

*Strength tests of aluminum sheets used in the food industry***Badania wytrzymałościowe blach aluminiowych stosowanych w przemyśle spożywczym**

DOI: 10.15199/62.2024.12.17

Samples of 0.18 and 0.19 mm thick sheets of 5801 Al alloy and 0.2 mm thick sheets of AW-8011A alloy were analyzed for tensile strength, yield strength, modulus of elasticity, and elongation at break. The effects of material thickness and heat-technol. treatment, including painting and one- or two-sided hardening of the paint, were studied. The Lankford coeff. and the planar and normal anisotropy index were detd. based on recording geometric changes of the sample during the tensile process. Samples made of heat-treated 5801 sheet were stronger compared to the corresponding ones made of 8011A sheet.

Keywords: closures, aluminum alloys, minimizing wear, strength tests

Przedstawiono zagadnienie badawcze dotyczące minimalizacji zużycia stopu aluminiowego do produkcji zakrętek opakowań szklanych, co ma istotny wpływ na odpowiedni dobór parametrów procesu technologicznego. Do produkcji zakrętek opakowań szklanych stosowane są najczęściej blachy z normowanego stopu aluminium EN AW-8011A, który cechuje się bardzo dobrą formowalnością. Stop jest szeroko stosowany w przemyśle, m.in. do produkcji wymienników ciepła. Literatura przedmiotu wskazuje, że nadal istnieje zapotrzebowanie na stopy aluminiowe o większej wytrzymałości i ciągliwości. Wykonano badania wytrzymałościowe nowego stopu aluminium 5801 i porównano go z właściwościami stopu AW-8011A. Uzyskane wyniki wskazują, że aluminium serii 5801 jest lepszym materiałem do produkcji elementów metodą tłoczenia blachy.

Słowa kluczowe: zakrętki, stopy aluminium, minimalizacja zużycia, badania wytrzymałościowe

W Polsce przemysł jest szczególnie ważnym segmentem gospodarki, gdyż odgrywa znaczącą rolę w tworzeniu wartości dodanej brutto, wytwarzając ponad 20% PKB¹⁾. Produkcja wyrobów metalowych gotowych, z wyłączeniem maszyn i urządzeń, w 2023 r. nieznacznie spadła w stosunku do 2022 r.²⁾. Konieczność minimalizacji zużycia surowców oraz energii nie jest dla przemysłu nowością i od lat stanowi ważny element praktyki produkcyjnej. Ograniczenie zużycia zasobów minimalizuje negatywny wpływ na środowisko i wpisuje się w dążenie do zrównoważonego rozwoju³⁾. Zużycie aluminium w Polsce w 2023 r. wyniosło 1,18 mln t, a ogólnoeuropejski trend dotyczy wytwarzania aluminium wtórnego, pochodzącego z recy-

klingu⁴⁾. Obecnie w firmie Guala Closures DGS Poland SA do produkcji zakrętek opakowań szklanych stosuje się najczęściej blachy z normowanego stopu EN AW-8011A. Ma on korzystne właściwości w produkcji zakrętek, jednak istnieje możliwość zastosowania nowego stopu, tak aby w efekcie uzyskać mniejszą grubość zakrętki, co spowoduje mniejsze zużycie aluminium, a to przełoży się na wymierne korzyści środowiskowe i finansowe. Zakrętka wykonana ze stopu aluminium ma wiele zalet; w przemyśle spożywczym pozwala na zachowanie smaku, aromatu i świeżości, a dodatkowo możliwy jest jej recykling⁵⁾. Alternatywą dla stopu EN AW-8011A może być stop 5801, będący efektem prac badawczo-rozwojowych huty Gränges Konin SA⁶⁾.



