

Zastosowanie srebra zbrojonego włóknami niklowymi na styczniki prądu małych wielkości

WSTĘP

Nowe technologie opracowane do produkcji wielkoseryjnej styczników o dużej niezawodności i trwałości łączeniowej postawiły szereg wymagań odnośnie własności technologicznych, mechanicznych i elektrycznych. Oprócz takich cech jak mała rezystywność, wysoka trwałość łączeniowa, duża odporność na szczepianie i erozję łukową, doszły nowe, związane z łatwością montażu w wysokowydajnych automatach. Z tych względów zazwyczaj pożądaną postacią materiału jest drut o odpowiedniej strukturze, wytrzymałości i plastyczności, który musi gwarantować produkcję styków o wysokiej jakości. Z uwagi na powszechność stosowania zgrzewania w wysokowydajnych automatach, własnością szczególnie pożądaną dla materiałów stykowych jest dobra zgrzewalność. Celem pracy jest pokazanie możliwości wykorzystania srebra zbrojonego włóknami niklowymi jako materiału stykowego. Poprawę własności uzyskano tutaj dzięki właściwemu uporządkowaniu struktury, uwzględniającemu charakter pracy styku.

PRZEGLĄD LITERATURY

Klasyfikację własności kompozytów podał Van Suchtelen [1]. Według przedstawionej tam teorii zachowanie się materiału można scharakteryzować tensorem proporcjonalności $Y(X-A)$. W przypadku zjawisk nieliniowych A może zależeć od X i Y , gdzie:

X - własności materiałów składowych kompozytu,

Y - własności kompozytu.

Z analizy podanej w [1] wynika, że własności kompozytu Y mogą być sumą lub iloczynem zbiorów własności materiałów składowych. W przypadku kom-

pozytu dwuskładnikowego, jakim jest układ Ag-Ni, tensor proporcjonalności da się uprościć przy założeniu, że Ag nie oddziałuje z Ni, do następujących równań [2]

$$P_{II} = \sum f_i P_i \quad (1)$$

gdzie:

P_{II} - określona własność kompozytu w kierunku włókna,

P_i - wartość i -tego składnika,

f_i - udział objętościowy fazy

$$P_{\perp} = \sum \left(\frac{f_i}{P_i} \right)^{-1} \quad (2)$$

gdzie:

P_{\perp} - określona własność fizyczna kompozytu w kierunku prostopadłym do włókna.

Wzory (1) i (2) wyznaczają granice, w jakich można zmieniać własności kompozytu w zależności od składu i struktury faz. Mogą one być wykorzystane do określania własności materiałów kompozytowych interesujących z punktu widzenia wykorzystania na styki elektryczne.

Materiały kontaktowe kompozytowe można podzielić na cztery grupy [2]:

- dyspersyjne,
- nasycone,
- warstwowe (platerowane),
- włókniste.

Technologia i własności trzech pierwszych grup są dość dobrze znane i oparowane. Technologia materiałów zbrojonych włóknami jest również dobrze poznana, jednakże zakres zastosowań tego typu materiałów ograniczał się niemal wyłącznie do materiałów konstrukcyjnych, natomiast zwracano mniej uwagi na własności elektryczne i termiczne. Poprawę własności materiałów przez nadanie choćby częściowo struktury włóknistej sugerują prace Stolarza i współpracowników [4, 5]. Włóknistość materiału otrzymali oni w drodze przeróbki plastycznej kompozytu proszkowego. Ujemną cechą zaproponowanej metody jest nadanie materiałowi stosunkowo dużej wytrzymałości kosztem utraty plastyczności, co utrudnia zgrzewanie nakładki do podłoża. Wyżarzanie zmiękczające może natomiast prowadzić do koagulacji wcześniej otrzymanych niekoherentnych krótkich włókien. W pracy [5] podano również charakterystykę technologiczną drutu oraz wyniki badań mechanicznych i elektrycznych przeprowadzonych w styczniku SLA 16 konstrukcji firmy BBC AEG. Materiał wykazywał w próbach lepsze własności od materiału konwencjonalnego. Nie podano natomiast informacji o wpływie budowy włóknistej na własności elektryczne.

Stöckel i współpracownicy [6] podali kryteria obróbki cieplnej materiału Ag-Ni w postaci włóknistej, umożliwiające uzyskanie stabilnej struktury. Wyniki

pracy sugerują konieczność prowadzenia wyżarzeń w temperaturach niższych od 700°C , przy czym czas wyżarzania nie powinien przekraczać 0,5 godz. W pracy Drożdża [7] warunki optymalnej cbróbki cieplnej są nieco odmienne, co spowodowane jest inną czystością materiałów użytych do wytwarzania kompozytu, oraz koniecznością uzyskania założonej struktury osnowy. Do realizacji tych wymagań niezbędne było zastosowanie temperatur wyżarzania nieco wyższych od 700°C . Natomiast w materiale badanym przez Stöckla włókna niklu miały mniejszą średnicę, co stwarzało niebezpieczeństwo ich rozrostu przy wyższych temperaturach.

Problem własności mechanicznych kompozytów włóknistych szczegółowo omówiono w pracach Eberta i współpracowników [8], Bloome [9], Fedora i Eberta [10] i innych. W pracach tych podano teoretyczne podstawy i weryfikację doświadczalną postawionych hipotez dotyczących sił wiązania osnowy z włóknami. Wiązanie to jest czysto mechaniczne i pochodzi z różnic współczynników Poissona. Podano tam również wzory na siłę niszącą wiązanie oraz warunki odkształcenia plastycznego w drutach jedno i trójrdzeniowych. Wyniki prac wykorzystano do modelu ciągnięcia materiału wielowłóknistego, stosując jako kryterium brak poślizgu między włóknem a osnową [6]. Omówienie problemów przeróbki plastycznej kompozytu włóknistego (walcowanie) przedstawiono w pracy Pietrzyka i Wrighta [11]. Z wyników pracy można dość precyzyjnie określić zgnioty międzyoperacyjne dla kompozytu Ag-Ni, pomimo postawionego założenia, że włókna są nieodkształcalne.

Analiza literatury dotyczącej zjawisk na granicy faz Ag-Ni [12, 13] sugeruje wpływ czystości osnowy i włókien na strukturę tej granicy, co może mieć duży wpływ na erozję wywołaną łukiem. W publikacjach brak jest informacji o niszczeniu powierzchni styków przez stopę łuku, co jest problemem bardzo ważnym dla projektantów materiałów. Brak jest również danych o interesujących projektanta własnościach elektrycznych, które charakteryzują materiał stykowy o strukturze włóknistej.

Prezentowana praca ma na celu wypełnienie tej luki zwłaszcza odnośnie własności elektrycznych kompozytu włóknistego oraz konkretnego jego wykorzystania w styczniku typu SLA.

MATERIAŁ DO BADAN

Do wykonania kompozytu użyto srebro 5N o zanieczyszczeniach podanych w tab. 1. Na włókno zastosowano nikiel przetopiony strefowo wiązką elektronową, o czystości bliskiej 4N. Zawartość zanieczyszczeń w niklu podano w tab. 2. Oznaczenie składu chemicznego przeprowadzono na spektrometrze masowym INS-Jeol. Z tab. 2 wynika, że użyty nikiel posiada stosunkowo duże ilości Co, Cr, Fe, Cu.

