

ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD POMIARÓW WYDŁUŻENIA W CZASIE WYKONYWANIA STATYCZNEJ PRÓBY ROZCIĄGANIA METALI

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ELONGATION MEASUREMENT METHODS DURING STATIC TENSION TESTING OF METALS

Grzegorz Hajdukiewicz

Uniwersytet Morski w Gdyni, Morska 81-87, 81–225 Gdynia, Wydział Mechaniczny,
Katedra Podstaw Techniki, e-mail: g.hajdukiewicz@wm.am.gdynia.pl,
ORCID 0000-0002-6068-3312

Streszczenie: W artykule przedstawiono porównanie wyników pomiarów wydłużenia próbek ze stopu AlMg3, uzyskanych dwiema metodami w czasie wykonywania próby rozciągania metali w temperaturze pokojowej zgodnie z normą PN-EN ISO 6892-1:2010 [Zwick&Roell 2015]. Metoda 1 – określenie wydłużenia za pomocą ekstensometru wideo firmy Zwick&Roell typ VideoXtens. Metoda 2 – określenie wydłużenia na podstawie podziału początkowego długości pomiarowej.

Słowa kluczowe: metale – próba rozciągania w temperaturze pokojowej, ekstensometr wideo, Zwick&Roell, VideoXtens, bezdotykowy pomiar wydłużenia, wydłużenie procentowe po rozerwaniu A , wydłużenie ekstensometryczne całkowite procentowe przy rozerwaniu A_f .

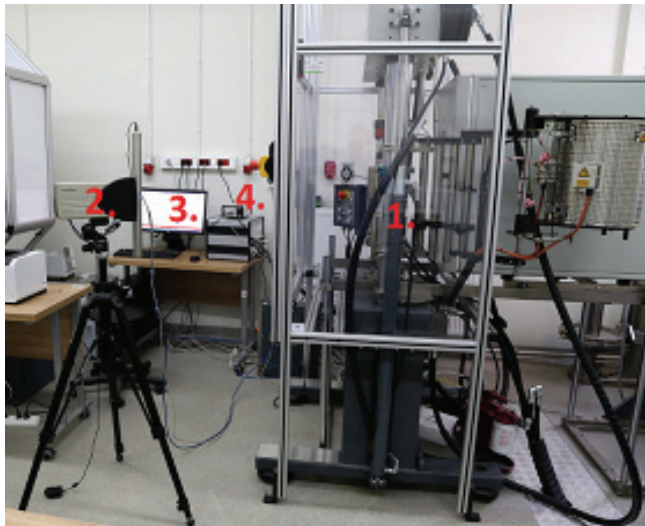
Abstract: In the article there are presented and compared elongation measurements of the metal specimens made of AlMg3 alloy. The specimens were obtained by 2 methods during performing the metal tension test at ambient temperature according to standard PN-EN ISO 6892-1:2010. The 1st method – elongation measurement with video extensometer VideoXtens-type of the Zwick&Roell company. The 2nd method – elongation measurement based on initial division of measurement length.

Keywords: metals – tension testing at ambient temperature, video extensometer, Zwick&Roell, VideoXtens, non-contact elongation measurement, extension ratio A and A_f .

1. WSTĘP

Rozwój technologii cyfrowych i ich powszechna dostępność oraz nieustanny postęp techniczny w dziedzinie konstruowania i produkcji maszyn wytrzymałościowych zaowocowały tym, że w chwili obecnej na rynku dostępnych jest wiele

nowoczesnych systemów do wykonywania badań wytrzymałości materiałów. Grupa Zwick&Roell jest jednym z wiodących na świecie dostawców takich systemów. Dzięki wsparciu finansowemu, pozyskanemu z funduszy strukturalnych Unii Europejskiej, Akademia Morska w Gdyni od 2015 roku znajduje się w posiadaniu zestawu do badań wytrzymałościowych (poz. nr 1 i nr 3 na rys. 1). W skład zestawu wchodzi: maszyna wytrzymałościowa z napędem hydraulicznym typ MPMD P10B oraz oprogramowanie TestXpert II w wersji 3.61. Urządzenie to służy do wykonywania prób wytrzymałościowych w różnych warunkach i opracowywania wyników tych prób. Zestaw, w połączeniu z pozyskanymi równolegle przez uczelnię elementami dodatkowymi, jakimi są ekstensometr Epsilon model 3542 i ekstensometr wideo Zwick&RoellVideoXtens (poz. nr 2 i nr 4 na rys. 1), pozwala na wykonywanie badań wytrzymałości materiałów, takich jak: metale, tworzywa sztuczne, gumy, elementy konstrukcyjne z drewna i drewna modyfikowanego z jednoczesną możliwością pomiaru wydłużenia tych materiałów w czasie próby. Ww. ekstensometr wideo pozwala w czasie badania bezdotykowo rejestrować zmiany wymiarów próbki w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach, np. wzdłuż osi działania siły i w kierunku do niej prostopadłym [Dyląg 2000].



