen /89, 94/. Smarowanie jest jednak efektywne tylko w przypadku powierzchni o zwiększonej chropowatości, co z kolei, w celu uniknięcia zwiększenia porowatości powłoki, wymaga znacznego zwiększenia grubości powłoki. Tego można zaś uniknąć, jeżeli cząsteczki substancji smarnej osadza się wraz z powłoką z elektrolitu /89/.

Jedną z najistotniejszych właściwości powłok złota jest ich skłonność do porowatości, która jest bardzo niekorzystna, ponieważ każdy por jest potencjalnym źródłem wytwarzania się produktów korozji z uwagi na katodowy charakter ochrony przed korozją powłok ze złota. Uzyskanie powłoki całkowicie bez porów, o grubości mniejszej niż 10 μm , jest przy tym nieosiągalne lub bardzo trudne, gdyż w normalnych warunkach produkcji zawsze istnieją pewne różnice stanu powierzchni podłoża, grubości powłoki i warunków jej wytwarzania /gęstość prądu, mieszanie, skład i zanieczyszczenia kąpielii, temperatura i pll elektrolitu/, powodujące nieregularność

elektrokryształizacji powłoki i naprężenia w niej, wobec czego dopuszcza się, że powierzchnia porów może wynosić 1-4% powierzchni powłoki, bezpośrednio po jej otrzymaniu /88/. Średnica porów wynosi od 0,2 do 10 μm , przy czym pory przeważnie nie mają przekroju okrągłego i mogą być położone prostopadłe lub pod kątem do podłoża. Gęstość porów waha się zaś od kilku do ponad stu na 1 cm^2 /94/.

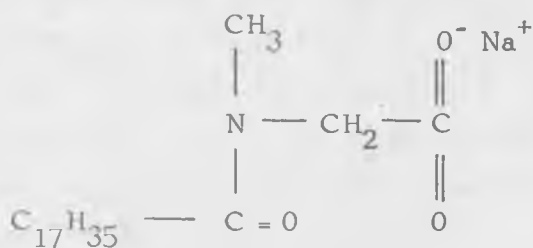
Zasadniczy wpływ na porowatość powłoki złota ma chropowatość podłoża, gdyż im większa jest jego gładkość, tym mniejsza jest porowatość powłoki przy danej jej grubości /rys. 4/ /8,95/, wobec czego należy dążyć, aby srebrna chropowatość powierzchni podłoża nie przekraczała 0,8 μm , jak to ustala norma USA MIL-C-39029 /80/. M. in. dużą gładkość powierzchni podłoża można uzyskać przez polerowanie elektrolityczne.

Polepszenie jakości powłoki ze złota dają też powłoki elektrolityczne pośrednie, nakładane na element stykowy przed powłoką ze złota, ponieważ ekranują /przesłaniają/ one wtrącenia materiału podłoża i tworzą dodatkową przeciwkorozyjną warstwę ochronną na podłożu. Powłoki te są efektywne jednak tylko wtedy, gdy ich grubość jest dostatecznie duża, a porowatość mniejsza niż powłoki ze złota.

Jako powłoki pośrednie stosuje się najczęściej powłokę z niklu o grubości 2,5 - 5,0 μm lub powłokę ze srebra podobnej grubości /80,89,96/ o chropowatości do 0,4 μm , najlepiej polerowane elektrolitycznie, które oprócz polepszania odporności przeciw korozji zwiększają jeszcze odporność na ścieranie powłoki ze złota, zmniejszają dyfuzję do niej materiału podłoża oraz polepszają przy-

czepność powłoki ze złota. Wadą powłoki pośredniej ze srebra jest możliwość wytwarzania się w jej porach siarczku srebra, który ma skłonność do migracji po powierzchni powłoki /97/, powodując zwiększenie rezystancji przejścia, a poza tym powłoka ze srebra ma mniejszą twardość niż powłoka z niklu oraz mniejszą odporność przeciw korozji spowodowanej siarką i jej związkami.

Jednym ze sposobów polepszania odporności przeciw korozji powłoki ze złota jest także osadzanie wraz z nią inhibitora organicznego, nie powodującego pogorszenia rezystancji przejścia, a charakteryzującego się strukturą z grupami polarnymi i grupami hydrofobowymi, z których pierwsze sprzyjają przyczepności cząsteczek inhibitora w porach lub ich pobliżu, a drugie - odpychaniu wilgoci z ich sąsiedztwa, uniemożliwiającemu powstawanie mostka wilgoci między powłoką i podłożem. Takim inhibitorem jest m.in. pochodna sarkozyny /98/:



W celu zmniejszenia lub całkowitego wyeliminowania złoceń, szczególnie interesującego w chwili obecnej wobec gwałtownego zwiększania się ceny złota, dąży się do zastąpienia powłoki złota przez powłokę z palladu, co jest zupełnie możliwe, jak to wykazały badania własne /4/ oraz inne /99,100/. Dlatego też w NRD zastąpiono grube powłoki elektrolityczne z samego złota, m.in. w e-

lementach łączówek, powłokami kombinowanymi Pd $4\ \mu\text{m}$ + Au utwarzone $1\ \mu\text{m}$ /7,100/ albo Au $0,2\ \mu\text{m}$ + Pd $4\ \mu\text{m}$ + Au $0,5\ \mu\text{m}$ /85/, stosując ponadto pokrywanie powłoką tylko w miejscach bezpośredniego styku. Niewystarczające pod względem zabezpieczenia przeciwkorozyjnego są natomiast powłoki z cyny lub stopu Sn-Ni /85/.

