

1 9 6 7

Nr 4 (25)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 7

WARSZAWA 1967

NR 4(25)

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek  
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

**Kolegium Redakcyjne:**

---

**Przewodniczący - prof. Zenon Szpigler**  
**Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner**

**Członkowie:**

**mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,**  
**prof. Stefan Jasiński, dr Stanisław Włoszczowski,**  
**mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,**  
**mgr Zofia Życińska**

**Sekretarz Redakcji - Irena Kulko**

**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 700. Druk ukończono**  
**w maju 1968 r.**

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

## SPIS TREŚCI

	Str.
C. Niewiadomski - Zagadnienia lutowania miękkiego miedzi i jej stopów za pomocą lutownic elektrycznych	1



Cyryl Niewiadomski

ZAGADNIENIA Lutowania Miękkiego Miedzi  
I JEJ STOPÓW ZA POMOCĄ LutowNIC Elektrycznych

1. WSTĘP

Połączenia żył przewodów i kabli z końcówkami, połączenia przewodów montażowych oraz połączenia wyprowadzeń elementów elektronicznych wykonuje się u nas w kraju wyłącznie za pomocą lutowania miękkiego, to znaczy za pomocą lutowania spoiwem cynowo-ołowiowym. Inne sposoby połączeń, szeroko stosowane za granicą, a mianowicie owijanie, zgrzewanie oporowe i zgrzewanie za pomocą wyładowania kondensatorowego nie zostały dotychczas w kraju wprowadzone.

Jakkolwiek lutowanie wprowadzono wiele lat temu, jeszcze dotąd sprawia ono trudności przy produkcji, montażu i konserwacji sprzętu. Jest to spowodowane m.in. trudnością wyszkolenia wysoko wykwalifikowanych lutowaczy i kontrolerów spoin oraz nieprzestrzeganiem prawidłowej technologii lutowania, co ma rozstrzygający wpływ na jakość spoiny. Dlatego też zarówno przy odbiorze sprzętu teletechnicznego, jak i podczas jego eksploatacji stwierdza się często liczne wady połączeń elektrycznych, spowodowane przede wszystkim niewłaściwym lutowaniem. I tak za granicą uszkodzenia spowodowane niewłaściwym lutowaniem stanowią w sprzęcie teletechnicznym

i elektronicznym niekiedy nawet 25-60% wszystkich uszkodzeń [1,2].

Aby uniknąć przerw i niestabilności połączeń, trzeba więc zwracać dużą uwagę na technologię lutowania i staranną kontrolę jakości spoin. Zagadnienia te są właśnie przedmiotem niniejszego opracowania.

## 2. ZASADY TEORETYCZNE LUTOWANIA MIĘKKIEGO MATERIAŁÓW METALICZNYCH

### 2.1. Istota lutowania

Lutowanie miękkie jest to sposób łączenia materiałów metalicznych w stanie stałym za pomocą roztopionego spoiwa (lutu), którego temperatura topnienia jest znacznie niższa niż temperatura topnienia łączonych materiałów. Przeciwnie niż przy spawaniu materiały łączone nie nadtapiają się podczas lutowania, ponieważ wymagają one przy lutowaniu nagrzania do temperatury tylko nieco wyższej niż temperatura topnienia spoiwa. Dla uzyskania połączenia atomy łączonych materiałów muszą zetknąć się z atomami spoiwa, aby dzięki temu nastąpiła między nimi dyfuzja, przedtem niż spoiwo wypełni szczelinę między łączonymi materiałami i skrzepnie.

### 2.2. Zjawiska fizyko-chemiczne wpływające na lutowanie

#### 2.2.1. Utlenienie powierzchni łączonych materiałów [3]

Zasadniczym czynnikiem przeszkadzającym bezpośrednio zetknięciu się atomów łączonych materiałów z atomami

spoiwa jest utlenianie się materiałów metalicznych w powietrzu. W przypadku miedzi najpierw wytwarza się tlenek miedziowy  $\text{CuO}$ , który następnie reaguje z miedzią z wytworzeniem tlenku miedziawego  $\text{Cu}_2\text{O}$ , w następstwie czego na powierzchni miedzi powstaje bardzo cienka warstewka zewnętrzna prawie czarnego tlenku miedziowego, a pod nią grubsza, zwarta i dobrze przylegająca warstewka tlenku miedziawego o barwie czerwonej. Przy temperaturze pokojowej utlenianie przebiega początkowo szybko, a następnie coraz wolniej i praktycznie kończy się całkowicie, gdy grubość warstewki tlenków osiągnie 24 Å. Tak gruba warstewka uniemożliwia wzajemną dyfuzję atomów łączonych materiałów i spoiwa, która jest możliwa tylko wtedy, gdy odległość między atomami nie przekracza 10 Å.

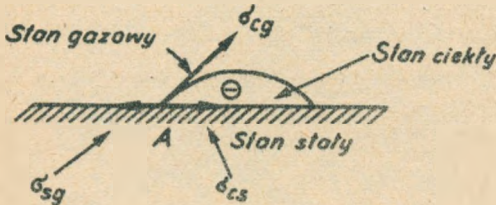
Dlatego też warstewkę tlenku należy bezwzględnie usuwać tuż przed lutowaniem lub podczas lutowania za pomocą topnika. Z tych samych względów należy usuwać z powierzchni łączonych materiałów i spoiwa wszelkie inne obce warstewki, jak zanieczyszczenia smarem lub potem, siarczki, węglany itp.

### 2.2.2. Zwilżalność łączonych materiałów spoiwem [4,5]

Z definicji lutowania wynika, że jest ono procesem przebiegającym między łączonym materiałem i spoiwem. Łączone materiały są w stanie stałym, spoiwo - w stanie ciekłym, a sam proces przebiega w ośrodku gazowym (powietrzu lub atmosferze topnika).

Aby powyższy układ znajdował się w stanie równowagi

mechanicznej, siły działające na granicy rozdziału poszczególnych stanów skupienia muszą równoważyć się (rys. 1). I tak w punkcie A, znajdującym się na płaszczyźnie rozdziału wszystkich trzech stanów skupienia uczestniczących w lutowaniu, powinny równoważyć się trzy siły napięcia powierzchniowego  $\sigma_{sg}$ ,  $\sigma_{cs}$  i  $\sigma_{cg}$ , z których dwie pierwsze działają w przeciwnym kierunku, a trzecia jest pochylona pod kątem  $\theta$  do płaszczyzny działania sił  $\sigma_{sg}$  i  $\sigma_{cs}$ .



Rys. 1. Siły działające w stanie statycznym podczas lutowania

Siła  $\sigma_{cg}$  jest to siła napięcia powierzchniowego na granicy rozdziału ciekłego spoiwa oraz pary tego spoiwa, działająca wzdłuż stycznej do powierzchni spoiwa i dążąca do zmniejszenia tej powierzchni, czyli do przyjęcia przez ciekłe spoiwo kształtu kuli. Siłę tej przeciwdziałają siła ciężenia spoiwa i siła  $\sigma_{cs}$ , czyli siła napięcia powierzchniowego między łączonym materiałem i spoiwem, dzięki czemu kropla stopionego spoiwa nie ma nigdy dokładnego kształtu kuli.

Równowaga między siłami napięcia powierzchniowego występuje (przy pominięciu siły ciężenia) wtedy, gdy




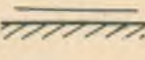
$$\sigma_{sg} = \sigma_{cs} + \sigma_{cg} \cos \theta, \quad (1)$$



przy czym  $\sigma_{sg}$  przedstawia siłę powodującą rozplywanie się spoiwa po powierzchni łączonego materiału, czyli jego zwilżalność. Miarą zwilżalności jest kąt  $\theta$ , nazywany kątem zetknięcia (lub kątem zwilżania), albo  $\cos \theta$ , nazywany współczynnikiem zwilżania. Im kąt  $\theta$  jest mniejszy, a  $\cos \theta$  większy, tym zwilżalność jest lepsza, co przedstawia poglądowo tabl. 1 [6].

T a b l i c a 1

Zależność zwilżalności (kształtu kropli ciekłego spoiwa) od kąta zetknięcia

Kąt zetknięcia		Zwilżalność
$180^\circ$		Całkowita niezwilżalność
$180^\circ > \theta > 90^\circ$		Brak zwilżalności przy pewnej adhezji między ciałem stałym i cieczą
$90^\circ > \theta > 0^\circ$		Zwilżalność ograniczona
$0^\circ$		Całkowita zwilżalność

Z przekształcenia powyższego równania wynika, że:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{sg} - \sigma_{cs}}{\sigma_{cg}} \quad (2)$$

Z analizy tego wyrażenia wynika zaś, co następuje:

1. Gdy  $\sigma_{sg} > \sigma_{cs}$ , kąt  $\theta$  jest ostry.
2. Gdy  $\sigma_{sg} < \sigma_{cs}$ , kąt  $\theta$  jest rozwarty.
3. Polepszenie zwilżalności, czyli zwiększenie  $\cos \theta$ , otrzymuje się przez zmniejszenie  $\sigma_{cs}$  i zwiększenie  $\sigma_{sg}$ .
4. Polepszenie zwilżalności uzyskuje się także przez zmniejszenie  $\sigma_{cg}$ , gdy  $\sigma_{sg} - \sigma_{cs} > 0$ .

