

Ocena podatności struktur cienkościennych na lokalne odkształcenia plastyczne metodą pomiaru czasu styku

Evaluation of susceptibility of thin-walled structures to local plastic deformations using contact time measurement

STANISŁAW BŁAWUCKI
KAZIMIERZ ZALESKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.455

Opisano dotychczas stosowane rozwiązania w zakresie pomiaru odkształcenia i naprężenia w warstwie wierzchniej elementów umacnianych poprzez zgniot. Przedstawiono nowy, zgłoszony do opatentowania, sposób pomiaru podatności metalowych struktur cienkościennych na miejscowe, powierzchniowe odkształcenie plastyczne. Polega on na porównaniu czasu styku elementu nagniatającego z obrabianym przedmiotem cienkościennym oraz przedmiotem o dużej sztywności. Eksperyment zweryfikowano metodą elementów skończonych.

SŁOWA KLUCZOWE: czas styku, odkształcenia plastyczne, stop aluminium, ABAQUS

This paper describes existing solutions for measuring deformations and stress in the surface layer of strain-hardened parts. It also presents a new, patent pending method of measuring susceptibility of metal thin-walled structures to a local, plastic deformation on their surface. This method compares the time of contact of an impacting element with the thin-walled workpiece and a high-rigidity object. The experiment was verified using the Finite Element Method.

KEYWORDS: contact time, plastic deformations, aluminium alloy, ABAQUS

Umiejętność wykonywania kontrolowanych powierzchniowych odkształceń plastycznych w materiale jest kluczowa w aspekcie uzyskiwania powtarzalności pożądanych cech funkcjonalnych i eksploatacyjnych, takich jak: jakość powierzchni, wytrzymałość zmęczeniowa oraz odporność na zużycie [6]. Cechy te zmieniają się w zależności od parametrów nagniatania [7].

Jednym z najważniejszych wskaźników efektywności obróbki umacniającej jest intensywność nagniatania. Pomiar intensywności obróbki są prowadzone z zastosowaniem testu Almena. Metoda ta polega na pomiarze strzałki ugięcia próbki wzorcowej o znormalizowanych wymiarach, która została wystawiona na działanie strumienia medium obróbkowego [4].

Kolejna metoda pomiaru podatności na nagniatanie opiera się na pomiarze prędkości elementu nagniatającego przed uderzeniem w obrabiany element i po nim. Pomiaru dokonuje się z użyciem szybkich kamer, a wynikiem jest iloraz drogi i czasu lotu kulki [1]. Odmianą tej metody jest użycie stroboskopu zamiast kamery. Zarejestrowany obraz prezentuje kolejne położenia kulki w ciągu znanego przedziału czasu [5].

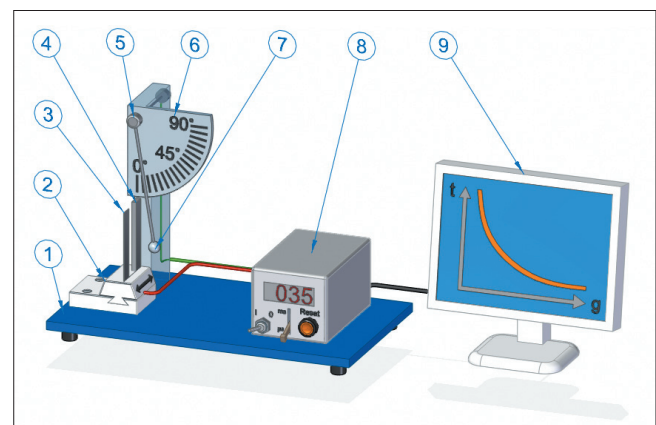
Inną metodą pomiaru efektywności nagniatania jest pomiar czasu lotu kulki z użyciem czujników indukcyjnych. Wprowadzenie stalowej kulki między powierzchnie czujników powoduje zmianę pola elektromagnetycznego. Zależnie od właściwości technologicznych warstwy wierzchniej, w tym chropowatości powierzchni, oraz grubości próbki, czas przelotu kulki po odbiciu od badanej powierzchni będzie zmienny [2, 8].

Coraz częściej badania na fizycznych modelach zastępuje się eksperymentami numerycznymi przeprowadzanymi metodą elementów skończonych (MES) [1]. Takie podejście wymaga dużego doświadczenia i prawidłowego zdefiniowania warunków brzegowych [3].

Celem badań jest analiza porównawcza podatności na odkształcenia metalowych struktur cienkościennych o różnej grubości ścianki, wykonanych ze stopu aluminium EN AW-7075 T4, metodą pomiaru czasu styku.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono na stanowisku do pomiaru czasu styku (rys. 1). Stanowisko umożliwia wykonywanie pomiarów porównawczych czasu styku dla próbek o różnej grubości.