Mgr inż. Leszek SULEWSKI (ORCID: 0000-0002-8917-8731) w roku 1998 ukończył studia inżynierskie na kierunku mechanika i budowa maszyn na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej, a w 2012 r. studia magisterskie na Wydziale Zarządzania tej samej uczelni. W 2020 r. ukończył studia MBA w ramach programu Executive zorganizowanego przez Gdańską Fundację Kształcenia Menedżerów, Politechnikę Białostocką oraz Porto Business School. Pracuje na stanowisku zastępcy dyrektora operacyjnego w Guala Closures DGS Poland SA we Włocławku. Specjalność – inżynieria mechaniczna, maszyny i urządzenia przemysłu spożywczego oraz zarządzanie przedsiębiorstwem.



Dr inż. Marcin KOWALSKI (ORCID: 0000-0002-5380-573X) w roku 2005 ukończył studia na kierunku technologia chemiczna na Wydziale Paliw i Energii AGH w Krakowie. W 2018 r. uzyskał stopień doktora w dziedzinie nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej w Zakładzie Podstaw Technologii i Konstrukcji Maszyn. Jest kierownikiem Laboratorium Materiałoznawstwa. Specjalność – zużycie maszyn i urządzeń.

*** Adres do korespondencji:**

Guala Closures DGS Poland SA, al. Kazimierza Wielkiego 6, 87-800 Włocławek, tel.: (54) 232-06-22, e-mail: lsulewski@gualaclosuresdgs.pl

Celem pracy było porównanie wyników badań wytrzymałościowych stopu aluminium 5801 i zbadanie możliwości wdrożenia nowego stopu do produkcji zakrętek.

Część doświadczalna

Obiekt badań

W badaniach stosowano arkusze blachy aluminiowej o grubościach 0,18 mm, 0,19 mm (nowy stop aluminiowy 5801) oraz 0,20 mm (stop 8011A obecnie stosowany w produkcji).

Metodyka badań

Celem badań była identyfikacja oraz porównanie właściwości wytrzymałościowych stopów, uwzględniając grubość materiału i wpływ obróbki cieplno-technologicznej, obejmującej lakierowanie i jedno- lub dwustronne utwardzenie lakieru. Analiza poziomu jednorodności tych parametrów w płaszczyźnie blachy umożliwi ocenę poziomu anizotropii rozpatrywanych materiałów. Zbadano zdolność materiału do odkształcania się pod wpływem zadanej siły, celem opisu parametrów charakteryzujących podatność materiału na proces tłoczenia.

Metodą identyfikacji właściwości wytrzymałościowych materiału była próba monotonicznego rozciągania. Wyznaczono maksymalną wytrzymałość na rozciąganie R_m , granicę plastyczności $R_{0,2}$,