### 2.2.3. Rozpływanie się spoiwa po powierzchni łączonego materiału [4,5]

Rozpływanie się spoiwa po powierzchni łączonego materiału, które jest tym korzystniejsze, im większa jest powierzchnia pokryta przez określoną masę spoiwa, zależy w zasadzie od zwilżalności, charakteryzowanej przez rodzaj łączonego materiału i spoiwa. Rozpływanie się to można jednakże znacznie polepszyć za pomocą różnych, niżej omówionych środków.

Pierwszym i najważniejszym z tych środków jest oczyszczenie powierzchni łączonego materiału, m.in. za pomocą topnika, dzięki czemu zmniejsza się napięcie powierzchniowe  $\sigma_{cs}$ . Użycie topnika powoduje ponadto powstawanie zmienionych napięć powierzchniowych  $\sigma_{st}$  między łączonym materiałem i topnikiem oraz  $\sigma_{ct}$  między ciekłym spoiwem i topnikiem, przy czym topnik jest zwykle tak dobierany, aby  $\sigma_{st} > \sigma_{sg}$  i  $\sigma_{ct} < \sigma_{cg}$ , co również polepsza zwilżalność i tym samym rozpływanie się spoiwa.

Rozpływaniu się spoiwa sprzyja poza tym chropowatość powierzchni łączonego materiału oraz wzrost temperatury spoiwa, powodujący zmniejszenie jego lepkości.

Kryterium podatności do rozpływania się jest różnica między adhezją (przyczepnością) ciekłego spoiwa do powierzchni łączonego materiału  $A_a$  i kohezją (spójnością) atomów spoiwa w stanie ciekłym  $A_k$ . Adhezja może być wyrażona zależnością

$$A_a = \sigma_{sg} + \sigma_{cg} - \sigma_{cs}, \quad (3)$$

podczas gdy kohezja może być wyrażona pracą potrzebną do utworzenia w spoiwie dwóch nowych powierzchni rozdzi-  
 łu

$$A_k = 2 \sigma_{cg} \quad (4)$$

Ponieważ zaś z równania (1) widać, że

$$\sigma_{sg} - \sigma_{cs} - \sigma_{cg} \cos \theta = 0, \quad (5)$$

aby spoiwo mogło całkowicie rozplynać się, trzeba więc, żeby

$$\theta = 0 \quad \text{i} \quad \sigma_{sg} \geq \sigma_{cs} + \sigma_{cg}$$

Różnica  $K_r = A_a - A_k$  nazywa się współczynnikiem roz-  
 pływania się. Współczynnik ten wyraża się zależnością  
 wynikającą z odjęcia równan (3) i (4)

$$K_r = \sigma_{sg} - \sigma_{cg} - \sigma_{cs}$$

lub też z rozwiązania równań (3) i (5)

$$A_a = \sigma_{cg} (\cos \theta + 1) \quad (6)$$

i odjęcia od równania (6) wyrażenia (4)

$$K_r = \sigma_{cg} (\cos \theta - 1) \quad (7)$$

#### 2.2.4. Zjawisko włoskowatości

Jakość lutowania zależy również od dobrego wypełnienia szczeliny między łączonymi materiałami, które zależy z kolei od własności kapilarnych spoiwa. Dlatego też spoiwo wypełnia tym lepiej szczelinę, im większe jest napięcie powierzchniowe ciekłego spoiwa, im mniejszy jest kąt zetknięcia  $\theta$ , im mniejsza jest szczelina oraz im wyższa jest temperatura spoiwa (mniejsza jego gęstość).

#### 2.2.5. Siły powierzchniowego przyciągania i dyfuzja [5,7]

Wzajemne oddziaływanie atomów łączonego materiału i spoiwa niezbędne jest już do zwilżenia przez spoiwo, które jest niemożliwe bez działania sił powierzchniowych przyciągania atomów (adhezji). Do uzyskania odpowiedniej wytrzymałości spoiny niezbędna jest natomiast w większości przypadków dyfuzja między atomami spoiwa



oraz łączonego materiału i tylko niekiedy jedynie samo działanie sił powierzchniowych przyciągania atomów.

Przy lutowaniu miedzi i jej stopów spoiwami cynowo-  
-ołowiowymi zachodzi tzw. dyfuzja reakcyjna, polegająca  
na wytwarzaniu się między spoiwem i łączonym materiałem  
warstewki związków międzymetalicznych  $Cu_6Sn_5$  i  $Cu_3Sn$ .  
Związki te są niestety kruche, wobec czego przy dużej  
grubości warstewki następuje znaczne pogorszenie wytrzy-  
małości spoiny, co zmusza do lutowania z dużą szybko-  
ścią przy możliwie niskiej temperaturze w celu ograni-  
czenia grubości warstewki związków międzymetalicznych.  
Pamiętać jednak należy, że za szybkie lutowanie oraz za  
szybkie chłodzenie po lutowaniu są także niekorzystne,  
ponieważ wskutek takiego postępowania może nie zdążyć  
zajść dyfuzja.

### 3. TECHNOLOGIA LUTOWANIA

#### 3.1. Skład i własności spoiw

Własności spoiw stosowanych do lutowania powinny być  
następujące [5]:

- temperatura topnienia spoiwa powinna być niższa  
niż łączonych materiałów,

- spoiwo powinno dobrze zwilżać łączony materiał o-  
raz łatwo po nim rozplýwać się,

- w stanie stopionym spoiwo nie powinno utleniać się  
lub też wytwarzać tlenki łatwo rozpuszczalne w topniku,

- własności kapilarne i mała lepkość spoiwa powinny zapewniać dobre wypełnianie przez niego szczeliny między łączonymi materiałami,

- zakres temperatur krzepnięcia spoiwa powinien być możliwie mały,

- spoiwo powinno mieć dobre własności wytrzymałościowe i plastyczne,

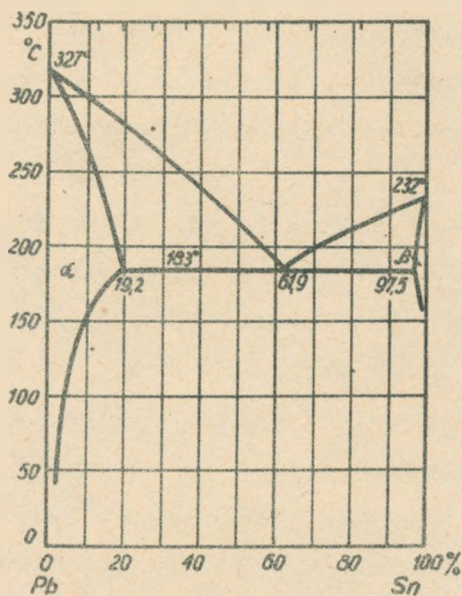
- w miejscu połączenia materiałów nie powinna występować korozja wskutek dużej różnicy potencjałów elektrolitycznych materiału łączonego i spoiwa,

- przewodność elektryczna właściwa spoiwa powinna być możliwie duża.

Do lutowania miękkiego miedzi i jej stopów najlepiej nadają się spoiwa cynowo-ołowiowe, których układ równowagi przedstawia rys. 2. Stop o zawartości 61,9% cyny i 38,1% ołowiu ma w stanie stałym jednofazową strukturę eutektyki o temperaturze topnienia  $183^{\circ}\text{C}$ , podczas gdy stopy o większej zawartości cyny mają w stanie stałym strukturę dwufazową z wydzieleniami kryształów roztworu stałego ołowiu w cynie na tle eutektyki, a stopy o mniejszej zawartości cyny podobną strukturę dwufazową, lecz z wydzieleniami roztworu stałego cyny w ołowiu. Stopy o strukturze dwufazowej topią się w pewnym zakresie temperatur, zależnym od składu stopu, przy czym początek topnienia i koniec krzepnięcia są zawsze przy tej samej temperaturze eutektycznej.

W elektrotechnice używa się tylko spoiw o zawartości

40%, 50% lub 63% cyny, których skład ustala norma PN/M-69410. Spoiwa te są produkowane w dwóch gatunkach, z których jeden zawiera co najwyżej 0,15 - 0,25% antymonu (spoiwa LC40, LC50 i LC63), a drugi ma dodatek 0,5 - 2% antymonu (spoiwa LC40A i LC50A). Do urządzeń teletechnicznych zaleca się stosować raczej spoiwo o małej zawartości antymonu, ponieważ dodatek antymonu zwiększa kruchość spoiny i pogarsza zwilżalność przy zawartości



Rys. 2. Układ równowagi cyny z ołowiem

ponad 0,3%, co przedstawia za duże niekorzyści w stosunku do polepszania przez niego wytrzymałości spoiny [4]. Spoiw o większej zawartości cyny nie stosuje się, gdyż nie mają one żadnych istotnych zalet w porównaniu ze spoiwami o zawartości 40-63% cyny w połączeniach elementów i urządzeń elektrycznych.



W ostatnich latach do spoiw cynowo-ołowiowych wprowadza się coraz szerzej dodatek 1-2% miedzi, który znacznie zmniejsza rozpuszczanie się w spoiwie miedzi z grota lutownicy i tym samym bardzo polepsza jego trwałość [8]. Spoiwo takie o oznaczeniu LSn60Cu2 jest produkowane w NRD, a poza tym również na Węgrzech i w NRF. Dzięki stosowaniu tego spoiwa uzyskuje się co najmniej czterokrotne zwiększenie trwałości grota lutownicy, poza tym zaś szczególne znaczenie ma stosowanie powyższego spoiwa przy ręcznym lutowaniu obwodów drukowanych, których miedziana ścieżka przewodząca, podobnie jak grot, łatwo rozpuszcza się w ciekłym spoiwie bez dodatku miedzi [9,10,11].

