

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

PROBLEMY



ŁĄCZNOŚCI

110

1974

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI



PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 14

WARSZAWA 1974

NR 110

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

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

mgr inż. Józef Mozejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 659. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 11:12.1973 r.
Druk ukończono w lutym 1974 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Cyryl Niewiadomski

AKTUALNY STAN TECHNIKI POŁĄCZEŃ OWIJANYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Zasady wykonywania połączeń owijanych	3
2.1. Istota procesu łączenia i zalety połączeń owijanych	3
2.2. Rodzaje połączeń	7
2.3. Drut do połączeń	8
2.4. Końcówki do połączeń	10
2.5. Technika wykonywania połączeń	15
3. Własności połączeń owijanych	20
3.1. Własności elektryczne	20
3.2. Rezystancja przejścia przy przeciążeniach elektrycznych	21
3.3. Odporność na drgania	21
3.4. Odporność na warunki klimatyczne	22
3.5. Szczelność połączenia	23
3.6. Trwałość połączeń	24
3.7. Niezawodność połączeń	25
4. Narzędzia i urządzenia do wykonywania połączeń oraz technika łączenia	26

	Str.
4.1. Narzędzia ręczne	26
4.2. Urządzenia automatyczne i półautomatyczne	30
4.3. Technika łączenia	33
5. Ekonomia połączeń owijanych	35
Wykaz literatury	36

AKTUALNY STAN TECHNIKI POŁĄCZEŃ OWIJANYCH

1. WSTĘP

Stan techniki połączeń owijanych, opracowanej w USA w 1950 r. i wprowadzonej w praktyce w 1952 r., po uruchomieniu przez firmę Keller Tool Company produkcji pierwszych narzędzi do wykonywania połączeń, został u nas w kraju omówiony wyczerpująco po raz pierwszy w Przeglądzie Zagadnień Łączności w 1965 r. [1]. Od tego czasu ukazało się w kraju kilka innych artykułów na ten temat [2-9], lecz żaden z nich nie przedstawia zagadnienia w sposób wyczerpujący, toteż celowe wydaje się ponowne pełne przedstawienie aktualnego stanu techniki połączeń owijanych dla pobudzenia intensywnego zajęcia się tym zagadnieniem w kraju, m.in. w przemyśle telekomunikacyjnym i w przemyśle elektronicznym. Przemysły te nie wprowadziły bowiem jeszcze techniki połączeń owijanych, a jedną dziedziną techniki, która już zastosowała u nas w kraju połączenia owijane, jest produkcja elektronicznych maszyn matematycznych [5].

Tymczasem w USA i w krajach zachodnioeuropejskich technika połączeń owijanych jest podstawową techniką łączenia żył przewodów i kabli z końcówkami w elektronicznych maszynach matematycznych, urządzeniach do przetwarzania danych i centralach telefo-

nicznych [10,11], ponadto zaś w ostatnich pięciu latach nastąpił w tych krajach olbrzymi wzrost zastosowania tych połączeń we wszelkiego rodzaju urządzeniach elektronicznych, m.in. wobec nadzwyczaj dużej niezawodności połączeń owijanych [12]. I tak już w 1964 r. połączenia owijane były stosowane przez firmy Bell, IBM, Standard Telephones and Cables, SEL, Ferranti, LMT /Francja/, Ericsson i in. [13], obecnie zaś już 25% wszystkich połączeń w teletechnice wykonuje się sposobem owijania [8], przy czym technika połączeń owijanych oraz ich własności są objęte licznymi, poniższymi zaleceniami, normami względnie warunkami [14]:

CEI 352 /1971/. Connexions enroulées sans soudures. Règles générales, méthodes d'essai et guide pratique.

IEC Document 48B /France/ 29 /1970/. General requirements, test methods and practical guidance for miniature wrapped connections.

DIN 41611, Entwurf 1971. Lötfreie permanente elektrische Verbindungen.

MIL - STD - 1130. Connections, Electrical, Solderless wrapped, Department of Defense, USA.

EIA Standard RS-280, Solderless Wrapped Electrical Connections, Electronic Industries Assoc.

NAVORD OS-11120. Solderless Wrapped Connections Process, Bureau of Naval Weapons, USA.

NAVORD WS-6119. Process Specification for Connection, Elec-

trical, Solderless Wrapped, Navy Special Projects Office, USA.
MSFC-SPEC - 390. Connections, Electrical, Wire Wrapped,
NASA Georg C. Marshall Space Flight Center.

NAVORD WS-6118. Design, Specification for Wire, Electrical
Wire Wrap, Insulated and Uninsulated, Navy Special Projects
Office, USA.

NAVWEPS WS-2072. Description and Requirements, Wire, PVC
Insulated, Nylon Jacketed, Bureau of Naval Weapons, USA.

QQ-W-343. Cable and Wire, Insulated; Method of Sampling and
Testing, Federal Specification, USA.

Także w niektórych krajach socjalistycznych zaczęto intereso-
wać się połączeniami w połowie ubiegłego dziesięciolecia, przy
czym najwcześniej zajęto się tym zagadnieniem w NRD, gdzie już
w 1965 r. uruchomiono produkcję narzędzi do połączeń owijanych
[15], oraz w ZSRR, gdzie w 1966 r. wprowadzono połączenia owi-
jane w komputerach [16]. Niestety u nas, jak wspomniano, połącze-
nia owijane prawie nie są stosowane.

2. ZASADY WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ OWIJANYCH

2.1. Istota procesu łączenia i zalety połączeń owijanych

Połączenie owijane jest to nie lutowane, stabilne elektrycznie
i mechanicznie, gąszczelne, nierozłączne połączenie między dru-
tem o przekroju okrągłym i odpowiednią końcówką, mającą co naj-
mniej dwie ostre krawędzie, otrzymywane przez spiralne owinię-

cie kilkoma zwojami drutu końcówki, z zastosowaniem naciągu drutu podczas owijania. Połączenie to przedstawia rys. 1^{x/}.

Naciąg drutu, powodujący jego wydłużanie się, powinien odpowiadać co najmniej 35% granicy plastyczności na rozciąganie i nie powodować w żadnym przypadku przekroczenia wydłużenia przy zerwaniu drutu [17]. Podczas nawijania drutu następuje skutek naciągu wgniecenie twardszego materiału końcówki w bardziej miękkim materiale drutu, a dzięki przebicciu przy tym warstewki tlenku na drucie i końcówce uzyskuje się ich metaliczny styk o bardzo małej rezystancji przejścia. Wskutek nacisku końcówki na drut wytwarza się w nim wgniot o głębokości około 20% średnicy drutu, która to głębokość jest funkcją liniową wartości naciągu, podczas gdy objętość odkształconego materiału zwiększa się wykładniczo oraz jest stosunkowo mała i równomierna przy naciągu do 2,5 kG. Wartość naciągu, przy którym występuje nierównomierne odkształcanie się materiału, zwiększa się przy bardziej zaokrąglonych krawędziach końcówki oraz pokryciu końcówki powłoką elektrolityczną [18]. Według D.G. Daviesa odkształcenie drutu jest wynikiem sił ściskających i ścinających, a samo połączenie - naprężeń sprężystych: obwodowych w drucie i skręcających w końcówce, powodujących docisk mechaniczny. Ponadto w miejscu styku zachodzi także proces spajania na zimno, niewystarczający wprawdzie do połączenia, lecz powodujący dobre własności elektryczne połączenia i ich stabilność. Efekt spajania na zimno jest tym większy, im bardziej zminiaturyzowane jest połączenie [18].

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

Według D.G. Daviesa powłoka cyny /a także złota/ jest korzystna tylko ze względu na zwiększenie rzeczywistej powierzchni styku między drutem i końcówką, podczas gdy według innych cyna powłoki sprzyja dyfuzji wzajemnej materiału drutu i końcówki oraz tym samym przeciwdziała relaksacji naprężeń w połączeniu [16,17, 19,20]. Dlatego też stosowanie do połączeń drutu cynowanego jest wskazane, poza tym zaś powłoka cyny ułatwia lutowanie, jeżeli ewentualnie zachodzi konieczność naprawy połączenia za pomocą lutowania.

Jak wykazały badania, 75% energii sprężystej w połączeniu owijanym, nagromadzonej w wyniku odkształcenia w miejscach styku drutu z końcówką oraz w wyniku skręcania się końcówki, zawiera końcówka, a pozostałe 25% energii - drut, co jest znacznie korzystniejsze niż w przypadku połączenia śrubowego, w którym tylko 50% energii sprężystej zgromadzone jest w śrubie [19]. Ponadto energia sprężysta w połączeniu owijanym jest rozłożona bardziej równomiernie niż w śrubowym [21].

Połączenie owijane jest korzystne jednakże nie tylko pod względem rozkładu naprężeń, lecz również pod względem ich stabilności, gdyż relaksacja /wyzwalanie się/ naprężeń przy temperaturze pracy połączeń przebiega z tak małą szybkością, iż nawet po 40 latach wielkość nagromadzonej energii sprężystej w połączeniu owijanym wynosi ponad 40-50% początkowej energii sprężystej. To zmniejszanie się energii sprężystej jest ponadto, zdaniem większości autorów, kompensowane z nadmiarem wzajemną dyfuzją materiałów drutu i końcówki, wobec czego nie ma żadnych obaw, aby w prawidłowo wykonanych połączeniach owijanych drutem miedzianym cynowanym mogło nastąpić niedopuszczalne pogorszenie styku elek-

trycznego przed upływem 40 lat, to znaczy w okresie amortyzacji urządzenia telekomunikacyjnego.