5. NIEKTÓRE METODY BADAN ELEMENTÓW STYKOWYCH

5.1. Pomiar rezystancji przewężenia /ocena trwałości elementów/

Jeszcze do niedawna jakość elementu stykowego określano za pomocą pomiaru rezystancji lub zmian rezystancji całego zestyku, co jednak nie charakteryzuje w przeważającej większości jakości elementu stykowego, ponieważ jego rezystancja przejścia jest znacznie mniejsza niż rezystancja całego zestyku. I tak stosunek rezystancji całego zestyku do rezystancji przejścia jest następujący /102/:

złącza wtykowe 3-5

przełączniki i przekaźniki zwykłe 10-20

kontaktrony 50-100

Głównym składnikiem rezystancji przejścia elementu stykowego z nie zanieczyszczoną powierzchnią jest rezystancja przewężenia, proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego rzeczywistej powierzchni styku /103/, który, jak okazało się, może być wskaźnikiem trwałości złącz wtykowych, gdyż im większa jest rezystancja przewężenia, tym mniejsza jest trwałość złącza /104/.

Stąd też wynika konieczność umożliwienia pomiaru samej rezystancji przewężenia, a jedną z metod jest przepuszczanie krótko-

trwałych impulsów dużej mocy oraz pomiar temperatury w miejscu styku i temperatury całego elementu stykowego /102/, do czego służy na przykład analizator zestyków 3 M /Electrical Contact Analyser 3 M/ firmy Instrument Products USA /105/. Inna metoda polega natomiast na wykorzystaniu zjawiska nielinearności charakterystyki przewodzenia metali w funkcji temperatury, będącej w bezpośredniej zależności od rezystancji przewężenia, przy czym nielinearność tę charakteryzują zmiany składnika trzeciej harmonicznej rezystancji przewężenia /106/. Tą samą metodą można stwierdzić, czy głównym składnikiem rezystancji przejścia jest rezystancja przewężenia czy też rezystancja warstewki zanieczyszczającej powierzchnię stykową, a tym samym istnienie tej warstewki, nawet jeżeli ona jest bardzo cienka i charakteryzuje się przewodzeniem tunelowym /107/.

5.2. Odporność przeciw korozji styczek

Istotną wadą badań odporności przeciw korozji styczek jest dotychczas nie ustalona korelacja między wynikami badań laboratoryjnych i badań eksploatacyjnych, wobec czego wartość badań laboratoryjnych pod względem prognozowania trwałości styczek wzbudza poważne wątpliwości /35, 109/.

Jak już uprzednio wspomniano, najczęściej występującymi w powietrzu zanieczyszczeniami są siarkowodór oraz dwutlenek siarki i dlatego też elementy stykowe badane na odporność przeciw korozji muszą być poddawane działaniu atmosfery zawierającej te zanieczyszczenia oraz mającej pewną wilgotność względną, co wpływa w zasadniczy sposób na przebieg i intensywność korozji. Bar-

dzo ważną jest przy tym zawartość tych wszystkich składników, lecz niestety poglądy odnośnie niej są rozbieżne i niekiedy nieuzasadnione.

I tak na przykład Administracja Brytyjska zaleca aby po 500 połączeniach i rozłączeniach przetrzymywać złącza wtykowe w stanie rozwartym przez 20 dni w komorze o pojemności 200 l i temperaturze $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, w której następuje 3-5 razy/h wymiana atmosfery o wilgotności względnej $75 \pm 5\%$, zawierającej 25 ± 5 cząsteczek SO_2 i 3000 ± 500 cząsteczek CO_2 na milion cząsteczek powietrza, przy czym badane elementy poruszają się w komorze z szybkością 4 ± 1 m/h, a miarą oceny odporności przeciw korozji są zmiany rezystancji przejścia /88, 110, 111/. Warunki te nie wydają się właściwe, ponieważ, jak wspomniano, zanieczyszczeniem głównie powodującym korozję elementów stykowych jest siarkowodór, którego nie zawiera atmosfera zaproponowana przez Administrację Brytyjską.

Słusznie kwestionowane są też warunki badań ustalone przez ISO, według których powłoki złota o grubości do $5 \mu\text{m}$, bada się przez 24 h w atmosferze o temperaturze 20°C i wilgotności względnej 95%, zawierającej 1% obj. H_2S , a powłoki grubsze dodatkowo w atmosferze zawierającej 1% SO_2 . Bardziej właściwe są natomiast nowe propozycje badania przez 10 dni w atmosferze o temperaturze 30°C i wilgotności względnej 96%, zawierającej 0,005% obj. H_2S , oraz poniższa modyfikacja węgierska propozycji, dotycząca styczek /112/:

- zwiększenie czasu badania w przypadku styczek nie omywanych do 18 dni oraz poddawanie ich dodatkowo badaniu w atmosfere-

rze zawierającej $2 \cdot 10^{-6}$ części dwubutyloftalanu, z wykonywaniem pomiaru rezystancji przejścia po następujących cyklach: 5000 zadziałań z obciążeniem elektrycznym przez 8 h, 50000 zadziałań bez obciążenia elektrycznego przez 8 h oraz przerwie przez 8 h,

- badanie styczek omywanych przez 3 dni w atmosferze o temperaturze 30°C i wilgotności względnej 96%, zawierającej 0,05% obj. H_2S , a także w atmosferze o wilgotności względnej 50%, zawierającej $2 \cdot 10^{-6}$ części dwubutyloftalanu albo oleju dwumetylosilikonowego, stosując pomiar rezystancji przejścia w cyklach po 5000 zadziałań przez 8 h i po 150000 zadziałań przez 16 h z obciążeniem charakterystycznym dla zestyków.