Rys. 1. System Zwick&Roell zainstalowany w 2015 r. w Akademii Morskiej w Gdyni:
 1 – maszyna wytrzymałościowa Zwick&Roell typu MPMD P10B, 2 – kamera ekstensometru wideo typu VideoXtens, 3 – komputer PC z oprogramowaniem testXpert w wersji 3.61,
 4 – interfejs cyfrowy ekstensometru wideo typu VideoXtens

Fig. 1. The Zwick &Roell system installed in 2015 at Gdynia Maritime Academy:
 1 – Zwick &Roell type MPMD P10B endurance machine, 2 – Video Extensometer VideoXtens, 3 – PC with testXpert software version 3.61,
 4 – Digital video extensometer type VideoXtens

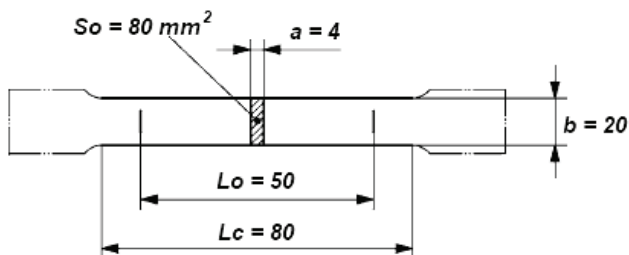
W niniejszym materiale, opierając się na wynikach badania rozciągania próbek ze stopu AlMg3, dokonano próby analizy porównawczej dwóch niezależnych od siebie metod określania wydłużenia próbek:

- **metoda 1** – określenie wydłużenia próbek za pomocą ekstensometru wideo Zwick&Roell typu VideoXtens;
- **metoda 2** – określenie wydłużenia próbek na podstawie podziału początkowego długości pomiarowej.

2. PRZYJĘTE ZAŁOŻENIA METODYCZNE

Na potrzeby analizy porównawczej obu wyżej wymienionych metod określenia wydłużenia próbek zdecydowano się na przeprowadzenie badań jako próby rozciągania metali w temperaturze pokojowej, zgodnie z założeniami aktualnie obowiązującej normy [PN-EN ISO 6892-1:2010] i w związku z tym:

- 1) przygotowano próbki ze stopu aluminium 5754-H111 (AlMg3) o składzie przedstawionym w tabeli 1 i właściwościach wytrzymałościowych przedstawionych w tabeli 2. Dane w tabelach pochodzą z certyfikatu materiałowego nr 1608LB3046;
- 2) próbki przygotowano zgodnie z zaleceniami normy [PN-EN ISO 6892-1:2010] jako płaskie i proporcjonalne (kształt i wymiary próbek przedstawia rys. 2);
- 3) jako jednostkę podziału początkowego próbek przyjęto wielkość 5 mm;
- 4) jako bazę pomiarową ekstensometru wideo przyjęto $L_e = 50$ mm;
- 5) **przyjęto, że pomiaru wydłużenia każdej z próbek aż do zerwania dokona się jednocześnie obiema metodami**, o których mowa we wstępie.