W rezultacie połączenia owijane charakteryzują się licznymi, następującymi zaletami [11, 14, 22, 23]:

- miniaturyzacją połączeń,
- czystą, metaliczną powierzchnią styku,
- dużą wytrzymałością mechaniczną,
- gąszczeniem i odpornością przeciw korozji,
- nadzwyczaj dużą niezawodnością pracy,
- stabilnością elektryczną i mechaniczną,
- jednorodnością połączeń,
- wyeliminowaniem nagrzewania się miejsca łączenia, które zachodzi podczas lutowania oraz może uszkodzić niektóre elementy, zwłaszcza półprzewodnikowe, a także izolację przewodu,
- wyeliminowaniem tzw. zimnych spoin,
- wyeliminowaniem występowania rozprysków spoiwa,
- zaoszczędzeniem spoiwa, topników i energii elektrycznej,
- elastycznością doboru drutu do połączeń i końcówek,
- możliwością zwiększenia gęstości połączeń,
- możliwością automatyzacji i programowania operacji łączenia,
- zmniejszeniem pracochłonności łączenia,
- łatwością kontroli jakości połączenia,
- łatwością naprawy /usunięcia/ lub modyfikacji połączenia,
- polepszeniem higieny pracy przy łączeniu,
- łatwością przyuczenia niekwalifikowanego personelu,
- niską ceną.

Niestety mają one jednak także pewne, niżej wyszczególnione wady [14,23]:

- niemożność łączenia żył wielodrutowych,
- niemożność ponownego stosowania odcinka drutu użytego do owijania w przypadku zlikwidowania połączenia,
- niszczący charakter prób kontrolnych jakości połączenia,
- stosunkowo kosztowne narzędzia,
- konieczność bardzo dobrej jakości narzędzi do wykonywania połączeń oraz końcówek i drutu, co wymaga częstej kontroli narzędzi,
- trudności zastosowania połączeń, występujące niekiedy przy częstotliwościach prądu ponad 100 MHz, gdy straty spowodowane dużą częstotliwością są większe niż w połączeniach lutowanych.

2.2. Rodzaje połączeń

Zasadnicze, normalne połączenie owijane jest przedstawione na rys. 2a, a tzw. połączenie wzmocnione na rys. 2b. To drugie ma najczęściej $1\frac{1}{2}$ zwoju drutu izolowanego na dole połączenia.

Ponadto są niekiedy stosowane połączenia owijane bandażowane i hybrydowe /twin - post bound connection, split-pin wrapping/. Połączenie bandażowane /rys. 3/ jest to połączenie, w którym drut łączony przylega do szerszego boku końcówki i ułożony jest wzdłuż niej oraz umocowany jest do końcówki przez owinięcie jej kilkoma zwojami innego drutu. Natomiast połączenie hybrydowe polega na przyłożeniu do siebie szerszymi bokami dwóch końcówek prostokątnych i owinięciu ich drutem /rys. 4/.

Jeżeli połączenia są wykonywane drutem o średnicy 0,25 mm lub mniejszej, nazywa się je zminiaturyzowanymi.

2.3. Drut do połączeń

Do połączeń owijanych nie zminiaturyzowanych stosuje się najczęściej drut miedziany goły lub cynowany, przy czym pożądane jest stosowanie drutu z miedzi beztlenowej, która utwardza się przy większym stopniu zgniotu niż inne gatunki miedzi [14]. Ze względu na naciąg drutu podczas owijania powinien on mieć odpowiednie wydłużenie przy zerwaniu, które według zalecenia CEI 352 /1971/ powinno wynosić w przypadku drutów miedzianych gołych o średnicy do 0,64 mm co najmniej 15%, a w przypadku drutów o większej średnicy ponad 20%.

Do połączeń zminiaturyzowanych trzeba natomiast stosować druty ze stopów miedzi, które poza zwiększoną wytrzymałością na rozciąganie muszą charakteryzować się także możliwie dobrą przewodnością elektryczną i zwłaszcza odpornością na relaksację. Najlepiej nadają się do tego celu druty ze stopów typu $\text{CuCd}_{0,75}$, $\text{CuZr}_{0,15}$ i $\text{CuZr}_{0,2}$ o zawartości 0,45% Zr /ostatni stop wewnątrznie dyspersyjnie utleniany/, o własnościach podanych w tabl. 1 [24], a poza tym, w przypadku pracy połączeń przy temperaturze ponad 90°C, zalecenie CEI 352 wskazuje na stosowanie także drutów stalowych platerowanych miedzią lub drutów ze stopów typu Cu-Be, o dużej odporności na relaksację.

Oprócz drutów z miedzi do połączeń nie zminiaturyzowanych można też stosować druty z mosiądzu oraz niklu i jego stopów [22]. Ponadto, jak ostatnio stwierdzono, także druty ze stopów typu Al-Mg-Si nadają się do połączeń owijanych [25].

Własności drutów ze stopów miedzi do zminiaturyzowanych połączeń owijanych

Rodzaj stopu	Granica elastyczności na rozciąganie $Q_{0,01}$ kG/mm ²	Granica plastyczności na rozciąganie $Q_{0,2}$ kG/mm ²	Wytrzymałość na rozciąganie kG/mm ²	Wydłużenie przy zerwaniu %	Przewodność elektryczna względem wzorcowej przewodności miedzi %
CuCd _{0,75}	32,8	58,6	68,6	6,6	85
CuZr _{0,15}	29,5	53,0	60,0	3,7	90
CuZrO ₂	22,1	47,8	58,2	8,1	98

Powłoka na drucie miedzianym może być z cyny, spoiwa ołowio-cynowego, srebra lub złota, przy czym najczęściej stosowane są druty miedziane cynowane, o grubości powłoki do 0,04 mm [11], ponieważ powłoka cyny zwiększa wytrzymałość połączenia, ułatwia ewentualne lutowanie i stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed korozją. Poza tym stosuje się niekiedy druty srebrzone, zwłaszcza /według DIN 41611/ w przypadku drutów o średnicy mniejszej niż 0,4 mm, ponieważ stosowanie takiego drutu zwiększa o 50% trwałość narzędzi do wykonywania połączeń owijanych [8].

Do połączeń owijanych stosuje się druty o średnicy 0,2-1,3 mm, z odchyłką w granicach od $\pm 0,01$ do $\pm 0,015$ mm [8]. Drutów o mniejszej średnicy nie stosuje się, ponieważ połączenia z nich pękają po pewnym czasie wskutek naprężeń wewnętrznych, a drutów o większej średnicy - z powodu za dużych naciągów przy owijaniu. Śred-

nica drutu powinna wynosić $1/3 - 2/3$ największego wymiaru pola przekroju końcówki [6].

Do owijania przewodów wyprowadzeniowych elementów należy używać według zalecenia CEI 352 drutów o średnicy nie mniejszej niż 0,5 mm, a średnica przewodu bandażowanego powinna zawierać się w granicach 0,38 - 1,0 mm i nie przekraczać $2/3$ szerokości boku końcówki. Natomiast gdy do wykonywania połączenia jest stosowany sam przewód wyprowadzeniowy, jego średnica powinna zawierać się w granicach 0,45 - 0,9 mm.

Izolacja drutu powinna być cieńsza niż normalnie stosowana [15] oraz łatwa do zdejmowania i możliwie odporna na pełzanie. Między innymi może być stosowana izolacja z polwinitu i teflonu [14].

2.4. Końcówki do połączeń

Końcówki do połączeń owijanych wykonywane są najczęściej z mosiądzu o zawartości 58-70% miedzi, brązu cynowego o zawartości 6-8% cyny, brązu fosforowego, brązu berylowego, mosiądzu wysokoniklowego o zawartości 12-18% niklu lub monelu, względnie ze stopów specjalnych miedzi, a mianowicie ze stopu o zawartości 2,35% żelaza, 0,12% cynku i 0,03% fosforu, stopu o zawartości 1,55% żelaza, 0,8% kobaltu, 0,55% cyny i 0,1% fosforu lub stopu o zawartości 2,8% aluminium, 1,8% krzemu i 0,4% kobaltu [27], o twardości Vickersa wynoszącej według zalecenia CEI 352 95-220 kg/mm^2 /według normy DIN 41611 150-220 kg/mm^2 /, gwarantującej /wobec korelacji twardości z granicą plastyczności na rozciąganie/ nieodkształcanie się końcówki wskutek skręcania, po-

wodowanego naciąganiem drutu podczas owijania. Materiał końcówki powinien być tak dobrany względem materiału drutu do połączeń, aby różnica ich potencjałów elektrolitycznych nie przekraczała 0,25 V w celu uniknięcia korozji stykowej [9].

Końcówki mogą być bez powłoki lub z powłoką, której grubość według zalecenia CEI 352 powinna wynosić co najmniej:

powłoka z cyny

cynowanie w ciekłej cynie po uprzednim naniesieniu powłoki z niklu o grubości 2,5 μm	14 μm
cynowanie elektrolityczne	13 μm
powłoka ze złota	0,75 μm

a według normy DIN 41611

powłoka z cyny co najmniej	8 μm
----------------------------	-----------------

Nadmiernej grubości powłoki /w każdym razie większej niż 0,04 mm/ należy przy tym unikać, gdyż za gruba powłoka pogarsza wytrzymałość połączenia, a poza tym w przypadku powłoki cynowej elektrolitycznej należy stosować końcówki z takiego materiału, na którym nie wytwarzają się kryształki nitkowe /whiskers/ cyny.

Według J. P. Messany [10] dzięki powłoce na końcówce uzyskuje się lepsze własności wytrzymałościowe połączenia. Najlepsze są pod tym względem powłoka ze złota i powłoka elektrolityczna cynowa, wobec czego w przypadku szczególnie niezawodnych połączeń zminiaturyzowanych zaleca się złączenie końcówek.