Zasługują też na uwagę warunki badań stosowane przez firmę Siemens /27/: temperatura 23 lub 40°C , wilgotność względna 83%, atmosfera $1 \cdot 10^{-4}\%$ H_2S , $10 \cdot 10^{-4}\%$ SO_2 , $1 \cdot 10^{-4}\%$ NO_2 , czas badań 4, 10 lub 21 dni, osiadanie kurzu 6 g/m^2 /dziennie, a ponadto trzeba wspomnieć o stosowanej niekiedy próbie odporności na korozję sztucznego potu, zawierającego 0,10% KCl , 0,019% NaCl , 0,005% NaH_2PO_4 i 0,005% kwasu mlekowego, o pH wynoszącym 4 /113/.

5.3. Odporność przeciw korozji elementów złącz wtykowych

Odporność przeciw korozji elementów stykowych złącz wtykowych bada się jakościowo i ilościowo, metodą chemiczną lub elektrochemiczną /108/.

Metody jakościowe chemiczne polegają na przetrzymywaniu elementów stykowych w atmosferze zanieczyszczonej w celu ustalenia

stopnia porowatości powłoki i tym samym odporności przeciw korozji. Do tego celu służy atmosfera zanieczyszczona siarkowodem w przypadku powłok ze złota z podłożem ze srebra, atmosfera zanieczyszczona dwutlenkiem siarki w przypadku podłoża z miedzi lub niklu oraz atmosfera zanieczyszczona parą kwasu azotowego w przypadku podłoża z miedzi. Ponadto stosuje się aktywowanie elementów w parze chlorowodoru o temperaturze 100°C i przetrzymywanie w parze dwumetylogliksymu o temperaturze 170°C oraz następnie w parze amoniaku, co nadaje się zwłaszcza do powłok ze złota z podłożem z niklu.

Metoda jakościowa elektrochemiczna polega na wykonywaniu odbitki elektrograficznej. W tym celu element stykowy, na przykład z powłoką ze złota, umieszcza się na papierze wskaźnikowym, zwilżonym odpowiednim elektrolitem, a na nim umieszcza się katodę w postaci płytki, dla której anodą jest podłoże powłoki. Dobiera się przy tym taki potencjał, aby rozpuszczało się tylko podłoże, w wyniku czego kationy podłoża, przechodząc przez pory powłoki, reagują z reagentem papieru wskaźnikowego, tworząc na nim barwne plamki. Ocena odporności przeciw korozji powłoki tą metodą jest bardzo subiektywna i zależy od wielkości porowatości, czasu przyłożenia potencjału, warunków atmosferycznych oraz rodzaju metalu podłoża.

Metoda chemiczna ilościowa polega na zanurzeniu elementu stykowego z powłoką w roztworze, który rozpuszcza podłoże w miejscach porów i nie reaguje z metalem powłoki. Ilość metalu rozpuszczonego w znormalizowanych warunkach określa się najczęściej kolorymetrycznie.

Natomiast w przypadku elektrochemicznej metody ilościowej, miarą porowatości jest wartość przepływającego prądu przy założonym potencjale anodowym. Na tej zasadzie, przyjmując, że rezystancja elektrolitu w porach jest bardzo mała, polega też metoda pomiaru prądu upływu, powstającego między próbką z porowatą powłoką ze złota oraz katodą miedzianą w 5% roztworze H_2SO_4 przy potencjale 0,75 V.

5.4. Odporność na drgania

Badania odporności na drgania i uderzenia są bardzo ważne, ponieważ określają one stabilność mechaniczną elementów stykowych, która ma duży wpływ na ich niezawodność. Dlatego też zamontowane elementy poddaje się drganiom, przy czym mierzy się zmiany rezystancji przejścia /napięcia szumu/, ewentualnie po uprzednim, celowym wytworzeniu warstewek zanieczyszczających powierzchnię stykową, co umożliwia określenie dopuszczalnej wielkości drgań i uderzeń. Niekiedy też poddaje się drganiom w atmosferze pary substancji organicznej układ zestyków wraz z płytką palladu, a wytworzenie w takich warunkach proszku brązowego świadczy o niestabilności mechanicznej układu zestyków, która może spowodować m. in. uszkodzenia przemijające, spowodowane dostawaniem się kurzu na powierzchnię stykową /113/.

Przy wyborze wielkości drgań można przy tym posługiwać się następującymi przyspieszeniami podanymi przez E. Kaisera /114/:

Przyczyna drgań	Przyspieszenie m/s^2
Pojazdy na ulicach	0,05 - 0,1

Personel przechodzący koło stojaka	0,1 - 0,2
Uderzenie w stojak	1 - 5
Prace przy stojaku	1
Wpływ wybieraków podnosząco- -obrotowych na takie same wybie- raki sąsiednie	6 - 8
Bezpośredni wpływ wybieraków podnosząco-obrotowych	40 - 60
Pośredni /przez ramę stojaka/ wpływ powyższych wybieraków/	1 - 2.

Do podobnych celów służą specjalne aparaty, wykazujące nie-
stabilne /obluzowane/ połączenia wtykowe, jak na przykład apa-
raty NRF typu K 2007, o zakresie 3 kHz-10 MHz, wykrywające
zmiany rezystancji przejścia rzędu 1 °/∞. Badanie za pomocą
tego aparatu polega na umieszczeniu elementu stykowego między
nadajnikiem i odbiornikiem oraz poddawaniu go uderzeniom, w wy-
niku czego słyszy się w głośniku lub w słuchawkach nagłownych
trzaski, których intensywność można zmierzyć /115/.

