

Lesław Kyziół
Zdzisław Zatorski
Akademia Marynarki Wojennej

BADANIA STATYCZNE I DYNAMICZNE STOPU ALUMINIUM PA-47 PRZEZNACZONEGO NA KONSTRUKCJE MORSKIE

STRESZCZENIE

W pracy omówiono wyniki badań właściwości mechanicznych stopu aluminium AlZ5Mg1-PA47 dla różnych prędkości rozciągania. Badania statyczne przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej typu MTS 810.12, natomiast badania dynamiczne na młocie rotacyjnym typu RSO. Badania miały na celu określenie wpływu prędkości odkształcenia i geometrii karbu próbek na właściwości mechaniczne oraz mechanizmy uszkodzenia próbek.

WSTĘP

Wiele współczesnych konstrukcji techniki wojskowej charakteryzuje się lokalnymi nieciągłościami materiału w postaci karbów, które w procesie eksploatacji poddawane są działaniu intensywnych krótkotrwałych obciążeń.

W pracy przedstawiono charakterystyki dynamiczne powszechnie stosowanego w budownictwie okrętowym stopu aluminium AlZn5Mg1-PA47. Badania miały na celu określenie wpływu prędkości rozciągania i geometrii karbu próbek na właściwości mechaniczne oraz mechanizmy uszkodzenia w rejonie przelomu. Wpływ karbu geometrycznego ujawnia się zwłaszcza przy obciążeniach zmęczeniowych. Pozostaje natomiast otwarty problem zachowania się próbek z karbem przy obciążeniach dynamicznych impulsowych przy zmieniających się prędkościach obciążeń.

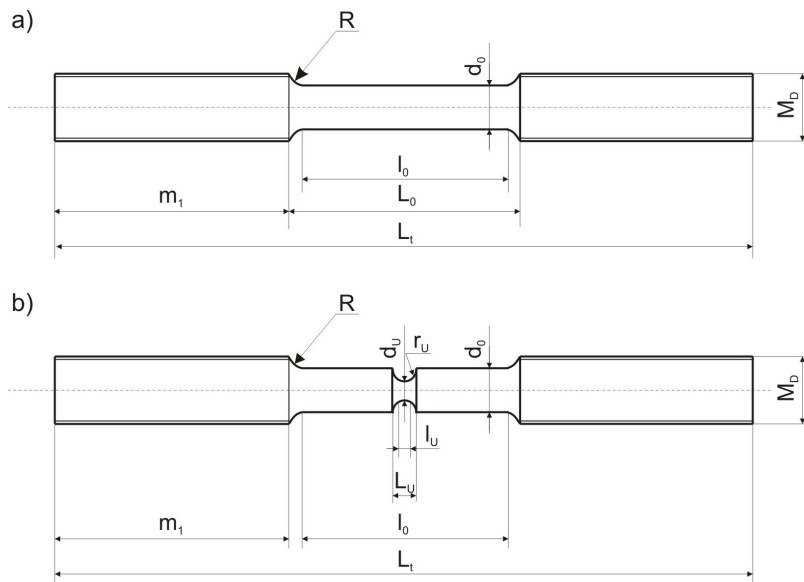
PRZEBIEG EKSPERYMENTU

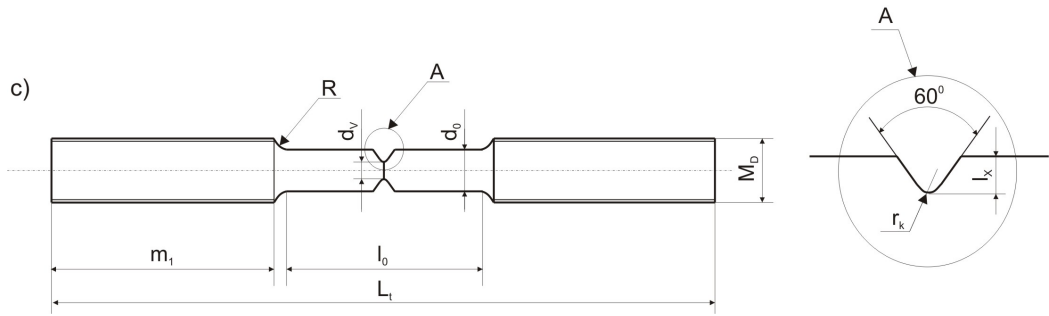
Badania przeprowadzono na próbkach blachy ze stopu PA47, którego skład chemiczny podano w tabeli 1. Z blach wykonano próbki przewidziane do statycznych i dynamicznych prób rozciągania. Przygotowano:

- próbki gładkie;
- próbki z karbem w kształcie litery „V”;
- próbki z karbem w kształcie litery „U”.

