

Drut Ag-Ni jako materiał stykowy do styczników powietrznych

1. WSTĘP

Materiał stykowy Ag-Ni10 jest stosowany przede wszystkim w aparatach elektrycznych na prąd przemienny dla zakresu do 20 A, a także w aparatach na prąd stały ze względu na jego stosunkowo dużą odporność na erozję [1, 2, 3].

W latach sześćdziesiątych z materiału typu Ag-Ni wykonywano głównie nity stykowe jednorodne, natomiast w latach siedemdziesiątych nity bimetalowe na podłożu miedziowym. Metody wytwarzania tych styków nie były wydajne. Na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych firma Schlatter opracowała i wprowadziła na rynek urządzenie do wytwarzania nakładek z materiału stykowego dostarczanego w postaci drutu. Sposób ten jest bardzo wydajny [4].

2. METODA FORMOWANIA NAKŁADEK STYKOWYCH Z DRUTU TYPU Ag-Ni

Powszechnie stosowaną metodę formowania nakładek [5] schematycznie pokazano na rysunku 1. Proces przebiega w czterech fazach:

- 1) dosunięcie drutu do powierzchni zgrzewanej,
- 2) podanie impulsu prądowego z jednoczesnym dociśnięciem drutu,
- 3) odcięcie zgrzanego czołowo odcinka drutu,
- 4) formowanie kształtu nakładki.

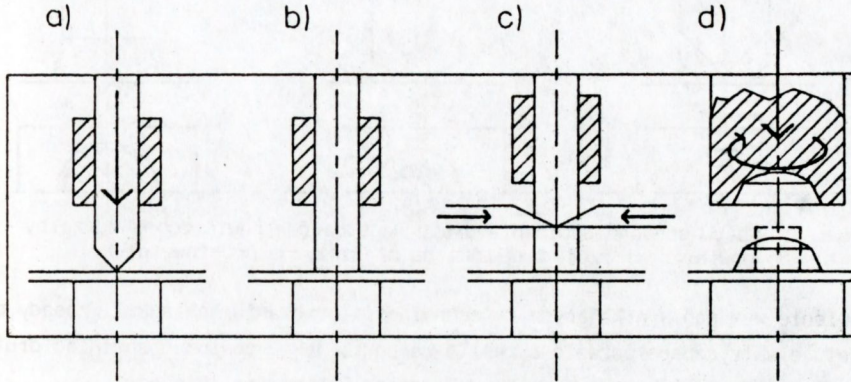
W każdej metodzie mogą być stosowane pewne modyfikacje technologiczne w zależności od rodzaju podłoża, średnicy drutu lub proporcji wymiarowych (stosunku średnicy do wysokości) nakładki stykowej.

Faza 1

Drut jest podawany przez urządzenie prowadzące oraz zaciski prądowe i dociskowe. Z tego względu przechodzi wstępnie przez rolki prostujące, a to z kolei powoduje konieczność stosowania drutu w stanie miękkim (rekrystalizowanym). System tulejek zaciskowych wymaga utrzymania dość wąskiego i stałego zakresu tolerancji średnicy drutu.

Faza 2

Zgrzewanie silnym impulsem prądowym dwóch materiałów o dużej przewodności cieplnej i elektrycznej jest możliwe dzięki impulsowi prądowemu o stosunkowo krótkim czasie. W miejscu zetknięcia się zgrzewanych materiałów następuje koncentracja prądu, czemu towarzyszy wydzielanie ciepła i znaczne podwyższenie temperatury materiału w strefie zgrzewania i w jej pobliżu. Zanieczyszczenie powierzchni lub zanieczyszczenia zawarte w strukturze drutu zakłócają proces zgrzewania i powodują, że staje się on niepowtarzalny, albo wręcz uniemożliwiają jego przebieg. W warunkach produkcji masowej jest to niedopuszczalne.



Rys. 1. Metody formowania nakładek z drutu:

a) faza 1, b) faza 2, c) faza 3, d) faza 4

Faza 3

Odcinanie drutu odbywa się na ogół bez komplikacji, pod warunkiem jednak, że drut ma odpowiednio małą twardość.