WYKAZ LITERATURY

1. Niewiadomski C.: Zagadnienia materiałów stykowych urządzeń teletechniki łączeniowej. Problemy Łączności 1964 t.4 nr 10, s.1-70
2. Stobiecka A., Wolniewicz J.: Wpływ niektórych tworzyw organicznych na pracę zestyków telekomutacyjnych. Prace Instytutu Łączności 1967 t.14 nr 2, s.59-82
3. Niewiadomski C.: Relaksacja taśm z mosiądzu wysokoniklowego do sprężyn przekaźników telefonicznych. Prace Instytutu Łączności 1967 t.14 nr 2, s.83-92
4. Niewiadomski C., Stobiecka A., Wolniewicz J.: Badania nad możliwością wyeliminowania złączenia elementów złączy stykowych w urządzeniach teletechnicznych. Prace Instytutu Łączności 1969 t.16 nr 1, s.3-24
5. Buckley S.E.: Contact phenomena. An ITT symposium. Elect.Comm. 1970 t.45 nr 2, s.150-152.
6. Mrówczyński G.: Problemy korozji styków słaboprądowych. Ochrona przed Korozją 1971 t.14 nr 2, s.9-14
7. Tupta L.: Zasuwné kontakty oznamovacich zariadieni. Slabopr.Obz. 1971 t.32 nr 4, s.175-179
8. Merl W.: Steckkontakte in der Nachrichten- und Energietechnik. VDE Fachber. 1968 t.25, s.70-75
9. Borchert L.: Einflüsse elektrischer Leitungen auf die Ausschaltvorgänge und die Lebensdauer von Kontakten bei induktiver Belastung. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.133-139
10. Dekany I.L.: Zuverlässigkeitsprüfungen der telefon-technischen Edelmetallkontakte in dem mit Schwefelwasserstoff und organischen Dämpfen verunreinigten Umgebungsklima. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.149-157

11. Flatau G.: Reliable contacts and connections in telecommunication plant. Telecomm.J.Australia 1967 t.17 nr 3, s.203-211
12. Gerwig H. i in.: Handwörterbuch des elektrischen Fernmeldewesens. Bundesministerium für das Post- und Fernmeldewesen 1970, s.980
13. Institut für Post und Fernmeldewesen. Kontaktematerialien für Nietschaltstücke des Flachrelais in NFÜSt. Informationen, Gruppe II: Fernsprech- und Fernschreibwesen, Ausgabe B: Technik und Betrieb 1971 nr 14, 41.2
14. Allen L.J., Williams D.J.: Contacts in telephony: a search for the ideal. System Technology 1968 nr 4, s.40-48
15. Scott W.L.: Electrical contacts in telephone exchanges: contact opening and closing phenomena and quenching techniques. Part 1. Contact switching phenomena and quenching techniques. Post Office elect. Eng. J. 1969 t.61 Part 4, s.263-271
16. Scott W.L.: Electrical contacts in telephone exchanges: contact opening and closing phenomena and quenching techniques. Part 3. Practical quenching, labory tests and investigations into service failures. Post Office elect.Eng.J. 1973 t.65 Part 4, s.234-246
17. Usov V.V.: Metallovedenie električeskich kontaktov. Moskva: Gosenergoizdat 1963, s.208
18. Kaiser E.: Kennlinien und Kennwerte von Kontaktwerkstoffen der Schwachstromtechnik. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.79-86
19. Tanii T., Toma K.: Speech path contact points of the small size crossbar switches. Rev.Elect.Commun. Lab. 1968 t.16 nr 5/6, s.481-497
20. Vitenberg M.I.: Soprotivlenie električeskich kontaktov iz blagorodnyh metallov. Elektrotehnika 1972 nr 10, s.46-50

21. Budai L.: Some problems in mechanical construction of electronically controlled exchanges. Budavox Telecomm.Rev. 1967 nr 1/2, s.41-53
22. Hara T., Kitazawa T., Kudo T.: Silver and base metal alloy contact materials. Fujitsu Sci.Tech.J. 1970 t.6 nr 3, s.139-158
23. Hara T., Mano K.: On the surface contamination problems of electric contact. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.19-32
24. Belopitow N.: Wege zur Lösung des Kontaktproblems in der Schwachstromtechnik. Radio Mentor Elektron. 1968 t.34 nr 9, s.633-637
25. Belopitow N.: Möglichkeiten und gewonnene Ergebnisse bei der funkenelektrischen Auftragung von Kontaktmaterial mit rotierenden Elektroden. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.89-95
26. Kirfel M.: Kontaktkugeln - Kontaktträger. Schweiz. Maschinenmarkt 1971 t.71 nr 7, s.76-77
27. Bach H.W., Gosack U.: Industrieklimaprüfungen für nachrichtentechnische Geräte. Siemens Z. 1973 t.47 nr 5, s.373-378
28. Pope D., Gibbens H.R., Moss R.L.: The tarnishing of Ag at naturally - occurring H₂S and SO₂ levels. Corrosion Sci. 1968 t.8 nr 12, s.883-887²
29. Moslé H.: Zum Anlaufverhalten von Silber. Metall-oberfläche 1970 t.24 nr 2, s.37-72
30. Hara T., Mano K.: Tarnish - resistant contact material. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1969 t.PMP-5 nr 3, s.133-138
31. Mayer U.: Korrosionsversuche in strömender Atmosphäre. Doduco 1922-1972, Doduco, Phorzheim 1972, s.35-42

