

1 9 6 4
Nr 4 (31)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

Biblioteka

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI

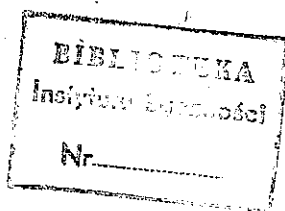
BIBLIOTEKA
Instytutu Łączności

Nr _____





PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI



ROK 4

WARSZAWA 1964

NR 4(31)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne:

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

Członkowie:

inż. Edmund Janowski, prof. Stefan Jasiński,
mgr Kazimierz Kotowski, mgr inż. Adam Moniuszko;
mgr inż. Józef Możejko

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy OKW Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 580. Druk ukończono
we wrześniu 1964 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Przewody o powłokach aluminiowanych

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Mgr inż. Cyryl Niewiadomski - Telekomuni- kacyjne przewody stalowe aluminiowane	1
2. Mgr inż. Cyryl Niewiadomski - Kable tele- komunikacyjne o powłoce aluminiowej	15



Mgr inż. Cyryl Niewiadomski

TELEKOMUNIKACYJNE PRZEWODY STALOWE ALUMINIOWANE

1. WSTĘP

Do napowietrznych linii telekomunikacyjnych, przeznaczonych do połączeń na stosunkowo niewielkie odległości, stosowany jest jako materiał przewodowy drut stalowy ocynkowany o własnościach ustalonych przez PN-59/T-90001. Drut ten jest ze stali o zawartości węgla co najwyżej 0,08%, ocynkowanej przez zanurzenie w ciekłym cynku elektrolitycznym. Ciężar powłoki cynku powinien wynosić według normy 150-280 G/m², zależnie od średnicy drutu.

Zasadniczą zaletą drutów stalowych ocynkowanych jest niska cena oraz niedeficytowość surowca, przeciwnie do drutów telekomunikacyjnych miedzianych i brązowych. Jedną z głównych wad drutów stalowych ocynkowanych jest natomiast znacznie mniejsza trwałość niż drutów miedzianych i brązowych, wynikająca z gorszej odporności cynku przeciw korozji atmosferycznej, zwłaszcza w atmosferze zanieczyszczonej tlenkami siarki i siarkowodorem, a także w atmosferze morskiej. W atmosferze zanieczyszczonej związkami siarki, to znaczy w atmosferze rejonów przemysłowych i miast, wytwarzają się bowiem na drucie w obecności wilgoci kwasy, które rozpuszczają naturalną warstwę ochronną znajdującą się na cynku, powstające

zaś produkty korozji są usuwane następnie przez opady atmosferyczne wskutek rozpuszczalności tych produktów w wodzie. Podobnie przebiega zjawisko w atmosferze morskiej, w której w wyniku korozji wytwarza się rozpuszczalny w wodzie chlorek cynku. Natomiast w atmosferze niezanieczyszczonej związkami siarki lub chlorkami na powierzchni cynku wytwarzają się pod wpływem tlenu i dwutlenku węgla sole zasadowe cynku, hamujące jego korozję [1].

Jak z powyższego wynika, trwałość drutów stalowych ocynkowanych zależy przede wszystkim od atmosfery, w której znajdują się druty. Poza tym na trwałość drutów mają zasadniczy wpływ grubość i jakość powłoki cynku, podczas gdy odnośnie wpływu gatunku /zawartości zanieczyszczeń/ zdania są krańcowo sprzeczne [2,3,4].

Bardzo rozbieżne są także wyniki badań trwałości powłoki cynku w różnego rodzaju atmosferach, które wahają się w granicach przedstawionych w tabl. 1 [1,5,16], co jest jednakże zrozumiałe wobec dużych różnic składu atmosfery, zwłaszcza przemysłowej. Z tablicy 1 wynika przy tym tablica 2, w której podano granice trwałości drutów stalowych ocynkowanych o grubości powłoki cynku według PN-59/T-90001, przyjmując, że jakość powłoki pod względem przylegania i szczelności jest właściwa oraz że ciężar powłoki odpowiada najmniejszemu ciężarowi dopuszczalnemu przez normę.

Z danych przedstawionych w tabl. 2 widać, że od przewodów telekomunikacyjnych stalowych ocynkowanych, produkowanych obecnie w kraju, nie należy oczekiwać dużej

T a b l i c a 1

Intensywność korozji powłoki cynku
w różnych atmosferach klimatu kontynentalnego

Rodzaj atmosfery	Intensywność korozji	
	G/m ² . rok	mm/rok
Wiejska	7,3- 24,1	0,001-0,0034
Podmiejska	21,9- 40,2	0,003-0,0055
Miejska	21,9- 43,8	0,003-0,006
Przemysłowa	29,2-138,7 ^{1/}	0,004-0,019
Miejskoprzemysłowa	29,2-116,8	0,004-0,016
Morska	7,3- 29,2	0,001-0,004

^{1/}Przeważnie 40-80 G/m² . rok

T a b l i c a 2

Orientacyjna trwałość drutów stalowych ocynkowanych
o grubości powłoki według PN-59/T-90001

Rodzaj atmosfery	Druty o średnicy, mm									
	2,0		2,5		3,0		4,0		5,0	
	Trwałość w latach									
Wiejska	6	-20	8	-28	10	-34	11	-38	11	-38
Podmiejska	4	- 7	5	- 9	6	-11	7	-12	7	-12
Miejska	3,5	- 7	4,5	- 9	6	-11	7	-12	7	-12
Przemysłowa	1	- 5	1,5	-6,5	2	- 8	2	- 9	2	- 9
Miejsko-przemysł.	1,5	- 5	2	-6,5	2,5	- 8	2,5	- 9	2,5	- 9
Morska	5	-20	6,5	-28	8	-34	9	-38	9	-38

trwałości w atmosferze przemysłowej i miejskiej, co zresztą potwierdza dotychczasowe doświadczenie, według którego stwierdzono wielokrotnie, iż trwałość w rzeczywistości jest nawet mniejsza niż podana w tabl. 2. To ostatnie musi być oczywiście wynikiem nieodpowiedniej jakości powłoki.

Dlatego właśnie zagadnienie polepszenia jakości przewodów telekomunikacyjnych stalowych ma dla eksploatacji zasadnicze znaczenie, przy czym to polepszenie można uzyskać albo przez zwiększenie grubości powłoki cynku i bardziej staranną produkcję drutów, lub też przez zastąpienie przewodów ocynkowanych poniżej omówionymi przewodami stalowymi aluminiowanymi.

Produkcja tych przewodów została opracowana ostatnio przez Instytut Mechaniki Precyzyjnej i uruchomiona, chwilowo w małej skali, przez Zakłady Wyrobów z Drutu w Sławkowie, które planują jednak znaczne zwiększenie produkcji drutów stalowych aluminiowanych.

2. ZASADY TECHNOLOGII PRODUKCJI DRUTÓW STALOWYCH ALUMINIOWANYCH

Aluminiowanie stali jest od dawna przedmiotem żywego zainteresowania ze względu na dobrą odporność na korozję i żaroodporność powłok aluminiowych. Spośród różnych sposobów aluminiowania największe znaczenia ma aluminiowanie w ciekłej kąpieli, które w większości przypadków jest tańsze i wydajniejsze niż inne sposoby aluminiowania. Niestety sposób ten jest dość kłopotliwy w

produkcji, dlatego też trzeba było najpierw przezwyciężyć wiele trudności, zanim udało się go wprowadzić na szerszą skalę. Do trudności tych należą przede wszystkim szybkie utlenianie się stali przy temperaturze kąpieli, zanieczyszczenie się powierzchni aluminiowanego materiału podczas zanurzania i wyjścia jego z kąpieli oraz skłonność do pęknięcia i rozwarstwiania się powłoki na stali poddawanej odkształcaniu plastycznemu.

Aby zrozumieć trudności, które powoduje przy aluminiowaniu utlenianie się stali zanurzonej w ciekłej kąpieli, należy zaznaczyć, iż aluminiowanie w ciekłej kąpieli polega na dyfuzji aluminium do stali, która może zachodzić tylko wtedy, gdy powierzchnia stali jest czysta. Jest więc oczywiste, iż przed zanurzeniem stali do ciekłej kąpieli trzeba nie tylko poddać ją odtłuszczeniu i trawieniu, tzn. zwykłym zabiegom przed jakimkolwiek powlekaniem w ciekłej kąpieli, lecz także zabezpieczyć oczyszczoną stal przed utlenianiem się przy temperaturze kąpieli.

W praktyce stosuje się obecnie dwa sposoby takiego zabezpieczania stali, a mianowicie zabezpieczanie za pomocą atmosfer ochronnych lub za pomocą topników. Pierwszy sposób, opracowany w skali przemysłowej przez T. Sedzimirę i wprowadzony do produkcji taśm aluminiowych metodą ciągłą, polega na odtłuszczeniu /spalaniu smaru/ stali przez nagrzewanie przy temperaturach $450-600^{\circ}\text{C}$, a następnie na redukcji zgorzeliny /zastępującej trawienie/ wodorem przy temperaturze $850-950^{\circ}\text{C}$, w którego atmosferze stal jest potem zanurzana do ciekłej kąpieli o-

raz z niej wyjmowana. Zabezpieczenie za pomocą topników polega natomiast na zanurzeniu uprzednio odtłuszczonej i wytrawionej stali w ciekłym topniku, który znajduje się albo w oddzielnej wannie, jak w przypadku aluminiowania drutów sposobem ciągłym metodą American Chain i Cable Corp. [5,7] oraz w innych przypadkach /sposób Al-Dip/, albo też na powierzchni ciekłego aluminium lub pod jego powierzchnią /sposób Möllera/.

Obydwa te sposoby są niestety w produkcji bardzo kłopotliwe, ponieważ pierwszy sposób wymaga kosztownych urządzeń, podczas gdy drugi jest związany z tymi wszystkimi trudnościami, które powoduje zastosowanie topników /szybkie zanieczyszczanie się materiałem wanny oraz rozpuszczaniem żelazem, szkodliwe dla zdrowia opary/. Tym właśnie tłumaczą się próby wprowadzenia innych, mniej kłopotliwych sposobów zabezpieczania powierzchni stali przed utlenianiem, z których na największą wagę zasługują miedziowanie stali, a także zabezpieczanie jej przez zanurzenie w roztworach substancji organicznych. Metody te są proste i tanie, lecz pierwsza z nich nie nadaje się do powłok przeznaczonych do ochrony przed korozją wskutek zanieczyszczania się miedzią kąpielą aluminium.

Drugą trudnością aluminiowania w ciekłej kąpeli jest pękanie lub rozwarstwianie się powłoki wskutek odkształcania plastycznego aluminiowanego wyrobu, wynikające z właściwości budowy powłoki, składającej się z dwóch warstw, a mianowicie twardej i kruchej wewnętrznej warstwy dyfuzyjnej związku międzymetalicznego aluminium i żelaza oraz warstwy zewnętrznej o składzie kąpeli. Z tych dwóch

warstw decydującą o pękaniu i rozwarstwianiu się powłoki jest warstwa wewnętrzna, która im grubsza i twardsza, tym ma gorsze własności plastyczne. Dlatego w praktyce dąży się do jak najniższej temperatury aluminowania oraz jak najkrótszego zanurzenia w kąpeli /zwiększenia szybkości aluminowania/, a poza tym wprowadza się do niej krzem lub beryl, które hamują rozrost warstwy dyfuzyjnej [8,9].