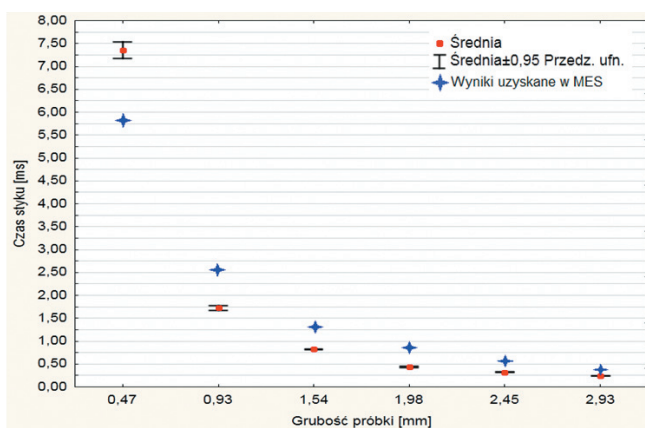


Rys. 1. Stanowisko do pomiaru czasu styku: 1 – podstawa, 2 – uchwyt, 3 – próbka cienkościenna, 4 – próbka grubościenna, 5 – wahadło, 6 – tarcza z podziałką kątową, 7 – kulka, 8 – układ elektroniczny, 9 – komputer

Zasada działania stanowiska pomiarowego polega na sprzężeniu układu mechanicznego z układem elektronicznym. Układ mechaniczny jest odpowiedzialny za przekazywanie energii mechanicznej pochodzącej od kulki (7) wahadła (5). Energia całkowita kulki przemieszczającej się po łuku o promieniu $R = 200$ mm zostaje zamieniona na energię sprężysto-plastycznego odkształcenia badanej

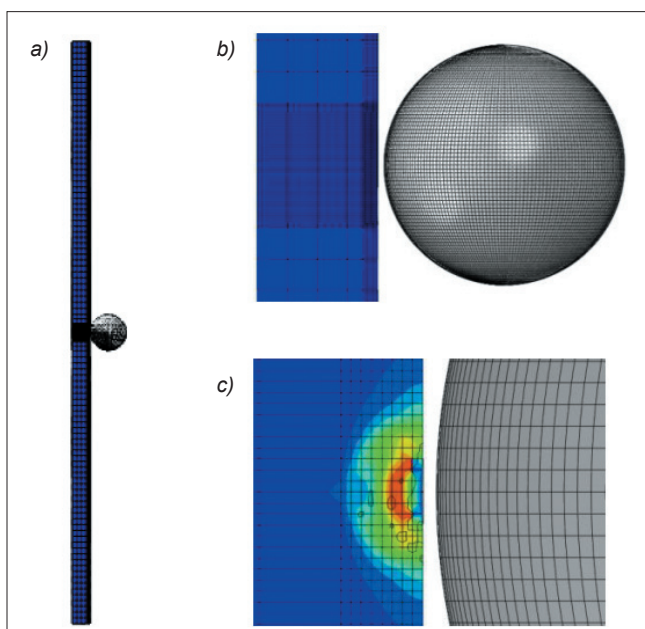
* Mgr inż. Stanisław Bławucki (s.blawucki@pollub.pl), dr hab. inż. Kazimierz Zaleski prof. PL (k.zaleski@pollub.pl) – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Lubelskiej

próbki. W wyniku kontaktu kulki z elementem grubościennym (4) dochodzi do punktowego odkształcenia w obszarze uderzenia. Podczas uderzenia kulki z dokładnością pozycjonowania ± 1 mm w środek geometryczny próbki cienkościennych (3) dochodzi do lokalnego punktowego odkształcenia w punkcie styku, przy czym obserwuje się ruch drgający swobodnego końca badanego elementu. Układ elektroniczny (8) zlicza impulsy elektryczne w czasie styku kulki z próbką, a następnie przetwarza sygnał wejściowy na sygnał wyjściowy wyskalowany w jednostce czasu.



Rys. 2. Wpływ grubości próbki na czas styku

Badania pomiaru czasu styku (rys. 2) wykonano na próbkach o wymiarach 15×100 mm o zmiennej grubości ścianki g wynoszącej: 0,47 mm; 0,93 mm; 1,54 mm; 1,98 mm; 2,45 mm oraz 2,93 mm. Pomiary czasu styku przeprowadzono 30 razy przy ustalonych warunkach otoczenia: temperaturze 20°C oraz wilgotności powietrza 55%. Wyniki otrzymanych pomiarów dla poszczególnych próbek zestawiono z rezultatem analizy numerycznej wykonanej w programie ABAQUS. Przyjęto sposób badania próbki jak na rys. 3 oraz masę skupioną w punkcie referencyjnym (środek kulki) o wartości równej masie kulki o średnicy 8 mm. Masę ramienia wahadła pominięto.