32. Elliott J.F.E., Franks A.G.: Design of telephone exchanges for corrosive atmospheres. System Technology 1969 nr 6, s.39-48
33. Abbott W.: The effects of substrate on the contact resistance of tarnish films. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1971 t.PMP-7 nr 1, s.6-10
34. Halstrøm H.L.: An effect of mechanical treatment of silver/copper alloys. Teleteknik 1968 t.12 nr 2, s.45-46
35. Chiaranzelli R.V.: Tarnish films on electric contact materials. Proc.Third Internat.Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.85-93
36. Abbott W.: Mechanism of tarnishing of precious metal contact alloys. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1969 t.PMP-5 nr 4, s.156-160
37. Wagar H.N.: The making of a good contact. Bell Lab. Rec. 1968 t.46 nr 7, s.228-234
38. Russ G.J.: Electrical characteristics of contacts contaminated with silver sulfide film. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1970 t.PMP-6 nr 4, s.129-137
39. Halstrøm H.L.: Tobacco smoke and silver contacts. Teleteknik 1968 t.12 nr 2, s.47-48
40. Pietzker W., Martin H.: Einfluss von Kunststoffdämpfen auf Edelmetallkontakte. Fernmeldetechnik 1969 t.9 nr 7, s.221-223
41. Efer K.: Über eine Prüfeinrichtung zur Nachbildung des Effekts der Reibpolymerisation an Edelmetallkontakten. Fernmeldetechnik 1971 t.11 nr 1, s.12-14,19
42. Wise E.M.: Palladium. Recovery, properties and uses. New York: Academic Press 1968, s.187

43. Kamoshita G., Hirano M., Hara N.: Inhibiting effects of PbS addition to brown powder formation on Pd alloys. Proc. Third Internat. Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.209-218
44. Thorma G.: Untersuchungen über schadhliche Einflüsse von Silikonen an Schwachstromkontakten in der Vermittlungstechnik. Fernmelde Ing. 1968 t.22 nr 7, s.1-38
45. Institut für Post und Fernmeldewesen. Anweisung zum Reinigen von Kontaktstellen, die durch Zersetzungsprodukte von Silikonölen funktionstüchtig geworden sind. Informationen, Gruppe II: Fernsprech und Fernschreibwesen, Ausgabe B: Technik und Betrieb 1970 nr 19, 41.1.
46. Dummer G.W.A., Hyde N.E.: Connectors, relays and switches. London: J.Pitman 1966, s.229
47. Omelčenko V.T.: Vybor kontaktnych materialov obezpečivajuščich povyšennuju iznosoustojčivost' slabotočnych rele postojannogo toka. Električestvo 1968 nr 11, s.64-67
48. Wolniewicz J.: Układy gasikowe w obwodach przekaźników telefonicznych. Problemy Łączności 1970 t.10 nr 52, s.1-106
49. Pullen J.: The reduction of contact erosion by the use of dissimilar metals. Proc.Third Internat. Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.303-308
50. Dekany I.L.: Kontaktprüfung mit Radioisotopen bei erschwerten Klimabedingungen. Elektrie 1971 t.25 nr 8, s.300-301
51. Iganaki N., Emukai N.: Study on telephone exchange air purification in an industrial district. Rev. Elect.Commun.Lab. 1972 t.20 nr 11/12, s.1119-1124
52. Chimičeskije metody opredelenija mikrokoncentracij agresivnych gazov v vozduche. Bull.Tech.Ekon. Inf. GOSINTI 1968 t.21 nr 11, s.50.

53. Engelhardt H.: Automatische Analysengeräte zur Gasuntersuchung. Arch.tech.Messen 1966 nr 362, s.R45-R60
54. Breuer W.: Neue Verfahren zu kontinuierlichen Spurenanalyse. Arch.tech.Messen 1969 nr 396, s.7-12
55. Rieger K.: Fussböden auf Betriebsflächen den Deutschen Post. Mitt.IPF 1969 nr 4, s.9-12
56. Stec V.E., Michajlova K.D.: Počemu vznikajut impulsnye šumy v razgovornych traktach dekadno-šagovych ATS. Vest.Svjazi 1972 nr 12, s.29-30
57. Tani T., Takahasi M., Toma K., Matumura H.: Study on contacts of crossbar switches. Rev.Elec. Commun.Lab. 1967 t.15 nr 3/4, s.245-263
58. Nishihata M., Yamaura M.: Mechanical properties of nickel silver wire spring. Rev.Elec.Communicat.Lab. 1963 t.11 nr 11/12, s.549-565
59. Nishihata M., Kumakura Y.: Mechanical properties of phosphor bronze wire spring. Rev.Elec.Communicat.Lab. 1967 t.15 nr 3/4, s.201-212
60. Shimizu Y., Muta T., Ishino Y., Ochiai A.: After-effects of plastic working and plastic hysteresis on relay spring material. Rev.Elec.Communicat.Lab. 1972 t.20 nr 7/8, s.599-612
61. Fox A.: Stress relaxation and fatigue of two electro-mechanical spring materials strengthened by thermo-mechanical processing. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1971 t.PMP-7 nr 1, s.35-45
62. Shimizu Y., Nishihata M., Muta T., Matumoto E.: Mechanical properties and weldabilities of small sized crossbar switch springs.Rev.Elect.Communicat.Lab. 1972 t.20 nr 1/2, s.71-92
63. Takamura M. i in.: Stainless steel flat spring. Rev.Elec.Communicat.Lab. 1970 t.18 nr 1/2, s.27-46