Przyczyny odmiennego rozrostu warstwy dyfuzyjnej podczas aluminowania w aluminium i w stopie z krzemem nie są dotychczas jednoznacznie wyjaśnione. Według badań angielskich [10] za przyczynę tego uważa się wytwarzanie się związku Fe_2Al_5 podczas aluminowania w aluminium oraz związku $FeAl_3$ podczas aluminowania w stopie, co jest jednak sprzeczne z badaniami niemieckimi [11], które nie wykazały rentgenograficznych różnic strukturalnych obydwóch warstewek. Własne badania twardości warstw dyfuzyjnych także nie potwierdziły powstawania różnych związków międzymetalicznych, wobec czego wysunięto przypuszczenie, że przyczyną lepszej plastyczności warstwy dyfuzyjnej otrzymywanej przy aluminowaniu w stopie jest wypełnienie przez atomy krzemu nieobsadzonych węzłów sieci przestrzennej roztworu stałego subtrakcyjnego Fe_2Al_5 , czyli uzyskanie bardziej doskonałej budowy roztworu stałego tego związku, wytwarzającego się podczas aluminowania [12].

Aluminowanie w stopie, a nie w samym aluminium jest więc istotą prawidłowego aluminowania, gdyż dzięki aluminowaniu w stopie uzyskuje się bardziej plastyczną

warstwę dyfuzyjną, której grubość nie powinna przekraczać 0,025-0,040 mm. Prócz tego, jak wykazały badania M.L. Hughesa i D.P. Mosesa [13] oraz badania własne, szczególnie istotny dla uzyskania dobrej plastyczności powłoki jest duży stosunek grubości warstwy dyfuzyjnej do grubości warstwy zewnętrznej powłoki, który powinien wynosić co najmniej 2:1, a jeszcze lepiej 5:1 lub więcej. Dlatego też należy stosować podczas aluminiowania drutów ich obcieranie po wyjściu z kąpielii.

Dużą niedogodnością aluminiowania stali jest rozpuszczanie się żelaza w ciekłym aluminium. Rozpuszczanie się żelaza jest tym większe, im wyższa jest temperatura kąpielii i większy czas zanurzenia w kąpielii. Zawartość żelaza rozpuszczonego w aluminium o określonej temperaturze ograniczona jest jednakże warunkami równowagi ustalonymi wykresem układu Al-Fe, z którego wynika, iż przy temperaturze 700°C w ciekłym aluminium może rozpuścić się co najwyżej około 2,5% żelaza, a przy temperaturze 800°C - co najwyżej około 6% żelaza, przy czym nadmiar żelaza ponad te zawartości wydziela się w kąpielii w postaci kryształów związku $FeAl_3$, opadających powoli na dno kąpielii. Według badań własnych [12], potwierdzonych następnie przez badania angielskie [10], szybkość rozpuszczania się żelaza w aluminium o temperaturze 725°C wynosi około 0,42 G/min.dm², a w stopie o zawartości 10% krzemu - 1,1 G/min.dm².

Zasadniczą wadą rozpuszczania się żelaza jest pogorszenie plastyczności powłoki przy zawartości ponad 2% żelaza [10]. Ponadto po przekroczeniu zawartości odpo-

wiadającej maksymalnej rozpuszczalności żelaza w kąpie-
li o danej temperaturze następuje pogorszenie płynności
kąpeli oraz chropowatość powłoki wskutek znajdowania
się w kąpieeli krzysztalów związku $FeAl_3$ [14]. Natomiast,
zgodnie z dotychczasowymi badaniami, nie wydaje się, aby
zawartość żelaza do co najmniej 2,5% mogła istotnie wpły-
wać na korozję powłoki w atmosferze, której zanieczy-
szczenia mają znacznie większy wpływ na intensywność ko-
rozji aluminium niż dodatki stopowe lub zanieczyszczenia
krzemem i żelazem [15]. Nie ma także wpływu zawartość
żelaza na szybkość wytwarzania się warstwy dyfuzyjnej
[12].

Jak z powyższego wynika, nie można dopuszczać w ką-
peli nadmiernej zawartości żelaza, co wymaga stałej kon-
troli analitycznej kąpeli. Gdy zaś zawartość żelaza
przekroczy wartość dopuszczalną, prawdopodobnie ponad
2%, trzeba wtedy wymienić kąpiel. Ponieważ wymiana ką-
peli jest kłopotliwa i kosztowna, należy stosować wan-
ny o dużych wymiarach, z materiałów ceramicznych, lub
też aluminiowanie drogą przepuszczania drutu przez piec
indukcyjny do topienia. Ponadto, jak wspomniano, trzeba
dążyć do możliwie dużej szybkości aluminiowania i ni-
skiej temperatury ciekłej kąpeli.

W Polsce zagadnieniami aluminiowania w ciekłej kąpie-
li zajmuje się Instytut Mechaniki Precyzyjnej, w którym
wykonano pierwsze badania na ten temat już w 1956 r. [12].
Badania te doprowadziły ostatecznie do opracowania techno-
logii aluminiowania drutów stalowych oraz do uruchomie-
nia produkcji drutów w skali półtechnicznej w Zakładach
Wyrobów z Drutu w Sławkowie.

3. WŁASNOŚCI DRUTÓW STALOWYCH ALUMINIOWANYCH ORAZ METODY ICH BADAŃ

Gdy warstwa dyfuzyjna jest odpowiednio cienka i jednolita, w atmosferze przemysłowej i podmiejskiej wytwarza się na drucie w stosunkowo krótkim czasie czerwono-złotawy cienki nalot, który nie występuje w atmosferze morskiej. Nalot ten jest mieszaniną krzemianu sodowoalumi-
niowego, δ - $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ / i tlenku żelazowoalumi-
niowego $/14 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 86 \text{Fe}_2\text{O}_3/$, która według jednej teorii tworzy się wskutek korozji igiełek związku AlFeSi , znajdujących się w warstewce zewnętrznej powłoki, według drugiej zaś - wskutek korozji stali pod powłoką, która ma mikroskopowe pęknięcia i otworki, umożliwiające przenikanie czynnika korozyjnego. Nalot ten nie ma wpływu na trwałość drutów, ponieważ produkty korozji wypełniają mikroszczeliny i uniemożliwiają dalszy postęp korozji.

Gdy warstwa dyfuzyjna powłoki jest za gruba, lecz jednolita, wówczas na powłoce wytwarza się właściwa rdza, w ilości 1% po roku i 10% po 3 1/2 latach w atmosferze morskiej. Gdy natomiast warstwa dyfuzyjna jest za gruba i popękana, wtedy już po 1 roku drut rdzewieje całkowicie [17].

Wszystkie dotychczas przeprowadzone badania wykazały, że prawidłowo aluminiowana stal jest znacznie odporniejsza na korozję atmosferyczną niż stal ocynkowana [13, 17, 18]. I tak, na przykład, badania w USA wykazały [17], że drut o grubości powłoki, 0,0275 mm i ciężarze powłoki

60 G/m², aluminiowany w kąpielii zanieczyszczonej żelazem w ilości 1,5-1,8%, wykazuje w atmosferze przemysłowej dopiero po 6 latach ślady rdzewienia /2% rdzy w postaci drobnych punktów/, podczas gdy drut ocynkowany rdzewieje całkowicie w takiej atmosferze już po 3 1/2 latach. Najmniej korzystna dla drutu aluminiowanego jest przy tym nie atmosfera przemysłowa, lecz atmosfera morską.

Jakość powłoki aluminiowanego drutu pod względem odporności przeciw korozji powinna być określana za pomocą próby przylegania powłoki oraz określenia ciężaru i szczelności powłoki. Pierwsza próba powinna być wykonywana, podobnie jak dla drutu ocynkowanego, przez nawijanie drutu na trzpień o określonej średnicy, a druga może być wykonywana zgodnie z normą ASTM A428-58T [19]. Znacznie większe trudności przedstawia natomiast trzecia próba, gdyż dotychczas nie opracowano takiej metody, którą można byłoby uznać za zadowalającą.

Jedną z prób szczelności powłoki polega na określaniu w ustalonych warunkach ilości cm³ wodoru wydzielającego się po zanurzeniu próbki drutu w 15% roztworze kwasu azotowego [17]. Druga próba polega natomiast na zanurzeniu próbki w określonych warunkach w roztworze zawierającym 25 g CuSO₄ · 5H₂O, 80 ml 95% H₂SO₄ i 62,5 ml 48% HF /lub dwukrotną ilość tych składników/, rozcieńczonym wodą do 1 l. Roztwór ten po pewnym czasie powoduje wytrącanie się miedzi na stali, jeżeli powłoka nie jest szczelna [17,20].

Ważną dodatkową próbą, której nie poddaje się druty

stalowe ocynkowane, powinno być określenie zawartości żelaza w zewnętrznej warstwie powłoki, ponieważ, jak wspomniano, od zawartości żelaza zależy przyczepność powłoki oraz ponieważ nadmierna zawartość żelaza nie może być bez wpływu na odporność przeciw korozji drutu aluminiowanego. Jednak analityczne określenie zawartości żelaza w zewnętrznej warstwie powłoki drutu wydaje się wątpliwe do przeprowadzenia wobec trudności oddzielenia zewnętrznej warstwy od warstwy dyfuzyjnej. Dlatego też zawartość żelaza trzeba określać raczej pośrednio, przez analizę samej kąpielii.

Pozostałe próby jakości drutu stalowego aluminiowanego nie powinny różnić się od prób jakości drutu stalowego ocynkowanego.

WYKAZ LITERATURY

1. F. Tödt: Korrosion und Korrosionsschutz, W. de Gruyter, Berlin (1955).
2. T. Święcicki. Cynkowanie żelaza w ciekłym cynku, PWT, Katowice /1952/.
3. H. Bablik: Galvanizing, E. and F.N. Spon, London (1950).
4. Z.P. Mienszikowa, I.B. Sieriebriakowa: Wlijanje niekotorych primiesiej k cinku na korrozionnoju stojkość cinkowych pokrytij, Trudy Uralsk. Naucz. Inst. Czernych Metalłow 1 (1961) 295/7; Rief. Żurn. Chimija (1963) (8) 8K24.

5. R. Vickers: Heisstauchverzinkung, Werkstoffe und Korrosion 13 (1962) (12) 787; Materials Protection 1 (1962) (1) 30/9.
6. B.S. Westermann: Aluminum coating process developed for iron and steel wire, Iron and Steel Engineer 32 (1955) 126/30.
7. B.S. Westermann: New aluminising process for steel wire, Wire and Wire Products 30 (1955) 419/21, 483/5.
8. P.T. Stroup, A.G. Purdy: Aluminum coating of steel. A comparison of various processes, Metal Progress 57 (1950) 59/63, 128/30.
9. D.O. Gittings, D.H. Rowland, J.O. Mack: Effect of bath composition on aluminum coatings on steel, Trans. Amer. Soc. Mat. 43 (1951) 587/606.
10. D.M. Dovey, A. Waluski: Continuous dip aluminising of steel, Metallurgia 67 (1963) (403) 211/7.
11. G. Gürtler, K. Sagel: Wachstumschichten bei der Reaktion von festem Eisen mit Schmelzen aus Aluminium und Aluminiumlegierungen, Z. Metallkunde 46 (1955) 738/41.
12. C. Niewiadomski, A. Zdanowski: Aluminowanie stali niskowęglowej w ciekłej kąpieli, Prace Instytutów Mechaniki 7 (1958) (22) 11/9.
13. N.L. Hughes, D.P. Moses: Hot dip aluminising, Metallurgia 48 (1953) 105/22.