Tabela 1. Skład chemiczny badanego stopu aluminium AlZn5Mg1-PA47

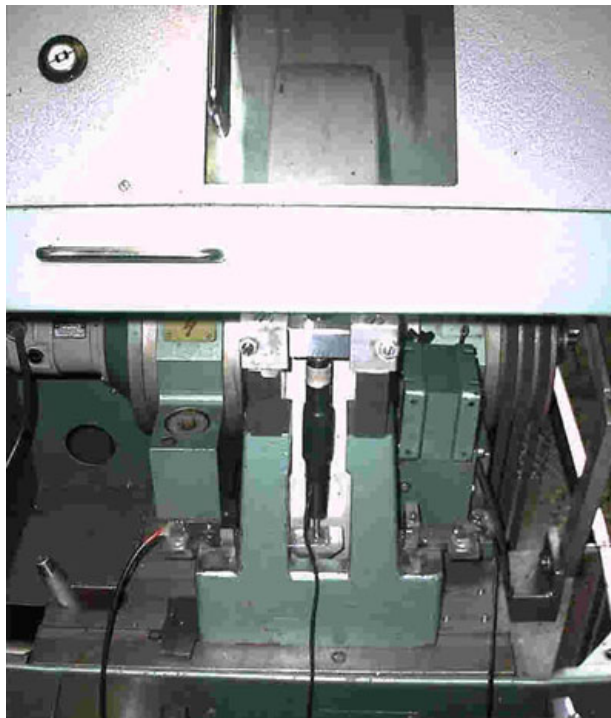
Stan obróbki cieplnej	Grubość blachy [mm]	Skład chemiczny [%masy]									Nr partii i atestu
		Mg	Mn	Ti	Zn	Cr	Si	Fe	Cu	Al	
tb	12	1.25	0.18	0.03 4	5.3	0.14	0.16	0.32	0.05	reszta Zr=0.04	2945/485/4 ZN 81 MH- -MN-190-06
Właściwości mechaniczne		R_m [MPa]			$R_{0.2}$ [MPa]				A_5 [%]		
		310			240				18		





Rys. 1. Kształt i wymiary próbek ze stopu aluminium AlZn5Mg1-PA47: a) próbka gładka, b) próbka z karbem „V”, c) próbki z karbem „U”

Statyczne próby rozciągania przeprowadzono na elektrohydrodynamicznej maszynie wytrzymałościowej MTS 810.12 ze sterowaniem i zapisem komputerowym. Dynamiczną próbę rozciągania przeprowadzono na młocie rotacyjnym typu RSO (rys. 2.).



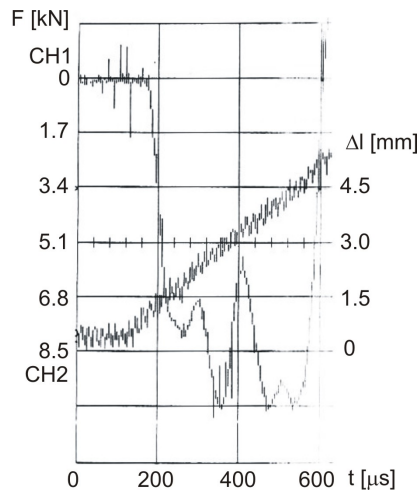
Rys. 2. Młot rotacyjny RSO: układ trawersu – próbka – dynamometr

Dzięki oprzyrządowaniu przez jednego z autorów młota rotacyjnego w oryginalny układ pomiarowy możliwy był równoczesny pomiar siły rozciągania i prędkości odkształcenia z rejestracją danych na oscyloskopie cyfrowym. Siłę rejestrowano za pomocą dynamometru oporowego, a odkształcenie z optoelektronicznego czujnika prędkości przemieszczeń trawersu zainstalowanego na próbce. Siłę F i przemieszczenie W rejestrowano na oscyloskopie cyfrowym LS-140 firmy LeCroy. Badania przeprowadzono dla wybranych czterech prędkości odkształceń: 10, 20, 30 oraz 40 ms^{-1} . Do pomiaru prędkości zastosowano optoelektroniczny układ do pomiaru prędkości przemieszczeń [5].