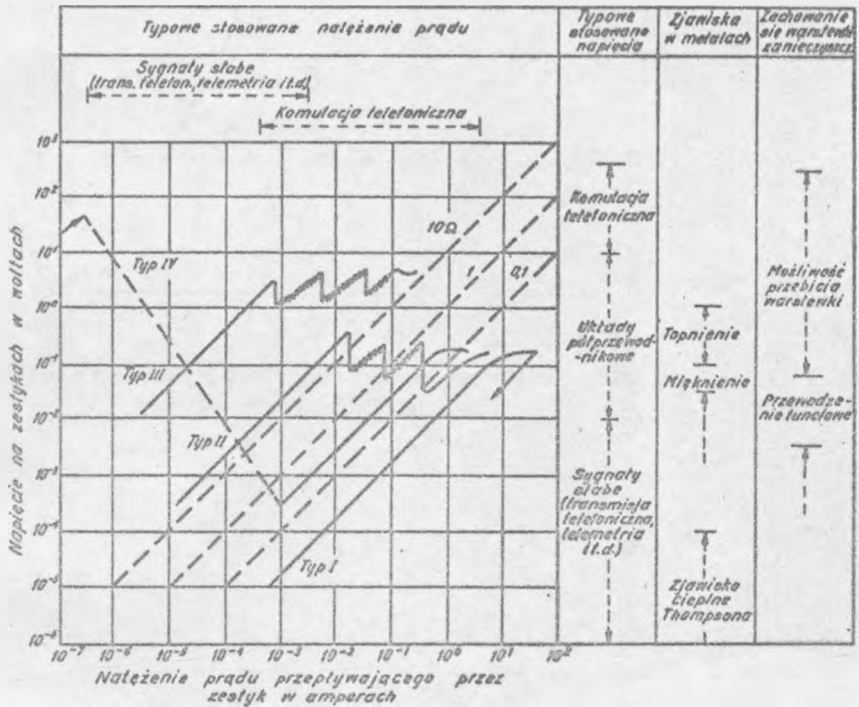
64. Nishihata M., Kumakura I.: Atmospheric exposure effect on spring materials mechanical strength. Rev.Elec.Commun.Lab. 1972 t.20 nr 11/12, s.1065-1076
65. Hermance H.W. 1 in.: Relation of airborne nitrate to telephone equipment damage. Environ.Sci. and Technol. 1971 t.5 nr 9, s.781-785
66. Nishihata M., Sekiya T., Jitsu H.: Cu-Ni-Si alloy flat spring. Rev.Elec.Commun.Lab. 1971 t.19 nr 5/6, s.726-734
67. Tomita Y. 1 in.: Cu-Ni-Si alloy spring for wire spring relays. Rev.Elec.Commun.Lab. 1971 t.19 nr 5/6, s.735-756
68. Wróblewski R., Tromblik J.: Kontaktrony. Wiad.Telekom. 1973 t.13 nr 4, s.39-50
69. Martin H.: Lebensdauerverhalten für Schutzrohrkontakten. Fernmeldetechnik 1969 t.3 nr 3, s.80-82
70. Tlamsa I., Proksch K.: Problemy konstrukce a spolehlivosti matricivých spinaču. Slabopr.Obz. 1973 t.34 nr 4, s.166-172
71. Schuring T.M.: Reed switches for telephony switching. Philips Telecomm.Rev. 1968 t.27 nr 3, s.105-123
72. Ulbrich H.: Kontaktgespräche in München. Die Zuverlässigkeit von Miniatur - Reed - Kontakten in nachrichtentechnischen Geräten. Radio Mentor Elektronik 1970 t.36, s.668
73. Kaiser E.: 5.Allunions - Tagung der UdSSR über elektrische Kontakte und Kontaktmaterialien. Fernmeldetechnik 1970 t.10 nr 1, s.C-D
74. Żołnierczyk T.: Stabilizacja oporności przejścia kontaktronów przez wstępne formowanie. Elektronika 1971 t.12 nr 9, s.377-379
75. Lohse P., Simon R.W.: Über das Verhalten von Schutzgaskontakten bei kapazitiver Belastung. NTZ 1969 t.22 nr 4, s.225-228

76. Davies T.A.: Study of metal transfer between reed contacts. Microelectronics and Reliability 1969 t.8 nr 3, s.205-210
77. Davies T.A.: Transfer of metal between light - duty electrical contacts. J.Mat.Sci. 1968 t.3 nr 3, s.314-320
78. Stecker H.: Die Kontaktstelle des Schutzrohrkontaktes und ihr Verhalten bei der mechanischen und elektrischen Belastung durch den Schaltvorgang. Fernmelde-Ingenieur 1966 t.20 nr 11, s.1-28, nr 12, s.1-27
79. Schübcker D., Schmitt M.: Influence of protective gas pressure on showering in dry reed contacts. Trans. IEEE Parts, Hybrids, Packaging 1972 t.PHP-8 nr 4, s.58-61
80. Harper C.A.: Handbook of wiring, cabling and interconnecting for electronics. New York: Mc Graw-Hill 1972, s.1142
81. Tani T., Ohasi N., Nakagawa H., Kurakami R., Yaginuma T.: Connectors for NTT's electronic switching system. Rev.Elect.Commun.Lab. 1971 t.19 nr 9/10, s.937-952
82. Bielousov A.K., Savčenko V.S.: Električeskie razjemenye kontakty v radioelektronnoj apparature. Moskva: Energia, 1967.
83. Strassmann I.: Hochleistung - Federwerkstoffe aus Beryllium - Legierungen. Elektrotechnik /NRF/ 1971 t.53 nr 20, s.16-23
84. Spengler H., Dihlmann M.: Silberlegierungen als Kontaktfederwerkstoffe für die Elektrotechnik. Metall 1968 t.22 nr 7, s.694-696
85. Martin K.: Kontaktwerkstoffe für Steckverbinder in der Nachrichtentechnik. Fernmeldetechnik 1971 t.11 nr 8, s.289-292
86. Takano E., Mano K.: The failure mode and lifetime of static contacts. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1968 t.PMP-4 nr 2, s.51-55