T a b l i c a 1

Skład chemiczny Ag

Symbol pierwiastka	Au	Sb	Sn	In	Se	Ga	Zn	Cu	Ni	Fe
Stężenie w PPM wag.	3,3	1,4	1,8	0,3	2,1	0,7	11,2	5,5	3,8	79,0
Symbol pierwiastka	Mn	Cr	Ca	K	Cl	S	P	Si	Al	
Stężenie w PPM wag.	0,3	91,0	1,7	0,45	7,8	28	7,6	79	2,9	

T a b l i c a 2

Skład chemiczny Ni

Symbol pierwiastka	Ag	Zn	Cu	Ni*	Co	Fe	Mn	Cr	Ti	Ca
Stężenie w PPM wag.	5,7	2,0	121,8	100,0	656,0	324,0	6,4	370,6	6,0	4,3
Symbol pierwiastka	K	Cl	S	Si	Al	Mg	Na	B	Nb	
Stężenie w PPM wag.	1,7	22,5	9,8	0,114	40,7	9,6	1,5	1,5	1,5	

* wzorzec wewnętrzny

WYKONANIE MATERIAŁU KOMPCZYTOWEGO

Kompozyt włóknisty otrzymano w sposób zbliżony do metody zaproponowanej przez Stöckla [14]. Parametry procesu technologicznego oraz szczegółowy opis metody podano w opracowaniu Drożdża [7].

Druły rdzeniowe o średnicy 100 μm łączono w wiązkę i spiekano w atmosferze obojętnej. Żądane wymiary włókien oraz strukturę osnowy uzyskano na drodze przeróbki plastycznej ściśle połączonej z obróbką cieplną. Cechą charakterystyczną materiału była wysoka czystość materiału kompozytowego, oraz dzięki specjalnie prowadzonemu procesowi technologicznemu, odpowiednia struktura osnowy.

BADANIA WŁASNE

Badania metalograficzne materiału wyjściowego przeprowadzono na mikroskopie świetlnym Neophot 2. Kompozyt zatopiono w żywicy i wykonano szlif do obserwacji mikroskopowych. Typowe obrazy struktur pokazano na rys. 1, 2, 3. Badania elektryczne wykonano w celu określenia trwałości łączeniowej przy prądzie zmiennym i stałym, oporności zestykowej oraz szybkości ruchu stopy łożka. Pomiary trwałości łączeniowej przeprowadzono na urządzeniu symulującym

pracę stycznika zgodnie z normą BN-75/3044-02. Prędkość stopy łuku zmierzono w urządzeniu opracowanym i zbudowanym przez Kordasa [15] w Instytucie Elektrotechniki we Wrocławiu. Wyniki badań podano w tab. 3, 4, 5 oraz na rys. 4. Natomiast tab. 6, 7, 8 i rys. 5, 6, 7 obrazują porównanie wyników badań dla zbliżonych materiałów, przeprowadzonych w tym samym urządzeniu [6].

T a b l i c a 3

Wyniki pomiarów trwałości łączeniowej przeprowadzonych zgodnie z normą BN-75/3044-02, dla prądu przemiennego
 $I = 25 \text{ A}$, $U = 220 \text{ V}$, $\cos \varphi = 0,9$

Lp.	Liczba łączy	Ubytek materiału Δg (mg)		
		wartość średnia X (mg)	błąd średni S (mg)	średni rozrzut V (%)
1	10 000	0,37	0,15	40
2	50 000	1,2	0,24	20
3	100 000	1,9	0,42	22

T a b l i c a 4

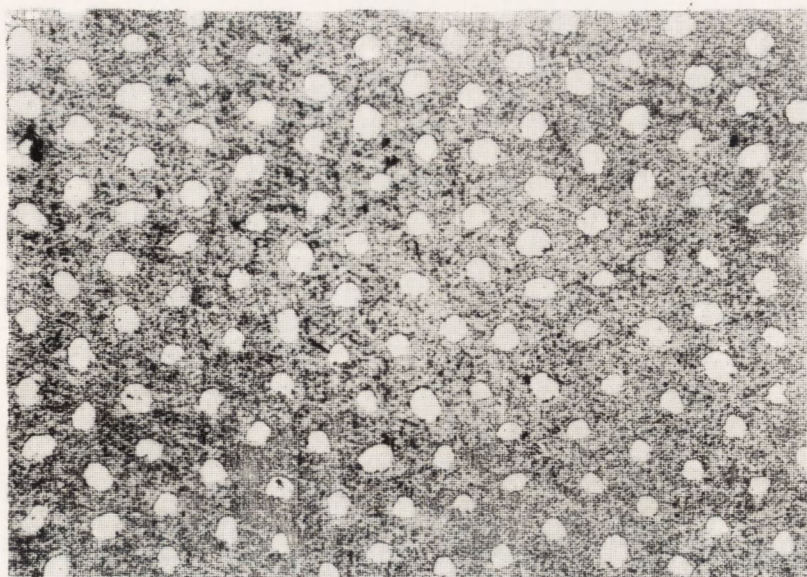
Wyniki pomiarów trwałości łączeniowej przeprowadzonych zgodnie z normą BN-75/3044-02, dla prądu stałego $I = 25 \text{ A}$, $U = 220 \text{ V}$

Lp.	Liczba łączy	Ubytek materiału Δg (mg)			
		zest. I	zest. II	zest. III	średni ubytek X (mg)
1	10 000	0,02	0,08	0,05	0,05
2	50 000	0,4	-	0,5	0,45
3	100 000	1,2	-	1,0	1,1