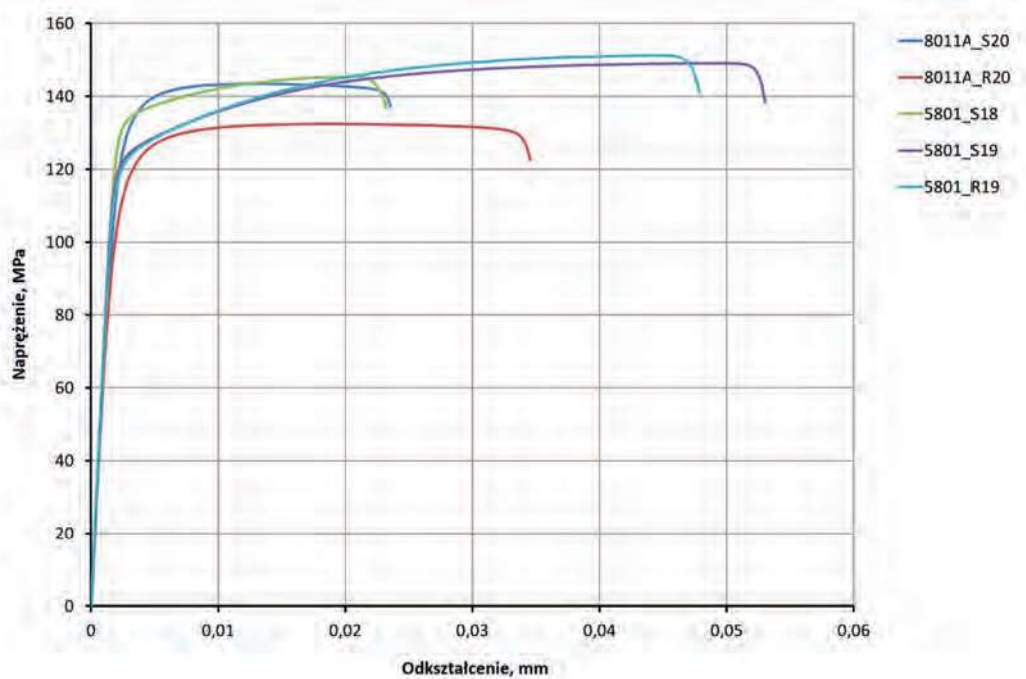


Fig. 1. Tensile graphs σ - ϵ , plate rolling direction, 0°

Rys. 1. Wykresy rozciągania σ - ϵ , dla kierunku walcowania blachy 0°

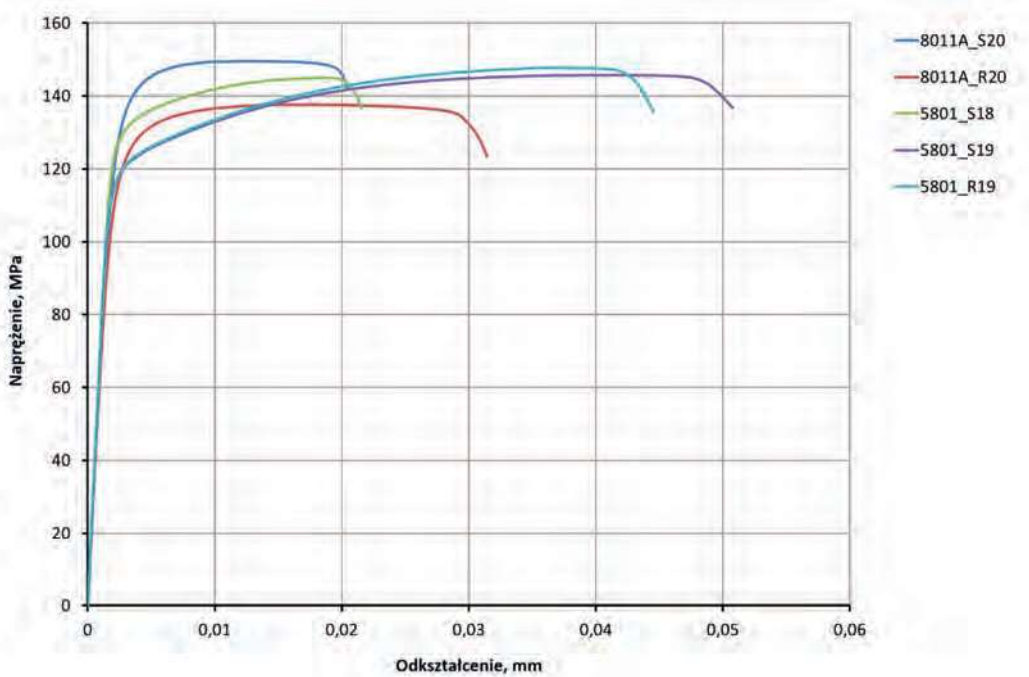


Fig. 2. Tensile σ - ϵ diagrams, direction intermediate to the direction of plate rolling, 45°

Rys. 2. Wykresy rozciągania σ - ϵ , kierunek pośredni do kierunku walcowania blachy, 45°



Dr hab. inż. Jacek WERNIK (ORCID: 0000-0003-4270-8915) w roku 1997 ukończył studia na kierunku mechanika i budowa maszyn na Wydziale Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii Politechniki Warszawskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 2005 r. na tym samym wydziale, a stopień doktora habilitowanego w 2018 r. na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Pracuje na stanowisku profesora uczelni w Instytucie Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej w Zakładzie Podstaw Technologii i Konstrukcji Maszyn. Specjalność – maszyny i urządzenia przemysłu chemicznego i spożywczego.