Spośród zanieczyszczeń szczególnie szkodliwe są aluminium, magnez, cynk, kadm, żelazo, złoto i siarka, które pogarszają lutowność spoiwa lub powodują jego kruchość, natomiast w stosunkowo znacznych ilościach nie jest szkodliwe zanieczyszczenie srebrem, niklem, bizmitem i arsenem. Bardzo polepsza jakość spoiwa dobre jego rafinowanie i odgazowanie podczas wytapiania, dzięki czemu otrzymuje się polepszenie zwilżalności spoiwa i jakości powierzchni spoiny, a tym samym niezawodności lutowania [4].

Największą wytrzymałość na rozciąganie, ścinanie i pełzanie wykazuje spoiwo o składzie eutektycznym lub bardzo zbliżonym do eutektycznego [4], natomiast największą wytrzymałość zmęczeniową ma spoiwo o zawartości 50% cyny [9]. Także najlepszą płynność [5] i najlepsze



własności kapilarne ma spoiwo o składzie eutektycznym [6], które ponadto ma najniższą temperaturę topnienia i krzepnie przy określonej temperaturze przeciwnie niż spoiwa o składzie podeutektycznym i nadeutektycznym, krzepnące zawsze w pewnym zakresie temperatur. To ostatnie krzepnięcie jest niekorzystne wobec wytwarzania się porów w spoinie i możliwości znacznego pogorszenia własności wytrzymałościowych spoiny, gdy materiał łączony zostanie poruszony z jakichkolwiek względów przed całkowitym skrzepnięciem spoiwa [9]. Dlatego też do wykonywania połączeń lutowanych elementów i urządzeń teletechnicznych należy używać w zasadzie spoiwa w gatunku LC63 według PN/M-69410 lub też spoiwa w gatunku LC50, gdy zależy na szczególnie dobrej wytrzymałości zmęczeniowej spoiny.

### 3.2. Wstępne cynowanie

Znacznym ułatwieniem lutowania i środkiem do polepszenia jakości spoin jest uprzednie pocynowanie łączonego materiału. Dlatego też zaleca się stosować pocynowanie zwłaszcza przewodów montażowych, które powinny być zamawiane z żyłami pocynowanymi dla uniknięcia cynowania ich końców lutownicą lub przez zanurzenie w kąpeli spoiwa przed lutowaniem.

Do cynowania zaleca się stosować czystą cynę, przy czym cynowanie powinno być prowadzone w ciekłej kąpeli [9]. Im grubsza jest warstwa cyny, tym łatwiej i szybciej przebiega lutowanie [12].

### 3.3. Rodzaje i własności topników

Własności topnika, którego zadaniem jest oczyszczenie powierzchni łączonego materiału oraz zmniejszenie napięcia powierzchniowego stopionego spoiwa, powinny być następujące [6, 13]:

- temperatura topnienia topnika powinna być niższa niż temperatura topnienia spoiwa, a temperatura parowania topnika wyższa niż temperatura topnienia spoiwa,

- przy temperaturze lutowania topnik powinien być dostatecznie płynny oraz powinien równomiernie rozplýwać się po łączonych materiałach i łatwo wnikać w szczelinę połączenia; za duża płynność topnika nie jest jednak pożądana ze względu na trudności posługiwania się topnikiem,

- topnik powinien być chemicznie obojętny względem łączonego materiału i spoiwa,

- topnik powinien całkowicie rozpuszczać lub wiązać związki niemetaliczne znajdujące się na powierzchni łączonych materiałów i spoiwa oraz chronić powierzchnię łączonego materiału przed utlenianiem podczas nagrzewania przy lutowaniu,

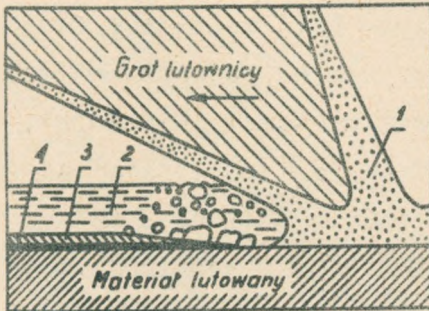
- topnik powinien reagować przy temperaturze możliwie bliskiej do temperatury topnienia spoiwa oraz z dostateczną szybkością,

- adhezja między stopionym topnikiem i łączonym materiałem powinna być mniejsza niż między tym materiałem

i stopionym spoiwem, aby spoiwo mogło łatwo wypierać topnik podczas lutowania (rys. 3),

- topnik nie powinien zmieniać składu chemicznego podczas składowania i podczas nagrzewania przy lutowaniu,

- pozostałości topnika i rozpuszczone w nim związki niemetaliczne powinny wypływać na powierzchnię spoiwa po zetknięciu się ciekłego spoiwa z łączonym materiałem,



Rys. 3. Schemat wypierania topnika przez stopione spoiwo

1 - ciekłe spoiwo, 2 - ciekły topnik, 3 - topnik w stanie stałym, 4 - warstwa tlenków

- pozostałości topnika powinny być łatwo usuwalne z powierzchni łączonych materiałów przez zmywanie,

- pozostałość topnika lub jego para wytwarzająca się podczas lutowania nie powinny powodować korozji łączonych materiałów albo też działać na inne materiały urządzeń i elementów.

To właśnie ostatnie wymaganie jest rozstrzygające w przypadku doboru topnika do lutowania urządzeń teletechnicznych i elektronicznych, ponieważ para lub pozostałość topnika agresywnego chemicznie mogą działać na przewodniki elektryczne, zmniejszając ich przekrój i zwiększając opór elektryczny, względnie powodując nawet prze-



żarcie (np. cienkich drutów), a także zwiększać upływność materiałów elektroizolacyjnych oraz powodować zwarcia poprzez warstewki produktów korozji. Usuwanie pozostałości topnika jest natomiast w tych urządzeniach trudne lub niemożliwe.

Z powyższych względów do lutowania urządzeń teletechnicznych i elektronicznych stosuje się jako topnik kalafonię o liczbie kwasowej ponad 160 mg KOH [19], której pozostałości po lutowaniu nie wzbudzają żadnych obaw pod względem działania korozyjnego. Kalafonia jest mieszaniną kilku izomerycznych kwasów dwuterpenowych, o zawartości 80-90% kwasu abietynowego, mającego temperaturę topnienia  $174^{\circ}\text{C}$ . Kwas ten może reagować z tlenkami miedzi z utworzeniem soli miedzi o barwie zielonej, na czym właśnie polega m.in. jego działanie jako topnika. Zaletami jego są ponadto niehigroskopijność oraz bardzo dobre własności elektroizolacyjne.

Jedyną wadą kalafonii jest mała aktywność, co przedłuża czas lutowania lub je uniemożliwia, gdy powierzchnia łączonego materiału jest silnie zanieczyszczona. Dlatego też od dawna usiłuje się zwiększyć aktywność kalafonii przez dodatek innych substancji organicznych, który wymaga jednak zawsze sprawdzenia pod względem działania korozyjnego i wpływu na własności dielektryczne materiałów elektroizolacyjnych [14,15], aby uniknąć znanych u nas w kraju przykrych skutków użycia niewłaściwego topnika. Szczególnie niekorzystne pod względem korozyjnym są m.in. chlorowodorek aniliny, mocznik, kwas glutaminowy, kwas mlekowy, hydrazyna itd., niektóre z



nich nawet w ilości zaledwie 1% [8]. Za pewny pod względem braku działania korozyjnego jest uważany według normy DIN 8511 [16] tylko dodatek kwasu stearynowego, salicylowego i adypinowego, a więc związków nie zawierających chloru, przy czym nieszkodliwość względnie miała szkodliwość dodatku kwasu salicylowego w ilości do 5% potwierdzana jest przez różne prace [15,17]. Powyższa norma niemiecka dopuszcza także niekiedy dodatki związków zawierających chlor, na przykład chlorowodoru kwasu glutaminowego, co znajduje odzwierciedlenie również w normie angielskiej [18] i indyjskiej [19], dopuszczających aktywację kalafonii związkami organicznymi zawierającymi chlor, przy czym dodatek tych związków nie może przekraczać 3-4% w stosunku do kalafonii, a zawartość chloru nie powinna być większa niż 0,5% w przeliczeniu na chlorek. Tym niemniej norma niemiecka zaznacza, że każdorazowe użycie kalafonii aktywowanej wymaga uprzedniego sprawdzenia wpływu jej pozostałości na korozję, a według badań przeprowadzonych w USA [20] pozostałość topnika aktywowanego chlorowodorkiem kwasu glutaminowego trzeba bezwzględnie usuwać, gdyż ma on działanie korozyjne.

Niebezpieczeństwo stosowania aktywowanej kalafonii spowodowało, iż jest ono dotychczas zabronione w przemyśle teletechnicznym USA [21]. Podobne stanowisko zajęto ponad 10 lat temu w Szwajcarii [8]. U nas w kraju nie ma pod tym względem żadnych ograniczeń, a przemysł metali nieżelaznych produkuje spoiwa rdzeniowe z kalafonią balsamiczną w gatunku 3A z dodatkiem około

1,5% kwasu mlekowego. W jakiej mierze ten dodatek jest właściwy i uzasadniony nie zostało to, o ile dobrze wiadomo, poparte żadnymi badaniami<sup>x)</sup>.