Faza 4

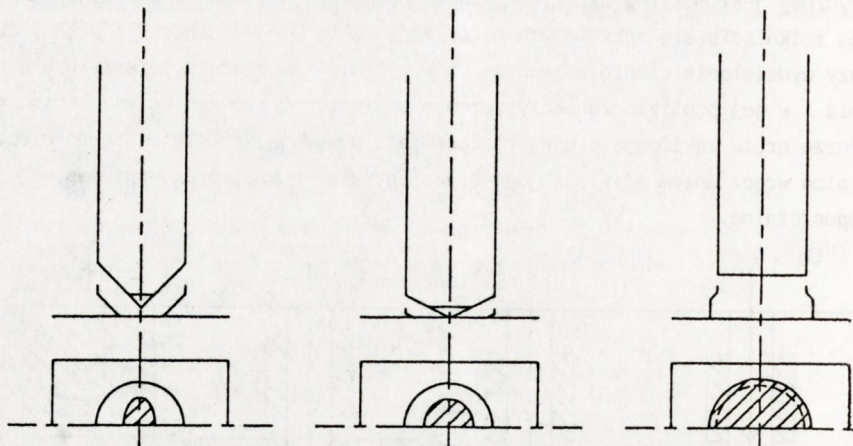
Proces formowania nakładki o żądanym kształcie może odbywać się następującymi metodami:

- uderzenia stemplem formującym płaskim lub kształtowym,
- formowania stemplem obrotowym,
- formowania z dogniataniem (sposobem Breakera).

Wybór metody formowania zależy jedynie od kształtu nakładki, rodzaju materiału i średnicy drutu.

Do chwili obecnej proces nakładania materiału stykowego bezpośrednio z drutu opanowało kilka firm. Linie technologiczne do wykonywania kompletnych styków składają się z pras wycinających, zgrzewarek i agregatów gwintujących. Materiał stykowy jest tam dostarczany w postaci drutu, a materiał na podstawy styków - w postaci taśmy. Dzięki stosowaniu różnych sposobów odcinania drutu istnieje możliwość dobrania wartości stosunku powierzchni zgrzeiny do powierzchni rzutu nakładki na płaszczyznę podstawy styku [5]. Pokazano to na rysunku 2. Należy jednak pamiętać, że na rozważany stosunek powierzchni mają wpływ także następujące uwarunkowania technologiczne: średnica drutu, rodzaj i grubość podstawy styku oraz moc zgrzewarki.

Poza tym ważne jest także to, aby powierzchnia boczna uformowanej nakładki stykowej była gładka, bez zadziorów oraz żeby na krawędzi połączenia podstawy styku i powierzchni bocznej nakładki nie było deformacji, łusek i innych wad kształtu.



Rys. 2. Wpływ sposobu odcinania drutu na stosunek powierzchni zgrzeiny do powierzchni rzutu nakładki na płaszczyznę podstawy styku

Zestawienie wymagań wynikających z technologii formowania nakładki i zasady działania aparatu elektrycznego pozwala określić warunki, jakie powinien spełniać drut typu Ag-Ni przeznaczony do wykonywania nakładek metodą Schlattera. Oto one:

- 1) duża i powtarzalna przewodność elektryczna wynosząca ok. $50 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$;
- 2) odpowiednia czystość, niezbędna do zapewnienia powtarzalnych i pewnych parametrów zgrzewania;
- 3) wytrzymałość na rozciąganie - ok. 220 MPa;
- 4) wydłużenie przy rozciąganiu - min. 20%;
- 5) duża plastyczność i spoistość materiału. W czasie próby skręcania prowadzonej aż do zerwania próbki na jego powierzchni nie mogą pojawić się łuski, rozwarstwienia a i inne tego typu wady powierzchniowe.

Należy pamiętać, że bardzo ważna jest jednakowa jakość drutu na całej jego długości. Zmiana jakości drutu na pewnym odcinku powoduje zazwyczaj pogorszenie jakości i zgrzeiny i odrywanie nakładki od podłoża w procesie jej formowania. W tej sytuacji stempel musi być wymieniony albo zregenerowany, co jest pracochłonne, a poza tym jakość polerowanej powierzchni formującej po regeneracji jest gorsza. Zagadnienie to jest tym ważniejsze, że proces formowania nakładek w opisywanej metodzie jest prółauto-automatyczny lub w pełni zautomatyzowany, bardzo wydajny i często prowadzony na więcej niż jedną zmianę. Wobec tego wymiana stempla formującego wprowadza kłopotliwe zakłócenia toku produkcji.