Przekroje najczęściej stosowanych końcówek przedstawia rys. 5, a ich wymiary i kształt powinny spełniać następujące warunki:

- większy bok końcówki prostokątnej powinien być, według zaleceń CEI, co najwyżej trzykrotnie dłuższy niż bok mniejszy oraz co najwyżej trzykrotnie dłuższy niż średnica drutu do połączeń [14],
- mniejszy bok tej końcówki i bok końcówki kwadratowej nie powinien być według DIN 41611 krótszy niż średnica drutu.
- przekątna końcówki powinna być mniejsza o 0,125 mm niż średnica otworu owijaka narzędzia [29],
- powierzchnia przekroju poprzecznego końcówki powinna być według normy DIN 41611 co najmniej dwukrotnie większa niż powierzchnia przekroju poprzecznego drutu,
- odchyłka równoległości boków końcówki nie powinna przekraczać według zalecenia CEI 0,05 mm na długości 10 mm, a poza tym końcówka nie może mieć odkształceń i nadmiernego wygięcia, uniemożliwiającego włożenie końcówki do narzędzia,
- promień zaokrąglenia końcówki nie zminiaturyzowanej powinien być według zalecenia CEI mniejszy niż 0,075 mm, a końcówki zminiaturyzowanej - według dokumentu CEI - mniejszy niż 0,05 mm,
- w przypadku końcówki nie zminiaturyzowanej wysokość wypływu /gratu/ powinna być według zalecenia CEI nie większa niż 0,05 mm, a w przypadku końcówki zminiaturyzowanej - według dokumentu CEI nie większa niż 0,02 mm,
- koniec końcówki powinien być sfazowany lub zaokrąglony, przy czym według dokumentu CEI fazowanie to powinno spełniać warunki podane na rys. 6,

- długość końcówki powinna zapewniać możliwość wykonania do trzech połączeń /z których jedno jest traktowane jako rezerwowe do naprawy połączeń lub do zmiany układów/, a długość nawinięcia powinna być nie mniejsza niż obliczona z poniższego wzoru:

$$L = N \left[n_1 d_1 + 1/n_2 + 1/d_2 + s/n_1 + n_2/ \right] + (N-1)/S,$$

w którym:

L - minimalna długość nawinięcia,

N - liczba połączeń na końcówce,

n_1 - maksymalna liczba zwojów bez izolacji w jednym połączeniu,

n_2 - maksymalna liczba zwojów z izolacją w jednym połączeniu,

d_1 - średnica znamionowa drutu gołego,

d_2 - średnica znamionowa drutu izolowanego,

s - dopuszczalny odstęp między kolejnymi zwojami jednego połączenia,

S - odstęp między sąsiednimi połączeniami /najczęściej nie większy niż d_1 lub $d_2/$,

przy czym odstęp między kolejnymi zwojami połączenia nie zminiaturyzowanego nie powinien przekraczać połowy średnicy drutu, suma zaś tych odstępów - średnicy drutu [22], a odstęp między kolejnymi zwojami połączenia zminiaturyzowanego - 0,05 mm,

- zalecane przez CEI wymiary przekroju poprzecznego końcówek są następujące /w mm/:

0,50 x 0,50	0,635 x 0,635
0,50 x 0,65	0,79 x 1,57
0,56 x 0,90	0,91 x 1,22
0,60 x 0,60	1,14 x 1,14
0,60 x 1,60	

przy czym do połączeń bandażowanych nie zaleca się końcówek o przekroju kwadratowym i dwóch ostatnich, podczas gdy ostatnie trzy końcówki są zalecane tylko do połączeń nie zminiaturyzowanych,

- końcówki te są zalecane do drutów o niżej podanej średnicy [9]:

średnica drutu mm	wymiary przekroju poprzecznego końcówek mm
0,25 - 0,32	0,50 x 0,50
0,25 - 0,40	0,50 x 0,65
0,25 - 0,50	0,56 x 0,90
0,25 - 0,40	0,60 x 0,60
0,25 - 0,80	0,60 x 1,60
0,25 - 0,50	0,635 x 0,635
0,25 - 0,80	0,79 x 1,57
0,25 - 0,80	1,14 x 1,14

przy czym grubość /większy wymiar/ końcówki według zalecenia CEI powinna być nie mniejsza niż podana na str. 15.

Kończówki o przekroju kwadratowym są korzystniejsze i częściej stosowane, ponieważ charakteryzują się bardziej równomierną wytrzymałością we wszystkich kierunkach oraz dają szersze od-

średnica drutu mm	grubość końcówki	
	wygniatanej lub o kształcie V mm	innych mm
0,40 - 0,50	0,25 - 0,55	0,55
0,60 - 0,80	-	0,75
0,90 - 1,06	-	1,20
1,25 - 1,32	-	1,60

stępy między końcówkami, co ułatwia zautomatyzowane wykonywanie połączeń [14]. Natomiast końcówki o przekroju prostokątnym odznaczają się większą wytrzymałością / siłą ściągania / połączenia [26].

Kończówki kwadratowe są stosowane zwykle do montażu złącz pośrednich, a prostokątne i o kształcie V - do montażu złącz krańcowych. Te drugie końcówki umożliwiają uzyskanie większej energii odkształcenia sprężystego oraz sztywności końcówki i tym samym lepszej niezawodności połączenia, w związku z czym są one stosowane przede wszystkim do połączeń zminiaturyzowanych [6,9].

2.5. Technika wykonywania połączeń

2.5.1. Liczba zwojów

Minimalna liczba zwojów w jednym połączeniu normalnym, nie zminiaturyzowanym, zależy od średnicy drutu do łączenia i jego materiału, powinna być według zalecenia CEI następująca:

średnica drutu mm	materiał drutu	
	miedź, mosiądz nikiel minimalna liczba zwojów	stop Fe-Ni bimetal Cu-Fe minimalna liczba zwojów
0,40	6	5
0,45	5	5
0,50	5	4
0,60 - 0,80	4	4
1,0	4	3
1,25 - 1,32	3	3

a w jednym połączeniu zminiaturyzowanym - według dokumentu CEI - jak niżej

średnica drutu mm	minimalna liczba zwojów
0,20	8
0,25	8
0,315	7

W przypadku połączenia wzmocnionego dodaje się ponadto jeszcze $1\frac{1}{2}$ zwoju drutu z izolacją, znajdującego się na dole połączenia, a w przypadku połączeń bandażowanych i hybrydowych stosuje się co najmniej 6 zwojów, niezależnie od średnicy drutu.

2.5.2. Sposób nawinięcia

Nawinięcie drutu na końcówkę powinno być równomierne i nie wykazywać następujących wad [14,23]:

- za krótkiego zwoju drutu izolowanego /rys. 7a/,
- za małej liczby zwojów drutu gołego /rys. 7b/,

- nakładania się zwojów sąsiednich połączeń, z wyjątkiem zwoju izolowanego górnego połączenia na odstający zwój górnego drutu dolnego połączenia / rys. 7c/ ,
- nakładania się zwojów w poszczególnych połączeniach / rys. 7d/ ,
- za dużych odstępów między sąsiednimi zwojami / rys. 7e/ .
- zmiany skoku nawinięcia / rys. 7f/ ,
- nadmiernego odstawania końca nawinięcia /większego niż średnica drutu / rys. 7g/ ,
- za długiego końca nawinięcia / rys. 7h/ ,
- nadmiernego odstawania górnego drutu dolnego zwoju /ponad 1,5 mm/ / rys. 7i/ ,
- nawinięcia na sfazowaną część końcówki lub jeszcze wyżej / rys. 7j/ ,
- nadmiernego skręcenia końcówki /ponad 15° / / rys. 7k/ ,
- uszkodzenia, porysowania, karbów, poplątania lub odkształcenia drutu / rys. 7l/ ,
- nierównego obciążenia lub jakichkolwiek uszkodzeń izolacji / rys. 7m/ ,
- pęknięć powłoki drutu.

Na tej samej końcówce nie mogą znajdować się połączenia bez dodatkowego lutowania oraz z dodatkowym lutowaniem i gdyby jedno z połączeń wymagało dodatkowego lutowania, na przykład z powodu za krótkiego drutu do połączenia, trzeba także przylutować wtedy pozostałe połączenia na końcówce, do czego wystarcza przylutowanie trzech zwojów z pozostawieniem nie przylutowanego odstającego końca drutu [23].

2.5.3. Kontrola jakości nawinięcia

Jakość nawinięcia sprawdza się:

- wizualnie, stwierdzając ewentualnie występowanie uprzednio wyszczególnionych wad,
- przez pomiar wytrzymałości połączenia,
- przez oględziny odwiniętego drutu.

Wytrzymałość połączenia sprawdza się przyrządem przedstawionym na rys. 8 wraz z dynamometrem, za pomocą którego mierzy się siłę ściągnięcia połączenia z końcówki, w kierunku jej osi i górnego końca, powodując przesunięcie połączenia nie mniej niż o jeden zwój /z pominięciem pierwszego i ostatniego niepełnego zwoju/. Siła ta, zgodnie z zaleceniem CEI, powinna wynosić co najmniej:

średnica drutu mm połączenia normalne i hybrydowe	siła ściągnięcia kG
0,20	2,0
0,25	2,0
0,315	2,2
0,40	2,2
0,45	2,7
0,50 - 0,56	2,9
0,60 - 0,90	3,6

połączenia bandażowane	/średnica drutu owijającego/	
	0,6 mm	0,5 mm
0,38 - 0,45	2,2	1,8
0,50 - 0,56	4,5	2,7
0,60 - 0,70	6,8	3,6
0,80 - 1,0	8,1	-

Luz między końcówką i wycięciem w przyrządzie nie powinien przekraczać połowy średnicy drutu użytego do połączenia, a przyrost siły ściągania /szybkość ściągania/ nie powinien przekraczać 1 kg/min.

Do odwijania drutu z połączenia w celu oględzin należy używać odpowiedniego przyrządu, nie powodującego dodatkowego skręcenia lub nadmiernego naprężenia w drucie /na przykład wskutek prostowania/. Najlepiej nadaje się do tego przyrząd z zakończeniem cylindrycznym i rowkiem śrubowym na powierzchni zewnętrznej, uniemożliwiający wyprostowanie się drutu podczas odwijania, przy czym siła odwijająca musi być przyłożona w odległości co najmniej 12,7 mm od końcówki. Przy odwijaniu drut nie powinien pękać, jeżeli jego średnica wynosi 0,4 mm lub więcej, natomiast drut o mniejszej średnicy może wykazywać przy odwijaniu dwa pęknięcia. Wgnioty lub inne odkształcenia drutu są zaś dopuszczalne /rys. 9/.