Niektórzy producenci zagraniczni dodają ponadto do kalafonii plastyfikatory, aby uniknąć odpryskiwania podczas eksploatacji pozostałości topnika. Kalafonia bez dodatku plastyfikatora staje się bowiem po pewnym czasie krucha, a jej pozostałość po lutowaniu odpryskuje, co przy obecnym dużym zagęszczeniu okablowania i elementów może spowodować dostanie się odprysków między styczki przekaźników lub przełączników, gdy znajdują się one w pobliżu spoin. Jeżeli natomiast kalafonia zawiera plastyfikator, nie odpryskuje ona po wyschnięciu nawet przy znacznych zmianach temperatury [9,22].

W celu ułatwienia manipulacji podczas lutowania wykonuje się je najczęściej tzw. spoiwami rdzeniowymi, czyli spoiwami w postaci wytłoczonej rurki, której wnętrze wypełnia się kalafonią podczas wytłaczania. Dzięki takiemu wykonaniu spoiwo nakłada się w jednej operacji z topnikiem, co zwiększa wydajność lutowania, ułatwia lutowanie w trudno dostępnych miejscach, zmniejsza straty spoiwa i topnika oraz polepsza jakość spoiny. Dzięki odpowiedniej zawartości topnika w spoiwie można natomiast właściwie dozować topnik przy lutowaniu, poza tym zaś

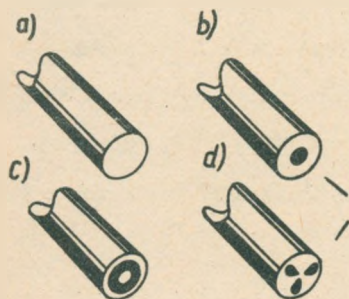
---

<sup>x)</sup> Według H. Künzlera i H. Bohrena [8] dodatek kwasu mlekowego jest szkodliwy. Badania ich dotyczyły jednak pasty lutowniczej zawierającej 50% kwasu mlekowego. Także E. Lüder [7] krytykuje stosowanie kwasu mlekowego.

stosowanie spoiwa rdzeniowego zabezpiecza przed zanieczyszczeniem topnika i zapewnia topnienie spoiwa dopiero wtedy, gdy topnik jest już podgrzany i znajduje się w stanie najbardziej aktywnym [6].

Najprostszym wykonaniem spoiwa rdzeniowego jest rurka ze spoiwa ze współśrodkowym rdzeniem z topnika, przy czym najczęściej są produkowane takie spoiwa o średnicy 1-5 mm, zawierające 0,5-4% topnika w stosunku do ciężaru spoiwa [4,6,18,19,23]. Możliwość nieciągłości topnika w spoiwach rdzeniowych skłoniła do produkowania ich z rdzeniem profilowym (np. gwiazdzistym) lub też z kilkoma rdzeniami, co miało zmniejszyć prawdopodobieństwo przerw w doprowadzaniu spoiwa podczas lutowania. Ponieważ przyczyny powstawania przerw topnika są w tym samym przekroju spoiwa jednak takie same, pomysł ten okazał się nieprawidłowy i zastąpiony produkowaniem spoiwa rdzeniowego, w którym topnik znajduje się w spoiwie w postaci współśrodkowej rurki [4].

Innym sposobem jednoczesnego nakładania spoiwa i topnika jest pokrywanie pastami lutowniczymi, czyli zawiesinami sproszkowanego spoiwa w ciekłym topniku, którym



Rys. 4. Porównanie budowy różnych spoiw: a - spoiwo w postaci pręta, b - spoiwo rdzeniowe zwykłe, c - spoiwo rdzeniowe z rdzeniem współśrodkowym /Cen-Tri-Core/, d - spoiwo trójrdzeniowe

najczęściej jest roztwór kalafonii w alkoholu etylowym (w USA stosuje się alkohol izopropylowy), znajdujący się w paście w ilości 10–20%. Pokrywanie pastą materiałów łączonych przez zanurzenie lub pędzlem stosuje się wtenczas, gdy skomplikowany kształt łączonych materiałów utrudnia inne sposoby lutowania. W pozostałych przypadkach, mimo bardzo licznych zalet, past lutowniczych nie stosuje się z powodu wysokiej ceny.

W rzadkich przypadkach stosuje się oddzielnie spoiwo i topnik, najczęściej w takim przypadku o składzie:

85% alkoholu etylowego  
15% kalafonii

lub

850 ml alkoholu etylowego  
100 ml gliceryny  
50 g kalafonii.

Pierwszy topnik sporządza się przez roztarcie kalafonii na proszek w moździerzu porcelanowym i rozpuszczenie jej w alkoholu, po czym roztwór przesącza się przez watę szklaną i podgrzewa przez 2 godz. w kolbie z chłodnicą zwrotną na łaźni wodnej o temperaturze 75°C. Drugi topnik sporządza się przez zmieszanie alkoholu z gliceryną oraz wlanie tej mieszaniny do stopionej i przesączonej przez gazę kalafonii. W celu lepszego wymieszania mieszaninę podgrzewa się do temperatury 80–90°C, mieszając bagietką. Gotowy topnik można przechowywać 4–5 dni [6].



### 3.4. Czas i temperatura lutowania

Zarówno ze względu na wydajność lutowania jak i na jakość spoiny lutowanie należy prowadzić szybko, unikając jednak nadmiernego nagrzewania. Gdy bowiem lutowanie trwa za długo, wtedy wytwarza się za gruba warstewka związków międzymetalicznych, stanowiąca słabe miejsce spoiny, ponieważ pękanie spoiny przy działaniu sił rozciągających zachodzi z zasady na granicy związku międzymetalicznego i spoiwa [5,8]. Lutowanie nie może również trwać za krótko, gdyż oczyszczenie przez topnik powierzchni łączonego materiału oraz dyfuzja atomów między spoiwem i łączonym materiałem wymagają zawsze pewnego czasu. Czas ten przy użyciu odpowiednich lutownic i topników wynosi przy pracy taśmowej do 2 sekund.

Za wysoka temperatura lutowania również może być przyczyną uszkodzeń łączonych elementów elektronicznych, zwłaszcza półprzewodnikowych, szczególnie czułych na przegrzanie. Ponadto za wysoka temperatura może być powodem nadmiernego utleniania się spoiwa i przedostawania się tlenków do spoiny, co pogarsza jej wytrzymałość zmęczeniową i odporność przeciw korozji czynników atmosferycznych. Poza tym wskutek za wysokiej temperatury lutowania następuje najpierw pogorszenie działania kalafonii jako topnika, a następnie jej spalanie i zwęglenie [4] oraz ewentualnie nadmierne parowanie aktywatorów [8].

Z większości badań wynika, że temperatura spoiwa podczas lutowania powinna być wyższa o 60-100<sup>o</sup> w stosunku

do temperatury początku krzepnięcia (likwidusu) spoiwa [12,24]. Dlatego też temperatura spoiw LC63 i LC50 powinna wynosić 250-280°C, a spoiwa LC40 280-310°C [12].

### 3.5. Wielkość szczeliny między łączonymi materiałami

Własności wytrzymałościowe spoiny zależą nie tylko od składu spoiwa, rodzaju łączonych materiałów, zastosowanego topnika i warunków lutowania, lecz również od wielkości szczeliny między łączonymi materiałami. Przy lutowaniu miedzi i jej stopów spoiwem cynowo-olowiowym optymalna szczelina wynosi około 0,1 mm, przy czym za mała szczelina może być przyczyną niewypełnienia spoiwem z powodu trudności dostania się do niej spoiwa, a za duża szczelina - z powodu niedostatecznych w takich warunkach własności kapilarnych. Niewypełnienie spoiwem szczeliny powoduje oczywiście pogorszenie własności wytrzymałościowych spoiny [4,5].

Optymalna szczelina jest wypełniona tylko związkiem międzymetalicznym miedzi z cyną, którego własności wytrzymałościowe są lepsze niż spoiwa. Dlatego właśnie wytrzymałość mechaniczna dobrej spoiny jest lepsza niż wytrzymałość spoiwa [6].

### 3.6. Lutownice elektryczne

Do lutowania miękkiego urządzeń i elementów elektronicznych oraz teletechnicznych używa się lutownic elektrycznych. Zadaniem ich jest roztopienie spoiwa i prze-

niesienie go na łączone materiały z jednoczesnym nagrzaniem powierzchni tych materiałów.

Zależnie od zasady działania odróżnia się lutownice zwykle, których grot nagrzewa się ciepłem doprowadzanym z elementu grzejnego, oraz lutownice transformatorowe, w których grot ogrzewany jest przepływającym przez niego prądem zwarcia. Zależnie od rodzaju pracy odróżnia się natomiast lutownice na pracę ciągłą i lutownice na pracę dorywczą. Norma PN-64/E-77077 ustala, że moc lutownic nie przekracza 1000 W, a ciężar grotu 1 kg.

Według powyższej normy grot powinien być z miedzi, ponieważ miedź odznacza się dużą pojemnością cieplną, niezbędną do uniknięcia gwałtownego oziębiania się grotu po zetknięciu z zimnym łączonym materiałem, oraz dużym przewodnictwem cieplnym, zapewniającym szybki przepływ ciepła od lutownicy do łączonych materiałów i dzięki temu nagrzewanie przede wszystkim samego miejsca spajania, a nie całego przedmiotu. Groty z miedzi szybko jednak niszczą się wskutek utleniania się miedzi w wyniku nagrzania lutownicy i działania topnika oraz wskutek rozpuszczania się miedzi w spoiwie, wobec czego temu ostatniemu zjawisku przeciwdziała się, jak wspomiano, przez stosowanie spoiwa z dodatkiem miedzi. Natomiast w celu zmniejszenia utleniania się miedzi groty nikluje się lub wykonuje z mosiądzu wysokoniklowego [10], niklu [25], względnie brązu berylowego o zawartości 0,5% berylu [26]. Stosuje się także w tym celu pokrywanie galwaniczne grota żelazem albo stopem Fe-Ni, pokrywanie

elektroerozyjne srebrem lub też platerowanie grota płytami z czystego żelaza [4,10].