14. P. Douady: L'Aluminage au trempé de pièces en fer et en acier, Aluminium Suisse 6 /1956/ 65/71.
15. M. Whitaker: Corrosion resistance of aluminium, Metal Industry 80 (1952) 207/12, 346/50.
16. Anon. Report of Subcommittee XV on atmospheric exposure test of wire and wire products, Proceed. ASTM 62 (1962) 171/5.
17. J.H. Rigo: Laboratory and service evaluation of aluminized steel wire, Corrosion 17 (1961) 245/50.
18. H. Silman: Continuous hot-dip aluminizing of steel strip, Trans. Inst. Met. Finish. 40 (1963) (2), Techn. Paper 85-92.
19. ASTM A428-58T. Weight of coating on aluminum coated iron or steel articles.
20. H.J. Wittrock: Simple test checks aluminum coating uniformity, Iron Age 177 (1956) (7) 102/3.

Mgr inż. Cyryl Niewiadomski

KABLE TELEKOMUNIKACYJNE O POWŁOCE ALUMINIOWEJ

1. WSTĘP

Wskutek wyczerpywania się w kraju rud ołowionośnych ołów staje się w gospodarce narodowej coraz bardziej deficytowym surowcem, którego produkcja w 1980 r. ma być co najwyżej dwukrotnie większa niż obecnie. Tak nieznaczny rozwój produkcji ołowiu w porównaniu z ogólnym planowanym rozwojem gospodarki narodowej oraz trudności zastąpienia ołowiu w niektórych wyrobach, zwłaszcza akumulatorach, zmusza do przedsięwzięcia środków umożliwiających wyeliminowanie go z wielu wyrobów, w których jeszcze jest on stosowany i w których można go zastąpić innymi materiałami. Do takich wyrobów należą kable, których powłokę ołowianą można zastąpić powłoką z aluminium lub z tworzyw termoplastycznych, uzyskując dzięki temu nie tylko wyeliminowanie deficytowego surowca, lecz również znaczne korzyści ekonomiczne i techniczne. I tak cena 1 tony ołowiu na rynkach światowych wynosi obecnie około 260 dolarów, podczas gdy cena 1 tony aluminium wynosi około 600 dolarów, wobec czego, nawet bez uwzględnienia możliwości stosowania powłoki aluminiowej o mniejszej grubości niż powłoki ołowianej, użycie każdej tony aluminium przynosi gospodarce narodowej oszczędność oko-

ko 500 dolarów dzięki różnicy ciężarów właściwych tych metali.

Dlatego właśnie krajowy przemysł kablowy planuje bardzo znaczne wyeliminowanie ołowiu ze wszelkich kabli i przewodów, m.in. także z kabli telekomunikacyjnych, w związku z czym kable instalacyjne i zakończeniowe mają być produkowane wyłącznie, a kable miejscowe w przeważającej mierze jako kable o izolacji i powłoce z tworzyw termoplastycznych. Z powłoką metaliczną będą produkowane tylko kable miejscowe mające ponad 50 lub 100 czwórek oraz kable dalekosiężne, przy czym większość kabli miejscowych i połowa kabli dalekosiężnych przenoszących pasmo o częstotliwości akustycznej ma być produkowana w powłoce aluminiowej, jakkolwiek w takim wykonaniu można byłoby produkować wszystkie powyższe kable i nawet kable do telefonii nośnej. Szybkość wprowadzenia kabli o powłoce aluminiowej i o powłoce z tworzyw termoplastycznych zależy będzie od dyspensowania odpowiednimi urządzeniami produkcyjnymi i dostateczną ilością surowców, przy czym produkcja kabli o powłoce aluminiowej możliwa jest już obecnie wobec zainstalowania prasy do powłok aluminiowych w Krakowskiej Fabryce Kabli. Druga taka prasa ma być zainstalowana w Fabryce Kabli w Ożarowie.

W związku z zainstalowaniem prasy w Krakowskiej Fabryce Kabli należy więc oczekiwać już wkrótce dostaw kabli telekomunikacyjnych o powłoce aluminiowej, co zmusza do bliższego zaznajomienia się z ich własnościami.

2. ZALETY I WADY POWŁOKI ALUMINIOWEJ

Zalety powłoki aluminiowej są następujące [1]:

- niska cena jednostki objętości,
- mały ciężar dzięki ponad czterokrotnie mniejszemu ciężarowi właściwemu aluminium niż ołowiu,
- znacznie lepsze własności wytrzymałościowe powłoki aluminiowej niż powłoki ołowianej,
- stosunkowo wysoka temperatura rekrytalizacji aluminium,
- znacznie lepsza przewodność elektryczna powłoki z aluminium niż powłoki z ołowiu.

Natomiast wadami powłoki aluminiowej są:

- niedostateczna odporność na korozję w silnie zanieczyszczonej atmosferze, wodzie i glebie,
- większa sztywność niż powłoki ołowianej.

Własności mechaniczne aluminium, ołowiu oraz stopu ołowiu stosowanego na powłokę przedstawia porównawczo tabl. 1, z której widać, że wszystkie własności wytrzymałościowe aluminium jako materiału są znacznie lepsze niż ołowiu. Szczególnie korzystna jest dla eksploatacji duża wytrzymałość na rozciąganie, umożliwiającą zrezygnowanie w przeważającej większości przypadków z opancerzenia kabla, a także duża wytrzymałość zmęczeniowa, dzięki której kable o powłoce aluminiowej są odporne na drgania, tak niebezpieczne dla kabli o powłoce ołowianej.

Własności mechaniczne aluminium, ołowiu i jego stopu
z antymonem

Własności mechaniczne	A199,99	A199,7	A199,5	Pb99,9	Pb50,6
Wytrzymałość na rozciąganie, kg/mm^2	3,5-5,6	7,0-8,0	7,0-8,5	1,3-1,8	2,1-2,7
Wydłużenie przy zerwaniu, %	50-40	30-22	28-22	40-30	35-25
Grenica plastyczności ($Q_{pl0,2}$), kg/mm^2	1,3-2,2	1,5-2,5	1,5-2,5	-	-
Twardość Brinella, kg/mm^2	12-15	18-23	18-24	3,0-4,0	5,5-6,5
Moduł sprężystości podłużnej, kg/mm^2	7200	7200	7200	1600	1600
Wytrzymałość zmęczeniowa, kg/mm^2	2,5	2,7	4,0-5,0	0,43	0,86
Wytrzymałość na pełzanie (0,1%/rok, temp. 20°C), kg/mm^2	0,8	-	-	0,1	0,1

nej. Odporności na drgania sprzyja ponadto stosunkowo wysoka temperatura rekrytalizacji aluminium, dzięki której nie może wytwarzać się grubokrystaliczna struktura powłoki z powodu drgań, przeciwnie niż w powłoce z ołowiu, rekrytalizującego już przy temperaturze pokojowej z utworzeniem struktury gruboziarnistej, podatnej do pęknięć międzykrystalicznych wskutek drgań.

Ponad siedmiokrotnie lepsza przewodność elektryczna właściwa aluminium umożliwia poza tym uzyskanie korzystniejszego współczynnika redukcyjnego kabli o powłoce aluminiowej niż kabli o powłoce ołowianej, co jest wykorzystywane w kablach telekomunikacyjnych układanych wzdłuż linii energetycznych i trakcyjnych prądu zmiennego lub w pobliżu radiostacji. Linie te pogarszają bowiem jakość transmisji telefonicznej i mogą okazać się niebezpieczne dla obsługi linii kablowych oraz urządzeń liniowych, jak również osób korzystających z usług łączności.

W suchym powietrzu wytwarza się na aluminium warstewka bezpostaciowego lub częściowo uwodnionego tlenku glinu, którą uodpornia go przeciw korozji czynników atmosferycznych oraz tak zmienia potencjał elektrochemiczny aluminium, iż żelazo i cynk stają się w stosunku do niego anodą. Natomiast w powietrzu o dużej wilgotności i temperaturze poniżej 70°C tlenek glinu uwadnia się i przechodzi w porowaty wodorotlenek glinowy (hydrargilit), który nie chroni aluminium przed korozją. Korozja aluminium w powietrzu może być poza tym spowodowana osadzającymi się na jego powierzchni substancjami chemicz-

nymi, działającymi na tlenek glinu, stykiem z materiałami higroskopijnymi, zawierającymi nawet nieznaczną ilość substancji reagujących z tlenkiem glinu, lub też stykiem z innymi metalami w atmosferze wilgotnej. Takie warunki występują wskutek osadzania się soli w atmosferze morskiej oraz osadzania się sadzy i elektrolitów, na przykład w silnie zanieczyszczonej atmosferze przemysłowej i w tunelach kolejowych, wskutek styku z wilgotnymi ścianami, ponieważ wilgoć dyfundująca z wnętrza ścian ma zawsze charakter elektrolitu, oraz wskutek styku aluminium z niezabezpieczonym drewnem lub zwykłym papierem podczas transportu i składowania kabli na bębnach [2,3,4,8].

Niebezpieczeństwo korozji aluminium w wodzie i glebie jest znacznie większe niż w powietrzu. Agresywność wody i gleby zależą przy tym od agresywności znajdujących się w nich substancji w stosunku do tlenku glinu, na który silnie działają kwasy i zasady oraz sole o znacznym odczynie kwaśnym lub zasadowym. Natomiast substancje łatwo utleniające i sole o odczynie obojętnym lub prawie obojętnym, których anion nie działa na aluminium i sprzyja wytwarzaniu się tlenku glinu, jak azotany, chromiany i węglany, polepszają odporność przeciw korozji aluminium. Podobnie nie są niebezpieczne kationy metali lekkich, podczas gdy kationy metali ciężkich mogą powodować silną korozję aluminium, wytrącając się na nim i tworząc miejscowe ogniwa, wskutek których aluminium przechodzi do roztworu [5]. Ogólnie biorąc, zjawisko korozji aluminium w glebie jest

bardzo skomplikowane i nie należy spodziewać się, że będzie można ustalić jednoznacznie korelację między składem gleby a intensywnością korozji, gdyż na tę intensywność mają raczej większy wpływ nierównomierność wielkości cząsteczek gleby i zmiany poziomu wody [8].

W glebie o średniej przewodności elektrycznej około 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ zmniejszenie grubości niezabezpieczonej powłoki wskutek korozji może wynosić do 0,5 mm rocznie, przy czym produktem korozji jest prawie wyłącznie wodorotlenek glinu. Korozja zachodzi najczęściej lokalnie, miejsca z pozostałą warstwą glinu działają bowiem jako katody, a miejsca bez tej warstwy lub z uszkodzoną warstwą - jako anody [2,6], w związku z czym korozja aluminium w glebie jest korozją elektrochemiczną, która jest poprzedzona korozją chemiczną. Różnica odporności na korozję aluminium o czystości 99,99% i czystości 99,5% jest nieznaczna i nie uzasadnia pod względem odporności na korozję stosowania znacznie droższego rafinowanego aluminium [4].

Szkodliwie wpływa na aluminium także korozja biologiczna, którą powodują bakterie *Sporovibrio desulfuricans* i *Sporovibrio Rubentschikii*, redukujące siarczany do siarkowodoru, występujące w glebie i zbiornikach wody deszczowej. Bakterie te powodują najpierw wytwarzanie się na aluminium ciemnego, równomiernego nalotu, a następnie wżer, przy czym korozja wskutek działania bakterii jest typu międzykrystalicznego [7].

