

Odporność zmęczenia stopu AlSi11 konsolidowanego plastycznie z wiórów

Fatigue resistance of AlSi11 alloy plastically wedged of chips

ŁUKASZ WZOREK
MATEUSZ WĘDRYCHOWICZ
TOMASZ SKRZEKUT
PIOTR NOGA
MARCEL WIEWIÓRA
MATEUSZ PACEK*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.11.181>

English version available on: www.mechanik.media.pl

W procesie wyciskania współbieżnego wytworzono 2 prasówki ze stopu AlSi11: z litego wlewka oraz z wiórów z procesu toczenia. Przeprowadzono obserwację mikrostruktury, określono własności mechaniczne na podstawie próby 1-osiowego rozciągania oraz wykonano badania zmęczeniowe, dzięki którym wyznaczono odporność zmęczeniową stopu AlSi11.

SŁOWA KLUCZOWE: AlSi11, konsolidacja plastyczna, badania zmęczeniowe

Two extrudates made of AlSi11 alloy have been produced in the co-extrusion process: solid billet and machining chips from the rolling process. The microstructure was observed, mechanical properties were determined on the basis of the 1-axial stretch test, and the fatigue tests were performed to determine the fatigue resistance of the AlSi11 alloy.

KEYWORDS: AlSi11, plastic consolidation, fatigue test

W stopach Al-Si dodatki stopowe, takie jak Fe, Mn i Sr, mają silny wpływ na własności zmęczeniowe tych materiałów [1]. Przykładowo, dodatek żelaza znacznie obniża odporność zmęczeniową, ponieważ tworzy związek międzymetaliczny β -15FeSi. Z kolei dodatek manganu poprawia wytrzymałość zmęczeniową, natomiast stront poprawia zarówno udarność, jak i odporność zmęczeniową [1].

Wysoka temperatura niekorzystnie wpływa na wytrzymałość zmęczeniową metali i ich stopów. W przypadku stopu AlSi12CuNiMg wyraźny spadek odporności widoczny jest już po wyżarzaniu w temperaturze powyżej 200°C. Jest to związane z zanikiem umocnienia na skutek przestarzenia oraz z koalescencją stref Guiniera-Prestona (GP) podczas wygrzewania [2].

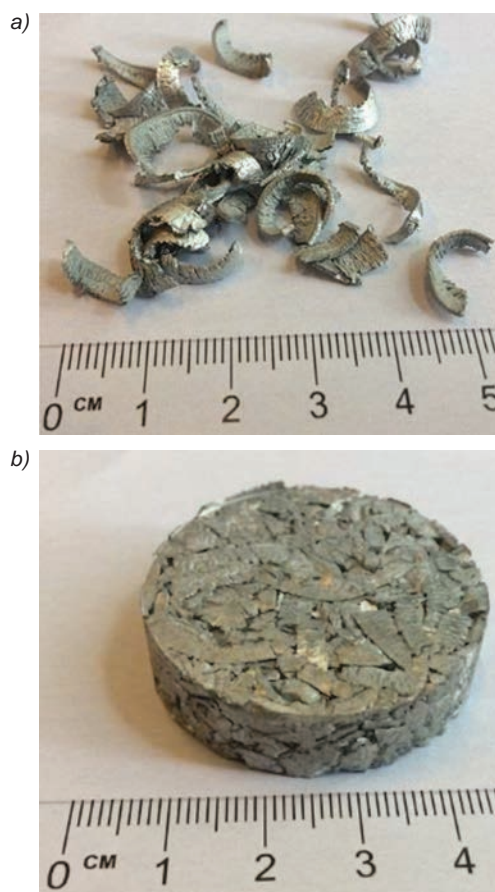
Do podobnych wniosków doszedł Nicoletto wraz ze współpracownikami [3] podczas badań nad wpływem temperatury na odporność zmęczeniową eutektycznych stopów Al-Si. Próbkę do badań wyciętą z tłoków silnikowych poddano testom zmęczeniowym w temperaturze otoczenia oraz w 250°C, 300°C i 350°C. Wzrost temperatury w każdym przypadku powodował obniżenie odporności zmęczeniowej [3].

W pracach [4, 5] opisano eksperymenty dotyczące wpływu wielkości porów na wytrzymałość zmęczeniową próbek odlanych ze stopu Al-Si. Badania wykazały, że powstałe w trakcie testów zmęczeniowych pęknięcia były wynikiem obecności porów w materiale, które generowały w swoim otoczeniu pola naprężeń, będące główną przyczyną obniżenia odporności zmęczeniowej [4, 5].