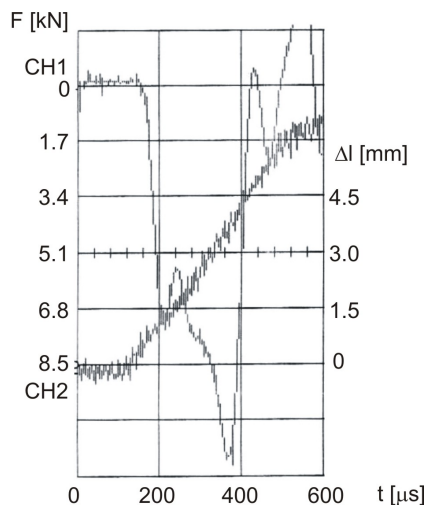
Do analizy mikrostruktury badanych próbek oraz mechanizmów uszkodzeń wykorzystano mikroskop Neophot-2, kamerę cyfrową SONY typu SSC-DC88P oraz komputer PC z oprogramowaniem MultiScan v.14 firmy CSS MultiScanBase.

WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe statyczne i dynamiczne pozwoliły na wyznaczenie charakterystycznych wskaźników wytrzymałościowych stopu PA47. Na rysunkach 4. i 5. przedstawiono przykładowe przebiegi siły i przemieszczenia trawersu dla dynamicznej próby rozciągania próbek z badanego stopu aluminium na młocie rotacyjnym [5].

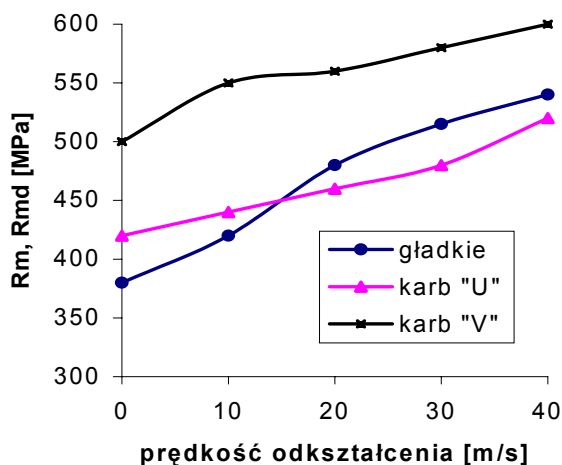


Rys. 3. Przebieg siły $F(t)$ – CH1 i odkształcenia $\Delta l(t)$ – CH2 w funkcji czasu dla dynamicznej próby rozciągania próbki gładkiej ze stopu AlZn5Mg1-PA47 na młocie rotacyjnym RSO z prędkością rozciągania $V = 10 \text{ ms}^{-1}$

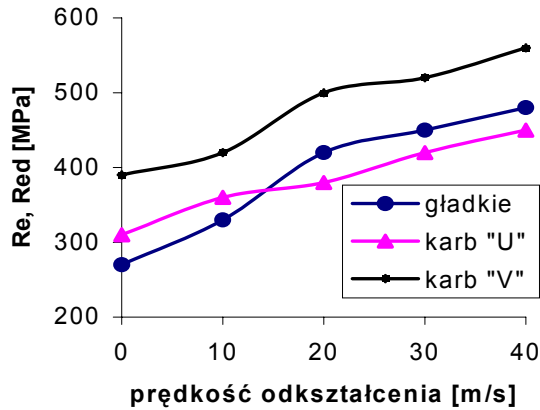


Rys. 4. Przebieg siły $F(t)$ – CH1 i odkształcenia $\Delta l(t)$ – CH2 w funkcji czasu dla dynamicznej próby rozciągania próbki gładkiej ze stopu AlZn5Mg1-PA47 na młocie rotacyjnym RSO z prędkością rozciągania $V = 30 \text{ ms}^{-1}$