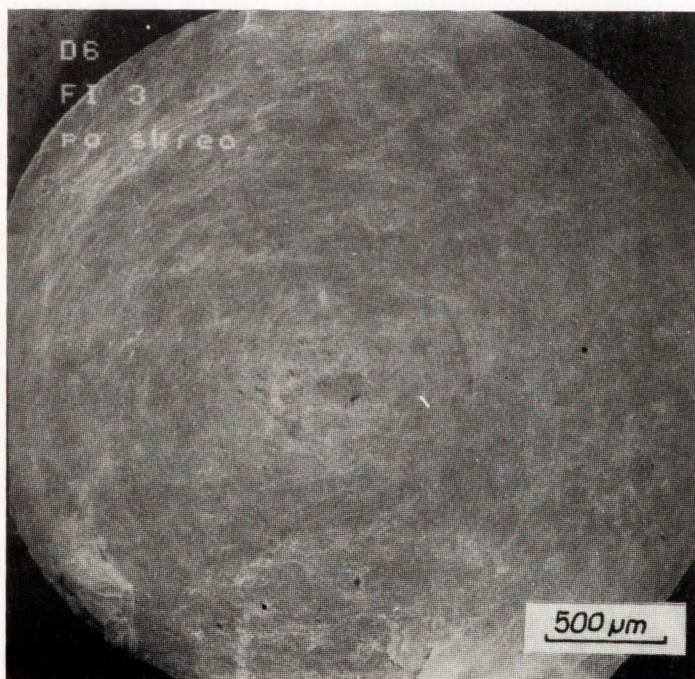
3. BADANIA WŁASNE

3.1. Materiał

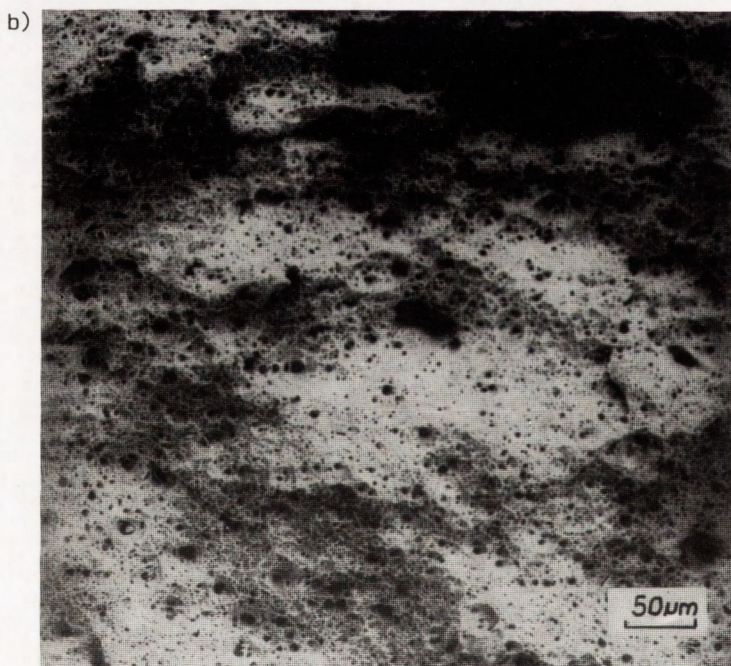
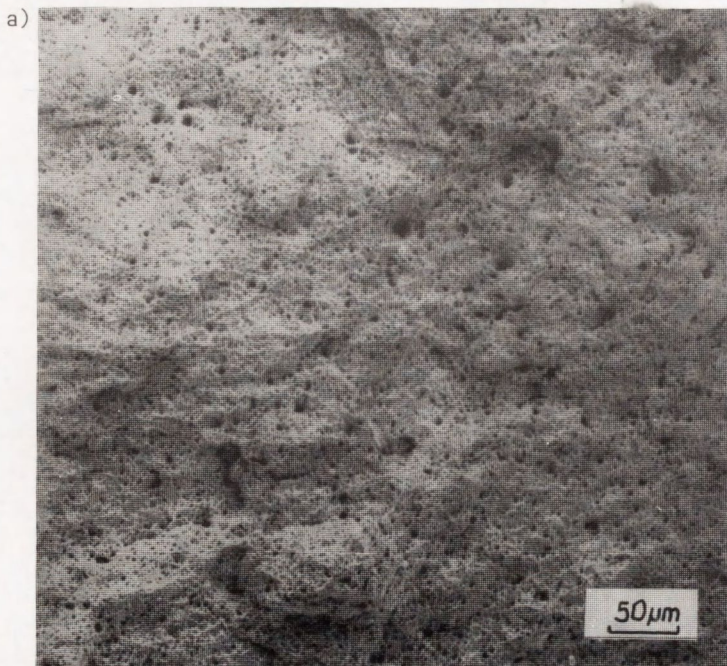
W Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych wytworzono materiał Ag-Ni1010 w postaci drutu z przeznaczeniem na nakładki stykowe do styczników powietrznych.