Również prądy błądzące stałego napięcia oraz, przeciwnie niż w przypadku ołowiu, prądy zmiennego napięcia

silnie wpływają na korozję powłoki aluminiowej. Za niebezpieczny prąd zmienny uważany jest prąd, którego gęstość przekracza $20 \cdot 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ [8].

3. ZASADY TECHNOLOGII NAKŁADANIA POWŁOKI ALUMINIOWEJ

3.1. Rozwój technologii nakładania powłoki aluminiowej

Pierwszy patent na kable o powłoce aluminiowej został zgłoszony w Niemczech w 1928 r. [9], pierwsze zaś kable o takiej powłoce wykonano w USA w 1932 r. [10]. Były to kable telefoniczne o długości 240 m, przeznaczone do sterowców, wykonane, podobnie jak pierwsze kable o powłoce ołowianej, przez wciąganie ośrodka kabla do rury.

W 1935 r. uruchomiono w firmie Siemens-Schuckertwerke w Niemczech pierwszą pionową prasę do powłok aluminiowych, przerobioną z prasy do powłok ołowianych, a w 1941 r. zainstalowano w tych zakładach drugą ulepszoną prasę, która pracowała bez zastrzeżeń do czasu demontażu w 1945 r. Podobną prasę zainstalowano w obecnym Kabelwerk Oberspree, gdzie pracuje ona dotychczas [3,11].

W 1948 r. rozpoczęto w Anglii produkcję kabli o powłoce aluminiowej, polegającą na wciąganiu ośrodka kabla do uprzednio wytłoczonej rury. Metodę tę ulepszyła w Niemczech firma Felten und Guilleaume, która produkuje tą metodą różne kable telefoniczne i kable współosiowe, spośród których kabel o średnicy 155 mm i długości

300 m zainstalowano na wieży Eiffel w Paryżu. Podobne kable produkuje się od 1951 r. w USA firma Phelps Dodge Copper Product Corp. i w Kanadzie firma Canada Wire and Cable Co.

W 1952 r. wykonano w NRF nową, ulepszoną jednotłokową prasę kablową, nadającą się do aluminium o czystości 99,5%, wykonaną przez firmę Hydraulik-Duisburg, po czym z kolei uruchomiono w NRF produkcję pras dwutłokowych, pionowych i poziomych. Produkcję podobnych pras uruchomiono poza tym w Anglii [3]. Od tego czasu datuje się silny rozwój produkcji kabli o powłoce prasowanej, przy czym w ostatnich latach produkcję pras do kabli o powłoce aluminiowej uruchomiono także w ZSRR i Czechosłowacji.

Niezależnie od tego różne firmy zagraniczne przeprowadzały prace nad technologią nakładania powłoki z taśm aluminiowych przez ich spawanie w łuku elektrycznym (General Electric Company i Pirelli-General Cable Works w Anglii oraz Yoder Roller Co - Cleveland w USA) [10, 12, 13] względnie zgrzewanie elektryczne prądem wielkiej częstotliwości [14]. Metody te prawie nie przyjęły się w krajach kapitalistycznych, natomiast ostatnia z nich przyjęła się w ZSRR, gdzie w Zakładach Moskabel produkowane są tym sposobem telefoniczne kable miejscowe [15].

Pr prawie nie przyjęła się także produkcja kabli o powłoce aluminiowej metodą spajania na zimno [16].

3.2. Nakładanie powłoki metodą prasowania

Pierwsze próby prasowania powłok aluminiowych, przeprowadzone w Niemczech już w 1928 r. na prasach do po-

włók ołowianych, dały wyniki ujemne, gdyż za mała moc pras oraz ich nieprzystosowanie konstrukcyjne uniemożliwiały prasowanie wlewków z aluminium o czystości 99,5%, jedynie dostępnego w tym czasie [17]. Podobne negatywne wyniki uzyskano w tym okresie w USA, co właśnie zmusiło do wykonania pierwszych kabli o powłoce aluminiowej sposobem wciągania ośrodka kabla do rury aluminiowej [18].

Następne próby prasowania na prasie do powłok ołowianych okazały się możliwe dopiero po uruchomieniu produkcji aluminium rafinowanego o czystości 99,99% które wymaga podczas prasowania przy temperaturze 450-500°C o 30% mniejszego nacisku jednostkowego niż aluminium o czystości 99,5% [27]. Podczas prób stwierdzono, że do uzyskania właściwej jakości kabli niezbędne jest uniemożliwienie przedostawania się powietrza z prasy do powłoki, a także zabezpieczenie izolacji kabla przed spaleniem wskutek jej styku z narzędziami do prasowania o wysokiej temperaturze [11,19,20,21].

W 1952 r. firma Hydraulik - Duisburg wykonała pierwszą prasę nadającą się do prasowania aluminium o czystości 99,5%. Była to prasa pionowa, jednotłokowa, hydrauliczna, o nacisku 3800 t, z indukcyjnym podgrzewaniem wlewków do temperatury 350-400°C oraz samoczynnym ładowaniem wlewków do pieca i prasy. W celu umożliwienia przedostawania się powietrza do powłoki zastosowano próżnię w recipiencie, a w celu ochrony izolacji przed spaleniem - silne chłodzenie powłoki w prasie i po wyjściu z prasy. Prasa nadawała się do produkcji kabli z powłoką o średnicy do 120 mm i długości ograniczonej

ciągarem wlewka. Była to więc, podobnie jak wszystkie poprzednie, prasa nieciągłego działania [20].

Dopiero w 1960 r. wykonano w firmie Hydraulik całkowicie nowoczesną prasę ciągłego działania, umożliwiającą produkcję kabli o dowolnej długości przez zgrzewanie wlewków w recypencie prasy, bez jednoczesnego powstawania przewężeń powłoki (tzw. pierścieni bambusowych) podczas przestoju prasy w celu załadowania kolejnego wlewka. Podczas przestoju prasy wyzwalają się bowiem, wskutek zmian temperatury i nacisku, naprężenia, powodujące zmianę wymiarów narzędzi do prasowania i tym samym zmianę grubości powłoki [20,22,23].

Poza prasami jednotłokowymi firma Hydraulik produkuje również dwutłokowe prasy pionowe, z których pierwsza o nacisku 2×4500 t, uruchomiona w 1953 r., była prasą nieciągłego działania [17,24]. Obecnie firma ta produkuje takie prasy, lecz ciągłego działania i o nacisku 2×2800 t.

Prasy dwutłokowe nieciągłego działania o nacisku 2×1600 t produkuje od 1957 r. także niemiecka firma Schloemann. Są to jednakże prasy poziome, które odznaczają się podobnymi zaletami jak prasy pionowe ciągłego działania firmy Hydraulik i zostały w dużej liczbie zainstalowane w krajach kapitalistycznych. Prasy te nadają się do produkcji kabli o średnicy do 100 mm i grubości ścianki powłoki powyżej 0,2 mm [25,26], przy czym tak cienkie i jeszcze cieńsze powłoki mogą mieć szczególne znaczenie w przypadku kabli współosiowych o przewodzie zewnętrznym z aluminium [23]. Z innych dwutłoko-

wych pras poziomych zasługują na uwagę prasy o nacisku 2x1750 t ciągłego działania firmy angielskiej Loewy Engineering Co [29].

3.3. Nakładanie powłok sposobem wciągania ośrodka do rury

Produkcja kabli tym sposobem została uruchomiona przez angielską firmę Johnson and Phillips. Według powyższego sposobu ośrodek kabla wciąga się do wytłoczonej rury aluminiowej o większej średnicy, dostarczonej na bębnie, oraz przeciąga przez matrycę, aby uzyskać przyleganie rury do ośrodka. Ciągnięcie odbywa się bez zmiany grubości rury i powoduje utwardzenie powłoki wskutek zgniotu, co zwiększa jej sztywność, jak to widać z porównania własności powłok prasowanych i wciąganych, przedstawionego w tabl. 2. Metodą tą produkowane są kable o średnicy 4-100 mm i długości do 550 m w przypadku kabli o małych średnicach, m.in. telekomunikacyjne kable współosiowe i symetryczne [3,4,9,13,14,18,30,31].

Metoda produkcji przez wciąganie ośrodka do rury jest niedogodna ze względu na konieczność dysponowania kanałem o długości odcinka kabla oraz ze względu na ograniczoną długość odcinków kabli. Ponadto powłoka jest stosunkowo sztywna, czemu przeciwdziała się przez zastąpienie przeciągania powłoki przepuszczaniem jej przez narzędzie do falowania powłoki [9,10,11,32].

Metodę tę w świetle ostatniego postępu techniki nakładania powłoki aluminiowej nie można uważać za nowoczesną.

Porównanie własności mechanicznych
powłok z aluminium o czystości 99,5%.

Własności powłoki	Rodzaj powłoki	
	prasowana	wciągana
Wytrzymałość ₂ na rozciąganie, kg/mm^2	7,2-8,6	8,8-11,2
Granica plastyczności (0,1%), kg/mm^2	3,2-4,0	4,8-8,8
Wydłużenie przy zerwaniu, %	35-30	15-10
Twardość Brinella, kg/mm^2	20-25	28-35
Wytrzymałość zmęczeniowa, kg/mm^2	3,0	5,0

3.4. Nakładanie powłok metodą spawania

3.4.1. Spawanie elektryczne w łuku

Do produkcji tą metodą służy taśma aluminiowa, odwijana z krążka, kształtowana przez sześć par rolek w rurkę wokół ośrodka kabla, który wprowadza się do taśmy po przejściu jej przez pierwszą parę rolek. Po ukształtowaniu taśmy i oczyszczeniu jej krawędzi szczotką z drutów przechodzi ona przez głowicę do automatycznego spawania w łuku elektrycznym w atmosferze argonu.

W celu uniknięcia styku ośrodka ze stopionym metalem ukształtowana rurka ma znacznie większą średnicę niż ośrodek, pomiędzy zaś ośrodkiem i rurką przepaszcza się

w celu chłodzenia wodę albo gaz. Po zakończeniu spawania kabel przepuszcza się przez rolki zmniejszające średnicę lub falujące powłokę [12,13,14,33].

Zaletami metody są nieograniczona długość odcinków kabli, mała grubość ścianki powłoki i stosunkowo mały koszt urządzeń produkcyjnych. Początkowa mała wydajność (1,5 m/min) została zwiększona w urządzeniu produkcji USA do 36 m/min [10].

3.4.2. Zgrzewanie elektryczne

Zgrzewanie elektryczne prądem częstotliwości 450 kHz powłok aluminiowych zostało opracowane w USA przez firmę New Rochelle Tool Corporation, a urządzenia produkcyjne zakupione przez NRF, Francję i Szwecję [14]. O zastosowaniu metody na skalę produkcyjną w tych krajach brak jest jednak jakichkolwiek danych, natomiast wiadomo, że metoda ta przyjęła się w ZSRR, gdzie produkuje się według niej kable telefoniczne miejscowe [15].