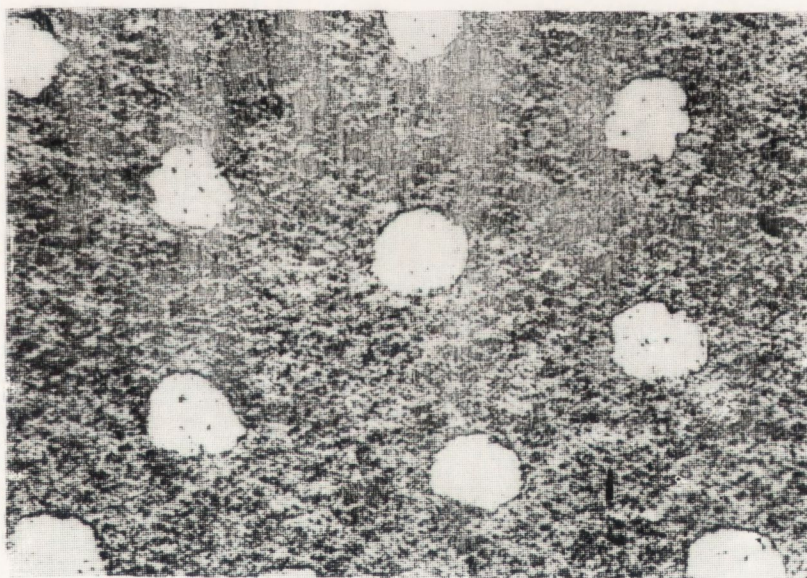
T a b l i c a 5

Szybkość ruchu stopy łuku

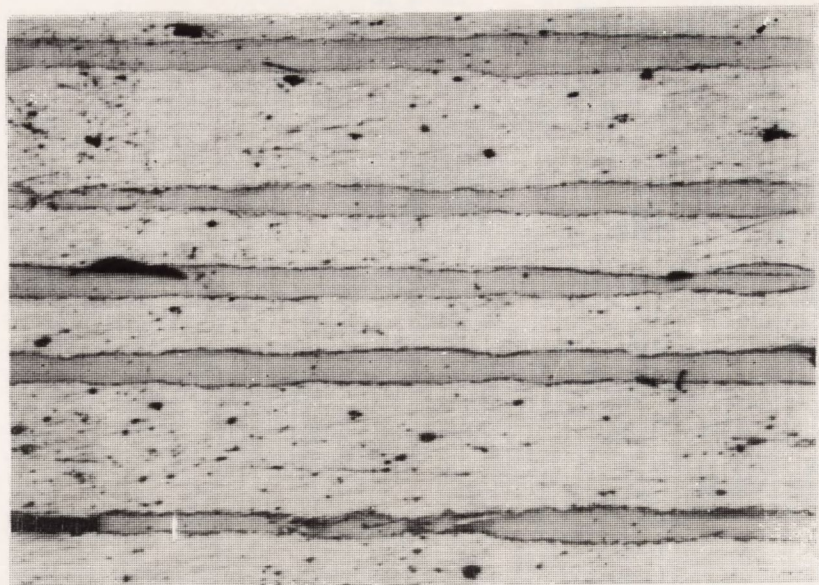
Lp.	Materiał	Natężenie pola magnetycznego B (mT)	Prędkość V (m/s)	Błąd średni S_V (m/s)
1	AgNi30 ITME	0,1	0,41	0,10
2		0,18	0,59	0,12
3		0,26	0,76	0,12
4		0,42	0,94	0,16



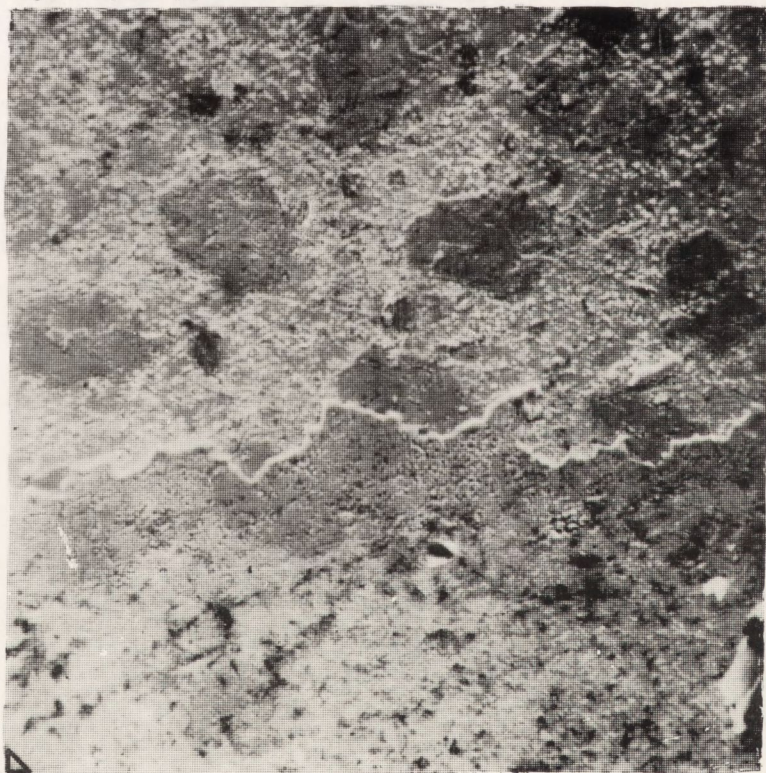
Rys. 1. Przekiętna struktura kompozytu Ag-Ni. Widoczne jasne włókna niklowe są ciągłe na całej długości drutu



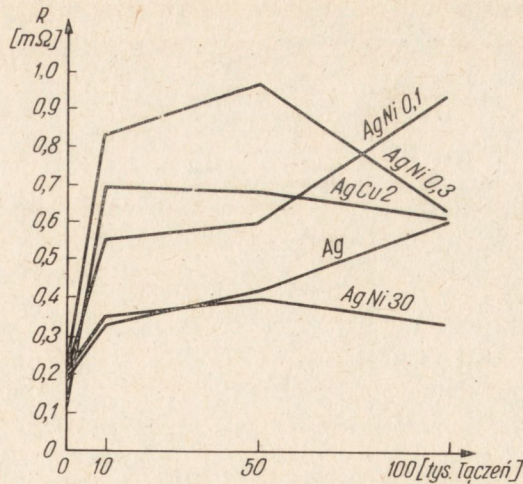
Rys. 2. Struktura kompozytu Ag-Ni wykazuje wielką symetrie rozłożenia włókien



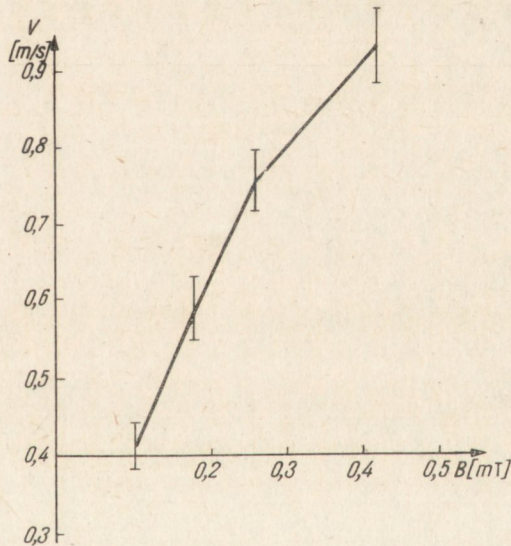
Rys. 3. Przekrój wzdłużny drutu kompozytowego. Przewężenia włókien niklowych wynikają z niedoskonałości wykonania szlifu



Rys. 4. Ślad po łuku na materiale kompozytowym. Widoczne zaburzenia struktury w materiale w sąsiedztwie przejścia łuku



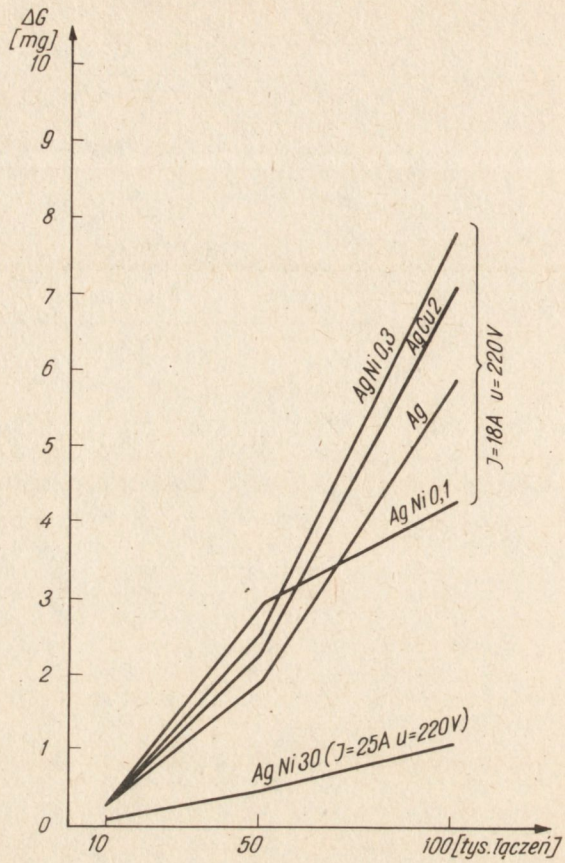
Rys. 5. Oporność zeszykowa w funkcji ilości łączeń



Rys. 6. Zależność prędkości stopy łąku od pola magnetycznego

Wyników własnych nie można porównywać z wynikami badań Stolarza [5], ponieważ przeprowadzono je przy różnych parametrach prądowych.

