

BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH KOMPOZYTU Al-Zn PRZY RÓŻNYCH SPOSOBACH OBCIĄŻANIA PRÓBEK

Robert UŚCINOWICZ*

*Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

r.uscinowicz@pb.edu.pl

Streszczenie: W pracy dokonano analizy wpływu sposobu obciążania próbek z metalowego kompozytu warstwowego Al-Zn na jego właściwości mechaniczne. Przedstawiono wyniki testów rozciągania próbek płaskich wykonanych z cienkiego metalowego kompozytu, którego warstwy aluminium i cynku spojono klejem do metalu CX-80. Badania przeprowadzono w temperaturze pokojowej przy wymuszeniu sterowanym sygnałem odkształcenia – $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i sygnałem naprężenia – $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$. Testom rozciągania poddano także składniki kompozytu, tj. aluminium i cynk, a także pakiet Al-Zn*. Stwierdzono, że zastosowanie określonego sposobu obciążania istotnie wpływa na kształt charakterystyk odkształceniowych badanych materiałów i istotnie różnicuje zarówno badane parametry określające właściwości mechaniczne, jak i wartości współczynników krzywych umocnienia opisanych przy pomocy równania Swifta. Dane uzyskane z eksperymentów dla kompozytu Al-Zn porównano z analogicznymi wartościami uzyskanymi za pomocą wzorów wyprowadzonych w oparciu o prawo mieszanin, uwzględniających eksperymentalnie wyznaczone właściwości mechaniczne składników kompozytu.

1. WPROWADZENIE

Znaczącym sposobem ograniczenia zużycia drogich i rzadkich materiałów przeznaczonych na specjalne konstrukcje inżynierskie jest wykorzystanie metalowych kompozytów warstwowych. Poprzez dobór specjalnych komponentów na poszczególne warstwy kompozytu uzyskuje się nie tylko specyficzną strukturę wewnętrzną o unikatowych właściwościach fizykochemicznych, ale także znaczne ograniczenie kosztów poprzez eliminację monolitycznej grubej warstwy metalu niezbędnej do zapewnienia właściwej wytrzymałości konstrukcji.

Aby zapewnić właściwe warunki obróbcze metalowego kompozytu warstwowego należy dążyć do opracowania, z gruntu nowych, procesów technologicznych pozwalających zastosować optymalne warunki ich kształtowania. Wymusza to poszukiwanie właściwych warunków i parametrów przeprowadzania procesów plastycznego odkształcania, tj. walcowania, ciągnięcia, tłoczenia. Problem ten poruszany jest w pracach Dong Nyung Lee i Yoon Keun Kim (1988 a, b) oraz Shi-Hoon i innych (1997).

W celu zapewnienia maksymalnego bezpieczeństwa na etapie projektowania, wznoszeniu i eksploatacji konstrukcji z metalowych kompozytów warstwowych, potrzebna jest wiedza o odporności metalowych kompozytów warstwowych na zadane obciążenie, niekiedy nieprzewidywalne co do sposobu działania.

Aby uzyskać charakterystykę materiałową dla typowych monolitycznych materiałów przeprowadza się typowe testy wytrzymałościowe. Stosuje się tu dwa sposoby obciążania w zależności od rodzaju materiału i przewidywanej jego reakcji na zadane obciążenie:

- sposób kinematyczny, podczas którego próbki deformuje się z określoną, stałą prędkością przyrostu odkształcenia względnego oraz mierzy się siłę oporu przeciw temu odkształceniu;
- sposób dynamiczny tj., bezpośrednie obciążanie próbki odpowiednio rosnącym naprężeniem i pomiar wywołanego odkształcenia.