Maruna i in. [6] określali z kolei odporność zmęczeniową próbek ze stopu Al-Si-Cu-Mg, na których wykonano nacięcia powierzchniowe w kształcie litery V o różnym promieniu zaokrąglenia (2 mm; 1 mm; 0,3 mm i 0,1 mm). Stwierdzono, że w przypadku nacięć o promieniu mniejszym niż 0,3 mm proces dekohezji inicjowały pola naprężeń tworzące się wokół nacięć, natomiast w pozostałych przypadkach niska odporność zmęczeniowa wynikała z obecności porów gazowych i skurczowych występujących w materiale [6].

Metodyka badań własnych

Materiał wsadowy w postaci wiórów ze stopu AlSi11 (rys. 1a) wytworzono z wlewka w procesie toczenia na tokarce TUM 35 bez użycia środka chłodzącego. Otrzymane wióry prasowano na zimno pod naciskiem 30 t do postaci wypraski o wysokości 10 mm i średnicy 38 mm (rys. 1b).



Rys. 1. Materiał wsadowy w postaci wiórów ze stopu AlSi11 (a) oraz gotowa wypraska (b)

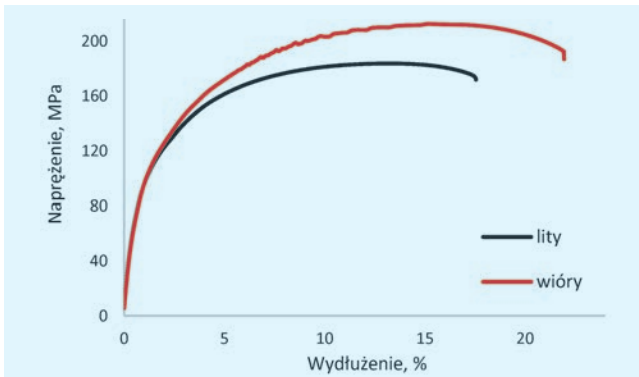
* Dr inż. Łukasz Wzorek (lukasz.wzorek@ahg.edu.pl), mgr inż. Mateusz Wędrzychowicz (mateusz.wedrychowicz@agh.edu.pl), dr inż. Tomasz Skrzekut (skrzekut@ahg.edu.pl), mgr inż. Piotr Noga (pinoga@agh.edu.pl), mgr inż. Marcel Wiewióra (marcelw@agh.edu.pl), mgr inż. Mateusz Pacek (mateuszpacek21@interia.pl) – Wydział Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie

Pakiet 7 wyprasek wyciśnięto następnie sposobem współbieżnym w temperaturze 400°C ze stopniem przerebu $\lambda = 25$ przy prędkości wyciskania 4 mm/s. W celach porównawczych wyciśnięto również pręt z litego wlewka. Wytworzone pręty miały średnicę 8 mm.

Wykonano 1-osiową próbę rozciągania w temperaturze otoczenia według normy EN ISO 6892-1 na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z050. Badania zmęczeniowe prowadzono na maszynie wytrzymałościowej MTS 880. W trakcie testu próbki o przekroju kołowym poddano obciążeniom zmiennym cyklicznie, zapewniając 1-osiowy stan naprężenia rozciągającego (przebieg sinusoidalny, odzerowo tętniący). Badanie prowadzono z częstotliwością 10 Hz, a naprężenie maksymalne cyklu wynosiło 140 MPa (ok. 70% wytrzymałości na rozciąganie). Do obserwacji mikrostruktury wykorzystano skaningowy mikroskop elektronowy Hitachi SU-70.

Wyniki badań

Korzystając z krzywej $\sigma = f(\epsilon)$ (rys. 2), określono własności materiałowe, które zestawiono w tabl. I. Pomiaru gęstości materiałów dokonano metodą Archimedesesa.