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w zrywarkach Instron i Zwick. Próby rzucania wykonano na materiałach składowych kompozytu w stanie miękkim oraz w drucie rdzeniowym i kompozycie wielowłóknisty. Wyniki prób podano w tab. 9. Obserwacje przetomu przeprowadzono w mikroskopie scanin-



Rys. 7. Zależność trwałości łączeniowej od ilości łączy

Tablica 6

Badania oporności zestykowej

Pomiary wykonano przy prądzie $I = 2 \text{ A}$ mierząc spadek napięcia na zestyku

Lp.	Materiał	Średnia oporność zestyku R ($m\Omega$)			
		wyjściowa	po 10 tys. łączy	po 50 tys. łączy	po 100 tys. łączy
1	AgNi30	0,20	0,35	0,40	0,33
2	AgNi0,1	0,19	0,55	0,60	0,93
3	AgNi0,3	0,19	0,83	0,97	0,63
4	AgCu2	0,12	0,69	0,68	0,62
5	Ag	0,18	0,33	0,42	0,60

T a b l i c a 7

Badania trwałości łączeniowej przy prądzie stałym, wykonane dla innych materiałów

$$I = 13 \text{ A}, U = 220 \text{ V}$$

Lp.	Materiał	Średni ubytek materiału (mg)		
		po 10 000 łączy	po 50 000 łączy	po 100 000 łączy
1	AgNi 0,1	0,25	2,9	4,3
2	AgNi 0,3	0,21	2,6	7,3
3	Ag	0,18	1,9	5,9
4	AgCu2	0,18	2,3	7,1

T a b l i c a 8

Zestawienie wyników pomiarów szybkości ruchu stopy katodowej łuku elektrycznego przy $B = 0,42 \text{ mT}$

Lp.	Materiał	Prędkość V (m/s)	Błąd średni S_V (m/s)	Średni rozrzut V (%)
1	AgNi30	0,94	0,16	17,0
2	Ag stop	1,02	0,03	4,81
3	Ag spiek	1,07	0,03	2,43
4	Cu stop	0,71	0,03	4,93

gowym JSM firmy Jeol przy napięciu przyspieszającym 25 kV. Charakterystyczne obszary przełomów pokazano na rys. 8, 9, 10, 11 i 12.

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Nakładki stykowe do styczników SLA 7-II wykonywane są z drutu o średnicy 2 mm i 2,6 mm. Optymalne własności drutu kompozytowego projektowano właśnie na tę średnicę. Norma BN-75/3044-02 przewiduje do badań trwałości łączeniowej próbkę o średnicy 7 mm. Dlatego uzyskane wyniki, podane w tab. 3 i 4 oraz na wykresie, z całą pewnością są gorsze od wyników jakie uzyskano by na drutach o docelowych wymiarach. Pomimo tego należy uznać, że uzyskane wyniki trwałości są stosunkowo dobre. Ubytek masy wynosi ok. 2 mg po 100 000 łączy dla prądu przemiennego. Z funkcji ubytku masy od ilości łączy można przypuszczać, że prędkość ubytku masy maleje ze wzrostem ilości łączy, czyli ma zupełnie inny charakter od tych samych funkcji dla takich materiałów jak AgNi 0,3, AgCu2, czy Ag. Z uwagi na brak kompletnych danych dla materiału AgNi10 otrzymanego na drodze metalurgii proszków

Wyniki próby rozciągania

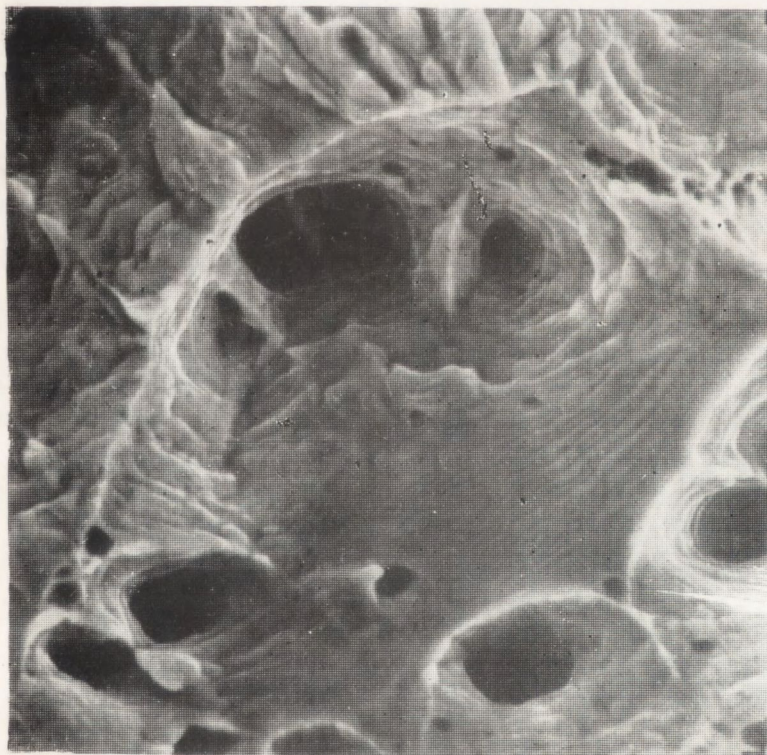
Lp.	Postać materiału	d_0 mm	l_0 mm	R_m MPa	
1	Ag	1.960	175	1.34	
2		1.958	175	1.39	
3	Ni	3.75	100	379,5	
4		3.75	100	380.4	
5		3.75	100	377.0	
6		3.75	100	382.0	
7		3.75	100	377.0	
8		3.75	100	373.0	
9		rekr. 700°C kompozyt wielowłóknisty	3.0	100	172.0
10			2.6	100	185.9
11	2.0		100	198.0	
12	3.0		100	171.9	
13	rekr. 850°C	2.6	100	179.9	
14		2.0	100	184.6	

trudno jednoznacznie ocenić, jak duże korzyści wynikają ze stosowania materiału włóknistego. Dostępne wyniki literaturowe nie podają opisu urządzeń i warunków przeprowadzenia prób, co uniemożliwia porównanie własności. Przeprowadzając ryzykowną ekstrapolację wyników Stolarza [4] należy sądzić, że materiał włóknisty powinien posiadać lepsze własności. Wyniki oporności zeszykowej podane w tab. 6 i na rys. 5 świadczą, że kompozyt AgNi po długiej pracy posiada lepsze własności nawet od czystego srebra. Jest to wynik zmniejszenia powierzchni kontaktowej srebra w wyniku dużej i nierównomiernej jego erozji. Ponadto srebro użyte do wytworzenia kompozytu było o znacznie większej czystości niż srebro stosowane na styki.