Drugi sposób jest trudniejszy do realizacji z uwagi na problemy związane z potrzebą kontroli prędkości przyrostu naprężenia w zakresie dużych odkształceń plastycznych przy zmniejszającym się przekroju próbki. Trudności związane z wyborem pierwszej lub drugiej ścieżki quasi-statycznego obciążania oraz brak sprecyzowanych procedur testowania wytrzymałościowego nowych materiałów, szczególnie metalowych kompozytów warstwowych, wymusiło potrzebę przeprowadzenia opisywanych poniżej eksperymentów. Głównym ich celem była ocena wielkości wpływu sposobu obciążania próbek na podstawowe właściwości mechaniczne metalowego kompozytu warstwowego Al-Zn wytworzonego przez sklejenie ze sobą warstw metalu o odmiennych cechach fizycznych.

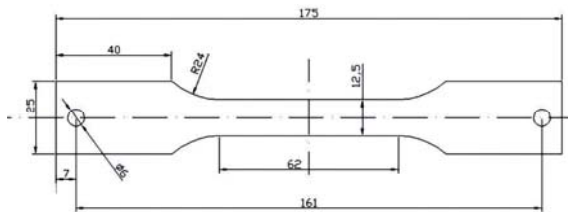
2. BADANIA EKSPERYMENTALNE

W badaniach doświadczalnych wykorzystano cztery rodzaje próbek płaskich:

- próbki z blachy cynkowej o grubości $0.96mm$ – cynk rektyfikowany z gatunku Z1 wg EN 1179:1995,
- próbki z blachy aluminiowej o grubości $1.00mm$ – aluminium z gatunku A1 wg EN AW-1050A,
- próbki z blachy dwuwarstwowej Al-Zn o grubości $2.02mm$, które powstały ze sklejenia warstw aluminium i cynku połączonych na całej długości próbki,

- próbki w postaci pakietu złożonego z warstw aluminium i cynku (Al-Zn*) o grubości 1.96mm (w części pomiarowej), gdzie warstwy zostały sklejone trwale jedynie w części chwytowej, poza częścią pomiarową.

Geometrię próbki bimetalicznej pokazano na Rys. 1. Próbki wykonano z pasów o wymiarach 165mm x 25mm, które wycięto z arkusza blachy aluminiowej i cynkowej. Oś obciążania wszystkich próbek była zgodna z kierunkiem walcowania blach. Połączenie blach składowych w kompozyt uzyskano poprzez spoinę adhezyjną o grubości $g=0.06mm$ przy pomocy kleju do metalu CX-80 na bazie żywicy epoksydowej. W trakcie procesu sklejania warstwy znajdowały się pod wymaganym stałym obciążeniem w zakresie odkształceń sprężystych. Objętościowy (procentowy) udział poszczególnych warstw metali w kompozycie wynosił: Zn – 49% i Al – 51%. Skład chemiczny blachy aluminiowej i cynkowej – dwóch podstawowych składników kompozytu Al-Zn oraz pakietu Al-Zn* przedstawiono w Tab. 1 i Tab. 2. Wyniki eksperymentów analizowano na podstawie sześciu próbek każdego rodzaju.



Rys. 1. Geometria kompozytowej próbki badawczej Al-Zn

Tab. 1. Skład chemiczny blachy aluminiowej Al

Al	Cu	Mg	Mn	Si
%				
99.58	0.003	0.004	0.002	0.12
Ti	Fe	Zn	Cr	Ni
%				
0.030	0.024	0.003	0.001	0.001

Tab. 2. Skład chemiczny blachy cynkowej Z1

Zn	Cu	Ti	Al
%			
99.708	0.193	0.092	0.0023

3. PROCEDURY BADAWCZE

W celu uzyskania informacji o właściwościach mechanicznych badanych materiałów przeprowadzono testy jednoosiowego, monotonicznego rozciągania próbek płaskich. Próby realizowano dwutorowo, z uwzględnieniem zaleceń norm technicznych PN-EN 10002-1:2004 (2004) i ASTM E 8M-04 (2004), tj.:

- testy monotonicznego rozciągania ze stałą prędkością przyrostu odkształcenia $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$,
- testy monotonicznego rozciągania ze stałą wartością prędkości przyrostu naprężenia: $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$.