Rys. 2. Kształt i wymiary próbek przyjętych do badania
Fig. 2. Shape and dimensions of the samples taken for testing

Tabela 1. Skład chemiczny stopu 5754-H111**Table 1.** Chemical composition of alloy 5754-H111

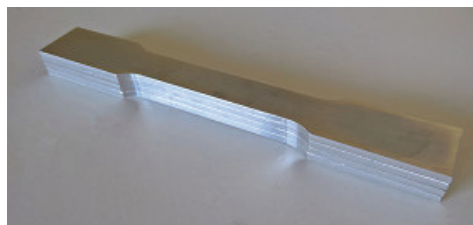
	Mg [%]	Mn [%]	Fe [%]	Si [%]	Cu [%]	Zn [%]	Cr [%]	Mn+Cr [%]	Ti [%]	Inne [%]	Al [%]
5754-H111	3,60	0,5	0,4	0,4	0,1	0,05	0,3	0,60	0,15	0,15	96,4

Tabela 2. Właściwości wytrzymałościowe stopu 5754-H111**Table 2.** Strength properties of alloy 5754-H111

	Granica plastyczności Rp02 [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie Rm [MPa]	Wydłużenie A50 [%]
5754-H111	80	240	23

3. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK

Przyjęto założenie, że pomiaru wydłużenia każdej z próbek po zerwaniu dokona się obiema metodami jednocześnie. Z tego względu płaskie próbki wykonano za pomocą obróbki skrawaniem z blach o grubości 4 mm (rys. 3) w opisany poniżej sposób.

**Rys. 3.** Próbkki przed oznaczeniem**Fig. 3.** Samples before marking

Z jednej strony wszystkie próbki pokryto natryskowo cienką warstwą matowego, białego lakieru o grubości poniżej 0,02 mm (rys. 4).

**Rys. 4.** Próbkki pokryte jednostronnie białym lakierem**Fig. 4.** Samples coated on one side with white lacquer

Na każdej z próbek, po stronie z warstwą białego lakieru, za pomocą szablonu dostarczonego przez Zwick&Roell naniesiono tuszem linie pomiarowe. Linie te niezbędne są do tego, aby kamera ekstensometru wideo mogła śledzić przebieg zmian wydłużenia próbek [Zwick&Roell 2015]. Wybrano szablon dla bazy ekstensometru $L_c = 50$ mm jak w założeniach dla próby.

Na rysunku 5 można zaobserwować charakterystyczne 3° odchylenie linii od pionu niezbędne dla prawidłowej rejestracji przez kamerę ekstensometru (3° uwzględnione jest w firmowym szablonie). Kamera ekstensometru wideo VideoXtens działa na zasadzie detekcji kontrastu, stąd malowanie białą farbą tła i znaczenie linii pomiarowych za pomocą czarnego tuszu [Zwick&Roell 2015].



Rys. 5. Próbkki oznaczone jednostronnie dla kamery ekstensometru wideo – metoda nr 1

Fig. 5. Samples marked unilaterally for the camera Video Extensometer – method # 1

Po drugiej stronie każdej z próbek za pomocą czarnego markera naniesiono co 5 mm jednostki podziału początkowej długości pomiarowej – łącznie 16 jednostek podziału początkowego na każdej z próbek. Oznaczono całą długość L_c każdej próbki. Dodatkowo, na obu stronach próbek oznaczono ich numer, rodzaj materiału oraz naniesiono osie pomocnicze do prawidłowego zamocowania próbek w maszynie wytrzymałościowej (rys. 5 i 6). Pomiaru długości jednostek pomiarowych przed badaniem i po zerwaniu próbek dokonano tym samym przyrządem pomiarowym o dokładności pomiaru 0,01 mm.



Rys. 6. Próbkki oznaczone jednostronnie dla metody nr 2

Fig. 6. Samples labeled unilaterally for method # 2

4. WYNIKI POMIARÓW WYDŁUŻENIA PRÓBEK W CZASIE STATYCZNEJ PRÓBY ROZCIĄGANIA W TEMPERATURZE POKOJOWEJ

Uśrednione wyniki pomiarów procentowego wydłużenia [PN-EN ISO 6892-1:2010] próbek przeprowadzonych za pomocą metody 1 – określenie wydłużenia przez ekstensometr wideo typ VideoXtens firmy Zwick&Roell – przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów uzyskane za pomocą ekstensometru wideo

Table 3. Measurement results obtained using a video extensometer

	mE [GPa]	Rp02 [MPa]	Rm [MPa]	A50 [%]	Z (przewężenie) [%]
5754-H111 (AlMg3)	67	117	228	20,43	30

Uśrednione wyniki pomiarów procentowego wydłużenia [PN-EN ISO 6892-1:2010] próbek przeprowadzonych za pomocą metody 2 – określenie wydłużenia próbek na podstawie podziału początkowego długości pomiarowej – przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki pomiarów uzyskane za pomocą pomiaru jednostek podziałowych