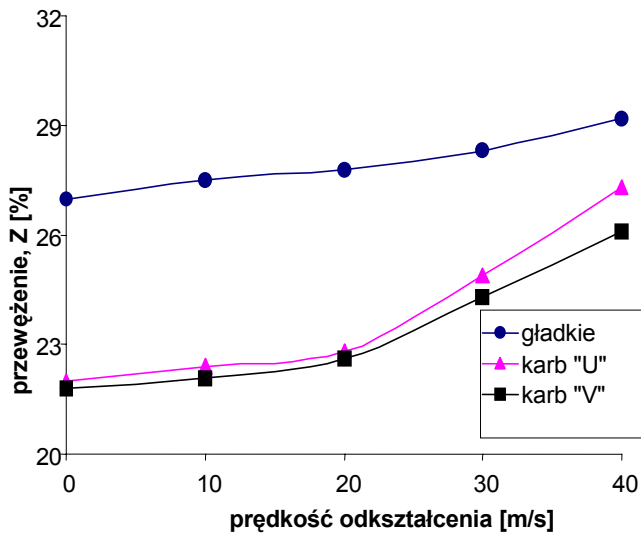
Uzyskane wyniki badań statycznej i dynamicznej próby rozciągania zostały przedstawione na wykresach w funkcji prędkości odkształceń.



Rys. 5. Zależność wytrzymałości na rozciąganie R_m stopu aluminium PA47 od prędkości odkształcenia dla próbek gładkich i z korbami dla statycznej i dynamicznej próby rozciągania



Rys. 6. Zależność granicy plastyczności $R_{0,2}$ stopu aluminium PA47 od prędkości odkształcenia dla próbek gładkich i z karami dla statycznej i dynamicznej próby rozciągania



Rys. 7. Zależność wartości przewężenia Z [%] stopu aluminium PA47 od prędkości odkształcenia dla próbek gładkich i z karami dla statycznej i dynamicznej próby rozciągania

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Wzrost prędkości odkształcenia powoduje wyraźny wzrost granicy plastyczności i wytrzymałości przy rozciąganiu dynamicznym w stosunku do rozciągania

statycznego. Przy założeniu, że podstawą płynięcia metalu jest proces aktywowany termicznie, który określa ruch dyslokacji poprzez sieć krystaliczną zawierającą defekty punktowe, prędkość rozciągania opisuje się często w postaci równania Arheniusa:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 \exp(-\Delta G(\sigma)/kT),$$

gdzie: $\Delta G(\sigma)$ – energia aktywacji, zależna od naprężenia;
 σ, k – stała Boltzmana;
 T – temperatura;
 ε_0 – stała materiałowa.

Wykorzystując powyższe zależności, można uzyskane wartości granicy plastyczności i wytrzymałości odnieść do energii aktywacji $\Delta G(\sigma)$.

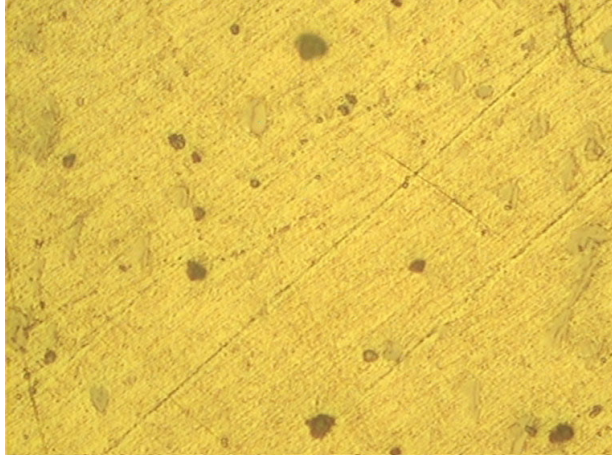
W tabeli 2. podano stosunek wartości dynamicznych granicy plastyczności $R_{0,2d}$ i wytrzymałości R_{md} do odpowiednich wartości statycznej granicy $R_{0,2}$ i R_m .