Aby zapewnić intensywne i we właściwej ilości doprowadzenie ciepła do miejsca lutowania, należy dobrać lutownicę o odpowiedniej masie grota, a tym samym mocy. Orientacyjny dobór lutownicy zależnie od przeznaczenia umożliwiał tabl. 2 [27], podczas gdy dokładne ustalenie niezbędnej mocy lutownicy przy lutowaniu na taśmie produkcyjnej jest możliwe za pomocą metody opracowanej przez Schallehna [28].

Wobec coraz większej miniaturyzacji elementów elektronicznych zaczęto ostatnio produkować lutownice zminiaturyzowane, z grotom o kształcie zaostrej igły o średnicy 0,1 mm, mocy 5 i 8 W, zasilane prądem o napięciu 6 V, o ciężarze 4,5 G w przypadku lutownicy o mniejszej mocy. Lutownice te nadają się do bardzo precyzyjnych lutowań, przeprowadzanych nawet z kontrolą pod mikroskopem [29,30], przy czym najwygodniejsze do takiego lutowania są lutownice z uchwytem pistoletowym.

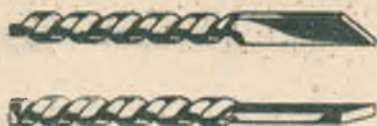
Zależnie od ustawienia grotu odróżnia się lutownice proste, w których grot jest umieszczony wzdłuż osi trzonu lub jest do niego równoległy, oraz lutownice kątowe, w których grot lub jego część są ukośne albo prostopadłe względem trzonu głowicy. Lutownice większej mocy mają groty odkute z prętów, przy czym część robocza grota jest ścięta klinowo albo też ma kształt stożka o ściętym wierzchołku, ostrosłupa lub inny. Natomiast lutownice małej mocy mają przeważnie grot w kształcie wydłużonego stożka. Ostatnim pomysłem jest grot przedstawiony



## Zastosowanie lutownic zależnie od ich mocy

Moc lutownicy W	Średnica grota mm	Zastosowanie lutownic
12-18	0,8-1,6	Obwody drukowane o grubości warstwy miedzi 0,5 mm Obwody scalone Druty o średnicy mniejszej niż 0,25 mm
20-30	1,6-4,8	Obwody drukowane o grubości warstwy miedzi 0,75 mm Elementy półprzewodnikowe, druty o średnicy 0,25-0,5 mm
40-50	4,8-6,3	Obwody drukowane o grubości warstwy miedzi 1,5 mm Cokoły lamp miniaturowych, złącza wtykowe Druty o średnicy 0,5-0,8 mm
50-100	6,3-9,3	Elementy standardowe, druty o średnicy 0,9-1,3 mm
100-150	6,3-9,3	Szybkie lutowanie elementów standardowych, lutowanie ram
200-300	12,6-15,5	Cienkie blachy i wyroby z blachy, siatki

na rys. 5 [30], którego część roboczą w kształcie płaskownika można znacznie łatwiej przywrócić do pierwotnego kształtu, po utlenieniu lub zanieczyszczeniu, niż grotów o innym kształcie części roboczej.



Rys. 5. Grot w postaci płaskownika w części roboczej skręcony śrubowo w części grzejnej /Uni-Wendelspitz/

Lutownice uniwersalne, tzn. lutownice z wymiennymi grotami, mają przeważnie także wymienne elementy grzejne. Niekiedy lutownice mają poza tym grotty cylindryczne zakończone stożkowo, które można wysuwać z głowicy na długość do 10 mm, dzięki czemu można zmieniać w pewnym zakresie temperaturę części roboczej grotu [31].

Nowoczesne lutownice mają zwykle wyłączniki bimetaliczne lub przyciskowe, wyłączające dopływ prądu w chwili położenia lutownicy na podstawce. Jeszcze lepsze są lutownice półautomatyczne, w których uchwycie znajduje się przełącznik rtęciowy, tak ograniczający dopływ prądu do elementu grzejnego przy położeniu lutownicy grotem do góry, aby temperatura grotu nie przekraczała  $280^{\circ}\text{C}$ , co bardzo polepsza trwałość grotu. Przy znajdowaniu się lutownicy w pozycji lutowania przełącznik włącza natomiast cały element grzejny (31). Prócz tego stosuje się lutownice z oddzielnymi przełącznikami z trzema zakresami nagrzewania [31].

Firma Weller Electric Co. - USA dostarcza lutownice z samoczynną regulacją temperatury, których grot ma krążek ze stopu Ni-Fe o własnościach magnetycznych przy temperaturze pokojowej. Krążek ten przyciąga magnes trwały do czasu, aż grot nie nagrzej się i osiągnie temperaturę punktu Curie, przy której krążek traci własności magnetyczne. W tym momencie magnes zostaje odciągnięty

przez sprężynę, co powoduje przerwanie obwodu grzejnego. Po następnym spadku temperatury poniżej temperatury punktu Curie krążek staje się ponownie materiałem o właściwościach magnetycznych, co powoduje z kolei zamknięcie obwodu elementu grzejnego. Skład stopu krążka musi być dobrany zależnie od wymaganej temperatury grotu [27].

Firma Development Associates-USA dostarcza urządzenia do lutowania z jeszcze bardziej precyzyjną samoczynną regulacją temperatury za pomocą układów elektronicznych, które nadają się szczególnie do lutowania obwodów drukowanych i innych elementów precyzyjnych, zwłaszcza przy wykonywaniu pojedynczych urządzeń [27].

### 3.7. Niektóre szczegóły operacji lutowania [6,13]

Przed rozpoczęciem lutowania należy usunąć izolację z żył przewodów lub kabli i pocynować ich końce, jeżeli użyto przewodów z nie pocynowanymi żyłami. Izolację należy usuwać na takiej długości, aby wystarczyła ona do dobrego umocowania żyły do odpowiedniego elementu. Jeżeli powierzchnia żył pocynowanych jest utleniona, wskazane jest oczyszczenie jej papierem ściernym. Końcówki i wyprowadzenia, do których są przylutowywane przewody i żyły kabli, powinny być także pocynowane, co zabezpiecza je przed utlenianiem i koniecznością oczyszczania przed lutowaniem, niezbędnego w przypadku utlenionej powierzchni wobec małej aktywności usuwania tlenków przez kalafonię.

Pocynowania wymaga także grot lutownicy, ponieważ



pocynowana powierzchnia znacznie lepiej pokrywa się spoiwem niż miedź, która utlenia się przy nagrzewaniu. Poza tym warstewka spoiwa na pocynowanym grocie zapewnia lepszy styk między lutownicą i lutowanym materiałem, co sprzyja szybszemu jego nagrzewaniu.

Przed pocynowaniem grot zaostrza się pilnikiem pod kątem  $30-45^{\circ}$  w celu lepszego ściekania spoiwa, a potem usuwa się z niego pilnikiem warstwę tlenków. Następnie lutownicę włącza się do sieci i pokrywa grot kalafonią po nagrzaniu się go do temperatury  $125^{\circ}\text{C}$ , odpowiadającej temperaturze topnienia kalafonii. Przegrzewanie lutownicy w tej operacji jest szkodliwe, ponieważ kalafonia najlepiej rozpuszcza tlenki miedzi przy temperaturze  $150^{\circ}\text{C}$ .

Po pokryciu kalafonią lutownicę dalej nagrzewa się w celu pocynowania, pokrywając grot co pewien czas ponownie kalafonią, ponieważ ona wypala się i częściowo ścieka. Gdy lutownica nagrzeje się do temperatury topnienia spoiwa, grot pociera się spoiwem do pokrycia cienką warstwą. Po pewnym czasie użytkowania powierzchnia grota traci połysk lub tworzą się na niej wżery spowodowane rozpuszczaniem się miedzi w spoiwie, co wymaga ponownego zaostrenia i pocynowania grota. Jeżeli natomiast na grocie wytwarza się nagar, trzeba go usuwać szmatką albo przez zanurzenie grota w stopionej kalafonii, gdyż nagar utrudnia stopienie spoiwa i zanieczyszcza spoinę. Intensywność wytwarzania nagaru zwiększa się w miarę wzrostu temperatury lutownicy, której przegrzewania należy unikać. Temperaturę lutownicy uważa się za właści-



wą, gdy spoiwo szybko topi się, lecz nie ścieka z grota, oraz gdy kalafonia nie zwęglą się na lutownicy, lecz pozostaje na grocie w postaci wrzących kropelek.

Jak już wspomniano, najbardziej racjonalne jest lutowanie spoiwem rdzeniowym, którego średnica w przypadku łączenia drutów z końcówkami powinna być następująca:

Średnica drutu mm	Średnica spoiwa rdzeniowego mm
0,5	1,5
0,6-1,0	2,0
1,1-1,5	2,5
1,6-2,5	3,0
2,6-3,0	4,0

Stopione spoiwo wprowadza się między łączone materiały na lutownicy, albo też bezpośrednio przez stapianie kawałka spoiwa z jednoczesnym nagrzewaniem łączonych materiałów. Ponieważ spoiwo rdzeniowe zawiera optymalną ilość topnika, należy unikać nadmiaru spoiwa, który może spowodować pogorszenie jakości spoiny z powodu nadmiaru topnika.