Obserwacje śladu połukowego (rys. 4) sugerują, że odpowiedzialnym za niszczenie styku jest zjawisko naporowywania srebra na włókno niklowe. Struktura kompozytu w obszarze przejścia łuku wykazuje duże zmiany, zwłaszcza na granicy przejścia stopy łuku i materiału nie atakowanego przez łuk. Materiał na śladzie połukowym jest czysty o strukturze identycznej jak materiał wyjściowy. Można uważać, że stopa łuku zbiera warstwę materiału o jednakowej grubości nie wyróżniając szczególnie składników kompozytu. Obszar przygraniczny natomiast odznacza się dużymi zmianami strukturalnymi. Widoczna



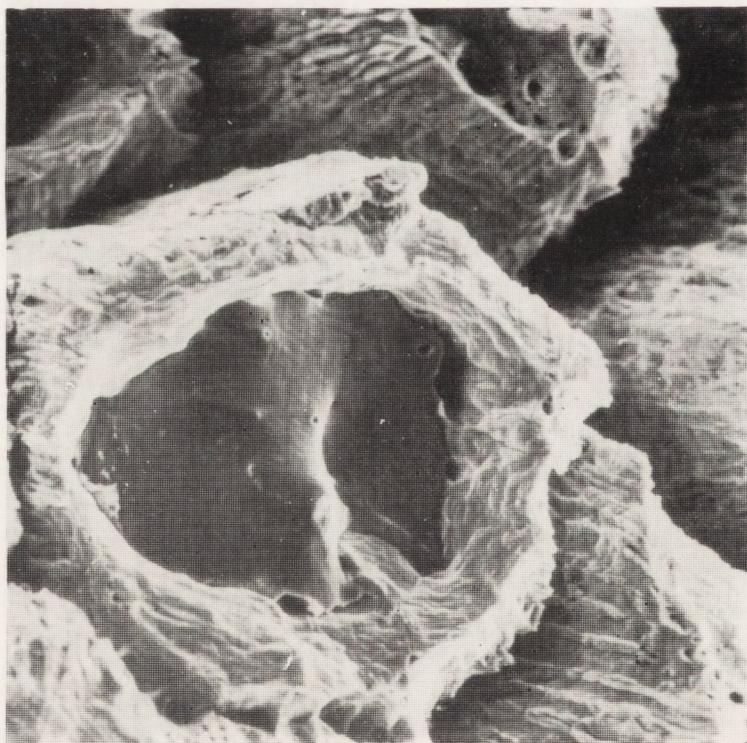
Rys. 8. Fragment przekroju próbki zerwanej. Widoczne zasklepienia włókien niklowych



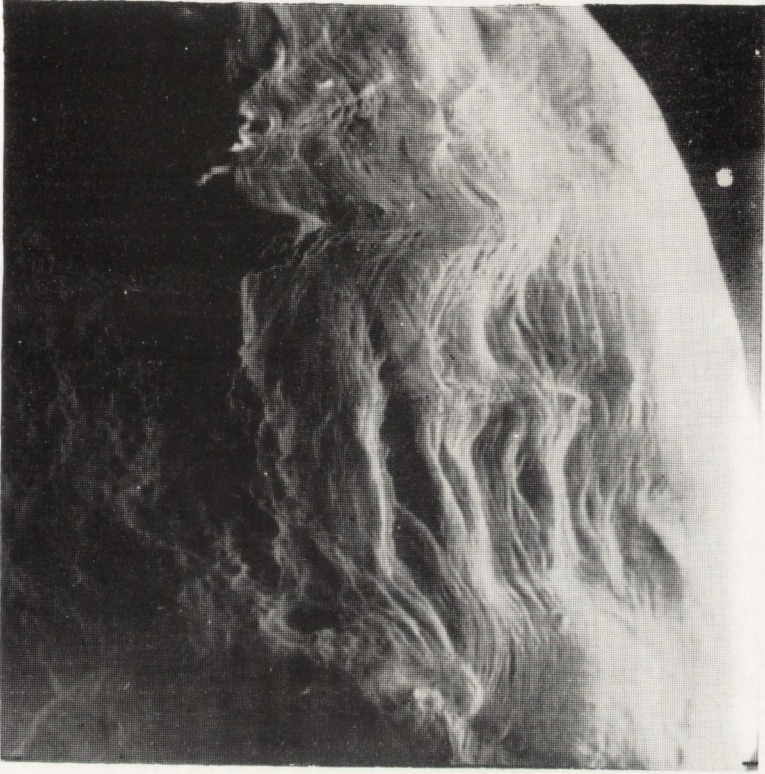
Rys. 9. Obszar zasklepienia. Widoczne linie poślizgu oraz krater spowodowany istnieniem różnego stanu naprężeń warstwy zewnętrznej drutu rdzeniowego i włókna



Rys. 10. Przekłony drutów rdzeniowych częściowo zasklepionych. Widoczne włókno niklowe i odkształcona otulina drutu rdzeniowego w postaci nieregularnych sześciokątów



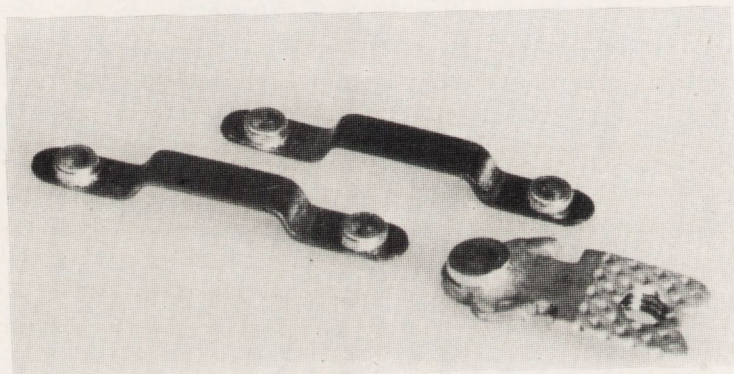
Rys. 11. Przekłom drutu rdzeniowego. Widoczne różnice w odkształceniu włókna niklowego i otuliny srebrnej



rys. 12. Przełom zerwanego drutu rdzeniowego. Widoczne linie poślizgu na powierzchni bocznej otuliny srebrnej oraz „kratery” przełomu włókna niklowego



Rys. 13. Drut kompozytowy zgrzany do podłoża



Rys. 14. Uformowane nakładki stykowe z drutu kompozytowego zbrojonego włóknami

jest tam porowata, cienka warstwa naporowanego srebra osadzonego zarówno na osnowie, jak i na włóknie niklowym.

Przybliżony pomiar prędkości stopy łuku na drucie o średnicy 2 mm sugeruje, że szybkość ta jest zbliżona do szybkości łuku po czystym srebrze. Może to potwierdzać bardzo dobre parametry elektryczne kompozytu.