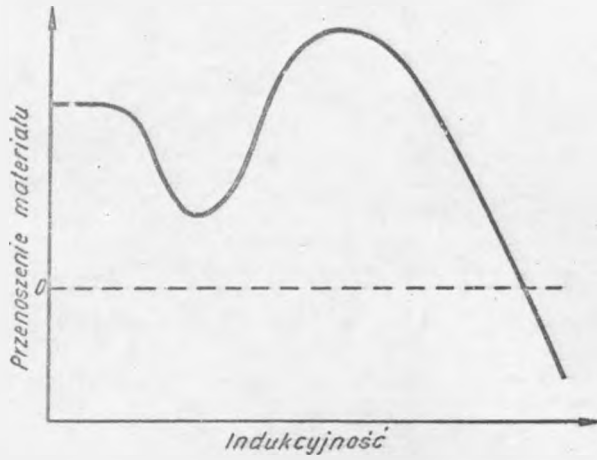
87. Camp E.K.: Electrodepositing gold for electrical contacts. Proc.Third Internat.Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.111-117
88. Baker R.G.: The evaluation of gold electrodeposits for use in dry circuits applications. Trans.IEEE Parts, Hybrids, Packaging 1973 t.PHP-9 nr 1,s.36-39
89. Antler M.: Tribological properties of gold for electric contacts. Trans. IEEE Parts, Hybrids, Packaging 1973 t.PHP-9 nr 1, s.4-14
90. Grossmann H., Horn G.: Elektrische und mechanische Eigenschaften galvanischer Hartgoldschichten für Steckverbinder. Doduco 1922-1972, Doduco, Phorzheim, 1972, s.65-72
91. Grossmann H., Merl W.: Über den spezifischen Widerstand galvanisch hergestellter Goldschichten. Metalloberfläche 1969 t.23 nr 4, s.100-103
92. Domnikov L.: Deposition of ternary gold - silver - antimony alloy. Metal Finish. 1970 t.68 nr 12, s.54-56
93. Steinberg G.:Lubrication of electric contacts with thin solid organic compounds. Proc.Third Internat. Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.97-109
94. Leeds J.M.: A survey of the porosity in gold and other precious metal electrodeposits. Trans.Inst.Met. Finish. 1969 t.47 nr 5, s.222-227
95. Shiratori T., Kutsuzawa N., Kudo T.: Deterioration of gold plated by pore corrosion. Fujitsu Sci.Tech.J. 1970 t.6 nr 3, s.117-137
96. Krumbein S.J.: Corrosion through porous gold plate. Trans.IEEE Parts, Materials, Packaging 1969 t.PMP-5 nr 2, s.89-98

97. Antler M.: Current topics in the surface chemistry of electric contacts. IEEE Internat.Conv.Record 1966 Part 9, s.6-12
98. Krumbein S.J., Antler M.: Corrosion inhibition and wear protection of gold plated connector contacts. Trans. IEEE Parts, Materials, Packaging 1968 t.PMP-4 nr 1, s.3-11.
99. Hentsch A.: Untersuchung der Härte und des Verschleisses an palladinierten und palladium-platierten Kontaktbändern. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.69-77
100. Rössiger V.: Über die Verwendung galvanischer Palladiumüberzüge auf Kontaktbauelementen für die Fernmeldetechnik und Elektronik. W: Kontakte in der Elektrotechnik. Berlin: Akademie Verlag 1967, s.187-194
101. Charlton G.: Buildings for automatic telephone exchanges. Tele 1972 t.24 nr 2, s.51-54
102. Snowball R.F.: New technique measures reliability of electric contacts. Electron.Commun. 1967 t.15 nr 11, s.37-41
103. Tanii T., Takano R., Miki Y.: Constriction resistance of electric contacts. Rev.Elect.Commun.Lab. 1968 t.16 nr 7/8, s.537-550
104. Williamson J.B.: Recent studies on the physics of electrical connector surfaces. IEEE Internat.Conv. Rec. 1966 Part 9, s.1-5
105. Carrasco R.: Analyseur électrique de contact. Haut Parleur, Electron. Professionnelle 1971 nr 1303, s.21-27
106. Whitley J.H.: A measurement of constriction resistance based on its non-linearity. Proc.Third Internat. Research Symposium on Electric Contact Phenomena, Orono, University of Maine 1966, s.65-71
107. Bock E.M., Whitley J.H.: Tunnel film resistance utilizing non-linear constriction resistance measurements. Trans.IEEE Parts,Materials,Packaging 1971 t.PMP-7 nr 1, s.11-13