Rys. 3. Przełom próbki drutu, wytworzonego w ITME, powstały w próbie rozciągania



Rys. 4. Przełom próbki drutu, wytworzonego w ITME, powstały w próbie skręcania



Rys. 5. Przełomy powstałe w próbie rozciągania

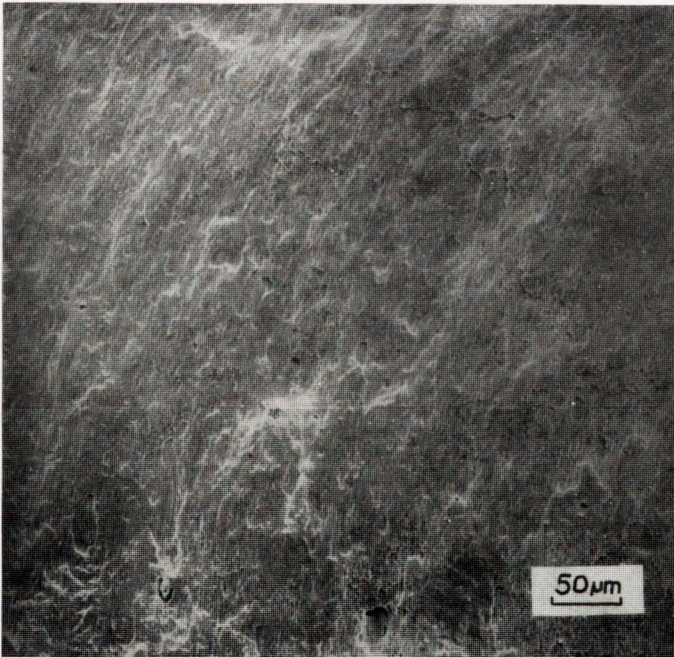
a) drut francuski,

b) drut wytworzony w ITME

a)



b)