Biorąc pod uwagę wyniki oporności zestykowej oraz trwałości łączeniowej można przypuszczać, że po ilości łączeń 50 000 następuje stabilizacja własności materiału kompozytowego. Obserwacje niszczenia materiału po przejściu stopy łuku sugerują natomiast, że dalszą stabilizację oraz zwiększenie trwałości można uzyskać przez stosowanie włókien posiadających w swym składzie substancje parujące, które nie pozwolą na osadzenie się na niklu srebra. Badania mechaniczne materiałów wyjściowych w stanie zmiękczonym w postaci drutu oraz kompozitu potwierdzają słuszność wzoru (1). Małe rozbieżności wynikają z rozrzutu własności materiałów badanych i niedoskonałości techniki pomiarowej. Obserwacje przełomów próbek zerwanych pozwalają ocenić siłę wiązania włókna niklowego z osnową. Obrazy te upoważniają do stwierdzenia, że siła wiązania między włóknem a osnową jest nie mniejsza od siły wiązania między otulinami drutów rdzeniowych spieczonych. Jednocześnie regularnie uformowane w postaci sześciokątów otuliny świadczą o równomiernym odkształceniu wywołanym przeciąganiem. Zachowanie kształtu kołowego przez włókna świadczy natomiast o ich mniejszej podatności na odkształcenie. Potwierdzają to dodatkowo obserwacje linii poślizgu i płaski przełom włókien niklowych. Te różnice tłumaczą zasklepienie włókien niklowych przez srebro. W końcowej fazie przed zerwaniem, po pęknięciu włókien niklowych obserwowano dalsze odkształcenie srebra praktycznie niemal bez wzrostu siły rozciągającej. Stąd w wielu przełomach w znacznej odległości od powierzchni dekohezji nie znajdowano śladu włókien. Natrafiono natomiast na ślady niklu pochodzące prawdopodobnie z zeskrawania powierzchni włókna w czasie samego odkształcenia plastycznego srebra i utraty siły wiązania między osnową a włóknem.

BADANIA TECHNOLOGICZNE

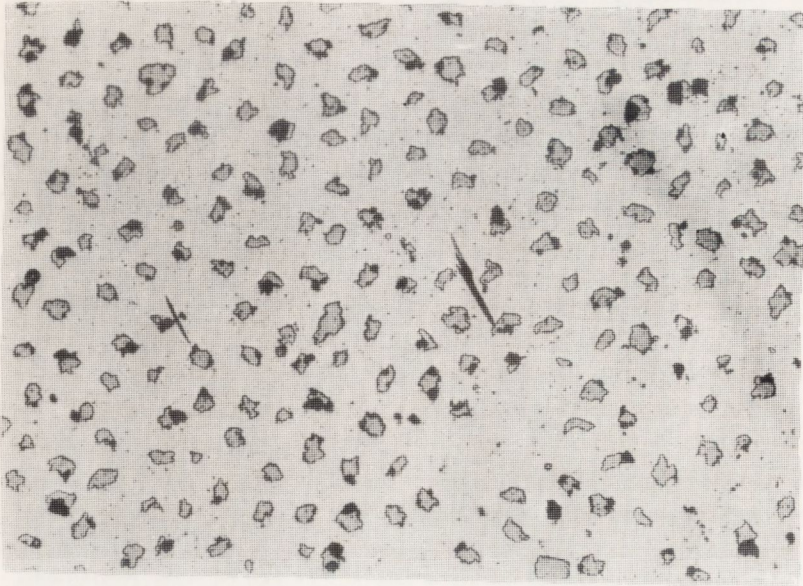
Odbiorcę materiału interesuje trwałość łączeniową styczników oraz jego „technologiczność” dla posiadanych urządzeń. Dla sprawdzenia zachowania się materiału w czasie wykonywania styków do stycznika typu SLA, przeprowadzono zasadnicze testy technologiczne stosowane przez producenta. Główne cechy technologiczne, które powinien posiadać materiał to dobra zgrzewalność do brązu cynowego, odpowiednio wysoka siła ścinająca złącze styk-podłoże oraz dobre kształtowanie głowy styku. Testom tym został poddany materiał kompozytowy. Operacje zgrzewania i kształtowania polega na podaniu drutu przez przek-

ładnie cierne, dociśnięciu do podłoża, przepuszczeniu prądu z jednoczesnym obrotem drutu wokół jego osi i odcięciu drutu. Drut po zgrzaniu i obcięciu pokazano na rys. 13. Następną operacją jest formowanie polegające na sprasowaniu drutu zagłownikiem i uformowaniu powierzchni styku przez obrót zagłownika względem nakładki. Gotowe, uformowane elementy stykowe pokazano na rys. 14. Dla porównania przeprowadzono próby na materiale francuskim otrzymanym na drodze metalurgii proszków, stosowanym obecnie przez wytwórcę styczników SLA.

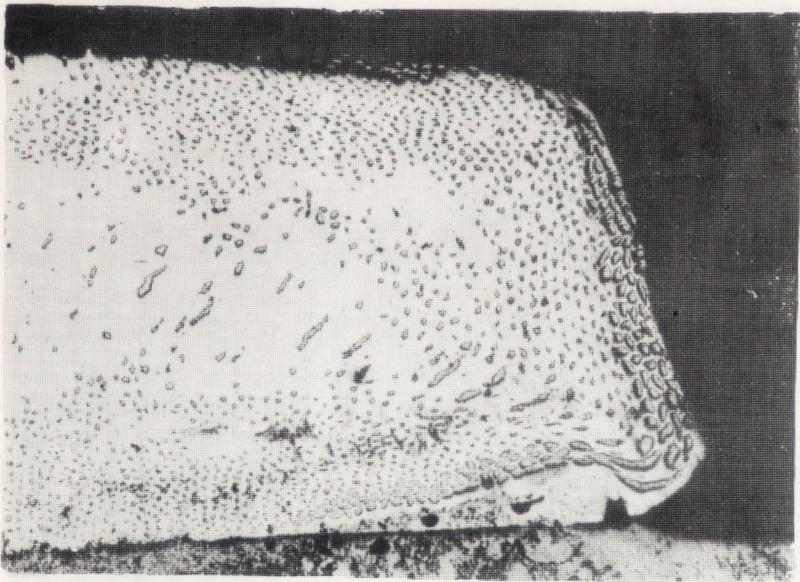
BADANIA WSTĘPNE NAKŁADEK STYKOWYCH

Dla oceny technologiczności drutu kompozytowego włóknistego przeprowadzono próby technologiczne oraz badania metalograficzne wykonanych nakładek stykowych. Oprócz tego przeprowadzono badania przełomów po próbie ścinania, na mikroskopie scaningowym. Badania metalograficzne przeprowadzono na przekrojach poprzecznych i równoległych do powierzchni styku. Typowe obrazy pokazano na rys. 15, 16. Typowe obrazy przełomów pokazano na rys. 17, 18. Z porównania obrazów struktur przekrojów równoległych do powierzchni styku oraz materiału wyjściowego wynika, że rozkład włókien w materiale kompozytowym nie uległ wyraźnym zmianom. Struktury ujawnione na przekroju poprzecznym potwierdzają przypuszczenie, że materiał kompozytowy wykazuje dużą plastyczność „technologiczną” oraz zgrzewalność. Materiał kompozytowy został połączony z podłożem na prawie całej powierzchni. Kształt nakładki został dobrze odwzorowany przez narzędzie. Z rys. 16 i obserwacji wykonanych nakładek widać, że narzędzie kształtujące (tzw. „zagłownik”) było silnie zużyte. Pomimo tego plastyczność kompozytu pozwala na otrzymanie stosunkowo ostrych krawędzi przy starannym ustawieniu automatu. Kompozyt nie wykazuje pęknięć po formowaniu, powierzchnia styku posiada gładkość zależną od gładkości narzędzia kształtującego.