Do powłok stosowana jest taśma z aluminium o czystości 99,5% w stanie półtwardym, która musi mieć małe odchyłki szerokości i grubości. Taśma jest odwijana i prostowana z krążka, oczyszczana w ściernicach z filcu (usuwanie warstewki tlenku glinu jest zbędne, ponieważ usuwany jest on podczas zgrzewania oraz nie dostaje się do szwa) i następnie kształtowana, podobnie jak do spawania w łuku, za pomocą napędzanych rolek, przy czym ośrodek kabla wprowadzany jest po przejściu taśmy przez trzecią parę rolek. Ukształtowana rurka z ośrodkiem prze-

chodzi przez urządzenie do spawania, składające się z noża prowadzącego, części elektrycznej zakończonej stykami chłodzonymi wodą i rolki dociskającej. Część elektryczna zasilana jest przez generator lampowy wielkiej częstotliwości poprzez transformator wielkiej częstotliwości, przy czym częstotliwość prądu do spawania wynosi 420 kHz. Po zakończeniu spawania kabel przechodzi przez urządzenie usuwające grad oraz przez rolki kalibrujące, wyrównujące kształt powłoki, będące jednocześnie urządzeniem ściągowym. W celu uzyskania lepszej giętkości powłoka jest falowana.

Powyższa metoda produkcji zasługuje na uwagę wobec kilkakrotnie mniejszego kosztu urządzenia w stosunku do kosztu prasy. Wydajność produkcji jest duża, przy czym metodą tą można produkować także kable o izolacji ze styrefleksu i polietylenu pod warunkiem zabezpieczenia ośrodka obwojem z trzech lub czterech taśm papierowych. Kable tak wykonane mogą być zginane na krzywiznie o promieniu równym dziesięciokrotnej ich średnicy. Wadami metody są trudności usuwania gradu i przestoje powodujące zmianę średnicy produkowanych kabli.

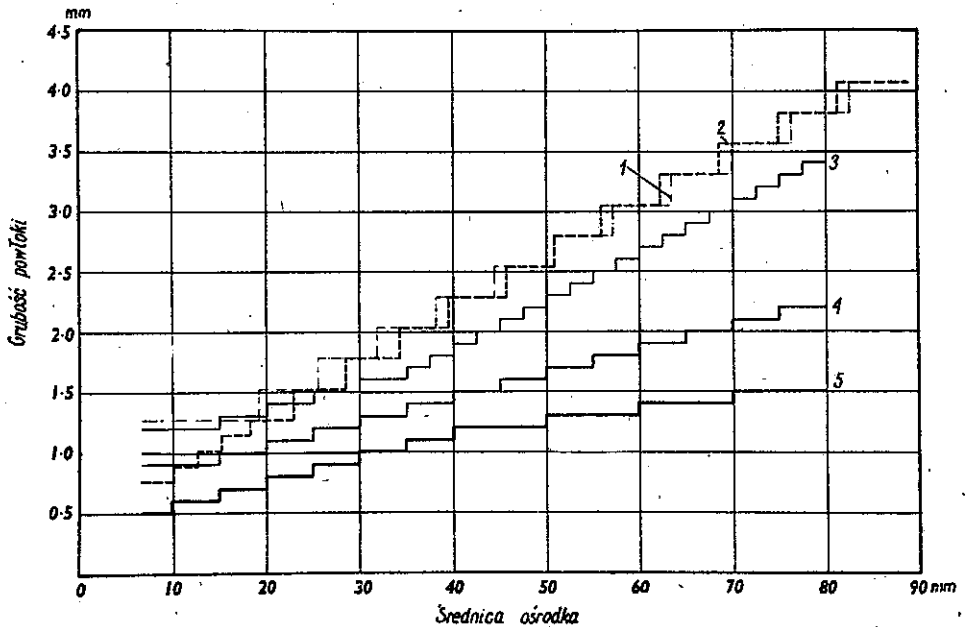
3.5. Grubość powłoki

Gdy kabel jest zginany, po stronie zewnętrznej jego osi obojętnej występują naprężenia rozciągające, po stronie zaś wewnętrznej - naprężenia ściskające. Do pewnej wielkości naprężeń, odpowiadającej co najmniej granicy plastyczności, przekrój powłoki zmienia się w sposób

znikomy, natomiast po przekroczeniu tej wielkości wskutek za małego promienia zginania nadmierne naprężenia ściskające powodują wyboczenie i płynięcie materiału powłoki prostopadle do osi kabla oraz powstawanie fałd, wybrzuszeń i wgniotów, a następnie pęknięcie powłoki. Im mniejsza jest granica plastyczności materiału powłoki oraz im większy jest moment bezwładności powłoki, tym większe mogą być naprężenia ściskające aż do wystąpienia wspomnianych nieregularnych odkształceń powłoki.

Ponieważ moment bezwładności zależy od stosunku grubości powłoki do jej średnicy oraz ponieważ granica plastyczności ołowiu jej znacznie mniejsza niż aluminium, w celu uzyskania giętkości gładkiej powłoki aluminiowej odpowiadającej giętkości powłoki ołowianej trzeba byłoby zwiększyć jej moment bezwładności, czyli grubość powłoki. W wyniku tego powłoka aluminiowa musiałaby być dwa do trzech razy grubsza niż powłoka ołowiana, co byłoby wysoce nieekonomiczne. Ponadto powłoka o tak grubej ścianie byłaby nadmiernie sztywna [14,34].

Dlatego też grubość gładkiej powłoki aluminiowej przyjmuje się kompromisowo zbliżoną do grubości powłoki ołowianej, ograniczając odpowiednio dopuszczalny promień zginania kabla. I tak według normy angielskiej B.S.480: Part 2: 1954 grubość powłoki aluminiowej jest prawie zawsze mniejsza niż powłoki ołowianej kabla o tej samej średnicy, według zaś normy niemieckiej VDE 0286/10.56 jest ona zawsze mniejsza (rys. 1). Grubość powłoki aluminiowej według norm radzieckich podano w tabl. 3.



Rys. 1. Zależność grubości powłoki kabli od średnicy ich osrodka

1 - grubość gładkiej powłoki aluminiowej wg normy angielskiej; 2 - grubość gładkiej powłoki ołowianej wg normy angielskiej; 3 - grubość gładkiej powłoki aluminiowej według normy niemieckiej; 4 - grubość gładkiej powłoki ołowianej wg normy niemieckiej; 5 - grubość powłoki aluminiowej falowanej wg normy niemieckiej

3.6. Falowanie powłoki

Radykalnym sposobem polepszenia giętkości powłoki jest jej falowanie, które poza tym umożliwia wydatne zmniejszenie grubości powłoki. Dzięki falowaniu zwiększa się bowiem średnica zewnętrzna powłoki, co ma wpływ na moment bezwładności, poza tym zaś wyboczenie podczas zgina-

T a b l i c a 3

Grubość powłoki aluminiowej według norm radzieckich

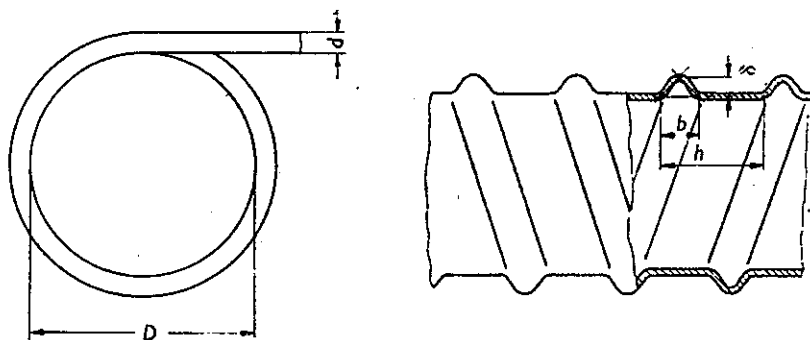
Średnica ośrodk mm	Grubość powłoki mm		Średnica ośrodk mm	Grubość powłoki mm	
	mini- malna	znani- nowa		mini- malna	znani- nowa
do 13	0,9	1,1	Ponad 36 do 40	1,4	1,6
Ponad 13 "	0,9	1,1	" 40 "	1,4	1,7
" 16 "	1,0	1,2	" 43 "	1,5	1,7
" 20 "	1,0	1,3	" 46 "	1,6	1,8
" 23 "	1,2	1,4	" 50 "	1,6	1,8
" 26 "	1,2	1,4	" 53 "	1,7	1,95
" 30 "	1,2	1,4	" 56 "	1,7	1,95
" 33 "	1,4	1,6	" 56 "	1,7	1,95
" 36 "	1,4	1,6			

nia staje się mniej groźne, gdyż materiał powłoki znajdujący się w stanie naprężeń ściskających może odkształcać się w kierunku falowania.

Najprostszym sposobem falowania jest wgniatanie za pomocą rolek śrubowych rowków, które jednakże wobec utwardzenia materiału powłoki czynią ją stosunkowo mało giętką oraz powodują przy zginaniu kabla nacisk żłobka na ośrodek. Znacznie lepszym rozwiązaniem jest falowanie sinusoidalne symetryczne, stosowane w Anglii (firma Pirelli - General) i w NRF (firma Felten und Guilleaume), w którym długość fali wynosi $0,4 d$, gdzie d jest średnicą zewnętrzną powłoki, amplituda fali $0,04-0,06 d$, a promień zaokrąglenia $0,12 d$ [14].

Za najlepsze i w dodatku najekonomiczniejsze uważane jest natomiast falowanie opracowane przez firmę Osna-brücker und Kupferwerk, według zasady miecha powietrznego, wykonywane za pomocą matryc obrotowych lub sprężyn szybkoobrotowych na powłoce o średnicy większej niż średnica ośrodka o wysokość fali, przedstawione na rys. 2. Podczas zginania kabla odkształcenie jego zachodzi tylko dzięki odkształcaniu się wypukłych nieutwardzonych odcinków powłoki, podczas gdy utwardzone odcinki cylindryczne nie podlegają rozciąganiu lub ściskaniu, dzięki czemu przy zginaniu kabla nie występuje wyboczenie materiału powłoki [14,34,35,36].

Skok fali (h) przyjmuje się na ogół równy dwudziestokrotnej grubości powłoki, optymalną wielkość szerokości występu fali (b) otrzymuje się zaś z przecięcia krzywych zależności b/h od $b/h-b$ i $h-b/h$. Optymalną wyso-



Rys. 2. Falowanie o zasadzie miecha powietrznego

kość występu fali (δ) otrzymuje się natomiast zależnie od przyjętego stosunku D/d (D - średnica ośrodka, d - grubość powłoki), z poniższej zależności [14] :

$$\delta = h \sqrt{\frac{1}{4 (k+1)^2} + \frac{v}{2 (k+1)}} =$$

$$= \frac{h}{2 (k+1)} \sqrt{1 + 2v (k+1)}$$

gdzie $k = \frac{D}{d}$ i $v = \frac{b}{h}$ optimum = 0,38.

Szczególną zaletą falowania symetrycznego i niesymetrycznego jest możliwość znacznego zmniejszenia grubości powłoki, która według danych radzieckich może być zgodna z tabl. 4 [35]. Z tego względu falowanie jest korzystne niezależnie od średnicy kabla, podczas gdy względy sztywności powłoki wymagają falowania tylko w przypadku jej średnicy większej na ogół niż 50 mm lub w przypadku ograniczonego miejsca montażu kabli.