Przyczyny powstawania wyżej wspomnianych wad są następujące [11]:

- za mała siła ściągania
- za mały docisk urządzenia przy nawijaniu drutu,
- zużycie narzędzia,
- wzajemne niedopasowanie końcówki i drutu, przeważnie za duży promień krawędzi końcówki

wady widoczne przy odwijaniu

- za duży docisk urządzenia przy nawijaniu drutu,
- za duży naciąg przy nawijaniu,
- zużycie narzędzia /za mały promień krzywizny ścianki owijaka/,
- wady drutu lub końcówki, najczęściej za duża wypływka /grat/ na końcówce i za małe wydłużenie przy zerwaniu drutu,

rozciągnięte zwoje

- za mały docisk urządzenia przy nawijaniu drutu, za duży odstęp końca zwoju od końcówki
- zużycie narzędzia lub niewłaściwy stosunek długości boków końcówki.

3. WŁASNOŚCI POŁĄCZEŃ OWIJANYCH

3.1. Własności elektryczne

3.1.1. Rezystancja przejścia przy małych i dużych obciążeniach elektrycznych

Rezystancję przejścia mierzy się prądem stałym lub przemiennym o częstotliwości 1000 ± 200 Hz, według schematu przedstawionego na rys. 10 [14], stosując według CEI napięcie nie większe niż 20 mV i natężenie prądu w granicach 50 ± 5 mA lub też napięcie 6 V i natężenie 1 - 13 A, zależnie od średnicy drutu. Przy obydwóch sposobach pomiarów średnia wartość rezystancji przejścia powinna wahać się w granicach 0,2 - 2,0 m Ω , zależnie od średnicy drutu, a wartość maksymalna nie powinna przekraczać 4 m Ω . J. Novotny [22] zaleca ponadto sprawdzanie przepływu prądu

przez połączenie po przyłożeniu napięcia $25 \mu\text{V}$, gdyż przepływ prądu w takich warunkach świadczy o nieobecności warstewki elektroizolacyjnej w miejscu styku. Przy większym napięciu warstewka ta mogłaby być przebita.

Gdyby z biegiem czasu rezystancja przejścia zwiększyła się o $2 \text{ m}\Omega$ lub przekroczyła wartość $5 \text{ m}\Omega$ / rząd wielkości rezystancji w miejscu lutowania/, połączenie trzeba byłoby uznać za niewłaściwe pod względem jakości [22]. Przeważnie rezystancja przejścia nie przekracza jednak rezystancji drutu użytego do połączeń, o długości 15 mm , a wartość pierwotna rezystancji przejścia nie zwiększa się więcej niż o 20% [23].

3.2. Rezystancja przejścia przy przeciążeniach elektrycznych

Według zalecenia CEI połączenie powinno wytrzymać również przez 1 h przeciążenie prądu o natężeniu $1,5$ razy większym niż dopuszczalne dla elementu, do którego jest przewidziane połączenie, oraz przez 1 minutę natężenie czterokrotnie większe. Po takim przeciążeniu zmiana rezystancji przejścia nie powinna przekraczać 10% .

3.3. Odporność na drgania

Według zalecenia CEI 352 połączenie poddane swobodnym drganiom o przyspieszeniu $10g$, powodującym przemieszczenie końcówki o $0,3 \text{ mm}$ na długości 10 mm w kierunku prostopadłym do najszerszej powierzchni końcówki, nie powinno wykazywać pogorszenia rezystancji przejścia większego niż $0,5 \text{ m}\Omega$.

Natomiast według dokumentu CEI, dotyczącego połączeń zminiaturowanych, połączenie powinno wytrzymać drgania w warunkach wyżej podanych, a poza tym połączenie narażone na szczególnie duże drgania i zwarcia między sąsiednimi połączeniami powinno wytrzymać drgania według próby Fc, ustalonej zaleceniem CEI 68-2-6C. Połączenia podlegające nieznacznym drganiom i nie narażone na zwarcia powinny zaś wytrzymać drgania według tej próby, w następujących warunkach badań:

- częstotliwość drgań 10-55 Hz,
- amplituda drgań 0,75 mm lub amplituda odpowiadająca przyspieszeniu 10g, jeżeli jest ona mniejsza,
- czas drgań 6 h,
- kierunek drgań - prostopadły i wzdłużny względem końcówki,

po których nie powinno być jakiegokolwiek uszkodzenia połączenia i zmiany rezystancji przejścia większej niż 20%.

Połączenia owijane odznaczają się lepszą wytrzymałością na drgania niż połączenia lutowane, gdyż naprężenia zginające rozkładają się w połączeniach owijanych na większej długości drutu.

3.4. Odporność na warunki klimatyczne

Pod względem odporności na warunki klimatyczne zalecenie CEI ustala, że połączenie owijane powinno wytrzymać poniższe badania:

- próbę Ba na ciepło suche przez 16 h przy temperaturze 125°C według zalecenia CEI 68-2-2, powodującą zmianę rezystancji przejścia nie większą niż 0,5 mΩ,

- próbę Ca na ciepło wilgotne przez 56 dni według zalecenia CEI 68-2-3, powodującą zmianę rezystancji przejścia nie większą niż $2 \text{ m}\Omega$,
- próbę Na na nagłe zmiany temperatury w granicach od -55° do $+125^{\circ}\text{C}$ przez 5 cykli po 1 h według zalecenia CEI 68-2-14, powodującą zmianę rezystancji przejścia nie większą niż $2 \text{ m}\Omega$.

Według dokumentu CEI 48B /France/ 29 zmiana rezystancji przejścia nie powinna natomiast przekraczać 20%, a próba na ciepło suche powinna być przeprowadzana przez 100 h przy temperaturze 140°C . Ponadto siła ściągania po próbach nie powinna zmniejszać się o więcej niż 25%, lecz tylko w przypadku połączeń nie wzmocnionych, ponieważ izolacja pierwszego zwoju tych połączeń nie wytrzymałaby tak wysokiej temperatury.

3.5. Szczelność połączenia

Wszystkie zwoje połączenia, z wyjątkiem pierwszego i ostatniego, powinny mieć taką powierzchnię styku końcówki i drutu, aby była ona w 75% szczelna na gazy i pary. Szczelność tę sprawdza się według dokumentu CEI przez umieszczenie połączenia na 10 min w zamkniętej rurze o wymiarach $16 \times 150 \text{ mm}$, zawierającej $1\text{-}2 \text{ cm}^2$ wody królewskiej /50% kwasu azotowego i 50% kwasu solnego/, nie dotykającej połączenia. Następnie połączenie przenosi się do rury o takich samych wymiarach, zawierającej 1 cm^3 roztworu stężonego siarczku amonowego, nie dotykającego połączenia, oraz pozostawia się po zamknięciu rury korkiem do czasu pociemnienia widocznej części końcówki. Z kolei połączenie z końcówką suszy się,

odwija starannie drut i sprawdza się przy użyciu lupy o powiększeniu 5 do 20-krotnym, czy nie zabarwiona powierzchnia styku nie stanowi mniej niż 75% całkowitej powierzchni styku. Powierzchnia nie zabarwiona styku powinna być ponadto nie mniejsza niż powierzchnia przekroju poprzecznego drutu użytego do połączenia.

Niekiedy też zaleca się poddawanie połączeń próbie w parze 0,1% roztworu H_2S przez 100 h [18], ponieważ atmosfera ta wydaje się najbardziej agresywna [28].

3.6. Trwałość połączeń

W celu sprawdzenia trwałości połączeń można skorzystać z wykresu podanego w zaleceniu CEI / rys. 11/, określającego zależność czasu potrzebnego do relaksacji naprężeń o 50% w cynowanym drucie miedzianym połączenia od temperatury. I tak próba przez $2\frac{1}{2}$ h przy temperaturze $175^{\circ}C$ lub przez 150 dni przy temperaturze $105^{\circ}C$, z oziębieniem do temperatury otoczenia przez tydzień, odpowiada 40 latom pracy przy temperaturze $20^{\circ}C$ [10].

Rezystancja przejścia po 40 latach pracy w ostatnich warunkach nie zwiększa się o więcej niż $4\ m\Omega$ [28], co całkowicie odpowiada wymaganiom firmy Bell na urządzenia telefoniczne, według których mniej niż jedno na 10000 połączeń powinno wykazywać zwiększenie rezystancji przejścia o $0,1\ \Omega$ podczas eksploatacji przez 40 lat [10]. Podobne wymaganie na urządzenia wojskowe dotyczy mniej niż jednego na 100000 połączeń.

3.7. Niezawodność połączeń

Według firmy Gardner Denver, która wprowadziła połączenia owijane, nigdy nie stwierdzono w eksploatacji jakiegokolwiek wadliwego połączenia [11]. Podobne stanowisko zajmują eksploatacyjni urzędnicy z połączeniami owijanymi, którzy stwierdzają, co następuje [29]:

- w jednym z systemów lotnisk 6750000 połączeń owijanych przepracowało 13500000 milionów połączeniogodzin, wykazując tylko jedno uszkodzenie mechaniczne, powstałe podczas owijania z powodu niewłaściwego umiejscowienia połączenia,
- pewne urządzenie radarowe przepracowało 144 milionów połączeniogodzin bez uszkodzeń,
- w systemie kontroli ruchu lotniczego 1286453 połączeń owijanych przepracowało 27863368 milionów połączeniogodzin bez żadnego uszkodzenia.

