

Izabella HYLA
Józef ŚLEZIONA

DRUT KOMPOZYTOWY Al-STAL

Streszczenie. W pracy omówiono sposób wytwarzania drutu kompozytowego Al - drut stalowy metodą ciągnięcia. Przedstawiono własności kompozytu w zależności od parametrów procesu ciągnięcia. Pokazano również możliwości doboru parametrów procesu opartych na zależnościach matematycznych opisujących naprężenia w komponentach.

Prace badawcze w zakresie opanowania technologii produkcji drutu kompozytowego, podjęte w Zakładzie Kompozytów w Instytucie Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej, doprowadziły do zamierzonego celu, co znalazło również swój wyraz w uzyskaniu stosownego patentu. Zapotrzebowanie na taką postać kompozytu Al-stal wynika z możliwości wykorzystania go albo w postaci przewodów elektrycznych, albo też jako półproduktu do dalszego przetworstwa (metodą prasowania na gorąco bądź zbrojenia odlewów aluminiowych). Stosowane technologie wytwarzania drutu kompozytowego podzielić można na technologie z udziałem fazy ciekłej [1] i technologie przeróbki plastycznej [2].

W przypadku korzystania z metod z udziałem fazy ciekłej najczęściej wykorzystywana jest metoda ciągłego odlewania [1]. Przy jej stosowaniu wymagane jest spełnienie wielu warunków technologicznych, do których zaliczyć należy przede wszystkim właściwe dobranie temperatury ciekłego metalu, prędkości przeciągania drutów przez ciekłe Al oraz szybkości krystalizacji. Właściwe ustalenie powyższych parametrów pozwala bowiem uniknąć niebezpieczeństwa tworzenia się rozbudowanych warstw dyfuzyjnych na granicy komponentów [3] oraz ujemnego wpływu temperatury i czasu kontaktu z ciekłym Al na własności stosowanego drutu stalowego [4].

W przypadku stosowania metod przeróbki plastycznej, np. ciągnięcie, niezbędne jest stosowanie drutów stalowych z naniesioną na nie uprzednio warstwą aluminium o odpowiedniej grubości zapewniającej wypełnienie przestrzeni między włóknami oraz zabezpieczenie przed bezpośrednim kontaktem włókien zbrojących.

Znane technologie pokrywania drutów stalowych warstwą aluminium, takie jak np. aluminowanie ogniowe [5], pokrywanie elektrolityczne w stopionych solach [6] lub pokrywanie w wyniku rozkładu termicznego związków glicynicznych, nie zapewniają uzyskania w krótkim czasie pokryć o grubości równej 1/5 średnicy drutu (udział obj. zbrojenia wynosi wówczas około 50%), a technologie ich nanoszenia sprawiają wiele trudności.

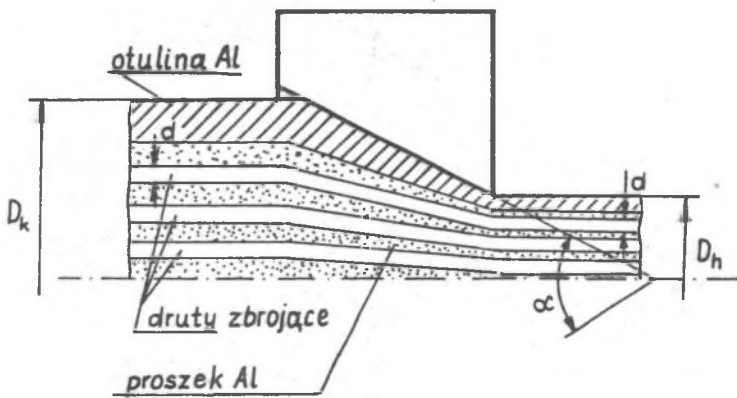
W IIM opracowano prostszą technologię nanoszenia warstw aluminiowych niezbędnych w procesie ciągnięcia drutu kompozytowego Al-drut stalowy, co zostanie przedstawione w dalszej części pracy.

Technologia wytwarzania kompozytu

Do wytwarzania drutu kompozytowego użyto:

- a) drut stalowy ze stali H25N20S2 o średnicy 0,4 mm, wytrzymałości na rozciąganie $R_m=1,9$ GPa i wydłużeniu 2%,
- b) proszek aluminium płatkowy o czystości 99,97 % Al.