Grubość powłok aluminiowych falowanych

Średnica ośrodka mm	Grubość powłoki, mm	
	Falowanie symetryczne	Falowanie niesymetryczne
Do 15	0,6	0,2
Ponad 15 " 20	0,7	0,2
" 20 " 30	0,9	0,3
" 30 " 40	1,1	0,5
" 40 " 50	1,2	0,6
" 50 " 60	1,3	0,7
" 60 " 70	1,4	0,8
" 70 " 80	1,5	0,9

4. OSŁONY OCHRONNE KABLI O POWŁOCE ALUMINIOWEJ

Dzięki wspomnianej dobrej odporności aluminium przeciw korozji spowodowanej czynnikami atmosferycznymi kable napowietrzne oraz kable układane w pomieszczeniach mogą nie mieć osłony ochronnej. Osłona taka staje się jednak pożądana, gdy kabel napowietrzny znajduje się w rejonach atmosfery morskiej i silnie zanieczyszczonej atmosfery przemysłowej, w tunelach itp., jakkolwiek niekiedy wystarcza w tych warunkach pokrycie powłoki farbą przeciwkorozyjną po zainstalowaniu kabla. Ponadto należy podczas układania kabli na wilgotnych ścianach stosować przekładki między kablem a ścianą; poza tym obej-

my do umocowania powinny być ze stopu aluminiowego, uszczelnione pastą z chromianem cynku [4,14].

W żadnym przypadku nie mogą być natomiast układane kable bez osłon w ziemi lub kanalizacji kablowej, gdyż tylko właściwa osłona może zabezpieczyć kabel w takich warunkach przed szybkim zniszczeniem powłoki wskutek korozji chemicznej i elektrochemicznej, przyspieszonej ewentualnie prądami błędzącymi. Jako zasadę trzeba przy tym przyjąć, że osłona powinna całkowicie uniemożliwić styk czynnika korozyjnego z powłoką oraz że w przypadku miejscowego uszkodzenia mechanicznego osłony powinna ona uniemożliwić rozprzestrzenianie się czynnika korozyjnego wzdłuż powłoki. Dlatego też normalne osłony ochronne, stosowane do kabli o powłoce ołowianej, nie nadają się do kabli o powłoce aluminiowej.

Początkowo stosowane osłony kabli o powłoce aluminiowej miały budowę podobną do osłon kabli o powłoce ołowianej, która jednak była ulepszona przez wprowadzenie dodatkowych obwojów uniemożliwiających względnie co najmniej znacznie utrudniających przenikanie wilgoci do powłoki. W związku z tym osłony takie mają dodatkowy obwój z zakładką 50% z dwóch lub więcej taśm przyklepanych z polwinitu suspensyjnego, z taśm poliestrowych lub z poliizobutylenem [2,4,37], albo też z taśm gumowych samowulkanizujących się [38,39,40], umieszczonych na powłoce uprzednio pokrytej polewą asfaltową i obwojem z dwóch taśm papierowych lub bezpośrednio na polewie. Na obwoju dodatkowym znajdują się poza tym obwoje z przesyconych materiałów włóknistych i warstwy polewy, któ-

re służą jednak tylko do ochrony znajdującego się pod nimi obwoju przed uszkodzeniami mechanicznymi podczas transportu i układania kabli, a nie jako zabezpieczenie przeciwkorozyjne. Takie osłony o różnej budowie są jeszcze szeroko stosowane w Krajach Demokracji Ludowej i jakkolwiek nie są one idealne, nie były dotychczas, według posiadanych informacji, przyczyną poważniejszych uszkodzeń powłoki podczas eksploatacji. Również badania przeprowadzone u nas w kraju wykazały możliwość stosowania takich osłon, z których za najlepszą uznano osłonę o poniższej budowie [41]:

- warstwa polewy,
- dwie warstwy taśmy z polwinitu suspensyjnego niemigrującego o grubości 0,25-0,3 mm, nałożone z zakładką 50%,
- warstwa polewy,
- warstwa taśmy polwinitowej jak powyżej,
- warstwa polewy,
- ewentualnie warstwy materiałów włóknistych i polewy w przypadku kabli opancerzonych.

Stosowanie obwojów z papieru jest według tych badań szkodliwe.

W krajach kapitalistycznych tego rodzaju osłony zostały jednakże prawie całkowicie zarzucone, gdyż według powszechnej opinii za rzeczywiście niezawodne osłony można uważać tylko osłony wytłaczane z polwinitu lub polietyleny (ewentualnie z dodatkiem sadzy i kauczuku butylowego).

Jak okazało się przy tym, osłona nie powinna być wytłaczana bezpośrednio na powłokę, ponieważ przez osłonę może dyfundować wilgoć, która powoduje skroplenie się pary wodnej pod powłoką, ponadto zaś w przypadku mechanicznego uszkodzenia osłony powłoka byłaby wtedy niezabezpieczona przed czynnikami korozyjnymi. Dlatego też osłona musi być sklejana z powłoką oraz, co jest jeszcze lepsze, pod wytłaczaną osłoną powinien znajdować się obwój z taśm, dzięki czemu staje się niemożliwe rozprzestrzenianie się wilgoci wzdłuż powłoki wskutek sił kapilarnych.

Jako lepiszczce stosuje się najczęściej substancje bitumiczne, ewentualnie z dodatkiem kauczuku, lub też substancje zawierające poliizobutylen. Do obwoju stosuje się natomiast taśmy z polwinitu, poliizobutyleny lub kauczuku butylowego, przy czym dwie ostatnie, dzięki swoim własnościom sklejającym, umożliwiają wyeliminowanie lepiszcza w przypadku powłoki nie falowanej [2,17, 22,24,42-46], podczas gdy wgłębienia powłoki falowanej muszą być wypełnione lepiszczem [2,23,47]. Wytłaczanie powłoki powinno być wykonywane przy zastosowaniu próżni, aby była ona możliwie współosiowa oraz niezbyt gruba.

Jednym ze sposobów polepszenia odporności przeciw korozji powłoki jest również pokrywanie powłoki substancjami pasywnymi aluminium, którymi są m.in. chromiany. W tym celu Kabel- und Metallwerke Neumayer w NRF stosują najpierw pokrywanie powłoki warstwą lakieru o grubości 5 mikronów, będącego mieszaniną poliwinylomaślanu i zasadowego chromianu cynku, a dopiero potem

warstwę lepiszcza, obwój i wytłoczoną osłonę. Lakier ten nie tylko pasywuje powłokę, lecz wiąże również jony chloru, jeżeli pozostały one w polwinicie [5].

Oporność właściwa tak wykonanych osłon wynosi ponad 10 MΩ .cm. Oporność ta z czasem zmniejsza się, lecz pozostaje dostatecznie wielka, co świadczy o właściwym zabezpieczeniu powłoki przed czynnikami korozyjnymi [2].

Jakość osłony kabli bada się, poddając ją próbie napięciem probierczym prądu stałego oraz próbie szczelności po zanurzeniu kabla z osłoną w odpowiednim roztworze. Według normy angielskiej BS 480: Part 2: 1954 osłony poddaje się, przed próbą nawijania i po próbie nawijania kabla, próbie napięciem 3,5-15 kV, zależnie od budowy kabla, przy czym osłona powinna wytrzymać bez przebicia ustalone normą napięcie. Według warunków czechosłowackich TPE-PN 2201-228 osłonę poddaje się natomiast próbie napięciem 4 kV, które wydaje się jednak prawidłowe tylko do kabli z osłonami nie wytłaczanymi. Dlatego też jedna z fabryk kabli w Czechosłowacji stosuje w przypadku kabli z osłonami wytłaczanymi próbę napięciem 14 kV, a jeżeli jakość osłony podczas próby okaże się niedostateczna, pokrywa ją dodatkowo w wyjątkowych przypadkach kolejno polewą z asfaltu, obwojem z dwóch taśm polwinitowych o grubości 0,1 mm i ponownie polewą.

Według propozycji niemieckich laboratoryjna próba szczelności osłony polega na umieszczeniu na 3 godz. odcinka kabla długości 2 m, wygiętego uprzednio przy temperaturze 0°C na promieniu dopuszczonym przez normy naka-

ble, w zbiorniku stalowym z 0,5% roztworem chlorku sodowego o temperaturze 50°C , przy czym między zbiornikiem a obnażoną z osłony częścią powłoki, znajdującą się ponad roztworem, przykłada się napięcie 10 V prądu stałego. Po trzech godzinach roztwór oziębia się do temperatury pokojowej, którą utrzymuje się przez resztę doby, po czym takim cyklem ogrzewania i oziębiania poddaje się badany odcinek kabla przez 100 dni, co nie powinno powodować pogorszenia oporu izolacji oraz korozji powłoki [48]. Według propozycji angielskich temperatura roztworu powinna wynosić stale 75°C , a dopuszczalny prąd upływu nie powinien przekraczać 100 μA [49].

Trudności powodowane niemożliwością uziemienia powłoki aluminiowej ułożonego kabla z osłoną o własnościach elektroizolacyjnych były przyczyną prób zastosowania osłon z materiałów nieprzepuszczających wilgoci, lecz przewodzących prąd. Takie osłony z poliizobutyleny z dodatkiem sadzy lub grafitu okazały się jednak nieprzydatne, ponieważ nie zabezpieczają one powłoki przed prądami błędzającymi, które ponadto pogarszają znacznie jakość tego rodzaju osłony [45,50].

Nie znalazła również zastosowania teoretycznie możliwa, lecz w praktyce trudna do zrealizowania, ochrona katodowa powłoki. Ochrona taka wymaga bowiem w przypadku powłoki aluminiowej potencjału elektrostatycznego w wąskim zakresie od $-0,5$ do $-1,0$ V, co jest bardzo trudne do uzyskania wzdłuż całej powłoki wobec nierównomiernej oporności właściwej gleby i możliwości występowania prądów błędzających [4,14,23]. Dlatego też ochronę katodową

kabli o powłoce aluminiowej uważa się raczej za nieekonomiczną.

Nieco bardziej interesującym rozwiązaniem jest propozycja zastosowania normalnej osłony i obwoju pod nią taśmą cynkową, która spełnia rolę rozpuszczającej się anody w przypadku przedostania się wilgoci pod osłonę. Jest to więc jakby druga bariera przeciwkorozyjna kabla [14].

5. ZAKRES STOSOWANIA KABLI TELEKOMUNIKACYJNYCH O POWŁOCE ALUMINIOWEJ

5.1. Kable telefoniczne miejscowe

Spośród kabli telekomunikacyjnych o powłoce aluminiowej największe zastosowanie mogą mieć kable miejscowe, zwłaszcza wieloczwórkowe. Kable te od dawna są produkowane w państwach kapitalistycznych, jakkolwiek ich produkcja nie jest dotychczas wielka. Między innymi w takim wykonaniu wyprodukowano w 1956 r. w NRF 1400-parowy kabel z żyłami miedzianymi o średnicy 0,6 mm i falowaną powłoką o średnicy 86 mm, grubości 2 mm i wysokości fal 5 mm, który miał osłonę z wytłoczonego polwinitu grubości 1,8 mm oraz na końcach opancerzenie z drutów płaskich na poduszce umieszczonej na osłonie. Kabel ten ułożono na moście w KBlń [51].

Największe zastosowanie znalazły kable miejscowe o powłoce aluminiowej w ZSRR, gdzie są produkowane z żyłami aluminiowymi o średnicy 0,65, 0,8 i 0,9 mm, izolowanymi papierem, jako 5 do 300-parowe, bez opancerzenia (kable TAAW) lub z opancerzeniem (kable TAAB), według

warunków TUKP 44-58. Kable te mają nie falowaną powłokę o grubości 1,3-1,4 mm i osłonę z warstwy polewy bitumicznej, papieru kablowego, dwóch taśm polwinitowych, dwóch taśm z papieru i polewy oraz ewentualnie ponadto zwykłą osłonę na pancerzu. Własności elektryczne kabli są takie same, jak kabli z żyłami miedzianymi o przekroju równoważnym elektrycznie; długość odcinków kabli wynosi 250 m. Kable są tańsze o 30% w porównaniu do odpowiadających im kabli z żyłami miedzianymi i powłoką ołowianą [37,52].