Podczas testów pomiar odkształceń odbywał się na długości pomiarowej $l_0=50mm$ oraz na szerokości próbki, na bazie o nominalnej wartości $b_0=12.5mm$. W pierwszym przypadku drogę obciążania realizowano za pośrednictwem sygnału sterującego uzyskanego z ekstensometru mierzącego wydłużenie próbki. W drugim posłużono się sygnałem z siłomierza umieszczonego w łańcuchu kinematycznym maszyny. Wszystkie testy przeprowadzono w stałej temperaturze 293K na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej MTS Mini Bionix 858.

Niezależnie zbadano również wytrzymałość kleju JB WELD CX 80 na ścinanie. Wyznaczono ją podczas rozciągania pojedynczego złącza zakładkowego o wymiarach 25.4mm x 25.4mm Z testów uzyskano wytrzymałości złącza na ścinanie na poziomie $\tau = 6.8MPa$.

4. WYNIKI TESTÓW

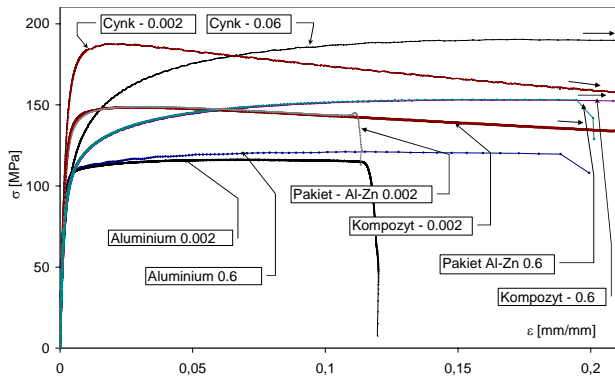
Otrzymane z eksperymentów krzywe rozciągania posłużyły do wyznaczenia podstawowych parametrów określających właściwości mechaniczne. Przykładowe krzywe uzyskane dla badanych materiałów przedstawiono na Rys. 2 i Rys. 3, a wartości liczbowe właściwości mechanicznych (z uwzględnieniem rodzaju próbek i sposobu obciążania) w Tab. 3 i Tab. 4. Zamieszczono w nich uśrednione wartości naprężeń granicznych $R_{0.005}$, $R_{0.2}$ odpowiadające trwałym odkształceniom 0.05% i 0.2%, a także granice proporcjonalności R_H , wytrzymałości na rozciąganie R_m , moduły Younga E , wartości energii właściwych równomiernego odkształcenia plastycznego L_p i sprężystego L_e oraz wydłużenia całkowitego równomiernego ϵ_r . Testy w obu przypadkach traktowano jako quasi-statyczne, ponieważ rozciąganie próbek prowadzono z małymi prędkościami przyrostu odkształcenia $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i naprężenia $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$.

W oparciu o prawo mieszanin oraz przyjmując założenie o jednakowej odkształcalności wzdłużnej metalicznych warstw kompozytu podczas osiowego rozciągania, można sformułować dla naprężeń granicznych $R_{0.005}$, $R_{0.2}$, R_m oraz modułu E poniższe zależności:

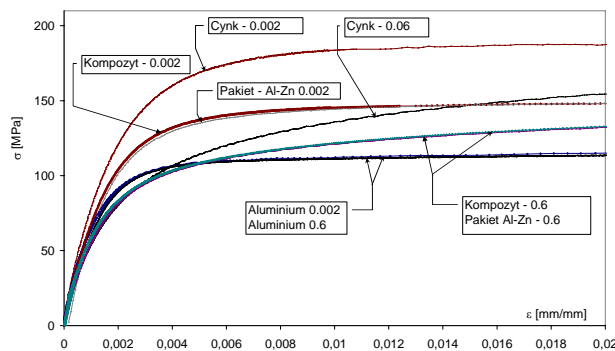
$$\begin{aligned}
 R_x^{Al-Zn} &= f_{Zn} R_x^{Zn} + f_{Al} R_x^{Al}; \quad (x = 0.05\%, 0.2\%) \\
 R_m^{Al-Zn} &= f_{Zn} R_m^{Zn} + f_{Al} R_m^{Al}; \\
 E_x^{Al-Zn} &= f_{Zn} E_x^{Zn} + f_{Al} E_x^{Al};
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