Rys. 3. Siatka podziału na elementy skończone wraz z rozmiarem i typem zastosowanych elementów skończonych dla próbki o grubości 2,93 mm: a) widok ogólny, b) widok zagęszczenia siatki, c) obszar styku kulki wahadła z próbką cienkościenną

TABLICA. Wpływ grubości próbki na odkształcenia plastyczne w MES

Grubość g , mm	0,47	0,93	1,54	1,98	2,45	2,93
Odształcenie plastyczne maks. U_{MES} , μm	3,5	5,4	7,8	9,2	12,5	13,1

Obliczenia numeryczne przeprowadzono w module Explicit – zdefiniowano sprężysto-plastyczny model materiału bez uwzględniania efektów zniszczenia. Gęstość badanego stopu EN AW-7075 T4 wynosi 2770 kg/m^3 , moduł Younga $0,72 \times 10^5 \text{ MPa}$, granica plastyczności $R_e = 390 \text{ MPa}$, a wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 490 \text{ MPa}$. Użyto heksagonalnej siatki podziału o długości boku elementu skończonego o lokalnym zagęszczeniu 0,01 mm przy elementach typu C3D8R. Założono współczynnik tarcia w miejscu kontaktu wahadło–próbka $\mu = 0,20$. Zdefiniowano jednostronne zamurowanie próbki na jednym z końców na dystansie 15 mm.

Podsumowanie

W przypadku próbek o grubości: 1,98 mm, 2,45 mm oraz 2,93 mm nie zachodzi istotna różnica w czasie styku próbki z elementem nagniatającym (na poziomie istotności $\alpha = 0,05$). W przypadku próbek o grubości: 0,47 mm, 0,93 mm oraz 1,54 mm obserwuje się znaczący wzrost czasu styku. W praktyce może to oznaczać bardzo niską podatność metalowego elementu cienkościennego na odkształcenie plastyczne w miejscu styku oraz niekorzystne drgania w czasie uderzenia (tablica). Wyniki eksperymentu potwierdziły obliczenia przeprowadzone z użyciem MES, a błąd względny nie przekroczył 20%.

Zaprezentowana metoda oceny podatności struktur cienkościennych na lokalne odkształcenie plastyczne może stanowić nowy sposób przewidywania skuteczności nagniatania dynamicznego elementów cienkościennych, znacznie tańszy i szybszy niż dotychczas stosowane metody. Planowane są dalsze badania doświadczalne na próbkach cienkościennych wykonanych z innych stopów metali oraz dalsze symulacje numeryczne.

LITERATURA

1. Aryaei A., Hashemnia K., Jafarpur K. "Experimental and numerical study of ball size effect on restitution coefficient in low velocity impacts". *International Journal of Impact Engineering*. No. 37 (2010): pp. 1037–1044.
2. Bławucki S., Zaleski K. "The effect of the aluminium alloy surface roughness on the restitution coefficient". *Advances in Science and Technology Research Journal*. Vol. 9, No. 27 (September 2015): pp. 66–71.
3. Gao W., Tan Y., Jiang S., Zhang G., Zang M. "A virtual-surface contact algorithm for the interaction between FE and spherical DE". *Finite Elements in Analysis and Design*. No. 108 (2016): pp. 32–40.
4. Kirk D. "Principles of almen strip selection". *The Shot Peener Magazine*. Vol. 27, Iss. 1 (Winter 2013): pp. 24–32.
5. Sorace C., Louge M., Crozier M., Law V. "High apparent adhesion energy in the breakdown of normal restitution for binary impacts of small spheres at low speed". *Mechanics Res. Com.* No. 36 (2009): pp. 364–368.
6. Zaleski K. „Kształtowanie wybranych właściwości warstwy wierzchniej elementów metalowych w procesie dynamicznego nagniatania rozproszonego”. Lublin: Wydawnictwo Uczelniane PL, 2008.
7. Zaleski K. „Wpływ dynamicznego nagniatania rozproszonego na trwałość zmęczeniową elementów ze stopu tytanu Ti-6Al-4V”. *Maintenance and Reliability*. Nr 4 (2009): s. 65–71.
8. Zaleski K., Bławucki S. "Evaluation of the effectiveness of the shot peening process for thin-walled parts based on the diameter of impressions produced by the impact of shot media". *Advances in Science and Technology Research Journal*. Vol. 9, 26, June (2015): pp. 77–82.