Jednym z zasadniczych warunków prawidłowego lutowania jest dobre podgrzanie łączonych materiałów, bez czego nie jest możliwe pokrycie spoiwem całej łączonej powierzchni oraz wypełnienie szczeliny między łączonymi materiałami. Dlatego też powierzchnia łączonych materiałów powinna mieć temperaturę zbliżoną do temperatury stopionego spoiwa.

Doprowadzanie ciepła do materiałów łączonych powinno być intensywne, gdyż łączone materiały mają zwykle dobre przewodnictwo cieplne oraz szybko pochłaniają i odprowadzają ciepło. W celu uniknięcia przegrzania lutować należy możliwie szybko, nie dłużej niż 5 sekund, nie odejmując jednak lutownicy dotąd, aż materiały łączone będą nagrzane, a spoiwo będzie swobodnie płynąć. Dla skrócenia czasu lutowania i polepszenia warunków przechodzenia ciepła od lutownicy do łączonych materiałów lutownicę należy przykładać boczną powierzchnią grota, a nie jego ostrzem. W przypadku lutowania elementów różnych wymiarów i z różnych materiałów, ciepło należy doprowadzać do bardziej masywnego elementu lub będącego z materiału o mniejszym przewodnictwie cieplnym. Lutownicę należy trzymać w jednym miejscu, obracając ją powoli dotąd, aż topnik i spoiwo dostaną się do szczeliny, po czym można ewentualnie rozprowadzić spoiwo w szczelinie, poruszając lutownicą wzdłuż szczeliny.

W przypadku łączenia wyprowadzeń elementów elektronicznych nagrzewanie podczas lutowania musi być bardzo ostrożne ze względu na ich czułość na przegrzanie. W związku z tym czas lutowania nie powinien przekraczać 5 sekund, a do lutowania nie należy używać lutownic o mocy ponad 50 W. Ponadto trzeba wykonywać spoinę w możliwie dużej odległości od samego elementu.

Jakkolwiek nadmiar samego spoiwa nie polepsza wytrzymałości mechanicznej spoiny, nie jest on jednak przy tym szkodliwy. Natomiast pozostały nadmiar topnika jest szkodliwy, gdy topnik zawiera składniki higrosko-

pijne i o działaniu korozyjnym, wobec czego pozostałość takiego topnika trzeba bezwzględnie usuwać. Wskazane jest również usuwanie przez przemycie alkoholem pozostałości kalafonii, gdyż kalafonia może odprysnąć i spowodować uprzednio wspomniane uszkodzenia.

#### 4. WADY LutowANIA [3-6]

Do najczęściej występujących wad lutowania można zaliczyć:

- pęcherze i pory w spoinie,
- zanieczyszczenia żużłem i topnikiem,
- pęknięcia spoiny,
- niecałkowite wypełnienie spoiwem,
- brak połączenia metalicznego między łączonym materiałem i spoiwem,
- korozję w miejscu lub w pobliżu spoiny.

Pęcherze i pory powodują zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej spoiny, zależne od powierzchni pęcherzy i porów, która waha się w granicach 5-65% powierzchni spoiny. Szczególnie niekorzystne są pęcherze i pory znajdujące się na brzegu spoiny, ponieważ powodują one w tym miejscu spiętrzenie naprężeń. Przyczyną porowatości i pęcherzy gazowych są produkty gazowe rozkładu lub parowania topnika przy temperaturze lutowania oraz gazy znajdujące się w spoiwie, które nie mogły wydostać się ze stopionego spoiwa przed skrzepnięciem w spoinie. Pory i większe nieciągłości spoiny może powodować także wilgoć

zaadsorbowana na spoiwie oraz za duża szczelina między łączonymi materiałami, utrudniająca wypełnienie jej spoiwem, albo za mała ilość użytego do lutowania spoiwa.

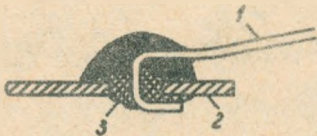
Wtrącenia żuźla są wynikiem złego przygotowania powierzchni łączonych materiałów przed lutowaniem albo za długiego nagrzewania przy lutowaniu, gdy topnik, reagując z materiałem lutowanym, stopniowo przechodzi do żuźla. Natomiast wtrącenia topnika są spowodowane za dużą zwilżalnością topnika w stosunku do zwilżalności spoiwa, wskutek czego ciekły topnik nie jest należycie wypierany ze spoiny przez stopione spoiwo. Takie miejsca o niewłaściwym stosunku zwilżalności topnika i spoiwa mogą utworzyć się w spoinie wskutek rozpuszczenia tlenków w topniku, miejscowych zmian napięcia powierzchniowego stopionego spoiwa oraz niejednorodności topnika lub spoiwa.

Rysy i pęknięcia na powierzchni spoiny świadczą, że elementy łączone nie były nieruchome względem siebie podczas krzepnięcia spoiwa. O tym samym świadczą grubokowata powierzchnia spoiny.

Niecałkowite wypełnienie szczeliny spoiwem jest wynikiem za małej szczeliny lub za małego zwilżania przez spoiwo łączonych materiałów (kąt zetknięcia większy niż  $75^{\circ}$ ), m.in. z powodu nieusunięcia tlenków z powierzchni łączonych materiałów przed lutowaniem lub podczas lutowania. Niecałkowite wypełnienie szczeliny może być spowodowane również przedwczesnym skrzepnięciem spoiwa wskutek niedostatecznego nagrzania spoiny, co uniemożliwiło dostateczne rozpląnięcie spoiwa.



Bardzo niebezpieczną, gdyż trudną lub niemożliwą do wizualnego stwierdzenia, jest wada przedstawiona na rys. 6, polegająca na znajdowaniu się między łączonymi materiałami i spoiwem skrzepniętego topnika. Wada ta może być spowodowana niedostatecznym nagraniem spoiny lub



Rys. 6. Wada spoiny spowodowana brakiem połączenia metalicznego między łączonymi materiałami i spoiwem

1 - przewód, 2 - końcówka, 3 - skrzepnięty topnik

niewłaściwym albo utlenionym pokryciem cyny. Taka spoina ma nadmierny opór elektryczny oraz znikomą wytrzymałość mechaniczną, powodującą uszkodzenia spoin podczas eksploatacji.

## 5. BADANIA PRZYDATNOŚCI SPOIW I TOPNIKÓW DO LUTOWANIA ORAZ JAKOŚCI POŁĄCZEŃ LUTOWANYCH

### 5.1. Badania zwilżalności i rozplywania spoiwa

Badaniem najczęściej stosowanym do oceny przydatności do lutowania spoiwa i topnika jest pomiar powierzchni rozplywu spoiwa. Badanie to jest proste, lecz wymagające ścisłego przestrzegania warunków badań dla uzyskania powtarzalnych wyników.

W przypadku spoiwa (drutu) rdzeniowego do badań pobiera się według DIN 8516 (23) 490-500 mg spoiwa, które zwija się w spiralę i spłaszcza między równoległymi płytami do 90% średnicy drutu, obcinając potem nożem końce drutu. Przed zwinięciem w spiralę spoiwo należy prze-

trzeć szmatką zwilżoną alkoholem, po czym spoiwa nie należy dotykać gołymi palcami.

Tak przygotowaną próbkę spoiwa umieszcza się na czystym kawałku blachy z mosiądzu w gatunku Ms63 o wytrzymałości na rozciąganie  $38 \text{ kg/mm}^2$  i wymiarach  $40 \times 40 \times 0,5 \text{ mm}$ , którą najpierw odtłuszcza się w benzynie lub trójchloroetylenie, a następnie wytrawia się przez 15 s w roztworze zawierającym 75%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (c.wł. 1,82), 24%  $\text{HNO}_3$  (c.wł. 1,33), 0,5% NaCl i 0,5% sadzy szklistej oraz płucze w wodzie bieżącej. Operacje te powtarza się dotąd, aż blacha będzie mieć jednorodną, matową powierzchnię, po czym zanurza się blachę w alkoholu i suszy bibułą. Następnie blachę wraz ze spoiwem umieszcza się na powierzchni wanny z cyną o temperaturze  $300 \pm 10^\circ\text{C}$  (pojemność wanny min. 4 kg, głębokość wanny min. 25 mm) i podgrzewa przez 5 s. Najdalej 5 s przed umieszczeniem blachy trzeba wymieszać cynę i usunąć z jej powierzchni tlenki.

Po podgrzaniu i następnym oziębieniu blachy spoiwo rdzeniowe z nieaktywowaną kalafonią powinno pokryć co najmniej  $80 \text{ mm}^2$  powierzchni blachy (średnia z 10 prób), podczas gdy spoiwo z aktywowaną kalafonią - co najmniej  $110 \text{ mm}^2$  powierzchni.

Według metody radzieckiej [15] do próby tej pobiera się badany topnik i 0,1 g spoiwa, którego rozpliwanie bada się na blachach z miedzi. Za zadowalający wynik przy badaniu spoiwa cynowo-ołowiowego o zawartości 60% cyny uważa się powierzchnię rozpliwu  $35-45 \text{ mm}^2$ , za do-

bry wynik - powierzchnię  $45-60 \text{ mm}^2$ , a za bardzo dobry wynik - powierzchnię rozplywu ponad  $60 \text{ mm}^2$ .