Rys. 2. Krzywe rozciągania pręta konsolidowanego plastycznie z wiórów oraz z materiału litego

TABLICA I. Mechaniczne i fizyczne własności badanych materiałów po procesie wyciskania

Materiał	AISI11 wióry	AISI11 lity
R_m , MPa	210	184
$R_{0,2}$, MPa	84	84
A, %	21	18
Gęstość, g/cm ³	2,658	2,666

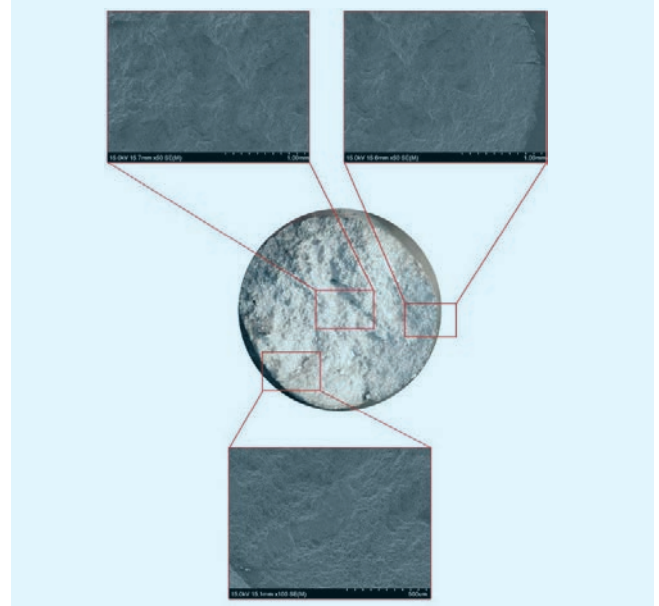
Oznaczenia:
 R_m – wytrzymałość na rozciąganie
 $R_{0,2}$ – granica plastyczności
 A – wydłużenie

TABLICA II. Wyniki otrzymane z prób zmęczeniowych

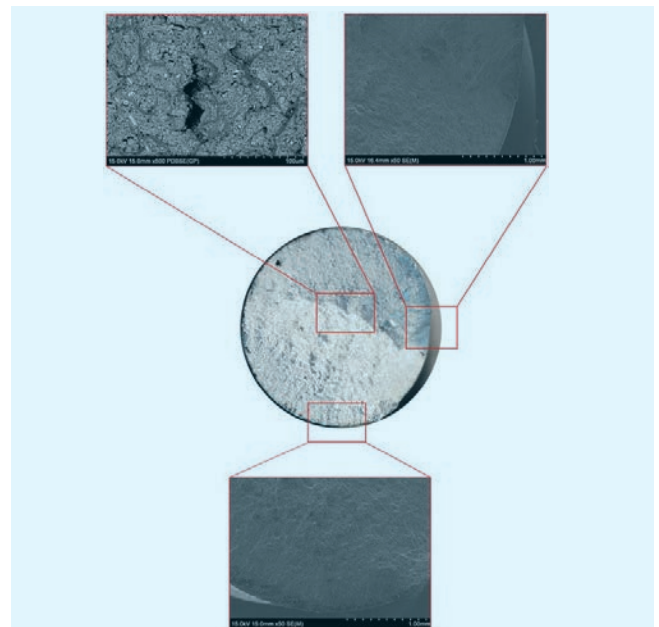
Materiał lity		Materiał z wiórów	
Liczba cykli	Maksymalna siła odnotowana w próbie, N	Liczba cykli	Maksymalna siła odnotowana w próbie, N
20 299	2 808,51	21 498	2 808,13
19 135	2 828,21	9 480	2 821,99
6 621	2 817,92	8 495	2 731,42
3 978	2 812,82	141	2 640,60
490	2 770,53	115	2 663,60
420	2 788,45	114	2 637,41
364	2 784,35	108	2 589,70
192	2 680,35	97	2 580,74
171	2 751,37	85	2 535,51
163	2 662,91	65	2 458,34
104	2 540,79	60	2 454,99
58	2 594,82	54	2 443,76

W tabl. II przedstawiono wyniki uzyskane z prób zmęczeniowych (po 12 prób na każdy materiał). Dla materiału konsolidowanego z wiórów, jak również dla materiału litego wyniki charakteryzują się znacznym rozrzutem pod względem liczby cykli (od ponad 50 do 20 000).

Mikrostrukturę przelomów dla materiału konsolidowanego z wiórów przedstawiono: po 108 cyklach – na rys. 3, po 9480 cyklach – na rys. 4. Na powierzchni obserwowanych prętów można zauważyć obszary bogate w krzem oraz wydzielenia faz żelazowych.