Dlatego też połączenia owijane są uważane za najlepsze pod względem niezawodności, jak to wynika z zestawienia, według danych angielskich [29], intensywności uszkodzeń połączeń owijanych w porównaniu z intensywnością uszkodzeń innego rodzaju połączeń:

połączenia owijane	0,0001%/1000 h /1.10 ⁻⁹ /1 h/
połączenia lutowane	0,001%/1000 h
połączenia zaciskowe	0,002%/1000 h
połączenia spawane	0,004%/1000 h

złącza wtykowe

zwykłe /na 1 wtyk/	0,005%/1000 h
krawędziowe /na 1 wtyk/	0,01%/1000 h
współosiowe	0,02%/1000 h

Według badań radzieckich intensywność uszkodzeń połączeń owijanych jest zaś mniejsza niż $0,15 \cdot 10^{-9} / 1 \text{ h} / 16 /$, a według danych USA prawdopodobnie jeszcze mniejsza [12].

4. NARZĘDZIA I URZĄDZENIA DO WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ ORAZ TECHNIKA ŁĄCZENIA

4.1. Narzędzia ręczne

Narzędzia ręczne do wykonywania połączeń owijanych są produkowane z napędem pneumatycznym, napędem elektrycznym z zasilaniem z sieci lub z akumulatorów oraz z napędem sprężynowym. Pierwsze z nich, najtańsze pod względem utrzymywania i stosowane w produkcji seryjnej, wymagają sprężonego do 6 atmosfer powietrza, wobec czego w przypadku niedysponowania nim są zastępowane narzędziami zasilanymi z sieci o napięciu 24-120 V, podczas gdy pozostałe rodzaje narzędzi są stosowane do napraw i konserwacji oraz do doraźnego wykonywania połączeń. Szybkość nawijania nie ma przy tym istotnego znaczenia /jeżeli nie jest za duża/ na naciąg przy nawijaniu i jakość połączenia, dzięki czemu jest ona dobra niezależnie od rodzaju napędu urządzenia [11]. Pod względem kształtu narzędzia są podobne do pistoletu lub śrubociągu.

Przed wprowadzeniem drutu do narzędzia trzeba usunąć z niego izolację na odpowiedniej długości, uważając, aby przy usuwaniu

izolacji nie został on uszkodzony. Drut z usuniętą izolacją wprowadza się do rowka prowadzącego owijaka /rys. 12/, czyli wymiennej wkładki narzędzia do owijania, a następnie tak zgina się drut, aby znalazł się on w jednym z wycięć tulejki narzędzia, po czym, przytrzymując go w tym położeniu dwoma palcami, nakłada się owijak na końcówkę i owija ją drutem. Owijanie wykonuje się przeważnie w kierunku obrotu wskazówek zegara, z nieznacznym dociskiem, wynoszącym 0,1 do 0,7 kG, zależnie od średnicy drutu, wywieranym bezpośrednio przez wykonującego połączenie lub za pośrednictwem dodatkowej sprężyny w narzędziu, która uniezależnia wielkość docisku od wprawy wykonującego połączenie. Wielkość docisku jest bardzo istotna, ponieważ za duży docisk powoduje zachodzenie na siebie zwojów; a za mały docisk - prześwity między zwojami. Ważne jest także nie za wczesne zwolnienie języczka spustowego narzędzia, gdyż za wczesne zwolnienie powoduje odstawanie ostatniego zwoju, co może z kolei powodować zwarcie z sąsiednimi połączeniami. Łączny czas wykonania połączenia wynosi 2,5 s, a samego owijania 0,1 s [11,23].

Podczas owijania wytwarza się w drucie naprężenie T , ponieważ wkładka, obracając się wokół końcówki, wyciąga drut z rowka, przy czym drut podlega stałemu, kilkakrotnemu wyginaniu. I tak najpierw drut wygina się o 90° wzdłuż krawędzi E /rys. 12/, po czym drut wyprostowuje się i ponownie jest zginany na krawędziach końcówki.

O wielkości naprężenia decydują wielkość R promienia krzywizny ścianki W i grubość tej ścianki, ponieważ siła zginania jest odwrotnie proporcjonalna do promienia wygięcia C drutu i tym samym do wielkości promienia R , odpowiadającego przeważnie śred-

nicy drutu nawijanego, z odchyłką ± 0.1 mm [22]. Do siły zginania jest zaś proporcjonalna siła tarcia wytwarzającego się między drutem i ścianką W, będąca obok siły zginania drugą składową naprężenia T. Gdy wobec tego siły tarcia i zginania maleją do zera, maleje tak samo naprężenie w drucie, choć istnienie już jednej z tych sił wystarcza do wytworzenia naprężenia w drucie.

Tak więc można stwierdzić, co następuje [11]:

- im mniejszy jest promień R, tym większe jest naprężenie T,
- im bardziej chropowata jest krawędź wkładki W, tym większe jest tarcie i naprężenie T,
- im sztywniejszy jest drut, tym większe jest naprężenie T, ponieważ drut sztywny wymaga większej siły zginania,
- im grubsza jest ścianka W, tym mniejsze jest naprężenie T, ponieważ tym większy jest promień C.

W przypadku drutu z miedzi beztlenowej naprężenie T jest następujące:

0,5 - 1,5 kG	przy drucie o średnicy	0,25 mm,
0,6 - 1,8 kG	" " "	0,40 mm,
1,5 - 2,8 kG	" " "	0,50 mm,
3,0 - 5,0 kG	" " "	0,60 mm,
30 kG	" " "	1,65 mm.

Ze względu na ważność połączeń co najmniej raz dziennie lub co 1000 połączeń sprawdza się /dla każdego narzędzia i wykonującego połączenia/ 10 połączeń, z których pięć poddaje się próbie ściągania i pięć próbie odwijania. W przypadku drutu srebrzonego o śred-

nicy 0,5 mm dobre narzędzie wytrzymałe wytrzyma 100000 połączeń, w przypadku drutu srebrzonego o średnicy 0,25 mm - 60000 połączeń, a w przypadku drutu cynowanego o średnicy 0,25 mm - 30000 połączeń [9].

Jeżeli połączenie zostanie z jakichkolwiek względów źle wykonane lub też trzeba usunąć połączenie, należy starannie odwinąć ręcznie drut za pomocą specjalnego narzędzia, a nie ściągać połączenie, dzięki czemu, unikając uszkodzenia krawędzi końcówki, można na niej wykonać nowe połączenie. W taki sposób można wykonać nawet 50 nowych połączeń, choć zaleca się wykonywanie na tej samej końcówce nie więcej niż 10 połączeń [11]. Natomiast w żadnym przypadku nie można używać do nowego połączenia odwiniętego drutu, wobec czego przyłączany drut powinien mieć z zasady długość zwiększoną o około 35 mm dla umożliwienia wykonania jeszcze jednego połączenia. Większa liczba ponownie wykonywanych połączeń wymagałaby natomiast wymiany żyły kabla lub przewodu przyłączeniowego [23].

Trzeba jeszcze zaznaczyć w tym miejscu, iż są również znane narzędzia wykonujące w jednej operacji odcinanie drutu o niezbędnej długości, usuwanie izolacji i owijanie, nadające się zwłaszcza do izolacji z tworzyw sztucznych [30], narzędzia ze specjalną głowicą o dwóch owijkach obracających się w przeciwnych kierunkach, przeznaczone do jednoczesnego wykonywania dwóch połączeń, na przykład dwóch elementów lub obwodów drukowanych [3], oraz narzędzia o odmiennej zasadzie konstrukcyjnej końcówki i owijaka, stosowane do złącz wtykowych [31].

4.2. Urządzenia automatyczne i półautomatyczne

Ze względu na dużą miniaturyzację nowoczesnych urządzeń wykonywanie połączeń owijanych narzędziami ręcznymi jest praktycznie możliwe tylko w przypadkach małych serii produkcyjnych, gdy, w przypadku dużych serii produkcyjnych urządzeń czas potrzebny dla wyszukania końcówki do okablowania byłby za duży, a ponadto istnieje wtedy duża możliwość pomyłek okablowania. Dlatego w przypadku dużych serii produkcyjnych do wykonywania połączeń owijanych trzeba stosować urządzenia całkowicie automatyczne lub półautomatyczne, sterowane elektronicznie za pomocą programów na taśmach magnetycznych lub kartach perforowanych, podobnie jak obrabiarki [32, 33, 36]. Urządzenia całkowicie automatyczne mają zautomatyzowane wszystkie operacje, podczas gdy urządzenia półautomatyczne mają zautomatyzowaną lokalizację końcówek oraz umieszczanie narzędzia nad końcówką, a samo wykonywanie połączenia odbywa się ręcznie. Urządzenia automatyczne eliminują pomyłki przy owijaniu, ułatwiają wprowadzanie zmian w okablowaniu, zapewniają stałość własności połączeń oraz znacznie zmniejszają pracochłonność wykonywania połączeń [14], gdyż dzięki pełnej automatyzacji wykonywania połączeń można uzyskać wydajność do 1200 połączeń /przeciętnie 500-600 połączeń/ na godzinę. Natomiast przy stosowaniu narzędzi ręcznych wydajność ta nie przekracza 50-180 połączeń na godzinę, zależnie od średnicy drutu i narzędzia [11, 33].

Całkowicie zautomatyzowanym urządzeniem do wykonywania połączeń owijanych jest urządzenie typu IZF firmy Gardner Denver Co, USA, które ma czytnik kart perforowanych. szafę sterowania

oraz stół do kablowania paneli o wymiarach 55,88 x 106,68 cm. Urządzenie ma sześć możliwych tras poruszania się narzędzia do owijania, a każde połączenie wymaga oddzielnej karty perforowanej [33]. W 1969 r. pracowało 167 tych urządzeń w USA i 14 urządzeń w Europie.