Zamiast powierzchni rozplywu mierzy się niekiedy wysokość kropli rozplyniętego spoiwa albo jego kąt zetknięcia z powierzchnią blachy, lub też określa się współczynnik  $(D-H/D) \cdot 100$ , w którym  $D$  - średnica kropli rozplyniętego spoiwa, a  $H$  - wysokość tej kropli [4,32].

Ponieważ wyniki powyższych badań zależą w dużej mierze od trudnych do dotrzymania jednakowych warunków badań oraz ponieważ badania próbek blach przydatne są raczej do oceny lutowania opakowań, do oceny lutowności w przemyśle elektronicznym i teletechnicznym bardziej prawidłowe są badania według metodyki opracowanej przez J.A. ten Duisa [33]. Badania te polegają na częściowym zanurzeniu próbki drutu miedzianego w kropli stopionego spoiwa za pomocą specjalnego przyrządu oraz pomiarze czasu zwilżenia całej powierzchni drutu przez spoiwo. Taka sama zasada badań jest przyjęta w ulepszonym przyrządzie o nazwie Multicore, produkowanym we Francji [34], oraz w przyrządzie firmy VEB Stern-Radio, Berlin-Weissensee, NRD [32]. Także w USA są stosowane podobne przyrządy, w których drutu nie zanurza się jednak w spoiwie, lecz doprowadza się go do styku ze spoiwem, po czym mierzy się czas zwilżania całej powierzchni drutu [4].

Metodą zanurzania można badać również lutowność drutów bez użycia specjalnego przyrządu [4]. W tym celu drut zanurza się najpierw w topniku, a następnie, z szybkością  $25 \text{ mm}$  na sekundę, w wymieszanej i oczyszczonej z tlenków wannie ze spoiwem o temperaturze  $60^\circ\text{C}$  większej

niż temperatura początku krzepnięcia spoiwa. Po 2 sekundach drut wyjmuje się z wanny z taką samą szybkością i oziębia na powietrzu oraz ogląda przy 10-krotnym powiększeniu powierzchnię drutu, która powinna być w 95% pokryta spoiwem.

### 5.2. Badania własności kapilarnych

Badania zwilżalności i powierzchni rozplywu powinny być zawsze uzupełniane badaniami własności kapilarnych, bez których nie można ocenić kompleksowo przydatności topnika i spoiwa. Według A. Krella [32] wystarcza nawet przeprowadzanie tylko badań własności kapilarnych, które są szybsze, dokładniejsze i lepiej odzwierciedlające warunki rzeczywiste niż badania zwilżalności i powierzchni rozplywu. Do badań tych zaleca A. Krell próbki w postaci dwóch równoległych drutów, skręconych razem na obydwu końcach tak, aby odstęp między drutami w części nieskręconej wynosił  $0,2 \pm 0,05$  mm, a jej długość wynosiła 15 mm. Próbkę zanurza się najpierw całkowicie w topniku, następnie w spoiwie do połowy wysokości z szybkością  $5 \pm 1$  cm/s oraz określa się czas wypełniania szczeliny przez spoiwo i - za pomocą oględzin - jakość spoiny.

Inne, znane metody badań własności kapilarnych nadają się lepiej do oceny lutowności blach [15,32].

### 5.3. Badania działania korozyjnego topnika

Według normy DIN 8516 [23] do badań działania korozyjnego spoiw rdzeniowych z aktywowaną kalafonią pobiera się



1 g spoiwa, które umieszcza się w rynience otrzymanej z przecięcia wzdłużnego wyszlifowanej i odtłuszczonej rurki miedzianej o średnicy 15 mm, grubości ścianki 0,5 mm i długości 60 mm. Złożone rynienki umieszcza się w pocynowanym wybraniu bloka miedzianego lub mosiężnego o ciężarze 1 kg i temperaturze  $300 \pm 10^{\circ}\text{C}$  oraz nagrzewa się je przez 1 min w tym bloku, w wyniku czego spoiwo topi się, a topnik odparowuje i osadza na ścianie rurki /topnik i jego para nie powinny w tym czasie zapalić się/. Po oziębieniu rurki połówki jej poddaje się przez 14 dni działaniu wilgotnej atmosfery, która nie powinna powodować korozji rurki przez topnik i zielonych nalotów na ściankach rurki. Badaniom poddaje się co najmniej trzy próbki spoiwa, a wynik ich badań porównuje się z wynikiem badań spoiwa rdzeniowego z nieaktywowaną kalafonią.

Bardzo dobra, zwłaszcza do oceny wpływu na cienkie przewody, jest próba opracowana w ZSRR [15], polegająca na wykonaniu cewki z drutów miedzianych, którą smaruje się badanym topnikiem i umieszcza w szczelnym szklanym naczyniu o pojemności 100 ml. Miarą działania korozyjnego topnika są zmiany oporu uzwojenia, który zwiększa się wskutek zmniejszania się przekroju drutu w wyniku reakcji chemicznej między topnikiem i miedzią.

Inny sposób badania spoiwa rdzeniowego ustala norma indyjska IS: 1921-1961 [19]. Według tej normy do badań pobiera się dwie próbki z blachy miedzianej półtwardej o wymiarach 65 x 70 x 0,5 mm, oczyszczone papierem ściernym, i wytlacza się w jednej próbce miseczkę o głęboko-

ści 3 mm za pomocą aparatu Erichsena do badania tłoczności blach. Dwie równoległe krawędzie obydwu próbek wygina się pod kątem  $90^{\circ}$  na szerokości 5 mm i składa się próbki tak, aby utworzyły one jakby płaską skrzyneczkę z dwoma otwartymi bokami. Bezpośrednio przed badaniem oczyszcza się blachę ponownie papierem ściernym i szmatką zwilżoną w benzynie lub acetonie, po czym w wytłoczonej miseczce umieszcza 1 g spoiwa i podgrzewa skrzyneczkę z blach w położeniu poziomym na bloku metalowym o temperaturze  $60^{\circ}$  wyższej niż temperatura początku krzepnięcia spoiwa. Nagrzewanie prowadzi się do stopienia i rozplięcia spoiwa, a następnie oziębia się przez godzinę i umieszcza skrzyneczkę w położeniu pionowym w eksykatorze z wodą destylowaną, nagrzanym do temperatury  $45 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , w którym przetrzymuje się skrzyneczkę przez 48 godz. Oględziny powierzchni blach pod powiększeniem 5 do 10-krotnym nie powinny wykazywać po tej próbie wżer i zielonkawych produktów korozji.

#### 5.4. Badania wpływu topnika na oporność izolacji

Para topnika, osadzająca się i skraplająca na materiale izolacyjnym, może mieć niekorzystny wpływ na jego oporność elektryczną powierzchniową, co jest szczególnie niepożądane w urządzeniach zminiaturyzowanych, na przykład z obwodami drukowanymi, w których odległości między elementami przewodzącymi są bardzo małe. Dlatego też w przypadku stosowania aktywnych topników trzeba zawsze zbadać ich wpływ na oporność elektryczną po-

wierzchniową materiałów izolacyjnych metodą podaną na przykład w normie USA ASTM D 257-54 lub stosowaną w ZSRR [15].

#### 5.5. Badania i kontrola jakości połączeń lutowanych

Jedyną metodą badań laboratoryjnych jakości połączeń lutowanych, umożliwiającą określenie ich trwałości oraz porównanie z trwałością połączeń wykonanych innymi sposobami, jest poddawanie połączeń określonym drganiom lub obciążeniom zmiennym zginającym [35,36]. Badania te są niestety długotrwałe, niszczące i wymagające dużej liczby próbek do prawidłowego oszacowania statystycznego trwałości, a poza tym nie można ich przyspieszać za pomocą zaostrzonych warunków badań [37]. Ciekawym szczegółem, wartym zaznaczenia, jest stwierdzenie w wyniku badań zmęczeniowych, iż trwałość połączenia lutowanego znacznie polepsza się, gdy połączony drut zostanie wygięty o  $90^{\circ}$  w pobliżu spoiny.

Natomiast jedyną stosunkowo pewną i ekonomiczną kontrolą jakości połączenia lutowanego jest kontrola wizualna, ewentualnie przy użyciu lupy, oraz porównywanie z fotografiami i wzorcami właściwych spoin [4,21,38,39,40,41]. Kontrolę tę uzupełnia się niekiedy próbą ręcznego wyciągania drutu ze spoiny i pomiarem oporu elektrycznego w kierunku prostopadłym do płaszczyzny spoiny [5,6,42].

Kontrola jakości spoin powinna być przeprowadzana przede wszystkim w toku produkcji elementów i urządzeń,

w ramach czynności kontroli międzyoperacyjnej, do czego powinna być zatrudniona taka ilość doświadczonych kontrolerów, która zapewniłaby staranną kontrolę wszystkich wykonanych spoin. Powierzchnia spoiny powinna być gładka, błyszcząca, bez porów, pęcherzy, pęknięć i ostrych krawędzi, a grubość warstwy spoiwa powinna być możliwie mała. Szczególnie starannie należy kontrolować spoiny zalane nadmierną ilością spoiwa, ponieważ między materiałami łączonymi może wtenczas znajdować się warstwa topnika. W takim przypadku wskazana jest próba wyciągania drutu ze spoiny siłą nie przekraczającą 0,5 kg. Ponadto jest wskazana okresowa kontrola wytrzymałości na rozciąganie spoin pobranych z bieżącej produkcji, wykonanych przez poszczególnych lutowaczy [6].