Osnowę proszkową nanoszono na pojedyncze druty stalowe w postaci gęstwy uzyskując średnicę około 0,8 mm. Po wysuszeniu druty wprowadzano do otuliny, którą stanowiła rurka aluminiowa o średnicy zewnętrznej 6 mm i grubości 1 mm. Tak przygotowany materiał poddawano spiekaniu w temperaturze 550 lub 620°C przez 1/2 godziny w atmosferze próżni. Po spiekaniu materiał poddawano zagęszczaniu poprzez ciągnięcie. Stosowano następujący zestaw ciągów dobrany eksperymentalnie: 5,5; 5,25; 5,0; 4,9; 4,65; 4,54; 4,3; 4,05. Ciągnięcie prowadzono na ciągarce ławowej jednożyłowej z prędkością 0,05 m/s stosując ciągadła z węglików spiekanych w kącie zgniotu równym 24°. Jako środek smarujący stosowano proszek mydlany. Dla każdej średnicy, po zagęszczeniu drutu kompozytowego określano jego wytrzymałość na rozciąganie i udział obj. zbrojenia.



Rys.1 Zmiany geometryczne kompozytu w procesie ciągnięcia

Gniot sumaryczny w procesie ciągnięcia drutu kompozytowego o strukturze porowatej składa się z gniotu zagęszczającego, ε_1 , do gęstości teoretycznej i gniotu wydłużającego ε_2 . Wielkość gniotu ε_1 określona jest porowatością wsadu kompozytowego, natomiast wielkość gniotu wydłużającego ε_2 zależna jest od własności plastycznych komponentów i z reguły osiąga wartość kilkadziesiąt procent. Ze względu na małą plastyczność drutu zbrojącego ($\varepsilon = 2\%$), po zagęszczeniu materiału wsadowego obserwuje się pocienianie otuliny.

Podstawowym warunkiem procesu ciągnięcia materiału kompozytowego po wstępnym zagęszczeniu do gęstości teoretycznej jest zależność [1]

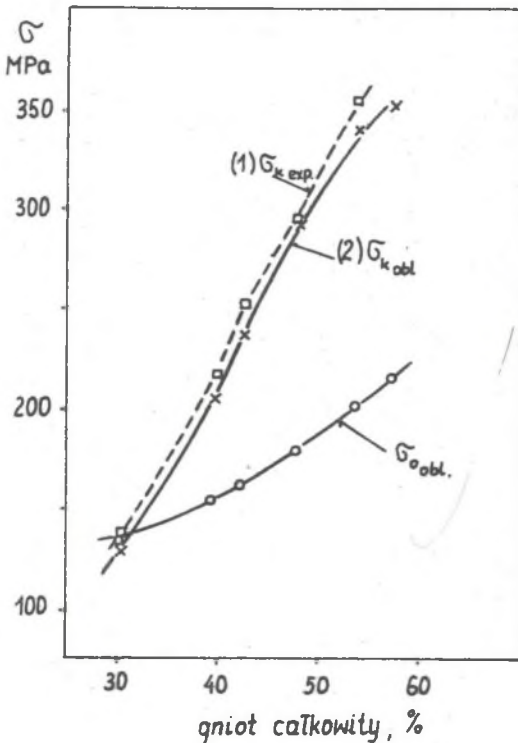
$$\varepsilon_2 = \varepsilon_0 = n \varepsilon_w \quad (1)$$

gdzie: n - ilość elementarnych drutów,

ε_w - odkształcenie drutu.

Gniot zagęszczający dla $n=39$ drutów pokrytych gęstwą Al, dającą powłokę o grubości 0,1 mm, wynosi 22,8%. W zależności od końcowej średnicy ciągniętego drutu kompozytowego dla zastosowanego układu Al-stal gniot wydłużający wynosił od 8,2% przy średnicy 5 mm, do 31,2% przy średnicy 4,05 mm.