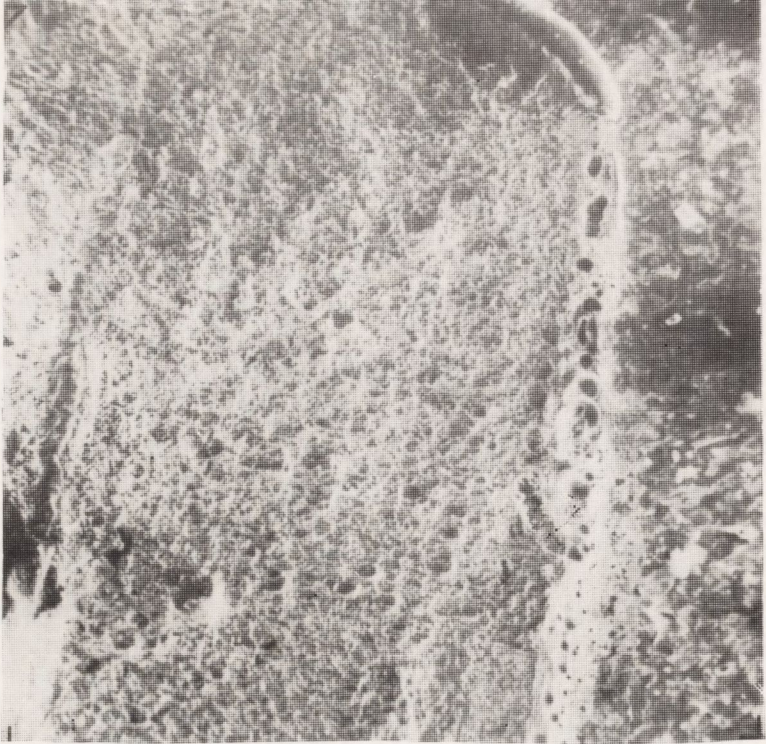
W przekroju poprzecznym rozkład włókien wewnątrz nakładki uległ silnemu zakłóceniu przez nierównomierną deformację plastyczną. Wyraźnie obserwuje się to na rys. 16. Silne zagęszczenie włókien w obszarze przy powierzchni styku oraz podłoża wynika z wprowadzonych naprężeń stycznych wywołanych skręcaniem. Odkształcenia te nie spowodowały zerwania ciągłości włókien a jedynie ukierunkowanie ich ukośnie względem osi drutu, rys. 19. Powierzchnie bez włókien, w środkowej części materiału stykowego, rys. 16 wskazują, iż przekrój wykonano pomiędzy włóknami, które nie uległy silnemu skręceniu. Potwierdzają to obrazy struktur w innych przekrojach, rys. 19, gdzie w środku nakładki wyraźnie widać włókna. Podobne „zakłócenia” struktury widać w materiale proszkowym francuskim, rys. 20. Zgrzewalność materiału francuskiego



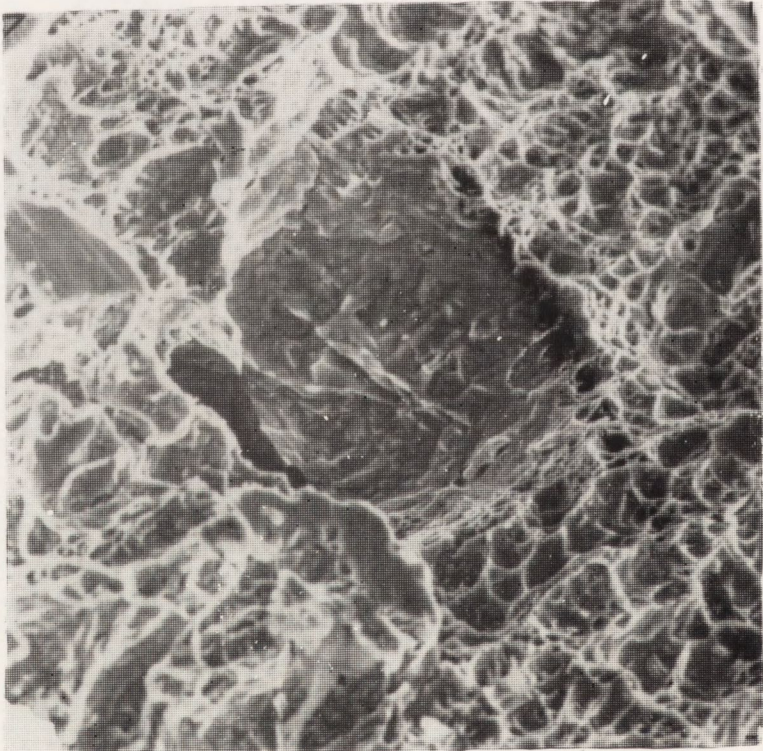
Rys. 15. Struktura nakładki w płaszczyźnie równoległej do powierzchni pracującej



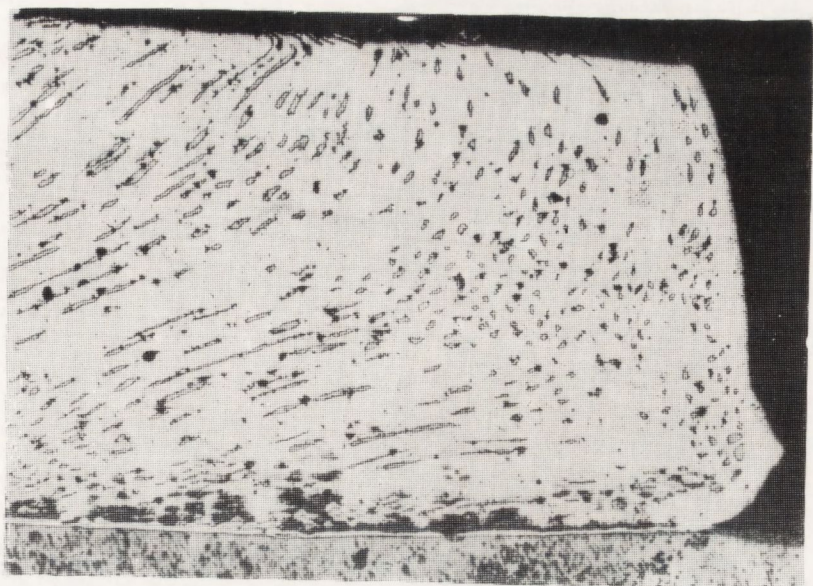
Rys. 16. Struktura nakładki w przekroju poprzecznym. Widoczna pozorna nierównomierność rozłożenia włókien wynikająca z odkształcenia plastycznego w czasie formowania