Pewne znaczenie mogą mieć też kable miejscowe napowietrzne z powłoką aluminiową, ponieważ kable takie są lekkie i wytrzymałe mechanicznie oraz ponieważ większa przewodność elektryczna powłoki aluminiowej lepiej chroni takie kable przed przepięciami powstałymi wskutek wyładowań atmosferycznych. Z tego ostatniego względu korzystne są zresztą także kable ziemne i kanałowe o powłoce aluminiowej [53, 54].

5.2. Kable telefoniczne dalekosiężne symetryczne

Tego typu magistralne kable jednoczwórkowe z żyłami o średnicy 1,2 mm oraz izolacją styrofleksowo-powietrzną (kable MKSAB) produkowane są obecnie masowo w ZSRR według warunków STU 36.14-04-61. Kable te mają powłokę spawaną z taśmy aluminiowej o grubości 1,0 mm, opancerzenie oraz osłonę, prawdopodobnie o takiej samej budowie, jak kable miejscowe. Kable są produkowane w odcinkach o długości 250 m i są lżejsze o 40% niż odpowiadające im kable o powłoce ołowianej. Własności elektrycz-

ne kabli o powłoce aluminiowej są takie same, jak kabli o powłoce ołowianej, z wyjątkiem tłumienności jednostkowej, która w kablach w powłoce aluminiowej jest większa o 8-9% [52].

5.3. Kable telefoniczne dalekosiężne współosiowe

Role powłoki spełnia także przewód zewnętrzny w postaci rurki aluminiowej jednoparowych kabli dalekosiężnych współosiowych normalnogabarytowych, produkowanych w takim wykonaniu w NRF. Wprawdzie kable takie mają większą średnicę i gorszą tłumienność jednostkową, lecz w zamian tego mają one większą sztywność poprzeczną i większą wytrzymałość na ściskanie, dzięki czemu izolacja kabla jest mniej narażona na odkształcenia wskutek zewnętrznych sił mechanicznych [53,55,56].

5.4. Kable telekomunikacyjne o małym współczynniku redukcyjnym

W celu zmniejszenia szkodliwego wpływu napięć i prądów indukowanych w kablach telekomunikacyjnych przez linie energetyczne i linie trakcyjne prądu zmiennego, a także przez radiostacje nadawcze, jak również w celu zabezpieczenia kabli przed przepięciami spowodowanymi zwarzeniami na liniach energetycznych lub wyładowaniami atmosferycznymi, kable telekomunikacyjne powinny, jak wiadomo, charakteryzować się możliwie małym współczynnikiem redukcyjnym. Tylko bowiem dzięki małemu współczynnikowi redukcyjnemu można uzyskać odpowiednią jakość transmisji

oraz zabezpieczyć przed porażeniem prądem obsługę linii kablowych i urządzeń liniowych, jak również osoby korzystające z usług łączności.

Ponieważ współczynnik redukcyjny kabla zależy od oporu powłoki i pancerza oraz od ich indukcyjności, jednym ze sposobów zmniejszenia tego współczynnika jest zastosowanie uziemionej powłoki aluminiowej zamiast powłoki ołowianej, co jest znacznie ekonomiczniejsze niż zwiększanie grubości powłoki ołowianej albo wprowadzanie obwoju z drutów lub taśm miedzianych, względnie też zwiększanie indukcyjności przez zastosowanie pancerza z materiałów o dużej przenikalności magnetycznej. Tym niemniej, gdy od kabli wymaga się małego współczynnika redukcyjnego, zwłaszcza mniejszego niż 0,10, przez zastosowanie samej powłoki aluminiowej tego osiągnąć nie można, co zmusza do dodatkowego wprowadzania pancerza z materiału magnetycznego, który jednak nie musi mieć wtedy szczególnie dużej przenikalności magnetycznej [53,56,57, 58,59].

Bliższe dane odnośnie budowy kabli telekomunikacyjnych o małym współczynniku redukcyjnym zawierają prace T. Łapińskiego [59] i prospekt firmy BICC [58]. W ZSRR produkowane są tego rodzaju kable, przeznaczone do układania wzdłuż zelektryfikowanych linii trakcyjnych prądu zmiennego, z normalnie uzbrojoną powłoką o grubości 1,8 mm (kable MKBAB) i z powłoką o grubości 1,5 mm uzbrojoną taśmami ze stali magnetycznej o zawartości 3% krzemu lub 1% aluminium. Pod pancerzem znajduje się warstwa polewy bitumicznej, taśmy z papieru kablowego, dwie ta-

śmy z polwinitu, taśma przesyconego papieru kablowego oraz warstwa polewy, a na pancerzu - dwie taśmy przesyconego papieru kablowego, warstwa polewy, przesycona przędza z juty, warstwa polewy i roztwór kredy. Kable, produkowane w odcinkach o długości 425 m, mają w przypadku indukowanej siły elektromotorycznej wzdłużnej 30 V/km współczynnik redukcyjny mniejszy niż 0,10 przy częstotliwości 50 Hz oraz mniejszy niż 0,02 przy częstotliwości 800 Hz [52].

5.5. Kable telekomunikacyjne dużej mocy i wielkiej częstotliwości

Dobra przewodność elektryczna i przewodnictwo cieplne aluminium oraz duży efekt ekranowania, a także mały ciężar właściwy aluminium czynią go atrakcyjnym materiałem na przewody zewnętrzne kabli współosiowych dużej mocy i wielkiej częstotliwości (kabli fiderowych), stosowanych w radiostacjach, stacjach telewizyjnych i urządzeniach radarowych. Zaletą przewodu zewnętrznego z aluminium jest ponadto dobra sztywność, co umożliwia zapewnienie dobrej współosiowości przewodu zewnętrznego, a więc stabilności parametrów elektrycznych kabli. Nie bez znaczenia jest poza tym dobra wytrzymałość zmęczeniowa aluminium, gdyż kable dużej mocy i wielkiej częstotliwości mogą być narażone na drgania.

Kable takie mogą przenosić moc do 90 kW przy częstotliwości 100 MHz i moc do 40 kW przy częstotliwości 300 MHz, a ich tłumienność jednostkowa wynosi 0,2-0,5N/km

przy częstotliwościach 100-300 MHz. Kable są produkowane o średnicy do 180 mm, przeważnie w odcinkach o długości do 30 m, z przewodem zewnętrznym gładkim lub falowanym (wewnętrzna powierzchnia gładka) [43,60,61,62].

6. UKŁADANIE KABLI O POWŁOCE ALUMINIOWEJ

6.1. Wykonywanie połączeń

Kable o powłoce aluminiowej są łączone sposobem mechanicznym i za pomocą lutowania. Pierwszy sposób stosowany jest wyjątkowo, między innymi do kabli wielkiej mocy i dużej częstotliwości wobec małej długości ich odcinków i małej liczby połączeń [62].

Zasadniczym sposobem łączenia kabli o powłoce aluminiowej jest obecnie lutowanie, którego technika jest jednak nieco odmienna niż przy łączeniu kabli o powłoce ołowianej wskutek wytwarzania się na powłoce aluminiowej warstewki tlenku glinu. Warstewki tej nie należy przy tym usuwać za pomocą topników, ponieważ pozostały na powłoce topnik, który zawsze jest higroskopijny, działałby jak elektrolit, korodując powłokę [37,63].

Podstawową operacją takiego łączenia jest oczyszczenie powłoki z zanieczyszczeń i smarów trójchloroetylenem albo innym rozpuszczalnikiem, po czym na długości co najmniej 30-40 mm usuwa się starannie z powierzchni powłoki warstewkę tlenku glinu szczotką stalową albo pilnikiem o drobnym nasięku. Ponieważ tlenek glinu wytwarza się na powłoce bardzo szybko, tak oczyszczoną powłokę należy natychmiast pokryć lutowiem, podgrzewając

powłokę (a nie lutowie) płomieniem lampy lutowniczej oraz pocierając z dociskiem i równomiernie cienką i małą pałeczką lutowia powłokę kabla, a następnie wyrównując ciekłą warstwę lutowia stalowym pędzlem. Pokrywanie lutowiem można uważać za zakończone, gdy na powierzchni powłoki będzie błyszcząca warstwa lutowia.

Do pokrywania należy używać specjalnie dobranego lutowia, dyfundującego do aluminium, aby uzyskać dobre połączenie lutowia z powłoką, czego nie można uzyskać w przypadku lutowia ołowiowo-cynowego. Taki warunek spełniają lutowia cynowo-cynkowe i kadmowo-cynkowe, z których ostatnie są korzystniejsze wobec lepszej odporności na korozję, lecz rzadko stosowane wobec deficytowości i wysokiej ceny kadmu. Z literatury znane są lutowia o różnym składzie, a mianowicie lutowia SnZn10, SnZn40, ZnSn40 Pb1,5, ZnCd40 i inne, z których najczęściej stosowane jest lutowie SnZn10. Z własnego doświadczenia można zalecić bez obawy lutowie SnZn40, tańsze i zupełnie zadowalające, chociaż lutowie SnZn10 jest korzystniejsze ze względu na niższą temperaturę topnienia, wynoszącą około 200°C [4,10,32,39,63,64]. Tak pokryta powłoka jest odporna na utlenianie się oraz podatna do połączenia się z lutowiem ołowiowo-cynowym, stosowanym w następnych operacjach łączenia.

Aby wykonać połączenie, powłokę nadcina się piłką wzdłuż obwodu, w odległości niezbędnej do połączenia żył oraz w połowie tej odległości, a następnie wykonuje się nożem dwa nadcięcia podłużne w odstępie około 10 mm. Utworzony w taki sposób pasek usuwa się szczypcami pla-

skimi, a następnie zdejmując się ostrożnie pozostałą powłokę, po czym nasuwa się na nią rurkę ołowianą i wykonuje połączenie żył, uprzednio tak owijając je przy powłoce taśmą bawełnianą przesyconą syciwem parafinowym, aby część tej taśmy znalazła się między powłoką a ośrodkiem, co zabezpiecza izolację kabla przed uszkodzeniem podczas łączenia żył. Po połączeniu oraz odizolowaniu żył miejsce połączenia owija się taśmą bawełnianą, przesyca syciwem parafinowym i ponownie owija taśmą bawełnianą, a następnie pokrywa się lutowiem cynowo-cynkowym końce powłok, przesuwa się rurkę ołowianą na miejsce połączenia, szczelnie dociska rurkę do powłoki aluminiowej w miejscu pokrycia jej lutowiem oraz przylutowuje się zwykłym sposobem rurkę do powłoki lutowiem PbSn30 albo PbSn40. Lutowie to powinno zawierać co najwyżej 0,3% antymonu, aby uniknąć wytwarzania się kruchego stopu cynku z antymonem.

Tak otrzymane połączenie pokrywa się podgrzaną polewą bitumiczną i po jej ostygnięciu owija się z zakładką 50% przyklepną taśmą polwinitową. Połączenie to umieszcza się w normalnych mufach do kabli o powłoce ołowianej, zalewanych zalawą kablową.