gdzie: R_x^{Al-Zn} , R_x^{Zn} , R_x^{Al} – odpowiednio, naprężenia graniczne dla kompozytu Al-Zn, cynku i aluminium, R_m^{Al-Zn} , R_m^{Zn} , R_m^{Al} – wartości wytrzymałości dla kompozytu Al-Zn, cynku i aluminium, E_x^{Al-Zn} , E_x^{Zn} , E_x^{Al} – moduły Younga, f_{Zn} , f_{Al} – objętościowe (procentowe) udziały składników metalicznych w bimetalu.

Wzory (1) w swojej strukturze uwzględniają właściwości przynależne poszczególnym warstwom bimetalu. Wyznaczone na ich podstawie średnie wartości ujęto w ostatniej kolumnie Tab. 3 oraz Tab. 4 i oznaczono Al-Zn mix. Należy podkreślić, że wartości naprężeń wyznaczone z formuł (1) dla kompozytu Al-Zn, pakietu Al-Zn* i z eksperymentu są na tym samym poziomie wartości.



Rys. 2. Krzywe rozciągania zarejestrowane w zakresie odkształceń sprężysto-plastycznych 0–20% dla aluminium, cynku, kompozytu Al-Zn oraz pakietu Al-Zn* przy obciążeniu z prędkościami $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$



Rys. 3. Krzywe rozciągania zarejestrowane w zakresie odkształceń sprężysto-plastycznych 0–2% dla aluminium, cynku, kompozytu Al-Zn oraz pakietu Al-Zn* przy obciążeniu z prędkościami $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$

Tab. 3. Wyniki testów rozciągania próbek z badanych materiałów przy prędkości obciążania $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$

Właściwości mechaniczne	Rodzaj materiału (próbki)					
	Al	Zn	Al-Zn	Al-Zn*	Al-Zn mix	
R_H	MPa	40.5	51.6	43.0	44.2	45.9
$R_{0.05}$	MPa	83.0	116.4	97.5	97.9	99.4
$R_{0.2}$	MPa	103.3	158.9	129.5	127.4	130.5
R_m	MPa	116.0	187.6	150.5	149.3	151.1
E	GPa	69.2	78.2	72.6	74.2	73.6
L_p	MJ / m ³	9.8	3.6	4.4	4.7	6.7
L_e	MJ / m ³	0.101	0.231	0.155	0.151	0.165
ϵ_r	-	0.068	0.020	0.027	0.031	-

Al-Zn* - warstwy Al i Zn nie sklejo na długości pomiarowej, a jedynie w części chwytowej próbki;
Al-Zn mix – wartości wyznaczone z prawa mieszanin.

Zbiory punktów doświadczalnych w układzie naprężenie-rzeczywiste-odkształcenie rzeczywiste $\epsilon_{rz} - \sigma_{rz}$ aproksymowano trójparametryczną funkcją potęgową, wg zmodyfikowanego równania Swifta (Fernandez, 1998):

$$\sigma_{rz} = K (\epsilon_o + \epsilon_{rz})^n, \quad (2)$$

gdzie: σ_{rz} , ϵ_{rz} – odpowiednio rzeczywiste naprężenia i od-

kształcenia, K , ϵ_o , n – współczynniki krzywej umocnienia.

Współczynniki K , ϵ_o , n dla testowanych materiałów zestawiono w Tab. 5 celem wykazania wpływu sposobu obciążania na proces odkształceniowego umacniania się badanych materiałów.