Pierwsza grupa urządzeń półautomatycznych charakteryzuje się wskazywaniem pracownikowi końcówki do okablowywania za pomocą dwóch wskaźników świetlnych, w których przecięciu znajduje się ta końcówka, przy czym niektóre urządzenia mają ponadto samokontrolę, uniemożliwiającą pracownikowi wykonanie połączenia na niewłaściwej końcówce. Do urządzeń tego typu należy urządzenie SYN 500 firmy Synelec, Francja, sterowane za pomocą kart perforowanych [33].

Druga grupa urządzeń półautomatycznych charakteryzuje się wskazywaniem pracownikowi końcówki do okablowywania za pomocą nastawnika, co uzyskuje się przesuwem pionowym i poziomym stołu do okablowywania. Dane charakterystyczne tych urządzeń są podane w tabl. 2 [33,34].

Przeciwnie do poprzednich trzecia grupa urządzeń charakteryzuje się ustawianiem narzędzia do owijania nad końcówką, wzdłuż jej osi, wobec czego rola pracownika ogranicza się tylko do włożenia drutu do narzędzia i wykonania połączenia, co eliminuje jakiegokolwiek pomyłki ustawienia narzędzia, lecz wymaga sztywnie i dokładnie umocowanych końcówek. Do tej grupy urządzeń należą urządzenia firmy Synelec, Sercel i Souriau/C.S.E.E., których dane charakterystyczne są przedstawione w tabl. 3 [33].

Dalszym ulepszeniem jest zastosowanie jednego minikomputera do sterowania kilkunastu urządzeń półautomatycznych, co zrealizo-

Dane techniczne urządzeń półautomatycznych z nastawnikiem i przesuwem stołu

Dane techniczne urządzenia	P r o d u c e n t			
	Superior Electric	Pratt and Whitney	Alcatel	Universal Instruments Corp.
	Typ urządzenia	Typ urządzenia	Typ urządzenia	Typ urządzenia
	12	B	C	6954
	200			6984
Wymiary użyteczne stołu do okablowywania, mm	305x254	760x510	1140x740	600x900
Wymiary maksymalne powierzchni okablowywanej, mm	228, 6x228, 6; 457, 2x228, 6	510x400	1020x660	520x658
Gabaryty zewnętrzne, mm	534x292	2440x1700	3050x660	1920x1210
Regulacja wysokości stołu	Zgodnie z wymaganiami	Zgodnie z wymaganiami		1900x1750
Wysokość maksymalna panelu okablowywanego	Dowolna	Dowolna	Dowolna	
Dokładność przesuwu stołu, mm	+ 0,025	+ 0,025		
Dokładność ustawienia, mm	+ 0,012 mm/305 mm	+ 0,025		+ 0,04
Wydajność wykonywania połączeń na godzinę	500	500		300-400
Wskaźnik omyłek lub złych połączeń, %	0			0
Szybkość odczytu taśmy, znaki/s	40	60		
Wprowadzanie programu	Ręczne lub automatyczne	Ręczne lub automatyczne		Ręczne lub automatyczne

wała firma Amphenol, USA [35]. Ta sama firma opracowała przyrząd do badania jakości połączeń /Omnitester 900 wiring analyzer/ drogą pomiaru m.in. ich rezystancji oraz rezystancji izolacji, produkowany przez firmę Tele Sciences, Inc.

4.3. Technika łączenia

Przy zautomatyzowanym wykonywaniu połączeń końcówki są rozmieszczane regularnie lub na przemian /rys. 13/. przy czym minimalna odległość A między końcówkami powinna być sumą promienia otworu owijaka, grubości jego ścianki, średnicy drutu gołego względnie izolowanego i połowy grubości końcówki. W przypadku połączeń zminiaturyzowanych A wynosi najczęściej 2,5 mm, a w przypadku połączeń normalnych 5,0 mm, choć stosowane są także odległości 3,125 i 3,75 mm [9].

Końcówki do połączeń wykonywanych za pomocą narzędzi ręcznych mogą być osadzone pływająco, podczas gdy do połączeń wykonywanych za pomocą narzędzi automatycznych muszą być osadzone sztywno. Odchyłka położenia wierzchołka końcówki względem położenia teoretycznego nie powinna przekraczać $\pm 0,25$ mm dla końcówek o wymiarach $0,64 \times 0,64$ mm i $\pm 0,38$ mm dla końcówek o wymiarach $1,14 \times 1,14$ mm [9].

Przy wykonywaniu połączeń owijanych narzędziami zautomatyzowanymi należy tak prowadzić drut, aby był on zawsze pod naciskiem w celu uniemożliwienia jego odwijania się /rys. 14/, unikać takiego prowadzenia drutu, które mogłoby spowodować uszkodzenie jego izolacji /rys. 15/, oraz nakładać koszulkę izolacyjną na drut w przypadku pomijania końcówki przy wykonywaniu połączeń /rys. 16/ [14].

Dane techniczne urządzeń półautomatycznych z nastawianiem narzędzia do owijania nad końcówką

Dane techniczne urządzenia	Producent			
	Synelec		Sercel	Souriau/ /C. S. E. E.
	Typ urządzenia		/T ranchant	Electro- nique/
Liczba stanowisk pracy	3181	3182	2301	2302
Wymiary użyteczne stołu do okablowywania, mm	1	2	1	2
Wymiary maksymalne powierzchni okablowywanej, mm	1330x550	1330x550	1850x800	1850x800
Gabaryty zewnętrzne, mm	450x450	450x450	900x550	900x550
Regulacja wysokości stołu, mm	1440x1370	1440x1370	1850x2190	1850x2190
Maksymalna wysokość panelu okablowanego, mm	250	250	250	250
Dokładność ustawienia, mm	125	125	125	125
Wydajność wykonania połączeń na godzinę	+ 0,025	+ 0,025	+ 0,025	+ 0,025
	300	300	300	270 - 300
				Według wymagań
				1600x1000
				300
				+ 0,025

5. EKONOMIKA POŁĄCZEN OWIJANYCH

Ceny narzędzi i urządzeń do wykonywania połączeń owijanych są według różnych danych następujące:

narzędzia ręczne

z napędem sprężynowym	9,60 - 43 dol.
z napędem elektrycznym	85 - 147,5 dol.
z napędem pneumatycznym	100 - 288 dol.

urządzenia półautomatyczne 10000 - 40000 dol.

urządzenia automatyczne 250000 dol.

Koszt oprogramowania jednego połączenia w przypadku sterowania jednym urządzeniem do owijania wynosi 5-10 centów [12], a w przypadku sterowania wieloma urządzeniami 15 centów [35], podczas gdy koszt przeprogramowywania wynosi 0,025 - 8 centów dla jednego połączenia.

Koszt samego wykonywania połączenia owijanego w porównaniu z kosztem lutowania jest natomiast następujący [5]:

połączenie owijane

narzędzia ręczne	0,095 dol.
urządzenia półautomatyczne	0,070 dol.
urządzenia automatyczne	0,044 dol.

lutowanie 0,20 dol.

a koszt całkowity jednego połączenia narzędziem ręcznym / robocizna, kontrola jakości, koszty narzędzi i amortyzacja/, według danych NRF [11], wynosi jak niżej:

połączenie w komputerze drutem	
o średnicy 0,5 mm	6,8 - 20 fenigów
o średnicy 0,25 mm	20 - 48 fenigów
połączenie w centrali telefonicznej	
drutem o średnicy 0,5 mm	3,2 - 8 fenigów

Koszt ten w przypadku urządzeń półautomatycznych i całkowicie automatycznych można zmniejszyć, co jest jednak realne tylko wtedy, gdy trzeba wykonywać bardzo dużo połączeń. I tak instalowanie całkowicie automatycznego urządzenia jest uzasadnione wówczas, gdy rocznie trzeba wykonywać co najmniej 2500000 połączeń drutem o średnicy 0,5 mm lub 1000000 połączeń drutem o średnicy 0,25 mm, ponieważ wtedy urządzenie amortyzuje się w ciągu trzech lat [11]. Urządzenie półautomatyczne amortyzuje się oczywiście znacznie szybciej.

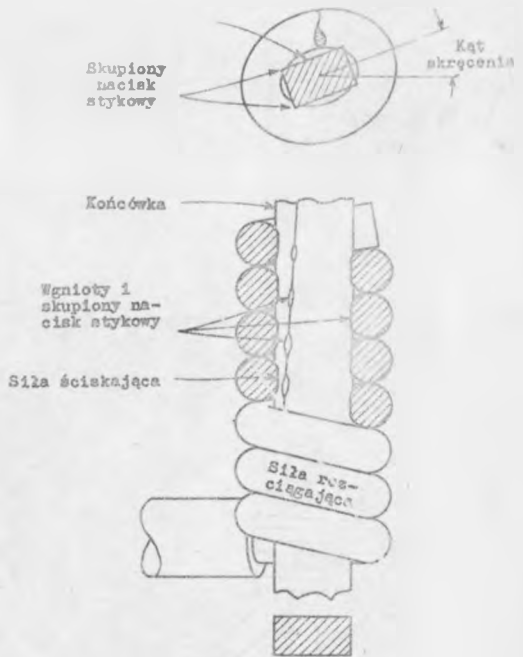
WYKAZ LITERATURY

1. Niewiadomski C. : Połączenia owijane przewodów z końcówkami urządzeń teletechnicznych. Przegląd Zagadnień Łączności 1965 t. 5 nr 2, s. 1-23
2. Ekner J. : Połączenia owijane do maszyn cyfrowych. Elektron. Tech. Oblicz. Nowości 1969 nr 2, s. 55-78.
3. Ekner J. : Technologie połączeń stosowane przy makromontażu modułowych urządzeń elektrycznych. Część II. Połączenia owijane i zaciskane. Pomiary, Automatyka, Kontrola 1971 t. 17 nr 12, s. 548-552.
4. Skarzycki Z. : Technologia połączeń owijanych. Biul. Mera 1971 nr 11, s. 26-30.