W Czechosłowacji stosuje się ponadto do kontroli jakości spoin lutowanych w toku produkcji przyrząd typu 12XX058 konstrukcji fabryki Tesla-Strašnice [41], podobny do szukacza wadliwych styków firmy Siemens-Halske. Zasada działania tych przyrządów polega na zmianie amplitudy sygnału przechodzącego przez styk, który moduluje amplitudę sygnału, po czym następuje jego wzmocnienie i demodulacja, wskutek czego powstaje sygnał małej częstotliwości, uzewnętrzniający się w przypadku złego styku w postaci szumów i trzasków w głośniku lub słuchawce. Za pomocą takiego przyrządu można jednak ujawnić wadliwą spoinę dopiero po 4 do 12 tygodni od jej wykonania, to znaczy po czasie niezbędnym do wytworzenia warstwy tlenków na połączonych niewłaściwie materiałach. Dlatego też zdarza się, że za pomocą szukacza



nie wykrywa się złej spoiny w toku produkcji [40,41].

Zasada działania i zakres zastosowania szukacza wadliwych styków oraz innych urządzeń i przyrządów do lokalizacji i wykrywania złych styków w eksploatowanym sprzęcie telekomunikacyjnym zostały opisane przez L. Żołątkowskiego [43].

## 6. UWAGI KOŃCOWE

Rozpatrzenie stanu zagadnień lutowania miękkiego miedzi i jej stopów za pomocą lutownic elektrycznych wskazuje, iż u nas w kraju powinny być przedsięwzięte następujące środki i prace w celu polepszenia jakości połączeń lutowanych sprzętu teletechnicznego i elektronicznego.

1. Do lutowania powinno być stosowane spoiwo rdzeniowe ołowiowo-cynowe o zawartości 60% cyny i 2% miedzi, którego produkcję należy uruchomić. Bardzo wskazane jest poza tym, aby spoiwo było dokładnie rafinowane i odgazowane.

2. Ponieważ jest wskazane, aby spoiwo to miało jako topnik kalafonię aktywowaną, należy stwierdzić, czy obecnie stosowany dodatek kwasu mlekowego jest właściwy oraz ewentualnie wprowadzić inny, odpowiedni aktywator.

3. Wskazane jest, aby spoiwo rdzeniowe było produkowane z topnikiem znajdującym się w nim w postaci współśrodkowej rurki.

4. W kraju powinna być uruchomiona produkcja lutownic z grotami typu Uni-Wendelspitze oraz lutownic miniaturowych z uchwytem pistoletowym. Poza tym niezbędne jest uruchomienie produkcji lutownic półautomatycznych i lutownic z samoczynną regulacją temperatury.

5. W normach dotyczących spoiw rdzeniowych należy wprowadzić nowoczesne i kompleksowe metody badań spoiw. Poza tym należy wprowadzić w normach bardziej nowoczesne metody badań lutowności.

6. Kontrola jakości spoin w produkcji i montażu powinna być silnie zastrzona.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Myers R.H., Wong K.L., Gordy H.M.: Reliability engineering for electronic systems, J. Wiley, New York 1964.
2. Selzle H.: Saubere Lötstelle durch korrosionsfreie Flussmittel, Funkschau 1965, t. 37, nr 4, s. 89-90.
3. Łocmanow S.N., Pietrunin I.E.: Pajka metali, Maszynostrojenje, Moskwa 1966.
4. Manko H.H.: Solders and soldering, McGraw-Hill, New York 1964.
5. Łakiedemski A.W., Chriapin W.E.: Pajanje i pripoi, Metalurgizdat, Moskwa 1958.
6. Apuchtin G.J.: Technologia pajki montażnych sojedinienij w priborostrojenji, Gosenergoizdat, Moskwa 1957.

7. Lüder E.: Handbuch der Löttechnik, VEB, Berlin 1962.
8. Künzler H., Bohren H.: Untersuchungen an Feinlotstellen, Techn. Mitt. PTT 1954, t. 32, nr 9, s.329-351.
9. Baumann A.: Zeitgemässe Lötverbindungen, Bull. SEV 1963, t. 54, nr 16, s. 621-629.
10. Hensel H., Pietzker W.: Standzeiterhöhung an LötKolbenspitzen, Fernmelde-Praktiker 1966, t. 6, nr 7, s. 156-157.
11. Sharpless P.: Erosion of soldering-iron bits, Ind. Electronics 1962, t. 1, nr 1, s. 30-34.
12. Kageyama N.: On the spreading properties of solder on metal surfaces, Rev. Electr. Commun. Labor. 1965, t. 13, nr 1/2, s. 1-24.
13. Radomski T., Ciszewski A.: Lutowania, WNT, Warszawa 1963,
14. Laubmeyer G.: Vorsicht mit Aktivatoren in Röhrenlötzinn, Radio Mentor 1966, t. 23, nr 8, s. 650-651.
15. Iwanowa L.W., Bielkova N.L.: Ispytanije flusow primienijemych pri pajkie miagkimi pripojami, Biul. Tiechn.-Ekon. Inform. GOSINTI 1966, t. 19, nr 10, s. 6-8.
16. Entwurf DIN 8511, 1960, Blatt 2. Flussmittel zum Löten metallischer Werkstoffe. Flussmittel zum Weichlöten von Schwermetallen.

17. Lüder E., Krell A.: Zur Frage der Korrosion von Weichlötstellen an Kupfer, Metall 1965, t. 19, nr 11, s. 1156-1159.
18. B.S. 441:1954. Rosin cored solder wire activated and nonactivated /non-corrosive/.
19. IS:1921-1961. Specification for rosin-cored solder wire, activated and non-activated (non-corrosive).
20. Browning J.V., Bester M.H.: Experimental evaluation of reliable soldering processes, Proceed. 9<sup>th</sup> Nation. Symp. Reliability and Quality Control 1963, s. 211-221.
21. Krämer J.: Das Lüten in Theorie und Praxis, Elektronik 1966, t. 15, nr 4, s. 109-112.
22. Laubmayer G.: Neue Probleme der elektrischen Löttechnik, Fernmelde-Praxis 1960, t. 37, nr 7, s. 266-269.
23. Entwurf DIN 8516/1966/. Weichlote mit Flussmitteln auf Harzbasis. Zusammensetzung, Technische Lieferbedingungen, Prüfung.
24. Hofmann W.: Blei und Bleilegierungen, Berlin 1962, Springer.
25. Anon. Lötkeilben mit Reinnickel-Spitze, Werkstoffe und Korrosion 1965, t. 16, nr 11, s. 982.
26. Richardson S.G.: Copper base alloys for solder bits, Engng Mater. and Design 1966, t. 9, nr 8, s. 1308-1309.



27. Buchsbaum W.H.: New soldering tools and techniques, Electron. World 1965, t. 73, nr 2, s. 46-48, 86.
28. Schallehn W.H.: Bestimmung der Leistungsfähigkeit elektrischer LötKolben, ETZ-B 1965, t. 17, nr 4, s. 80-83.
29. Anon: LötNadel - nicht mehr LötKolben, Fernmelde-Praxis 1967, t. 44, nr 5, s. 210.
30. Anon. Neue Löt- und Entlötwerkzeuge, Funkschau 1967, t. 39, nr 1, s. 27-28.
31. Anon. Neuartige elektrische Hochleistungs-Kolben, Fernmelde-Praxis 1966, t. 43, nr 4, s. 167-168.
32. Krell A.: Praxisnahe Lötbarkeitsversuche, Fernmelde-Praktiker 1967, t. 7, nr 7, s. 105-108.
33. J.A. ten Duis: An apparatus for testing the solderability of wire, Philips Techn. Rev. 1958/59, t.20, nr 6, s. 158-161.
34. Anon. Appareil pour la mesure du coefficient de soudabilité des composants électroniques, Onde Electr. 1965, t. 45, nr 458, s. 621.
35. Mills G.W.: Comparing permanent electrical connections, Bell Labor. Rec. 1963, t. 41, nr 9, s. 366-369.
36. Mills G.W.: A comparison of permanent electrical connections, Bell Syst. Techn. J. 1964, t.43, nr 3, s. 1067-1102.

37. Etzrodt A., Prussog H.: Aus der Arbeit des Ausschusses "Zuverlässigkeit" der Nachrichtentechnischen Gesellschaft in VDE /NTG/, NTZ 1965, t.18, nr 12, s. 701-705.
38. Keller J.D.: Criteria for soldered interconnections. Metallurgical completeness. Proceed. 9<sup>th</sup> Nation. Symp. Reliability and Quality Control 1963, s. 204-210.
39. Manco H.H.: Reliability in soldering - not a myth, Insulation 1966, t. 12, nr 1, s. 34-38.
40. Weinmann G., Holz A.: Erfahrungen in Vibrationsprüfung, NTZ 1956, t. 9, nr 2, s. 584-589.
41. Lhotak J.: Použití hledače vadných kontaktů při výrobě a údržbě sdělovacích zařízení, Sdělovací Techn. 1966, t. 14, s. 287-289.
42. Geshner R.A., Tiger B.: Approach to developing electrical connection comparison data through variables testing. IEEE Trans. Compon. Parts. 1964, t.11, nr 2, s. 385-390.
43. Żołątkowski L.: Lokalizacja złych styków w łączach i aparaturze teletransmisyjnej, Biul. Inform. ZBL 1967, nr 1, s. 8-21.