W procesie ciągnięcia w osnowie i we włóknie powstają naprężenia, które najistotniejsze znaczenie mają w obszarze wyjścia z ciągnadła. Zachodzić musi bowiem, dla utrzymania



Rys.2 Wpływ gniotu całkowitego na naprężenie w kompozycie: 1-naprężenie wyznaczone doświadczalnie, 2-naprężenie obliczone, 1 w osnowie

ciągłości procesu, relacja

$$R_{m_k}^I < R_{m_k}^{II} \quad (2)$$

gdzie:

$$R_{m_k} = \sigma_w V_w + \sigma_0 (1 - V_w) \quad (3)$$

$\sigma_{w,o}$ - naprężenie niszczące włókno i osnowę,
 V_w - udział obj. drutu zbrojącego,
 indeksy I, II oznaczają wytrzymałość kompozytu w dwu kolejnych ciągach.
 Odpowiednie wartości naprężeń we włóknach σ_w^k i w osnowie σ_o^k w strefie wyjścia z ciągadła można wyznaczyć z zależności [1]

$$\sigma_w^k = \frac{a+1}{a} \sigma_{pl_w} \left[1 - \left(\frac{D_k}{D_h} \right)^{2a} \right] + \sigma_q \left(\frac{D_k}{D_h} \right)^{2a} \quad (4)$$

$$\sigma_w^k = \frac{b+c}{b} \sigma_{pl_o} \left[1 - \left(\frac{D_k}{D_h} \right)^{\frac{2b}{c}} \right] + \sigma_q \left(\frac{D_k}{D_h} \right)^{\frac{2b}{c}} \quad (5)$$

gdzie: $C = 1 - V_w = V_o$ (6)

$$b = \cos^2 f \left(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha - \frac{V_w \cos \alpha / 2}{\cos \alpha} + \frac{V_w \mu D_h}{4d \sin \alpha / 2} - V_o \right) \quad (7)$$

$$a = \cos \left(1 + \frac{\mu}{2} \sqrt{V_w} \frac{D_k}{D_h} \right) - \cos \alpha \quad (8)$$

- f - kąt tarcia,
 μ - współczynnik tarcia,
 σ_q - naprężenie przeciwności,
 D_k - średnica wyjściowa pręta,
 D_h - średnica wejściowa pręta.

Poszczególne wielkości geometryczne w procesie ciągnięcia drutu kompozytowego przedstawiono na rys.1.

Zależności (3), (4) i (5) umożliwiają wyznaczenie naprężeń w osnowie i we włóknie po wstępnym zagęszczeniu materiału wsadowego. Na rys.2 przedstawiono wyniki obliczeń naprężeń w osnowie i naprężeń w kompozycie w porównaniu z wartościami naprężeń wyznaczonych eksperymentalnie w procesie ciągnięcia.

Dla obliczeń przyjęto następujące wartości: $\alpha = 24^\circ$, $\mu = 0,06$.

Założono również, że druty zbrojące nie ulegają odkształceniu plastycznemu. Jak widać z rys.2, istnieje bardzo dobra zgodność pomiędzy wartościami naprężeń w kompozycie wyznaczonymi doświadczalnie (krzywa 1) i obliczonymi ze wzorów (3) do (5) (krzywa 2). Przyjęte do obliczeń wzory mogą być zatem stosowane do projektowania technologii ciągnięcia drutów kompozytowych.

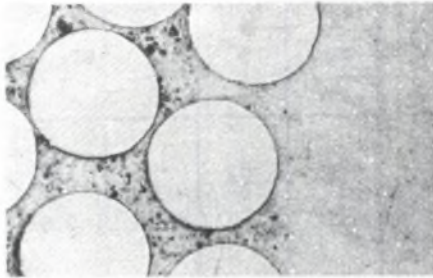
Tablica 1

Właściwości komponentów i kompozytu Al - stal
otrzymanego na drodze ciągnięcia

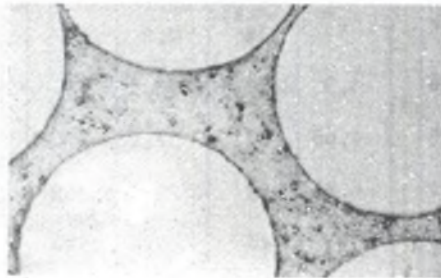
Lp.	Materiał Technologia	V_w %	d_k mm	ϵ_c %	ϵ_c %	R_m MPa	$10^{-6} \frac{\sigma}{K^{-1}}$ 20-500°C	φ Ωm
1	Al	100	6/4	-	-	120	26,75	0,026
2	druć H25N20S2	100	0,4	-	-	1900	11,50	0,1058
3	kompozyt spiekanie 620°C/0,5h	25	5	31	8,2	388	18,75	0,028
4	kompozyt spiekanie 550°C/0,5h	25	5	31	8,2	417	18,75	0,028
5	j.w	26	4,9	33,3	10,5	435	18,50	0,028
6	j.w	29	4,65	40	17,2	470	17,35	0,030
7	j.w	31	4,54	43	20,2	495	-	-
8	j.w	34	4,3	48	25,2	520	-	-
9	j.w	38	4,05	54	31,2	590	-	-