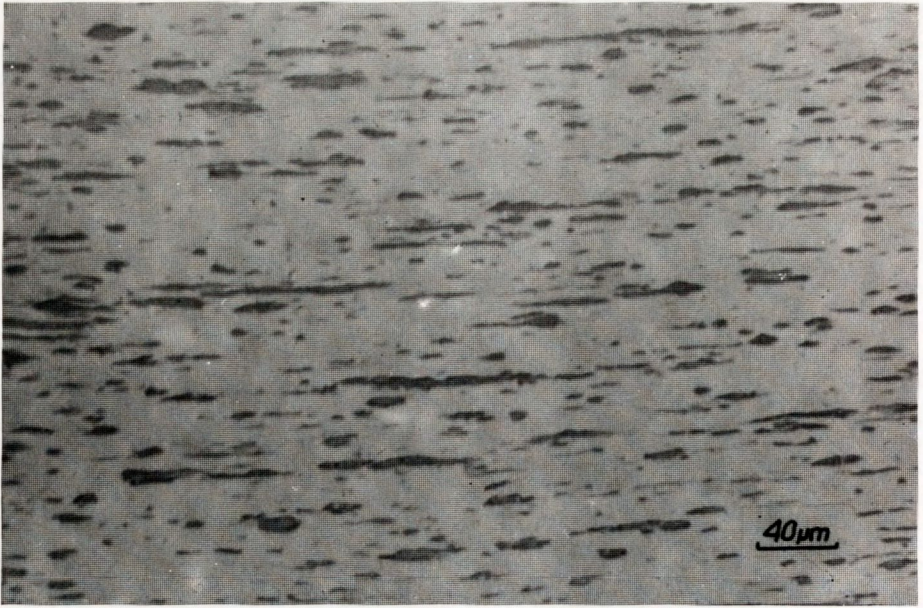


Rys. 6. Przełomy powstałe w próbie skręcania

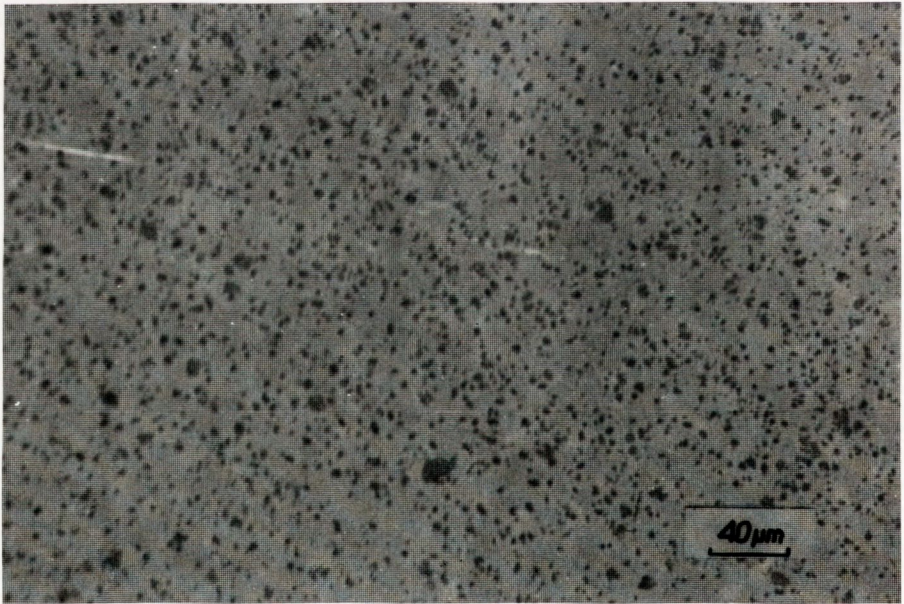
a) drut francuski,

b) drut wytworzony w ITME

a)



b)



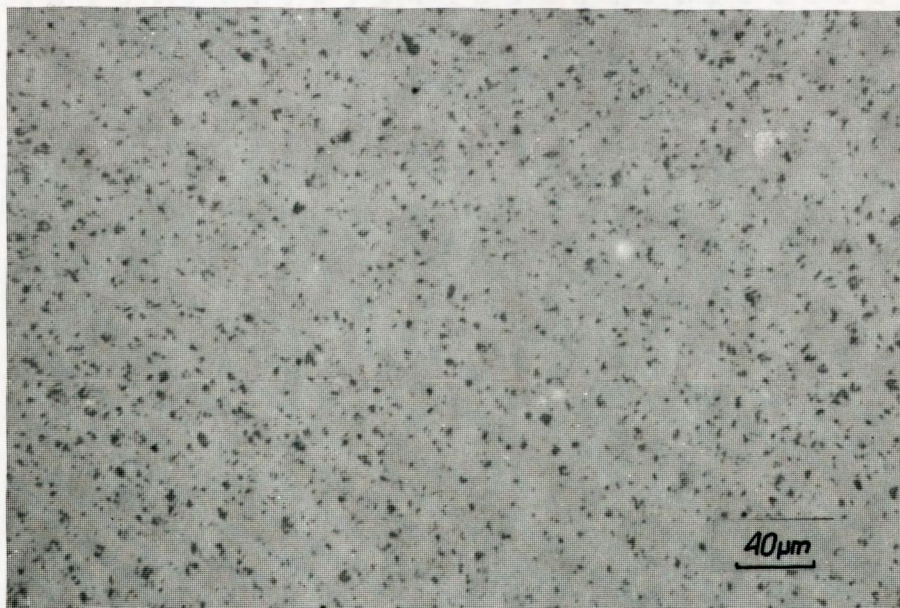
Rys. 7. Struktura drutu wytworzonego w ITME

a) przekrój podłużny,
b) przekrój poprzeczny

a)



b)



Rys. 8. Struktura drutu francuskiego

a) przekrój podłużny
b) przekrój poprzeczny



Rys. 11. Przekrój nakładki stykowej wykonanej z materiału wytworzonego w ITME

Materiał otrzymano z mieszaniny proszków srebra i niklu przy zastosowaniu prasowania na gorąco i obróbki plastycznej połączonej z wyżarzaniem międzyoperacyjnym.