moduł sprężystości wzdłużnej E oraz wydłużenie do zerwania A . Analiza tych parametrów w odniesieniu do różnych kierunków walcowania arkusza blachy dostarcza dodatkowych informacji na temat jednorodności właściwości materiału w rozpatrywanej płaszczyźnie i pozwala ocenić stopień anizotropii. Dodatkowymi współczynnikami opisującymi podatność materiału na proces tłoczenia był współczynnik Lankforda, zdolność umocnienia oraz tzw. zapas plastyczności. Współczynnik Lankforda, obliczany jako stosunek

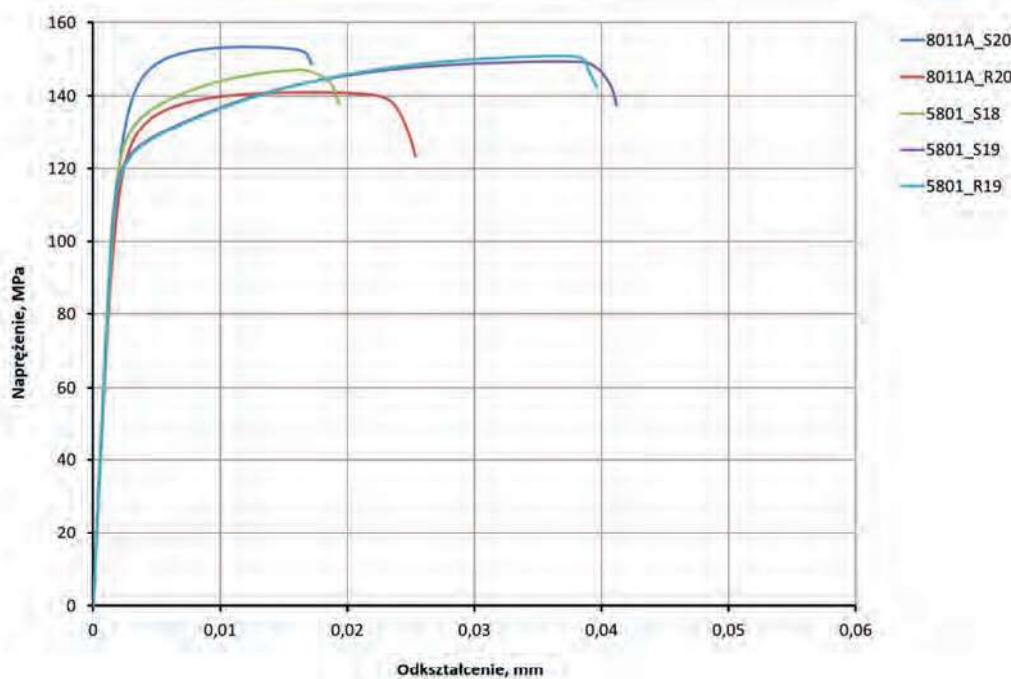


Fig. 3. Tensile σ - ϵ diagrams, transverse direction of plate rolling, 90°

Rys. 3. Wykresy rozciągania σ - ϵ , kierunek poprzeczny do kierunku walcowania blachy, 90°

odkształcenia poprzecznego do odkształcenia w kierunku prostym do powierzchni blachy, służy do opisu anizotropii w arkuszach blach. Współczynnik anizotropii płaskiej oraz normalnej wyznaczono na podstawie rejestracji zmian geometrycznych próbki w trakcie procesu rozciągania za pomocą systemu wizyjnego Aramis 3D 4M. Statyczną próbę rozciągania próbek płaskich przeprowadzono wg normy⁷⁾. Testy eksperymentalne wykonano na serwo-mechanicznej maszynie wytrzymałościowej MTS Insight 1 kN.