Podobnie łączy się kable o powłoce aluminiowej z kablami o powłoce ołowianej; w takim przypadku wystarczy jednak pokrywać lutowiem tylko odcinek kabla o powłoce aluminiowej.

6.2. Układanie kabli

Przy instalowaniu i układaniu kabli należy przestrzegać przede wszystkim nieprzekraczania minimalnego promienia zginania kabli, który powinien odpowiadać 20-krotnej średnicy kabla w przypadku kabli z powłoką niefalowaną o średnicy do 38 mm i 25-krotnej średnicy kabla w przypadku kabli o większej średnicy. W przypadku kabli o powłoce falowanej promień zginania można natomiast zmniejszyć do 15-krotnej średnicy kabla [17,27,64,65].

Układanie w ziemi kabli o powłoce aluminiowej jest łatwiejsze i wygodniejsze niż kabli o powłoce ołowianej wobec mniejszego ciężaru pierwszych kabli oraz braku konieczności ich pancernienia w większości przypadków. Jedyną trudnością jest większa sztywność powłoki aluminiowej, utrudniająca jej wyprostowanie przy odwijaniu kabla z bębna, co wymaga stosowania odwijania z pewnym naciąganiem za pomocą hamulca ciernego umieszczonego na bębnie. Poza tym w przypadku układania w rowach należy stosować rolki albo prowadnice oraz przestrzegać nieuszkodzenia osłony kabla podczas jego układania. Kabel należy układać w rowie na głębokości co najmniej 70 cm, aby uniknąć ewentualnego uszkodzenia osłony przez gryzonie, których na takiej głębokości nie ma.

Także układanie kabli w kanalizacji jest łatwiejsze, kanały jednakże należy starannie oczyścić szczotką przed wciąganiem kabla, aby zmniejszyć tarcie. Ciągnąć można za samą powłokę, która jest dostatecznie wytrzymała [14, 23].

WYKAZ LITERATURY

1. C. Niewiadomski: Kable z płaszczami aluminiowymi, Przegl. Elektrot. 27 (1951) 60/4.
2. W. Jaeschke. Korrosionsschutz für metallene Kabelmünten, Siemens Ztschr. 34 (1960) 813/9.
3. P.M. Hollingworth. Aluminium-sheathed cable developments in Europe, Electr. Lightn. Power 34 (1956) 63/9,78, 96/100.
4. P.M. Hollingworth, P.A.Raine. Aluminium-sheathed cables, Proceed. IEE, 101, II (1954) 603/28.
5. W. Birnthaler, G. Falk. Ein neuartiger Korrosionsschutz für Aluminiummantelkabel, ETZ-B 13 (1961) 112/4.
6. G. Hornung. Prüfung des Korrosionsschutzes für Aluminiummantelkabel, Aluminium 32 (1962) 737/9.
7. W.B. Jaszin. Mikrobiologiczeskaja korrozja metalkow, Kabielnaja Tiechnika (1960) (11) 49/53.
8. P.A. Raine: The protection of cable sheathing. The behaviour of aluminium sheathed cables, Chem. and Industry (1956) (41) 1102/11.
9. H.D. Feldmann. Stand der Al-Kabelmantelherstellung, Metall 12 (1958) 204/8.
10. K.S. Wyatt. The sheathing of cables with aluminium, Wire and Wire Products 28 (1953) 1062/8.

11. F. Otten: Energie- und Fernmeldekabel mit Aluminiummantel, Z. Metallkunde 48 (1957) 245/9.
12. O. Ashford, J.A. Donelan, J.R. Penrose: Aluminium sheathed cable, GEC Journal 19 (1952) (4) 222/8.
13. Anon. Aluminium sheathed cable, Electr. Rev. 151 (1952) 915/6.
14. Aluminium Union Ltd. Aluminium for insulated cables, London (1959).
15. Ju.E. Glejch, A.R. Kazakow, R.M. Łakiernik, I.W. Lunin: Izgotowlenie kabielných oboloczok metodom vysokoczastotnoj swarki, Kabieln. Technika (1962) (1) 30/4.
16. C. Niewiadomski, M. Ciszewski. Spajanie metali na zimno, PWT, Warszawa (1961).
17. H.J. Hilgendorf, W. Thele. Starkstromkabel mit auf-gespresstem Aluminiummantel, Felten und Guilleaume Rundschau (1957) (42) 50/62.
18. P.J. Croft. Aluminium sheathed cables, Wire and Wire Products 28 (1953) 682/7, 725.
19. F. Hanff, G. Hosse, W. Deisinger. Aluminium als Baustoff für Kabelmäntel, Siemens- Ztschr. 19 (1939) 357/68.
20. H. Borchardt, W. Thele. Kabel mit kontinuierlich ungespresstem Aluminiummantel, Siemens Ztschr. 34 (1960) 799/805.

21. H. Borchardt, G. Hossei: Kabel mit gepressten Aluminiummünteln, Siemens Ztschr. 27 (1953) 203/11.
22. B. Schmidt: Gasinnendruck- Kabel mit Aluminiummantel, BBC- Nachrichten 43 (1961) 208/20.
23. P. Tunsmeier. Niederspannungskabel mit Aluminiummantel, BBC- Nachrichten 43 (1961) 257/62.
24. H.W. Lücking, W. Ochel: Einige Erfahrungen über Höchstspannungskabel mit gewelltem Aluminiummantel, Felten und Guilleaume Rundschau (1961) (46) 309/22.
25. Anon. Une presse à filer duplex pour gainer en aluminium les câbles électriques, Rev. Aluminium 36 (1959) 232/4.
26. Anon. Neue doppelwirkende, horizontale 1600 t Aluminium- Kabelummantelungspresse, Draht 11 (1960) 67/8.
27. G. Pohler. Aluminjewaja kabielnaja obołoczka, Kabieln. Tiechnika (1957) (3/4) 71/5.
28. A.S. Edelman, A.W. Szternberg: Pressowanje tonkostiennyh aluminjewych obołoczek, Cwjetnyje Metally (1959) (11).
29. A.S. Edelman, A.S. Fridman: Aluminij w kabielnoj tiechnike, Gosenergoizdat, Moskwa (1960).
30. W.A. Del Mar, E.J. Merrell: Aluminium sheathed power cable, Trans. AIEE 74 III (1955) 292/304.
31. E.M. Andriejewa: Kabielnaja promyszlennosć Wiengrii, Kabieln. Tiechn. (1959) (9) 66/74.

32. F. Leichsenring: Neuartige Kabelmäntel, ETZ-B 6 (1954) 33/7.
33. K.J. Smith: Aluminium in electrical power systems, Light Metals 14 (1951) 217.
34. Anon: Aluminjowyje gibkije kabielnije obołoczki, Ekspress Inform. Elektrotechn. Promyszl. (1957) (38) 177/8.
35. A.S. Edelman, A.W. Szternberg: Gofrirowannyje aluminjowyje obołoczki, Kabieln. Tiechnika (1960) (2) 35/9.
36. BICC. Corrugated seamless aluminium sheaths for power cables, TD GS 28 (1960).
37. N.W. Zacharowa: Gorodskije tielefonnyje kabieli s aluminjowymi żyłami i w aluminjowej obołoczce, Wiestnik Swiazi 19 (1959) (9) 9/10.
38. F.O. Wollastone, L.R. Horne: The Vancouver 230 kV oil-filled cable, Trans. AIEE 78 III (1958) 897/908.
39. Z. Janků. Montáž a provoz kabelů s hliníkovými plasty, Elektrotechnik 12 (1957) 197/9.
40. BICC. Osłony ochronne powłok ołowianych i aluminiowych kabli elektroenergetycznych, Biuletyn Kablowy 5 (1961) (6) 36/63.
41. W. Werbliński: Badania nad osłonami przeciwkorozyjnymi kabli o powłoce aluminiowej, Biuletyn Kablowy 7 (1963) (5) 3/28.

42. Anon. Siemens verwendet mehrschichtigen Korrosionsschutz für Aluminiumkabel, Draht 13 (1962) 674.
43. Anon. Kabel, Leitungen und Installationsmaterial, ETZ-B 13 (1961) 203/9.
44. F. Otten. Starkstromkabel und - Leitungen, ETZ-A 81 (1960) 506/8.
45. F. Otten, L. Heinhold. Erfahrungen mit Starkstromkabeln mit Aluminiummantel, Siemens Ztschr. 34 (1960) 806/9.
46. H. Mayer. Der Einsatz von Kunststoffen in unserem Kabelwerk, BBC- Nachr. 43 (1961) 235/51.
47. H. Bax. Aktuelle Probleme neuzeitlicher Niederspannungskabel, ETZ-B 12 (1960) 477/82.
48. G. Hörnung: Prüfung des Korrosionsschutzes für Aluminiummantelkabel, Aluminium 32 (1962) 737/9.
49. P.M. Hollingworth: Schutzüberzüge für Starkstromkabel mit Blei- und Aluminiummänteln, Archiv für Energiewirtschaft (1959) (14) 563/72.
50. E. Badum, J. Beckmann, R. Weintz: Über das Verhalten des "halbleitenden Korrosionsschutzes" bei Einwirkung von Gleichstrom, Felten und Guilleaume Rundschau (1959) (44) 149/55.
51. R. Capeller: 1400- paarige Bündelkabel mit gewellten Aluminiummantel für die Deutzer Brücke in Köln, Felten und Guilleaume Rundschau (1957) (42) 62/7.

52. D.S. Baczelis, N.I. Bielorusow, A.E. Saakjan: Elektrischeskije kabieli,rowoda i sznury, Gosenergoizdat, Moskwa (1963).
53. R. Zückler, N. Odemar: Nachrichtenkabel mit Aluminiummantel, Siemens Ztschr. 34 (1960) 810/3.
54. H. Reylander: Selbsttragende Luftkabel mit Aluminiummantel an Hochspannungsgestängen, Felten und Guillaume Rundschau (1957) (42) 68/76.
55. F. Otten, R. Zückler: Kabel und Leitungen, ETZ-A 77 (1956) 368/72.
56. R. Zückler: Kabel und Leitungen der Nachrichtentechnik, ETZ-A 81 (1960) 506/8.
57. A. Deppe: Der metallische Kabelmantel als Schutz der Fernmeldeleitung gegen Starkstrombeeinflussung, BBC-Nachr. 43 (1961) 291/4.
58. BICC: Railway telephone cable systems screened for use alongside a.c. electrified tracs, Publication Nr 437 (1960).
59. T. Łapiński: Kable telekomunikacyjne zabezpieczone przed oddziaływaniem linii energetycznych i trakcyjnych, Biuletyn Kablowy 5 (1961) (4) 3/28.
60. W. von Zwehl, D. Altenpohl: Aluminium in der Elektrotechnik, Aluminium-Verlag, Duisburg (1956)
61. U. Queck: Hochfrequenz-Koaxialkabel mit Aluminiumwellmantel als Hüsserem Leiter, BBC-Nachr. 43 (1961) 275/82.

62. R.C.Mildner, B.F. Thorne: Aluminium in telecommunication cables, Post Office Electr. Engrs, Journ. 51 (1958) 16/21.
63. Aluminium Union Ltd. Soldering aluminium cables, London (1956).
64. W. Hube: Montage- und Legungsvorschrift für Kabel mit Aluminiummantel, Elektro- Praktiker 13 (1959) 351/2.
65. P.M. Hollingworth: Câbles gainés en aluminium. Réalisations en Grande Bretagne, CIGRE (1950) (203).