Table 4. Measurement results obtained by measuring unit units

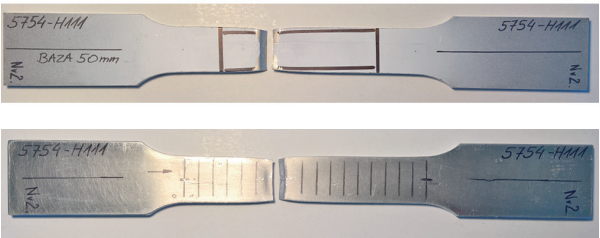
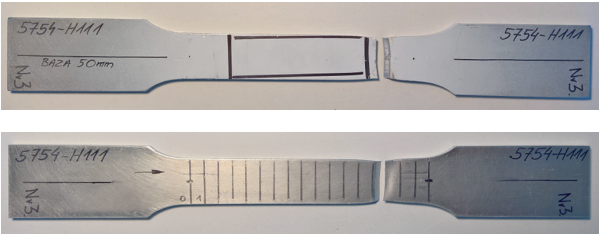
	mE [GPa]	Rp02 [MPa]	Rm [MPa]	A50 [%]	Z (przewężenie) [%]
5754-H111 (AlMg3)	67	117	228	24,21	30

5. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Bezpośrednie porównanie wyników obu metod określania wydłużenia próbek w czasie przeprowadzania próby rozciągania metalu w temperaturze pokojowej przedstawiono w tabeli 5. Podano w niej przykłady dwóch próbek: jednej, dla której wyniki pomiarów wykonanych obiema metodami były najbardziej zbliżone oraz drugiej, dla której wyniki pomiarów obiema metodami były najbardziej rozbieżne.

Tabela 5. Porównanie wyników pomiarów wydłużenia próbki objema metodami dla skrajnie zbliżonych i skrajnie rozbieżnych wyników pomiarów

Table 5. Comparison of the results of sample elongation measurements with both methods for extremely approximate and extremely divergent measurement results

Numer próbki	Metoda 1 wynik A50 [%]	Metoda 2 wynik A50 [%]	Fotografia próbki (obie strony)
2	23,40	24,63	
3	18,70	23,19	

Metodę 1 – określanie wydłużenia za pomocą ekstensometru wideo typu VideoXtens firmy Zwick&Roell i oprogramowania testXpert w wersji 3.61 – można uznać za miarodajną jedynie wówczas, kiedy próbka poddana rozciąganiu ulegnie zniszczeniu w taki sposób, że szyjka próbki znajdować się będzie pomiędzy liniami pomiarowymi bazy ekstensometru wideo – zdjęcie próbki nr 2 w tabeli 5.

Metoda 2 – określanie wydłużenia próbek na podstawie podziału początkowego długości pomiarowej – jest metodą dającą miarodajne rezultaty w każdym przypadku bez względu na miejsce zerwania próbki w całym zakresie znakowania.

Metoda 1 wymaga około 5-krotnie krótszego czasu na przygotowanie próbki i odczyt wyników po próbie niż metoda 2. W związku z tym można przyjąć, że powszechne wykorzystanie ekstensometru wideo może znacząco przyspieszyć wykonywanie badań i opracowywanie wyników.

Metoda 1 pozwala określać wydłużenia przy rozciąganiu materiałów, dla których nie jest możliwe (lub jest bardzo utrudnione) odczytanie długości podziału początkowego długości pomiarowej po zniszczeniu próbki, np. laminaty, materiały sprężyste.

W związku z wnioskami zawartymi powyżej celowe wydaje się zwiększenie bazy pomiarowej ekstensometru wideo dla próbek rozciąganych (w tym metali) po to, aby zwiększyć procentowy udział próbek, w których szyjka po zniszczeniu znajdzie się pomiędzy znacznikami bazy ekstensometru wideo.

LITERATURA

Dyląg, Z., Jakubowicz, A., Orłoś, H., 2000, *Wytrzymałość materiałów*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.

PN-EN ISO 6892-1:2010, *Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze pokojowej*.

Zwick&Roell, 2015, *Podręcznik obsługi ekstensometru wideo Xtens wersja 6.4.0.0*, Ulm.

Zwick&Roell, 2015, *Podręcznik obsługi maszyny wytrzymałościowej MPMD P10B wersja z 09.2015*, Ulm.