Wyniki badań i ich omówienie

Wyniki badań obejmują wyznaczone krzywe rozciągania w układzie naprężenie-odkształcenie. Na rys. 1–3 przedstawiono je wg kierunku walcowania. Oznaczenia na wykresach odpowiadają następującym próbkom: 8011A_S20 (przed procesem lakierowania, grubość 0,20 mm); 8011A_R20 (dwustronny proces lakierowania, grubość 0,20 mm); 5801_S18 (przed procesem lakierowania, grubość 0,18 mm); 5801_S19 (jednostronny proces lakierowania, grubość 0,19 mm); 5801_R19 (dwustronny proces lakierowania grubość 0,19 mm). Dla badanych próbek kierunki walcowania wynosiły 0, 45 i 90° .

Próbki wykonane ze stopu 8011A cechowała mniejsza wytrzymałość na rozciąganie oraz prawie dwukrotnie niższy poziom odkształcenia do zniszczenia względem stopu 5801, uwzględniając dwustronny proces lakierowania. Zauważono również znaczącą różnicę w przebiegu krzywej rozciągania; próbki wykonane ze stopu 5801 odznaczały się wyraźnym procesem umocnienia (większa różnica pomiędzy wartością granicy plastyczności a wytrzymałością na

rozciąganie). Materiał 8011A charakteryzował się wyższą granicą plastyczności zarówno przed, jak i po procesie lakierowania, biorąc pod uwagę kształtki pobrane z kierunku pośredniego 45° oraz poprzecznego 90° do kierunku walcowania. Nie odnotowano znaczącej różnicy w parametrach wytrzymałościowych próbek, biorąc pod uwagę jednostronny i dwustronny proces lakierowania badanego stopu aluminium 5801. Mniejsza grubość arkuszy blach stopu 5801 nie wpływała negatywnie na wartość wydłużenia próbek do zniszczenia oraz na poziom maksymalnej wytrzymałości. W tabeli 1 przedstawiono wartości średnie obliczonych parametrów, takich jak wytrzymałość na rozciąganie

R_m , granica plastyczności $R_{0,2}$, moduł sprężystości wzdłużnej E oraz wydłużenie próbki do zerwania A .

Stop 8011A charakteryzował się niższą wartością modułu sprężystości wzdłużnej względem stopu 5801, biorąc pod uwagę stan półtwardy oraz po procesie utwardzania lakieru. W przypadku próbek z serii S20 i R20 zaobserwowano, że proces lakierowania powodował wzrost wydłużenia procentowego przy jednoczesnym zmniejszeniu wartości modułu Younga oraz obu analizowanych granic. Wszystkie wartości analizowanych parametrów kształtek z blachy 5801 ulegały zwiększeniu po pierwszym procesie utwardzania powłoki.

Table 1. Average values of the strength parameters of the tested alloys

Tabela 1. Wartości średnie parametrów wytrzymałościowych badanych stopów

Oznaczenie próbki	Kierunek, $^\circ$	E , GPa	R_m , MPa	$R_{0,2}$, MPa	A , %
8011A_S20	0	67,7	143,39	137,23	2,36
	45	69,5	149,52	142,61	2,04
	90	68,8	153,35	146,12	1,72
8011A_R20	0	65,4	132,49	122,91	3,45
	45	67,3	137,59	127,71	3,14
	90	68,5	140,99	131,63	2,53
5801_S18	0	70,3	145,46	135,92	2,32
	45	71,2	144,92	134,24	2,12
	90	70,2	147,24	134,42	1,93
5801_S19	0	71,1	149,13	126,43	5,30
	45	72,5	145,82	123,21	5,08

Po drugim etapie lakierowania wartości te były do siebie zbliżone, z wyjątkiem wydłużenia.

W badaniach uwzględniono również anizotropię właściwości plastycznych badanych arkuszy blach. W związku z procesem walcowania blachy na etapie przygotowania arkusza ziarna materiału były odkształcane. Na skutek tego powstawały niejednorodności materiału, materiał z izotropowego stawał się anizotropowy. Do opisu anizotropii w arkuszach blach wyznaczono współczynnik Lankforda, współczynnik anizotropii płaskiej oraz normalnej na podstawie rejestracji zmian geometrycznych próbki w trakcie procesu rozciągania. Wyznaczone wartości przedstawiono w tabeli 2.