Struktura i właściwości drutu kompozytowego

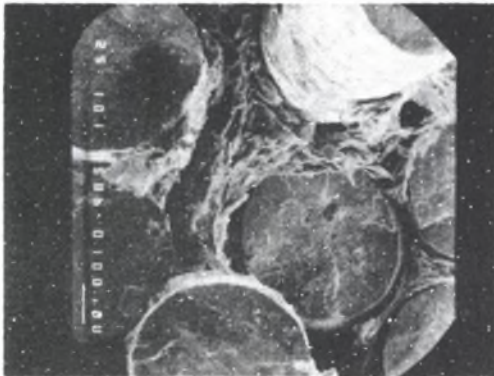
Właściwości drutu kompozytowego oraz parametry ciągnięcia przedstawiono w tabelicy 1. Z przedstawionych danych wynika, że kompozyt spiekany w wysokiej temperaturze (620°C) daje niższe właściwości mechaniczne przy tych samych właściwościach fizycznych. Przyczyną tego zjawiska są procesy zdrowienia zachodzące podczas wygrzewania drutu stalowego [3]. Wzrost udziału obj. drutu o 4%, uzyskany w wyniku wzrostu gniotu wydłużającego (usuwanie materiału otuliny), prowadzi do bardzo znacznego wzrostu wytrzymałości na rozciąganie kompozytu z 417 MPa do 470 MPa.



Rys.3 Struktura kompozytu Al - drut stalowy. Strefa połączenia kompozyt otulina; pow. 50x



Rys.4 Struktura kompozytu Al-stal; pow. 100x



Rys.5 Przekom kompozytu Al -stal po rozciąganiu; pow. 100x

Przy zmianie udziału obj. drutu zbrojącego obserwuje się również zmiany własności fizycznych (zmniejszenie współczynnika rozszerzalności i wzrost oporności). W zależności więc od przeznaczenia drutu kompozytowego można dobrać taką wartość gniotu wydłużającego, jaka pozwala uzyskać pożądane jego własności.

Strukturę drutu kompozytowego uzyskanego po ciągnięciu z gniotem całkowitym 40% pokazano na rys.3-5. Rys.3 pokazuje strefę przejścia kompozyt-otulina, rys.4 strukturę kompozytu, natomiast rys.5 przełam kompozytu po próbie rozciągania. Na zdjęciach widać bardzo dobre zagęszczenie osnowy proszkowej, dobre połączenie między osnową i zbrojeniem oraz otuliną. Widoczne jest również równomierne rozmieszczenie drutów zbrojących w osnowie Al.

Uzyskane wyniki świadczą o prawidłowo dobranych parametrach procesu technologicznego i pełnej przydatności metody ciągnięcia do wytwarzania drutów kompozytowych.

LITERATURA

- [1] Matusiewicz A.S.: Kompozycyjnyje materiały na metalicznej osnowie. Nauka i Technika, Mińsk 1978.
- [2] Hyla I., ZN Politechnika Śląska, Hutnictwo, z.28, Gliwice, 1987.
- [3] Hyla I., Sleziona J.; "Inżynieria Materiałowa" nr 3, 1983
- [4] Hyla I., Sleziona J., ZN Politechniki Śl. Hutnictwo, z.26, Gliwice 1985.
- [5] Steininger Z.: Ciągnięcie drutów stalowych, Wyd. Śląsk, Katowice, 1975.
- [6] Fellner P., Chrenkova-Pancirova M., i in. "Koroze a Ochrana Materialu", 1982, t.4, nr 26.

COMPOSITE WIRE AL-STEEL

Summary

Al composite wire-steel production method has been discussed in this paper. Composite properties depending on drawing process properties have been presented. Proces parametre selection based on its mathematical dependences which reveal stress in components have also been presented.

КОМПОЗИЦИОННАЯ ПРОВОЛОКА АL - СТАЛЬ

Резюме

В работе обсуждено способ получения композиционной проволоки Al - сталь методом волочения. Представлено свойства композита в зависимости от параметров процесса волочения. Показано тоже возможности подбора параметров процесса волочения на основе математических зависимостей напряжения в компонентах.