Tab. 4. Wyniki testów rozciągania próbek z badanych materiałów przy prędkości $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$

Właściwości mechaniczne		Rodzaj materiału (próbki)				
		Al	Zn	Al-Zn	Al-Zn*	Al-Zn mix
R_H	MPa	30.7	23.5	21.6	31.9	27.2
$R_{0.05}$	MPa	79.4	65.4	70.3	71.1	72.5
$R_{0.2}$	MPa	103.5	99.1	98.4	98.6	101.3
R_m	MPa	121.5	189.1	153.7	154.4	154.6
E	GPa	77.4	76.6	70.9	77.6	77.0
L_p	MJ / m ³	11.61	30.71	22.75	23.94	20.97
L_e	MJ / m ³	0.096	0.233	0.166	0.155	0.163
ϵ_r	-	0.097	0.173	0.153	0.158	-

Al-Zn* - warstwy Al i Zn nie sklejo na długości pomiarowej, a jedynie w części chwytowej próbki;
Al-Zn mix - wartości wyznaczone z prawa mieszanin.

5. DYSKUSJA WYNIKÓW I WNIOSKI

Próbki z aluminium, kompozytu Al-Zn oraz pakietu Al-Zn* obciążane ze stałą prędkością przyrostu naprężenia $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ charakteryzowały się większą ciągliwością niż próbki, które były odkształcane przy prędkości przyrostu odkształcenia $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$. W zakresie odkształceń równomiernych, przy $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ przebiegi krzywych rozciągania kompozytu Al-Zn oraz pakietu Al-Zn* różniły się nieznacznie (Rys. 2 i Rys. 3); przy prędkości $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ otrzymywano wręcz identyczne charakterystyki dla tych materiałów.

W zależności od sposobu obciążania, krzywe rozciągania cynku, charakteryzowały się znacznym zróżnicowaniem kształtu, co świadczy o wrażliwości tego metalu na sposób obciążania. Obciążanie próbek cynkowych z prędkością $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ (wymuszenie sterowane sygnałem naprężenia) sprawiło wydłużenie okresu umocnienia. Maksymalną wartość naprężenia cynk osiągał przy dużo większych odkształceniach sprężysto-plastycznych niż przy obciążaniu z prędkością $\dot{\epsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$. W przypadku krzywych rozciągania próbek z aluminium tak dużych różnic w przebiegu procesu umocnienia, wynikających ze sposobu obciążania, nie zaobserwowano.

Tab. 5. Wartości współczynników równań (2) dla badanych rodzajów materiałów

Rodzaj materiału	Prędkość obciążania	Wartości współczynników równania (2)		
		n	K	ε_0
		–	MPa	–
Al	$\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$	0.095	187.0	-0.0015
	$\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$	0.120	216.8	-0.0013
Zn	$\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$	0.194	507.2	-0.0015
	$\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$	0.279	532.8	-0.008
Al-Zn	$\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$	0.156	333.9	-0.0014
	$\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$	0.208	346.9	-0.0011
Al-Zn*	$\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$	0.154	324.8	-0.0015
	$\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$	0.197	329.5	-0.0010
Al-Zn mix	$\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$	0.144	343.9	-0.0015
	$\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$	0.198	371.6	-0.0010

Wartości naprężeń granicznych R_H , $R_{0.005}$, $R_{0.2}$, które są istotne na etapie projektowania wymiarowego konstrukcji z metalowego kompozytu warstwowego Al-Zn są przy sterowaniu odkształceniem dla prędkości $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ zdecydowanie większe niż przy sterowaniu naprężeniem dla $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$, a procentowe różnice względne wynoszą odpowiednio 50%, 28%, 24%. W przypadku wytrzymałości na rozciąganie R_m różnice te są niewielkie rzędu 2%. Należy zauważyć (Tab. 3 i Tab. 4), że przy prędkości obciążania $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ wartości wymienionych naprężeń granicznych dla kompozytu Al-Zn i pakietu Al-Zn* są zbliżone. Także prawo mieszanin dla $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ (dane wzorami (1)) pozwala dokładnie wyznaczać właściwości mechaniczne obu materiałów bazując na właściwościach ich komponentów. Podobne relacje można zaobserwować dla próbek testowanych z prędkością $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$.