Table 2. Values of the Lankford coefficient and the flat and standard anisotropy index for individual sheets (S – raw, R – reference)

Tabela 2. Wartości współczynnika Lankforda oraz wskaźnika anizotropii płaskiej i normalnej dla poszczególnych blach (S – surowa, R – referencyjna)

Oznaczenie próbki	Współczynnik Lankforda r			Wskaźnik anizotropii normalnej	Wskaźnik anizotropii płaskiej Δr
	0°	45°	90°		
8011A_S_20	0,336	0,594	0,760	0,571	-0,046
8011A_R_20	0,353	0,592	0,716	0,563	-0,057
5801_S_18	0,449	0,614	0,628	0,576	-0,075
5801_S_19	0,443	0,638	0,626	0,586	-0,103
5801_R_19	0,399	0,643	0,633	0,579	-0,127

Wyniki wskazują, że dla blachy 8011A oraz próbek S18 wraz ze zwiększaniem kąta względem kierunku walcowania wzrastała wartość współczynnika Lankforda. W przypadku blachy 5801 o grubości 0,19 mm maksymalną wartość odnotowano dla kierunku 45°. We wszystkich przypadkach najmniejsza wartość wystąpiła dla kierunku walcowania 0°. Porównując średnie wartości współczynnika dla próbek przed procesem utwardzania lakieru oraz tych po zabiegu, widoczny był wpływ obróbki cieplnej. Dla próbek z materiału 8011A widoczny był spadek wartości wskaźnika anizotropii normalnej oraz wzrost wskaźnika anizotropii płaskiej. Dla materiału 5801 odnotowano nieznaczny wzrost

wartości wskaźnika anizotropii płaskiej przy zachowaniu przybliżonych wartości anizotropii normalnej. Porównując wartości wskaźnika anizotropii normalnej dla próbek S18, S19 i R19, zaobserwowano, że wartość po pierwszym lakierowaniu rosła, natomiast kolejny proces utwardzania lakieru nieznacznie obniżał wartość tego wskaźnika.

Podsumowanie

Próbki wykonane z blachy 5801 poddanej obróbce cieplnej były bardziej wytrzymałe w porównaniu z próbkami z blachy 8011A.

Granica plastyczności próbek z serii 5801_R19 była mniejsza od granicy otrzymanej dla serii 8011A_R20, jednakże wpływało to na większy zapas plastyczności.

Stop aluminium serii 8011A był bardziej wrażliwy na obróbkę cieplną; wartości granic plastyczności i wytrzymałości tego materiału uległy większej zmianie po lakierowaniu w porównaniu z serią 5801.

Wskaźniki anizotropii normalnej miały zbliżoną wartość dla wszystkich badanych serii próbek.

Wskaźnik anizotropii płaskiej próbek wykonanych z aluminium serii 5801 ulegał większym zmianom po każdorazowym lakierowaniu.

Uzyskane wyniki pozwalają na postawienie hipotezy, że stop aluminium serii 5801 jest lepszym materiałem do produkcji elementów metodą tłoczenia blachy dla zakrętek stosowanych w przemyśle spożywczym.

Otrzymano: 08-10-2024

Zrecenzowano: 18-11-2024

Zaakceptowano: 26-11-2024

Opublikowano: 20-12-2024

LITERATURA

- [1] GUS, *Przemysł – wyniki działalności w 2023 r.*, Warszawa 2024.
- [2] GUS, *Produkcja wyrobów przemysłowych w 2023 r.*, Warszawa 2024.
- [3] J. Yong, J. Klemeš, P. Varbanov, D. Huisingh, *J. Clean. Prod.* 2016, **111A**, 1.
- [4] Anonim, *Nowa Stal* 2023, nr 4, 64.
- [5] P. Rutecki, W. Muzykiewicz, L. Sulewski, *Inż. Mater.* 2021, **42**, nr 2–3, 16.
- [6] <https://www.granges.com/konin>, dostęp 25 września 2024 r.
- [7] PN-EN ISO 6892:2020, *Metale. Próba rozciągania. Cz. 1. Metoda badania w temperaturze pokojowej.*