W niniejszym artykule przedstawiono przebieg i wyniki badań materiału w postaci drutu o średnicy 3 mm i porównano je z analogicznymi wynikami badań materiału francuskiego firmy Comptoir Lyon-Alemand Louyot.

3.2. Metodyka i wyniki badań

3.2.1. Badania mechaniczne drutów

Próbki drutów typu Ag-Ni10 - polskiego i francuskiego - zostały poddane próbom rozciągania i skręcania w celu określenia właściwości wytrzymałościowych i plastycznych. Badania wytrzymałości na rozciąganie R_m i wydłużenia przy rozciąganiu A przeprowadzono według PN-83/H-04316 na maszynie wytrzymałościowej ZD 10/90. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki prób rozciągania drutów

Numer próbki	Wytwórca	R_m [MPa]	R_m średnia [MPa]	A_{100} [%]	A_{100} średnia [%]
1	ITME	234		35	
2	ITME	222	225	37	33
3	ITME	219		27	
4	CLAL	233		33	
5	CLAL	231	232	39	36

Próby skręcania przeprowadzono na skręcarce K5 przy odległości szczęk równej 100 mm. Próba polegała na wykonaniu 5 skręceń próbki (odpowiadających 5 pełnym obrotom uchwytu przyrządu) w jednym kierunku i 5 skręceń w kierunku przeciwnym do momentu zerwania drutu, przy osiowym obciążeniu rozciągającym wynoszącym 10% siły zrywającej. Siła zrywająca była określona wcześniej w próbie rozciągania. Prędkość skręcania była równomierna i wynosiła 30 obr/min. Wyniki próby skręcania przedstawiono w tabeli 2. Przełomy powstałe w obu próbach poddano ocenie przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego OPTON DSM 950. Obrazy tych przełomów przedstawiają zdjęcia 3,4 oraz 5 i 6.

Tabela 2. Wyniki prób skręcania drutów

Numer próbki	Wytwórca	Liczba skręceń	Liczba skręceń średnia
1	ITME	5 + 42	
2	ITME	5 + 40	5 + 41
3	CLAL	5 + 38	
4	CLAL	5 + 38	5 + 38

3.2.2. Badania struktury drutów

Przeprowadzono obserwacje struktury drutów na zglądach metalograficznych w płaszczyźnie równoległej i prostopadłej do osi drutu. Obserwacji dokonano na próbkach nie trawionych - za pomocą mikroskopu metalograficznego Neophot-2, przy powiększeniu 200x. Obrazy badanych struktur przedstawiają zdjęcia 7 i 8.

3.2.3. Badania przewodności elektrycznej właściwej

Tabela 3. Wyniki pomiarów oporności właściwej drutów

Wytwórca drutu	Oporność właściwa [$\mu\Omega\text{ m}$]	Przewodność właściwa [$\text{m}/(\Omega\text{ xmm}^2)$]
ITME	0,0192	52
CLAL	0,0188±0,0206	48,5±53

Wykonano pomiary oporności właściwej materiałów w układzie z mostkiem Thomsona. Na podstawie wyników pomiarów obliczono przewodność elektryczną właściwą. Wyniki zestawiono w tabeli 3.

3.2.4. Badania technologiczne drutów

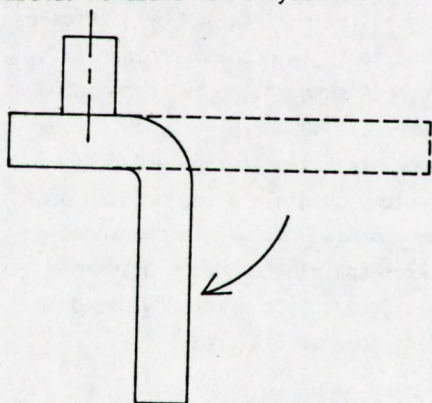
Po wykonaniu badań wstępnych druty poddano próbom technologicznym. Przeprowadzono je w Zakładach Aparatury Elektrycznej "Ema-Elester" w Łodzi. Polegały one na zgrzewaniu drutów do podstaw stykowych, wstępnej ocenie jakości zgrzeiny, formowaniu nakładek stykowych i próbie ścinania gotowych nakładek.