Tabela 2. Stosunek maksymalnych wartości dynamicznej granicy plastyczności $R_{0,2d}$ i wytrzymałości R_{md} (dla $v=40$ m/s) do odpowiednich wartości statycznej granicy $R_{0,2}$ i R_m dla stopu PA47 gat. AlZn5Mg1 dla próbek gładkich i z karbami

Rodzaj próbki	Średnica	R_{md}/R_m	$R_{ed}/R_{0,2}$
Okrągła gładka	5.0 ^{+0.1}	1.363	1.596
Okrągła z karbem <i>U</i> o promieniu 1.9 mm	5.0/ 4.3 ^{+/-0.1}	1.230	1.413
Okrągła z karbem <i>V</i> o promieniu 0.2 mm	5.0/ 4.3 ^{+/-0.1}	1.223	1.409

Na podstawie badań stopu PA47 należy stwierdzić, że statycznej lub dynamicznej próbie rozciągania towarzyszy uszkodzenie materiału, zwłaszcza w obszarze przelomu w rejonie tzw. szyjki (rys. 1.).

Badania mikroskopowe nietrawionych zglądów pobranych z powyższego obszaru wykazują występowanie pustek w mikrostrukturze, a w związku z tym utratę ciągłości materiału (rys. 8.).



Rys. 8. Zgląd nietrawiony próbki rozciąganej ze stopu aluminium PA47 – maksymalna średnica pustki = 5 μm , średnia średnica = 4 μm

Zazwyczaj płynięciu plastycznemu materiału nie towarzyszy zmiana jego objętości. Tak więc wraz z pojawieniem się pustek można mówić o procesie niszczenia czy uszkodzenia materiału. Uszkodzenie może być definiowane przez funkcję zależną od naprężeń, pracy odkształcenia plastycznego, ciśnienia, prędkości odkształceń i temperatury [1].

W dynamicznym modelowaniu uszkodzeń wymaga się właściwych modeli procesu zarodkowania i wzrostu pustek. W oparciu o metalograficzne obserwacje uszkodzonych plastycznie regionów do opisu procesów pękania plastycznego przyjmuje się najczęściej modele pustek kulistych, zarówno w szyjce próbek rozciąganych, jak i w próbce zderzających się płytek [2, 3, 4].

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że największa wrażliwość na obciążenia dynamiczne, a tym samym na prędkość odkształceń, występuje dla próbek gładkich. Stosunek maksymalnych wartości dynamicznej granicy plastyczności $R_{0,2d}$ i wytrzymałości R_{md} do odpowiednich wartości statycznej granicy $R_{0,2}$ i R_m dla stopu PA47 gat. AlZn5Mg1 dla próbek z karami był odpowiednio mniejszy dla próbek gładkich.

Wnioski z przeprowadzonych statycznych i dynamicznych badań mogą stanowić podstawę do modelowania dynamicznego odkształcenia stali jako materiału sprężysto-lepkoplastycznego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Han Z., Ze-Ping W., *Spall damage in aluminium alloy*, „International Journal Solids and Structures”, 1995, No 32, pp. 1135 – 1148.
- [2] Johnson J. N., *Dynamic fracture and spallation in ductile*, „Journal Applied Physics”, 1981, No 52, pp. 2812 – 2824.
- [3] Lewiński T., Sokołowski J., *Energy change due to the appearance of cavities in elastic solids*, „International Journal Solids and Structures”, 2003, No 40, pp. 1765 – 1803.
- [4] Zukas J. A., *High Velocity impact dynamics*, John Willey & Sons Inc., U.K., 1990.
- [5] Kyzioł L., *Charakterystyki dynamiczne materiałów na konstrukcje morskie*, praca naukowo-badawcza pk. „KONSTRUKTOR”, III etap – 2004, Biblioteka Główna AMW, ss. 49.

ABSTRACT

The paper discusses the results of investigations into mechanical properties of aluminum alloy AlZ5Mg1-PA47 for various speed of stretching. The investigations were conducted on an MTS 810.12 strength machine and the dynamic investigations were conducted on a RSO type rotary hammer. The investigations were intended to discover the effect of speed of strain and geometry of notch in samples on mechanical properties and damage mechanisms of samples.

Recenzent prof. dr hab. inż. Zbigniew Zaczek