Wpływ spoiwa (kleju) na charakterystyki odkształceniowe i wartości parametrów określających właściwości mechaniczne jest niewielki i wydaje się, że jego udział przy zastosowanych sposobach obciążania i rozpatrywanych prędkościach może być pominięty.

Wartości modułu Younga E dla kompozytu Al-Zn i pakietu Al-Zn* pozostają niezależne od sposobu obciążania próbki, a niewielkie różnice wartości rzędu 1.7÷3.2 GPa wynikają z niedokładności metody jego wyznaczania. Moduł Younga E wyznaczony z prawa mieszanin jest zbliżony do wartości modułu wyznaczonego dla pakietu Al-Zn*.

Energia właściwa potrzebna do odkształcenia plastycznego równomiernego próbki kompozytowej Al-Zn i pakietu Al-Zn* przy wymuszeniu naprężeniowym ($\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$) jest ponad pięciokrotnie większa niż przy obciążaniu sterowanym sygnałem odkształcenia. Wartości energii potrzebne do odkształcenia sprężystego tych rodzajów materiałów są do siebie zbliżone i nie zależą od przyjętego sposobu obciążania.

Jeżeli zastosuje się podobne podejście do sposobu wyznaczenia energii właściwej odkształcenia plastycznego dla bimetalu Al-Zn wychodząc z potrzeb energetycznych

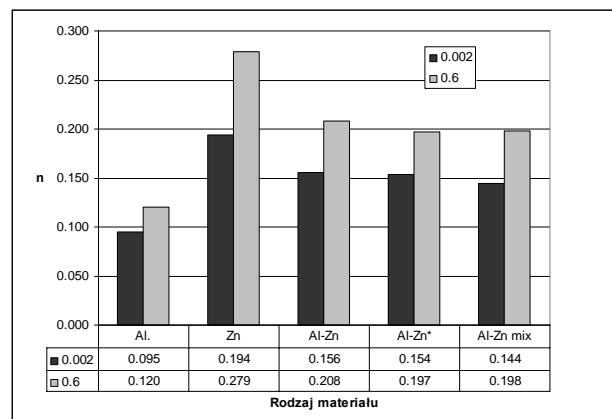
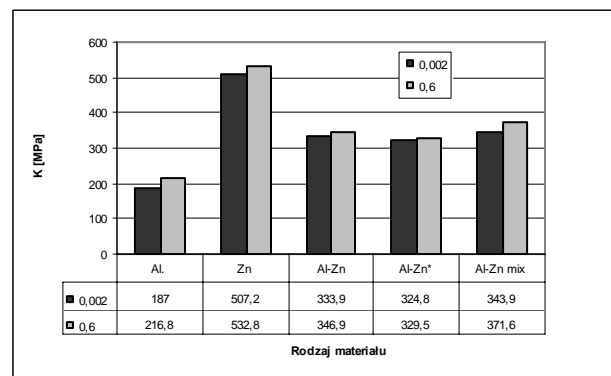
składników bimetalu, tj. aluminium i cynku na realizację określonego procesu, jak to miało miejsce w przypadku wzorów (1), to uwzględniając prawo mieszanin można napisać:

$$L_p^{Al-Zn} = f_{Zn} L_p^{Zn} + f_{Al} L_p^{Al}, \quad (3)$$

gdzie: L_p^{Al-Zn} , L_p^{Zn} , L_p^{Al} – odpowiednio, energie właściwe odkształcenia plastycznego równomiernego dla kompozytu Al-Zn, cynku i aluminium, f_{Zn} , f_{Al} – objętościowe (procentowe) udziały składników metalicznych w bimetalu.

Zastosowanie prawa mieszanin do analizy zapotrzebowania energetycznego na realizację odkształcenia plastycznego (równomiernego) próbki z kompozytu Al-Zn nie było trafne. Zarówno przy prędkości $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ jak i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ nie oszacowuje ono właściwie energii niezbędnej do deformacji plastycznej kompozytu mając na uwadze wydatki energetyczne warstw składowych.