Drut o średnicy 3 mm zgrzewano do podstaw stykowych na półautomatycznej maszynie firmy Schlatter typu CV 11/2/6, wyposażonej w stół obrotowy i głowicę formującą typu Breakera.

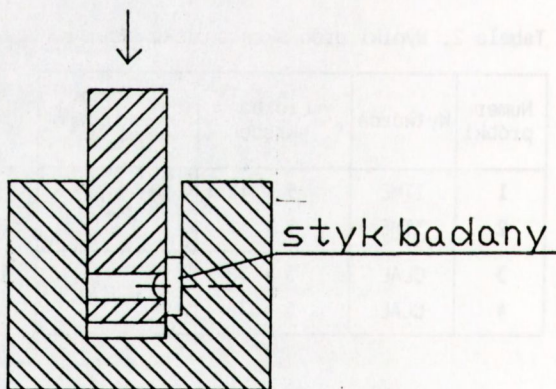
Oceny jakości zgrzein dokonywano w sposób stosowany w praktyce zakładowej. Obejmował on dwa etapy:

- 1) warsztatową próbę odrywania zgrzanego odcinka drutu,
- 2) badanie siły potrzebnej do ścięcia nakładki, wykonywane przez Kontrolę Techniczną Zakładu w sposób opisany w Instrukcji Technologicznej.

Ad. 1. Próba ta polega na ręcznym odrywaniu zgrzanego do podstawy stykowej odcinka drutu. Pokazano to na rysunku 9.



Rys. 9. Metoda wstępnej oceny warsztatowej jakości zgrzeiny



Rys. 10. Zasada działania przyrządu do ścinania nakładek stykowych

Ad. 2. Nakładki z partii, która uzyskała pozytywną ocenę wstępną, są poddawane próbie ścinania. Jeżeli wartość siły ścinania nakładek jest większa od ustalonej wartości siły, to partia nakładek jest dopuszczana do produkcji.

Próbie ścinania wykonuje się na maszynie wytrzymałościowej w przyrządzie skonstruowanym specjalnie do tego celu. Zasadę działania tego przyrządu pokazano na rysunku 10.

Tabela 4. Wyniki próby ścinania nakładek

Numer próbki	Wytwórca	Siła ścinania [N]	Siła ścinania średnia [N]
1	ITME	1080	1133
2	ITME	1180	
3	ITME	1140	
4	CLAL	1765	1797
5	CLAL	1745	
6	CLAL	1882	

Wyniki próby ścinania tych nakładek zestawiono w tabeli 4.

3.2.5. Badania struktury nakładki

Przeprowadzono obserwacje mikroskopowe struktury nakładki uformowanej z materiału wytworzonego w ITME.

Badano przekrój nakładki w płaszczyźnie prostopadłej do podstawy stykowej. Obserwacji struktury nakładki dokonano na szlifie nie trawionym przy powiększeniu 55x, korzystając z mikroskopu metalograficznego Neophot-2. Obraz struktury zglądu przedstawiono na zdjęciu 11.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Materiał typu Ag-Ni10 w postaci drutu, wykonany w ITME, został poddany badaniom w celu określenia jego wybranych właściwości mechanicznych i elektrycznych oraz sprawdzenia, czy może być zastosowany na nakładki stykowe do styczników powietrznych. Wyniki badań porównano z wynikami badań materiału francuskiego firmy CLAL, który został już sprawdzony w praktyce produkcyjnej. Badania obu materiałów wykonywano na tych samych urządzeniach i w tych samych warunkach.

Badania mechaniczne - a konkretnie próby rozciągania i skręcania - wykazały, że właściwości wyrażone wytrzymałością na rozciąganie R_m , wydłużeniem A_{100} i liczbą skręceń do rozerwania próbki są dla obydwu materiałów bardzo podobne i spełniają warunki narzucone przez użytkowników.

Z obserwacji prowadzonych metodą SEM wynika, że przełomy mają charakter plastyczny. Świadczą o tym zarówno przełomy z charakterystycznymi jamkami [7], powstałe w próbie rozciągania (rys. 3 i 5), jak i przełomy powstałe w próbie skręcania (rys. 4 i 6). Te ostatnie mają płaską, w sensie makroskopowym, powierzchnię (rys. 4), a ich nachylenie wskazuje na to, że pęknięcie następowało prostopadle do osi próbki.