Rys. 3. Przelom zmęczeniowy próbki konsolidowanej z wiórów po 108 cyklach



Rys. 4. Przelom zmęczeniowy próbki konsolidowanej z wiórów po 9480 cyklach

Analiza wyników badań

Konsolidacja wiórów ze stopu AISI11 metodą prasowania na zimno i wyciskania w podwyższonej temperaturze umożliwia otrzymanie pręta o gęstości porównywalnej z prętem wyciśniętym z materiału litego. Pręt wyciśnięty z wiórów ma lepsze własności wytrzymałościowe. Istotny wzrost wytrzymałości wynika z rozdrobnienia twardych

cząstek, w tym krzemowych, już na etapie skrawania, co prowadzi do umocnienia materiału przez wytworzenie większej ilości barier hamujących ruch dyslokacji [7]. W testach zmęczeniowych można zauważyć rozrzut liczby cykli powodujących dekohezję – dotyczy to obu rodzajów prętów. Duża rozpiętość wyników jest pochodną obecności w materiale porów, pęknięć i wtrąceń, a potwierdzenie tych wniosków można znaleźć w literaturze [4]. Warto podkreślić, że w przypadku próbek, dla których liczba cykli nie przekroczyła 150, zmierzona siła maksymalna nie osiągnęła wartości założonej w programie badawczym (2750 N). W przypadku próbek, dla których dekohezja nastąpiła po niewielkiej liczbie cykli, przełom zmęczeniowy charakteryzuje się silną nieregularnością powierzchni i jest podobny do przełomu po próbie rozciągania (rys. 3). Na powierzchni obserwowanych przełomów próbek, które uległy dekohezji po kilku tysiącach cykli, można wyróżnić gładki, jednolity obszar (strefę zmęczeniową) i obszar silnie nierównomierny, o znacznej chropowatości (strefę resztkową – rys. 4). Strefa zmęczeniowa tworzy się podczas cyklicznego, wzajemnego dociskania do siebie sąsiadujących powierzchni, co prowadzi do ich wygładzenia poprzez zgmiot. Strefa resztkowa powstaje na skutek gwałtownego zniszczenia próbki na końcowym etapie testu zmęczeniowego. Pomiędzy tymi strefami występuje strefa przejściowa, której morfologia zależy od prędkości propagacji pęknięć.

Wnioski

- Lepsze własności wytrzymałościowe pręta otrzymanego z wiórów wynikają z umocnienia materiału na skutek rozdrobnienia twardych cząstek na etapie toczenia.
- Obecność porów i wtrąceń wpływa na obniżenie odporności na cykliczne obciążenia w próbach zmęczeniowych.
- Wyniki prób zmęczeniowych charakteryzują się dużym rozrzutem, co należy tłumaczyć wpływem wad powstałych na etapie odlewania i przygotowania wsadu do procesu wyciskania.
- Przełomy zmęczeniowe charakteryzują się występowaniem znacznie różniących się od siebie stref: zmęczeniowej i resztkowej.

Praca finansowana z badań statutowych w ramach umowy nr 11.11.180.653.

LITERATURA

1. Kosgey B.K., Maube S.E., Wangombe D.N., Maranga S.M., Kihiu J.M. "Effects of Additives on the Fatigue and Impact Properties of Recycled Al-Si Alloy Wheels". Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, 2011, s. 1–4.
2. Konecna R., Nicoletto G., Kunz L., Svoboda M., Baca A. "Fatigue strength degradation of AlSi12CuNiMg alloy due to high temperature exposure: a structural investigation". *Procedia Engineering*. 74 (2014): s. 43–46.
3. Nicoletto G., Riva E., Di Filippo A. "High temperature fatigue behaviour of eutectic Al-Si-alloys used for piston production". *Procedia Engineering*. 74 (2014): s. 157–160.
4. Fintova S., Konstantova V., Konecna R., Nicoletto G. "Experimental study of porosity and fatigue behaviour of cast Al-Si alloys". Department of Materials Science and Engineering. 2008, s. 1–8.
5. Ammar H.R., Samuel A.M., Samuel F.H. "Effect of casting imperfections on the fatigue life of 319-F and A356-T6 Al-Si casting alloys". *Materials Science and Engineering*. 473 (2008): s. 65–75.
6. Maruno Y., Miyahara H., Noguchi H., Ogi K. "Notch size effect in the fatigue characteristics of Al-Si-Cu-Mg cast alloy". *Materials Transactions*. 67 (2004): s. 839–843.
7. Noga P., Wiewióra M., Wzorek A. „Wpływ obróbki cieplnej na własności stopu AlSi11 konsolidowanego plastycznie z wiórów”. *Mechanik*. 7 (2017): s. 621–623. ■