Analiza wykresów (Rys. 4 i 5), ilustrujących uzyskane z eksperymentu wartości współczynników umocnienia pozwala na stwierdzenie, że obciążanie próbek kompozytowych Al-Zn (i innych) z prędkością $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ powoduje szybsze umacnianie się materiału o czym świadczą wartości współczynnika n .

**Rys. 4.** Zestawienie wartości współczynnika umocnienia n wyznaczonego dla $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ **Rys. 5.** Zestawienie wartości współczynnika K wyznaczonego dla $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$

Podobne relacje obserwuje się w odniesieniu do współczynnika K . Wartości współczynnika ε_0 pozwalają wnioskować, że wszystkie materiały charakteryzowały się już wstępnym umocnieniem.

Podsumowując można stwierdzić, że dla prób krótkotrwałych (doraźnych) realizowanych przy monotonicznym wzroście obciążenia z prędkościami: $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ i $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ prawo mieszanin poprawnie opisuje właściwości mechaniczne kompozytu Al-Zn i pakietu Al-Zn* w odniesieniu do badanych właściwości mechanicznych. Wpływ kleju łączącego warstwy nieznacznie wpływa na te parametry. Wartości naprężeń granicznych R_H , $R_{0.005}$, $R_{0.2}$ kompozytu Al-Zn – istotne z punktu widzenia projektowania wytrzymałościowego konstrukcji są przy obciążaniu odkształceniowym znacznie większe niż przy obciążaniu realizowanym poprzez stały wzrost naprężenia $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$. Z kolei proces umacniania się materiału kompozytowego Al-Zn przebiega przy prędkości $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$ dużo bardziej intensywnie niż dla $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$.

LITERATURA

1. **Dong Nyung Lee, Yoon Keun Kim** (1988a), On the rule of mixtures for flow stress in stainless-steel-clad aluminum sandwich sheet metals, *Journal of Materials Science*, Vol. 23, No 4, 558-564.
2. **Dong Nyung Lee, Yoon Keun Kim** (1998b), Tensile properties of stainless steel-clad aluminum sandwich sheet metals, *Journal of Materials Science*, Vol. 23, No 4, 1436 – 1442.
3. **Fernandes J. V., i inni** (1998), A modified Swift law for prestrained materials, *Int. Journ. of Plast.*, Vol. 14, No 6, 537-550.
4. **Shi-Hoon, Keun-Hwan Kim, Kyu Hwan, Dong Nyung Lee** (1997), Tensile deformation behavior of stainless steel clad aluminum bilayer sheet, *Materials Science & Engineering*, A222, (1997), 158-165.
5. **ASTM EM-04** (2004), *Standard test methods for tension testing of metallic materials*, ASTM International, 1-57.
6. **PN-EN 10002-1** (2004), *Metale. Próba rozciągania. Metoda badania w temperaturze otoczenia*, Warszawa, Wydawnictwa Norm. Alfa-Wero Sp. z o.o., 1– 57.

INVESTIGATIONS OF MECHANICAL PROPERTIES OF AL-ZN COMPOSITE USING VARIOUS METHODS OF SPECIMENS LOADING

Abstract: In the work the analysis of influence the loading type of Al-Zn two-layer metallic composite on its mechanical properties was made. The results of tensile tests of flat composite samples made from the thin aluminium and zinc metallic strips using glue CX-80 were presented. Tests were carried out at the room temperature using two method of specimen loading controlled by signal of strain – $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-3} 1/s$ and stress – $\dot{\sigma} = 0.6 MPa/s$. Components of Al-Zn composite (aluminium and zinc) were tensile tested and Al-Zn* package. It was found, that applying the defined method of loading fundamentally influenced on the shape of tensile characteristics (curves), values of mechanical properties of materials and essentially differentiated values of hardening curves coefficients. The experimental data received these tests were compared with analogous values received from equations based on law of mixtures, which took into consideration the mechanical properties of composite components.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego W/WM/9/09 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.