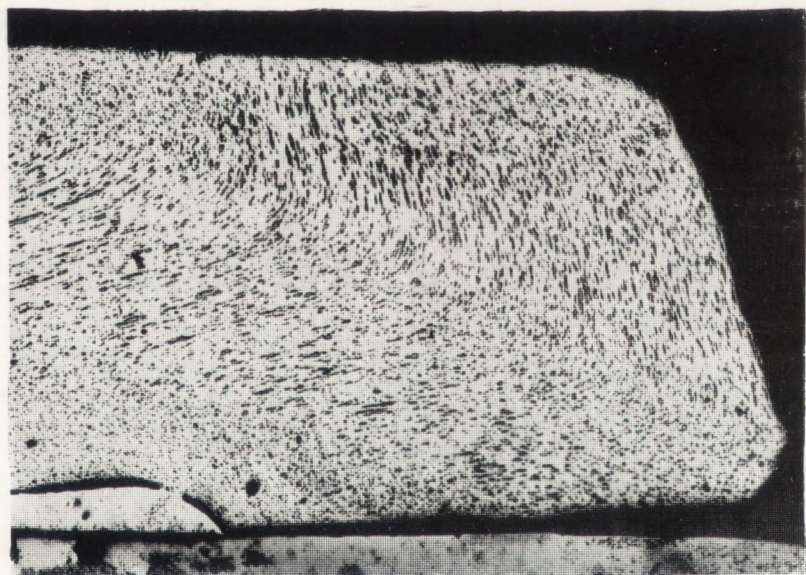
Rys. 17. Przełom od strony podłoża po próbie ścinania nakładki. Widoczne dobre zgrzanie nakładki z podłożem



Rys. 18. Włókno niklowe w przełomie po próbie ścinania zgrzane do podłoża



Rys. 19. Układ włókien w nakładce powstały w wyniku nierównomiernego odkształcenia w warstwie wierzchniej i zgrzewanej do podłoża



Rys. 20. Struktura nakładki z materiału kompozytowego otrzymanego na drodze metalurgii proszków



Rys. 21. Powierzchnia nakładki po przeróbce plastycznej

wydaje się być gorsza, czego jednak nie można stwierdzić z całą pewnością ze względu na zbyt małą ilość prób przeprowadzonych na tym materiale.

Wyniki prób ścinania nakładek z drutu kompozytowego $d = 2 \text{ mm}$ i $d = 2,6 \text{ mm}$ wykazały, że połączenie z podłożem jest silne. Wielkość siły ścinającej była większa w każdym przypadku od siły dopuszczalnej o ponad 100%, rozrzut wyników nie był większy od 3% wartości średniej siły ścinającej.

Z uwagi na to, że wyniki prób ścinania zależą od konstrukcji przyrządu i pochodzą z typowej próby technologicznej ujemczliwiającej interpretacji fizycznej, nie zostały one przedstawione w artykule.

Obserwacje przełomów po próbie ścinania, rys. 17, 18 potwierdzają dodatkowo wyniki badań metalograficznych. Przełom posiada strukturę jednorodną niemal na całej powierzchni, która jednocześnie świadczy o plastyczności materiału. Pęknięcie w próbie ścinania następuje w materiale kompozytowym. Obserwacje pozostałości materiału na podłożu pozwalają stwierdzić, że włókna niklowe zostały również zgrzane do podłoża. Odkształcenia wynikające z formowania nakładki nie wyczerpały zapasu plastyczności materiału, o czym świadczy porównanie przełomów srebra i włókien nakładki ściętej z przełomem drutu kompozytowego po zerowaniu.

Proces formowania powierzchni styku nie powoduje naniesienia warstwy srebra na włókno zbrojące nakładkę, rys. 21, pomimo złego stanu powierzchni narzędzia kształtującego. Jedynie na obrzeżu drutu zgrzanego obserwowano nieciągłości w materiale, który wypłynął w czasie zgrzewania. Powierzchnia boczna drutu nie wykazuje istotnych zmian w porównaniu ze stanem wyjściowym, co powinno gwarantować dobre kształtowanie głowy styku.

WNICKI

W wyniku przeprowadzonych badań i prób technologicznych na kompozycie włóknistym można sformułować następujące wnioski:

1. Kompozyt włóknisty Ag-Ni30 posiada własności fizyczne i technologiczne umożliwiające jego zastosowanie jako materiału stykowego.
2. Własności Ag-Ni30 takie jak trwałość łączeniowa, oporność zestykowa oraz prędkość stopy łuku wydają się być lepsze niż dla odpowiedniego materiału konwencjonalnego.
3. Oporność zestykowa ulega stabilizacji po liczbie łączeń większej od 10 000.
4. Funkcja zużycia materiału stykowego jest monotonicznie malejąca do 100 000 łączeń i warunków jak podanych w tablicach.
5. Siły wiązania włókien niklowych z osnową są wystarczająco wysokie, aby kompozyt mógł być stosowany na styki.
6. Własności technologiczne, a zwłaszcza zgrzewalność kompozytu do podłoża z brązu cynowego jest bardzo dobra.

7. Kompozyt posiada wystarczająco dobre własności plastyczne umożliwiające odpowiednie kształtowanie nakładki.
8. Włókna niklowe zgrzewają się z podłożem.

Technologia wykonania kompozytu opisana w pracy [7] pozwala na osiągnięcie powtarzalnych wyników oraz uzyskanie dowolnych proporcji A_3 do Ni w zależności od potrzeb konstruktorów. Struktura kompozytu posiada bardzo dobrą symetrię wzdłuż osi drutu, a powierzchnie przekrojów drutu niewiele różnią się między sobą.

(Tekst dostarczono 12.VII.1982 r.)

LITERATURA

1. van Suchtelen L: Philips Res. Rep. 27, 1972, 28+37
2. Stöckel D., Dihlmann H.: Z. Werkstofftechnik, 4, 1973, 121+129
3. Composite Materials, K.G. Kreider Ed, Academic Press, New York, London 1974, t. 1+6
4. Stolarz S., Kurzeja J. Wojtasik K.: Mat. Konferencji Metalurgii Proszków, Zakopane, 4, 1975, 157
5. Stolarz S., Walczuk E., Kurzeja J. Wojtasik K.: Mat. Konferencji Metalurgii Proszków, Poznań, 2, 1979, 297
6. Müsse U., Exner H.E., Stockel D.: Metal 7, 1980, 617+621
7. Drożdż T.: Sprawozdanie ITME 80731, 1980
8. Ebert L.J., Hecker S.S., Hamilton C.H.: J Composite Materials, 2, 1968, 58
9. Bloom J.M., Wilson H.B.: J Composite Materials, 1, 1967, 268
10. Fedor R.J., Ebert L.J.: J Engineering Materials and Technology, 4, 1973, 69
11. Pietrzyk M., Wright R.N.: Archiwum Hutnictwa, 26, 1981, 183
12. Gonzales C.: J Phys. D.: Appl. Phys., 4, 1971, 351
13. Dobson P.J., Serna C.R.: Brit. J. Appl. Phys., 2, 1969, 1779
14. Stöckel D.: Z. Werkstofftechnik, 10, 1979, 230
15. Kordas R.: Informacja prywatna, 1981