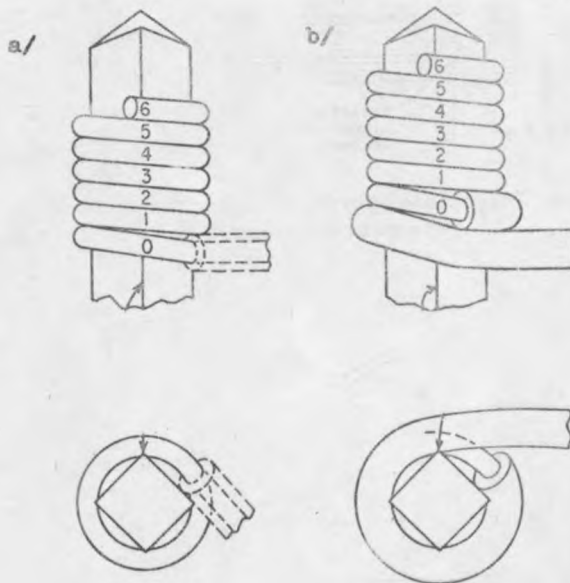
5. Oleksy H. : Ekonomiczno-techniczne i organizacyjne przesłanki wdrożenia technologii połączeń owijanych. Postępy Elektroniki 1971 t. 16 nr 6, s. 16-20.
6. Zawila W. : Połączenia elektroniczne owijane. Postępy Elektroniki 1971 t. 16 nr 6, s. 7-15.
7. Stępień S. : Połączenia elektryczne. Postępy Radiotechniki 1972 t. 18 nr 77, s. 26-63.
8. Stępień S. : Połączenia elektryczne w sprzęcie elektronicznym. Prz. Telekom. 1972 t. 45 nr 12, s. 406-412.
9. Stępień S. : Połączenia naciskowe. Prz. Telekom. 1973 t. 46 nr 2, s. 63-70.
10. Messana J.P. : Solderless wrapping of 30-gauge wire. Bell Lab. Rec. 1967 t. 45 nr 3, s. 79-83.
11. Taquet G. : Warum wire - wrap. Westhausen: Deutsche Gardner Denver GmbH 1969 P14/12, s. 24.
12. Nowlin W.G. : Why solderless connectors. Digital Design 1973 t. 3 nr 5, s. 48-50.
13. Vlk M. : Ovijene spoje. Sdelovaci Tech. 1965 t. 13 nr 4, s. 127-129.
14. Harper C.A. : Handbook of wiring, cabling and interconnecting for electronics. New York: McGraw-Hill Book Co 1972.
15. Standke : Kolloquium über lötfreie Verdrahtungstechnologien. Fernmelde - Praktiker 1965 t. 5 nr 1, s. 21-22.
16. Ганаев М.Я. : О надёжности витых соединений. Автом. Телемех. 1970 nr 6, s. 168-171.

17. Mason W.P., Osmer T.F. : Solderless wrapped connections. Part II. Necessary conditions for obtaining a permanent connection. Bell System Tech. J. 1953 t. 32 nr 3. s. 557-590.
18. Davies D.G. : Micro-mechanisms of solderless wrapped joint formation. Trans. IEEE Parts, Hybrids, Packaging 1972 t. PHP-8 nr 1, s. 48-62.
19. Mallina R.F. : Solderless wrapped connections. Part I. Structure and tools. Bell System Tech. J. 1953 t. 32 nr 3. s. 523-555.
20. Mason W.P., Anderson O.L. : Stress systems in the solderless wrapped connections and their permanence. Bell System Tech. J. 1954 t. 33 nr 5, s. 1093-1110.
21. Atkinson P. : Solderless joints - the technique of wire wrapping. Brit. Commun. and Electron. 1963 t. 10 nr 4, s. 288-289.
22. Novotny J. : Pripojovani vodicu ovijenych spoju. Sbornik Praci VUT 1968, s. 235-259.
23. Elia H. : Die Anschlusstechnik der lötfreien Wickelverbindungen. Tech. Mitt. PTT 1968 t. 46 nr 11, s. 531-540.
24. Fox A., Swisher J.H. : Superior hook-up wires for miniaturized solderless wrapped connections. J. Inst. Met. 1972 t. 100 nr 1, s. 30-32.
25. Leather R.A. : The reliability of wire wrapped joints. Electron. Equipment News 1970 t. 12 nr 8, s. 24-30.

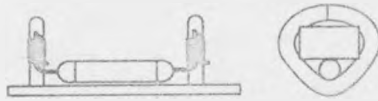
26. Auriana M. : Solderless wrapped termination performance. Electron. Packaging Prod. 1967 nr 7, s. 37-46.
27. Butt S.H. : New copper alloys for miniature electrical/ electronic terminals and connections. Insul. Circuits 1973 t. 19 nr 6, s. 21-24.
28. Kobayashi M. : Reliability of connections. Rev. Elec. Commun. Lab. 1970 t. 18 nr 7/8, s. 557-574.
29. Dummer G.W.A. , Robertson J.M. : Electronic connection techniques and equipment 1968-1969. Oxford: Pergamon Press 1968, s. 380-463.
30. Malina R.F. , Reck F. : The combination wire - wrapping tool. Bell Lab. Rec. 1965 t. 33 nr 8, s. 281-284.
31. Halder A.K. : An improved apparatus for making wrapped joints. Electron. Compon. 1970 t. 11 nr 6, s. 668-669.
32. Biedermann K.L. : Einsatz und Steuerung einer Verdrahtungsmaschine bei der Fertigung von Elektronenrechnern. Werkstatt u. Betrieb 1964 t. 97 nr 7 s. 497-502.
33. Honorat R. : Panorama des machines à cabler. Haut Parleur, Electron. professionnelle 1971 nr 1295, s. 23-32.
34. Universal Instruments Corporation. The universal model 6954/6984 - semi - automatic wire termination system. Binghamton 1971.
35. Amphenol Cadre Division. Wrap RAP /prospekt bez daty/.
36. Maiwald R. : Technologische Problemlösungen zur Rationalisierung des Verdrahtungsprozesses /ARF/. Elektrik 1972 t. 26 nr 5, s. 136-138.



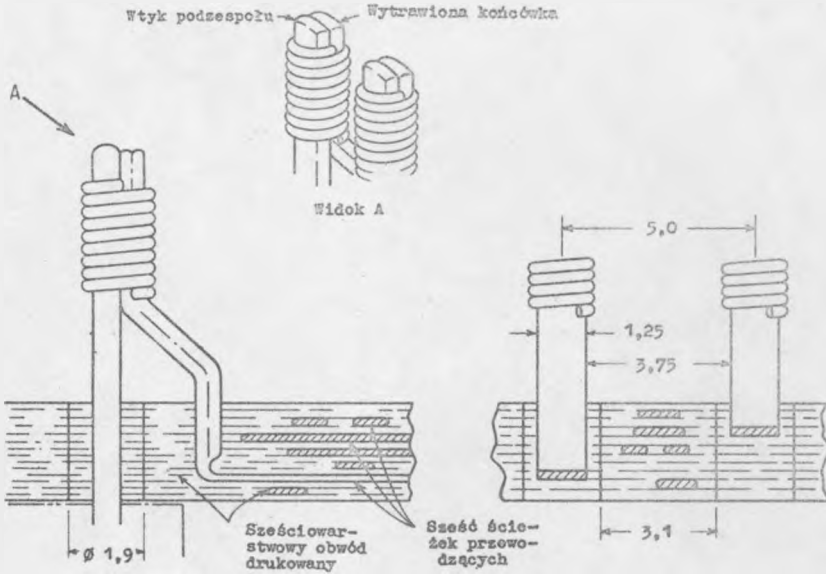
Rys. 1. Połączenie owijane



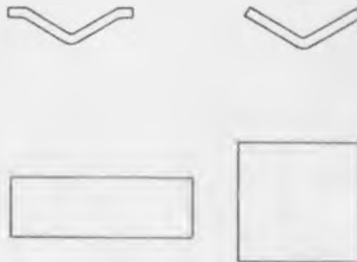
Rys. 2. Normalne i wzmacnione połączenie owijane: a/ połączenie normalne; b/ połączenie wzmacnione



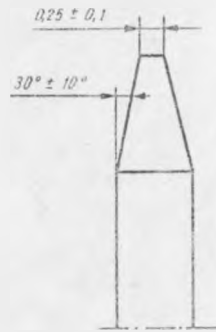
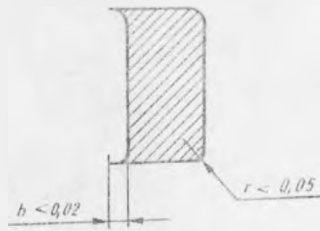
Rys. 3. Połączenia bandażowe przez wyprowadzeniowego elementu



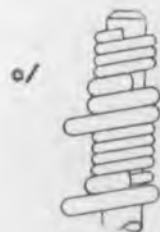
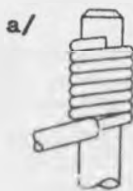
Rys. 4. Połączenie hybrydowe w zastosowaniu do wzajemnych części wielowarstwowego obwodu drukowanego