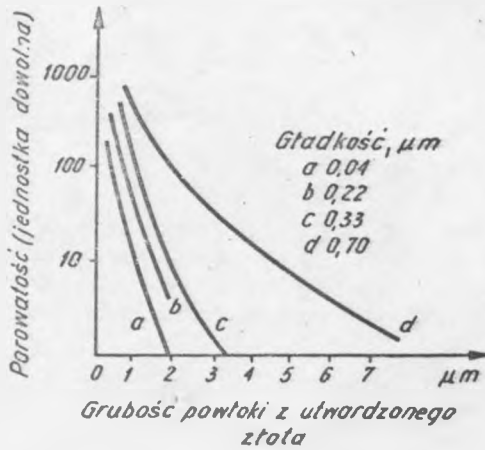
108. Leeds J.M., Townley J.R.: Techniques for measuring the porosity in precious metal electrodeposits. Part I. Metal Finish J. 1972 t.18 nr 210, s.190-194, 196-197
109. Chiarenzelli R.V.: Tarnishing studies on contact materials. Trans. IEEE Parts, Materials, Packaging 1967 t.PMP-3 nr 3, s.89-96
110. Lovelock R.T.: The testing of electroplated coatings on connectors for deterioration of contact resistance. Part 1. Electron.Compon. 1969 t.10 nr 7, s.823-826
111. Preston P.F.: An industrial atmosphere corrosion test for electrical contacts and connections. Trans.Inst.Met.Finish. 1972 t.50 nr 3, s.125-129
112. Dekany I.: Galvanotechnik in der Elektrotechnik. Tech.Rundschau 1971 t.63 nr 37, s.45-47
113. Ush H.B.: Current ideas in the philosophy of testing electrical contacts. IEEE Internat.Conv.Rec. 1966 Part 9, s.35-38
114. Kaiser E.: Zuverlässigkeitsuntersuchungen an Kontaktbauelementen. Mitt.IPF 1972 nr 4, s.24-25
115. Kontaktfehler - Suchgeräten für die Nachrichtentechnik. Automatik 1972 t.17 nr 5, s.156



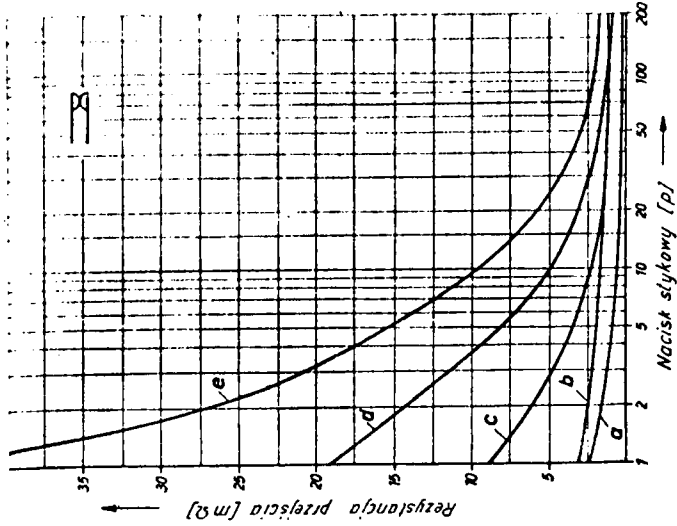
Rys. 1. Zależność napięcia zestyków od natężenia prądu dla materiałów stykowych różnego typu /Typ I - materiały odporne na czynniki atmosferyczne, Typ II-IV - materiały nieodporne na czynniki atmosferyczne, w tym typ IV pracujący tylko po przebiciu warstewki zanieczyszczenia przez omywanie/



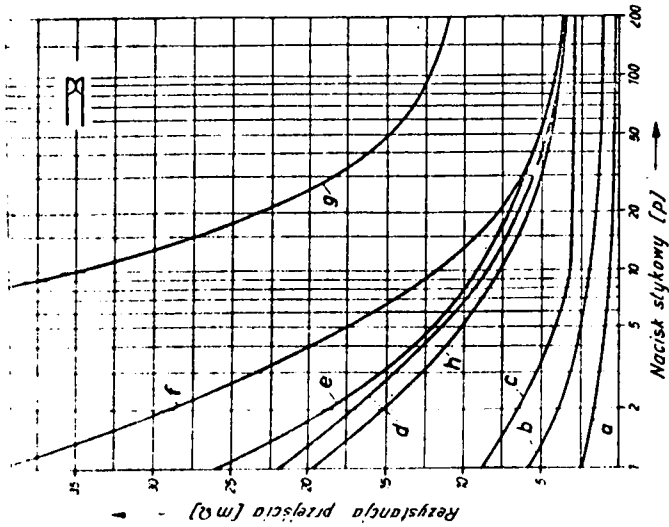
Rys. 2. Zależność między przenoszeniem materiału stykowego i indukcyjnością obwodu



Rys. 4. Zależność porowatości od grubości powłoki z utwardzonego złota



Rys. 3b. Rezystancja przejścia elementów stykowych typu $\Lambda 2 \times 0,6 \times 0,9$ według TGL 0-46240 z różnych materiałów w zależności od nacisku stykowego: a/ ΛS ; b/ ΛS + powłoka Au 12 μm ; c/ Λg + powłoka utwardzona Au 3 μm ; d/ Λg + powłoka Pd 2,5 μm ; e/ ΛG + powłoka Rh 1 μm



Rys. 3a. Rezystancja przejścia elementów stykowych typu $\Lambda 1 \times 0,6 \times 0,9$ według TGL 0-46240 z różnych materiałów w zależności od nacisku stykowego: a/ Λg ; b, ΛuCO_5 ; c/ $\Lambda gCd06$; d/ $\Lambda uNi5$; e/ $\Lambda gPd30$; f/ $PdRe5$; g/ $\Lambda gPd58Jr2$; h/ $\Lambda uPd5Co3$