Wyniki prób rozciągania i skręcania świadczą o tym, że materiał wytworzony w ITME spełnia wymagania użytkowników w zakresie właściwości mechanicznych. Jest wystarczająco wytrzymały, plastyczny i nie wykazuje tendencji do pęknięcia powodującego powstawanie rozwarstwień i zadziorów na powierzchni.

Wartość minimalnej siły ścinania nakładki wykonanej z drutu o średnicy 3 mm wynosi 550 N.

Próba ścinania nakładek ma tylko charakter porównawczy. Jej zadanie polega jedynie na szybkiej ocenie jakości zgrzeiny w sposób ilościowy, umożliwiający porównywanie ze sobą poszczególnych partii wyrobu.

Na podstawie wstępnej oceny jakości zgrzeiny dobrano parametry procesu zgrzewania i uformowano nakładki stykowe. Wyniki

Badania metalograficzne drutów wykazały, że oba materiały mają bardzo podobną strukturę. Ma ona charakter włóknisty, nadany jej w czasie obróbki plastycznej, dzięki czemu można wytworzyć drut. Strukturę tworzą krótkie włókna niklu w osnowie srebra (rys. 7 i 8).

Wyniki pomiarów oporności właściwej potwierdzają, że badany drut spełnia wymagania w zakresie właściwości elektrycznych.

W części technologicznej badań z drutów wykonano nakładki stykowe. Wartości siły ścinania nakładek spełniały wymagania określone przez użytkowników. Wyniki te wskazują, że jakość zgrzein jest wystarczająco dobra. Badania metalograficzne nakładek świadczą o ich odpowiednim uformowaniu. Na zdjęciu 11 przedstawiono strukturę nakładki wykonanej z drutu polskiego (fotografię struktury nakładki wykonanej z materiału francuskiego można znaleźć w literaturze [7]). W procesie formowania nakładki włóknista struktura materiału ulega silnemu zniekształceniu. Najmniej odkształcona jest środkowa część nakładki w sąsiedztwie zgrzeiny. Odpowiada to objętości materiału z dolnej części zgrzewanego do podstawy stykowej odcinka drutu. W strefie nakładki w pobliżu jej powierzchni czynnej włókna niklu układają się zgodnie z kierunkiem ruchu stempla formującego. Można wyróżnić obszary nakładki, w których materiał uległ tak silnemu odkształceniu plastycznemu, że włókna niklu są ułożone w przybliżeniu prostopadle do powierzchni zglądu. Struktura ta odpowiada strukturze powstającej w procesie kształtowania nakładek stykowych z drutu francuskiego.

5. WNIOSKI

Na podstawie wyników badań materiału typu Ag-Ni10 w postaci drutu, wykonanego w ITME, i porównaniu ich z materiałem francuskim można stwierdzić, że spełnia on wymagania wynikające z technologii wytwarzania nakładki stykowej i zasady działania aparatu elektrycznego.

Wynika z tego, że może być zastosowany na nakładki stykowe w aparatach elektrycznych na prąd przemienny dla zakresu do 20 A oraz w aparatach na prąd stały.

LITERATURA

1. K. H. Schröder: Elektrische Kontakte der Energietechnik, VDE - Fachberichte, 1972, 27
2. Silber-Nickel (Ag/Ni) SINTRAM, prospekt firmy Degussa
3. M. Lindmayer: Kontakt - und Schaltverhalten von Ag/Ni unterschiedlicher Zusammensetzung, METALL 1980, 34, 621
4. D. Stöckel, F. Schneider: Silber - Nickel - Faserverbundwerkstoffe für elektrische Kontakte, METALL 1974, 28, 677
5. Automatische Kontaktschweissmaschinen mit Vertikaler Kontakt drahtzuführung, katalog firmy Schlatter
6. T. Drożdż, M. Malinowski, S. Marchwiński: Zastosowanie srebra zbrojonego włóknami niklowymi na styczniki prądu małych wielkości, Materiały Elektroniczne, 1982, 3 (39), 22
7. L. Engel, H. Klingele: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Metallschäden, Karl Hanser Verlag, München - Wien, 1982