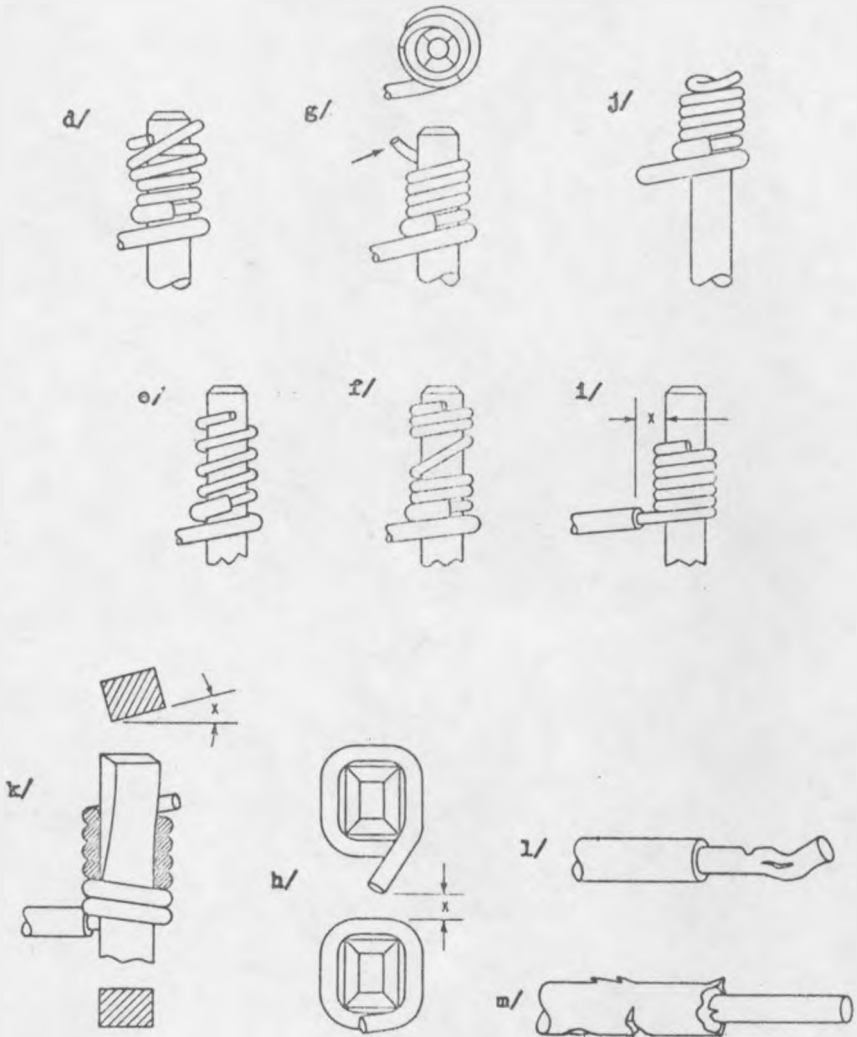


Rys. 5. Przekroje końcówek

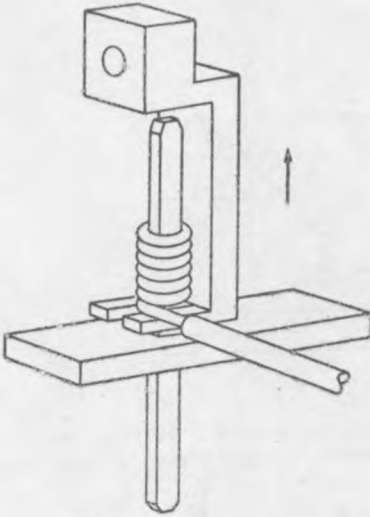


Rys. 6. Widok z boku i z góry końcówki szarowanej

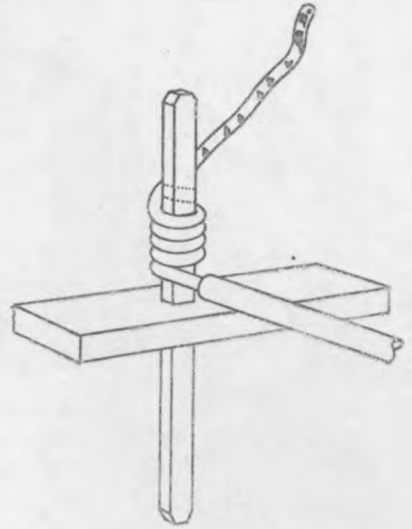




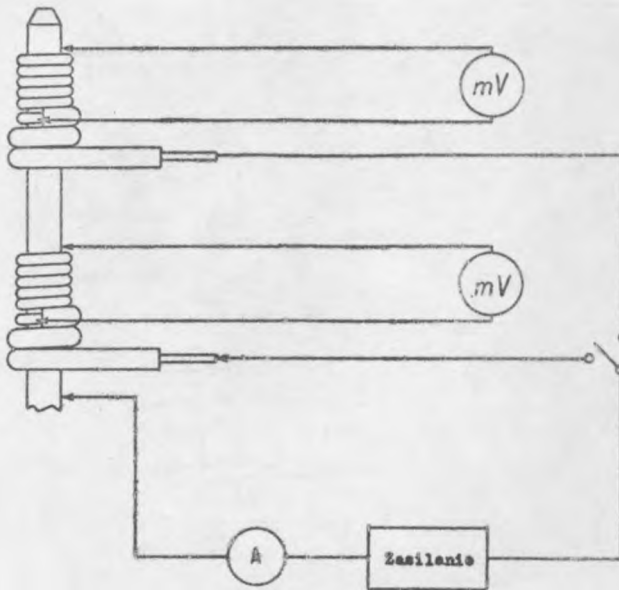
Rys. 7. Wady połączenia owijanego: a/ za krótki zwoj drutu izolowanego; b/ za mała liczba zwojów drutu gołego; c/ nakładanie się zwojów sąsiednich połączeń; d/ nakładanie się zwojów w poszczególnych połączeniach; e/ za duży odstęp między sąsiednimi zwojami; f/ zmiana skoku nawinięcia; g/ nadmierne odstawianie końca nawinięcia; h/ za długi koniec nawinięcia; i/ nadmierne odstawianie gołego drutu dolnego zwoju; j/ nawinięcie na sfazowaną część końcówki; k/ nadmierne skręcenie końcówki; l/ uszkodzenie drutu; m/ uszkodzenie izolacji



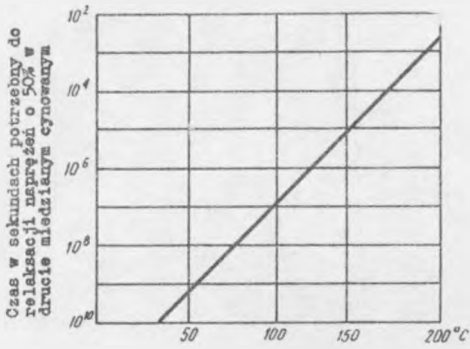
Rys. 8. Przyrząd do pomiaru siły ściągnięcia połączenia z końcówek



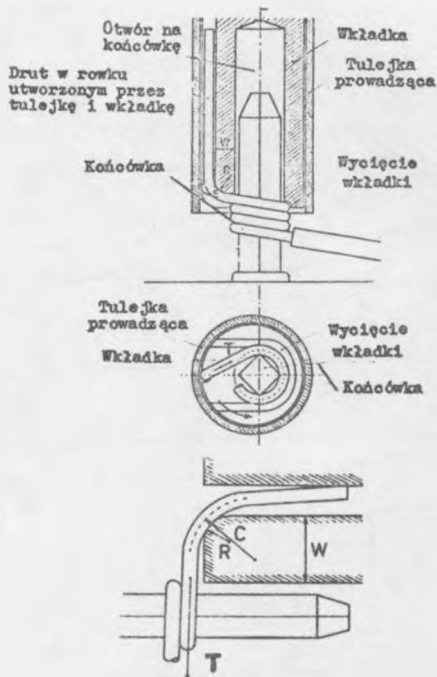
Rys. 9. Próba odwijania drutu



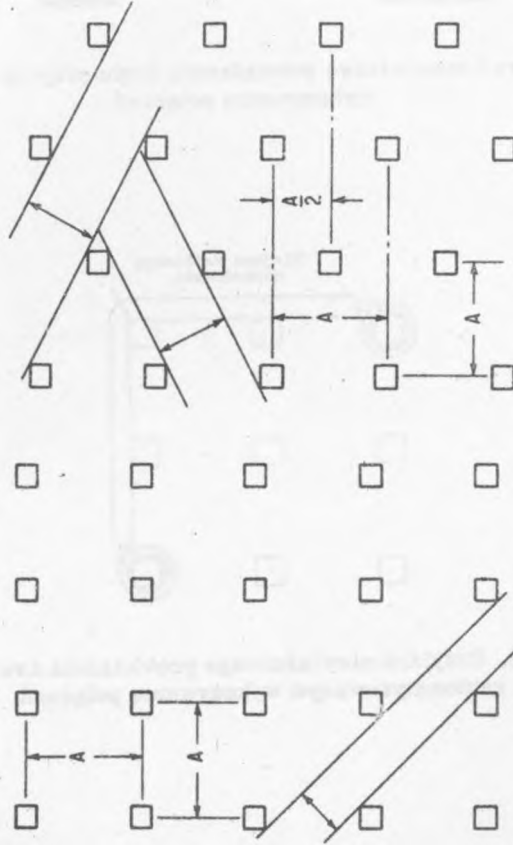
Rys. 10. Schemat pomiaru rezystancji oporu przejścia



Rys. 11. Wykres zależności czasu potrzebnego do relaksacji naprężeń o 50% w drucie cynowanym połączenia owijanego od temperatury



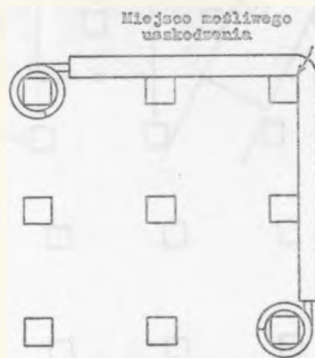
Rys. 12. Narzędzie do owijania



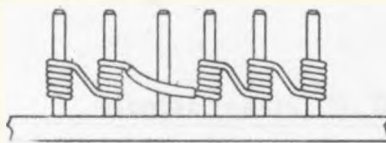
Rys. 13. Rozmieszczenie końcówek przy wykonywaniu połączeń za pomocą narzędzi automatyzowanych



Rys. 14. Właściwe i niewłaściwe prowadzenie drutu przy zautomatyzowanym wykonywaniu połączeń



Rys. 15. Przykład niewłaściwego prowadzenia drutu przy zautomatyzowanym wykonywaniu połączeń



Rys. 16. Odizolowywanie pominiętej końcówki za pomocą koszulki izolacyjnej

