

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Badania doświadczalne i numeryczne energoabsorberów kolumnowych z różnorodnymi inicjatorami zgniotu – analiza porównawcza

Mirosław Ferdynus¹

¹Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn i Mechatroniki, Politechnika Lubelska
email: m.ferdynus@pollub.pl

STRESZCZENIE: Celem badań doświadczalnych i numerycznych jest określenie wpływu rodzaju inicjatora zgniotu na zachowanie energoabsorbera kolumnowego podczas jego destrukcji oraz na osiągnięte wskaźniki energoabsorbcyjne. Obiektem badań jest energoabsorber kolumnowy pasywny (tzw. crash box) wykonany ze standardowego profilu cienkościennego (stop aluminium AW 6063-T5), o przekroju kwadratowym z trzema rodzajami inicjatorów zgniotu: w postaci walcowych przetłoczeń na krawędziach bocznych, sferoidalnych przetłoczeń na ścianach bocznych oraz innowacyjny typ w którym właściwości materiałowe zostały strefowo zmienione poprzez odpowiednie wyżarzanie. Dla tych obiektów przeprowadzono badania eksperymentalne na wieży zrzutowej Instron Ceast 9350 HES z wykorzystaniem kamery szybkiej oraz opracowano modele numeryczne, które zostały walidowane eksperymentem. Obliczono wskaźniki energoabsorbcyjne: CLE (Crash Load Efficiency), SE (Stroke Efficiency) oraz TE (Total Efficiency). Wyniki porównano, wyciągnięto wnioski zarówno dotyczące wpływu rodzaju inicjatora na osiągnięte wskaźniki jak i dotyczące dalszych prac.

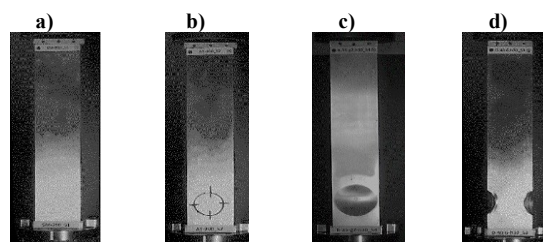
SŁOWA KLUCZOWE: energia absorbowana, energoabsorber kolumnowy, wskaźniki energoabsorbcyjne

1. Wprowadzenie

Cienkościennie rury metalowe, w szczególności o przekroju kwadratowym, prostokątnym lub kołowym, są szeroko stosowane jako pochłaniacze energii, ponieważ są stosunkowo niedrogie i wydajne i były dość szeroko badane [1-4]. Jednakże, bardzo mało uwagi poświęcono samemu zjawisku triggerowania i wpływie prawidłowego doboru inicjatora zgniotu, jego parametrów geometrycznych i położenia na uzyskiwane wskaźniki energoabsorbcyjne. Głównym celem pracy jest wypełnienie tej luki zwłaszcza jeżeli chodzi o wpływ rodzaju triggera na wskaźniki energoabsorbcyjne osiągnięte przez energoabsorber. Zaprezentowany zostanie również innowacyjny rodzaj inicjatora zgniotu, który jest niewidoczny i powstaje poprzez osłabienie materiału poprzez odpowiednie ściśle umiejscowione wygrzewanie.

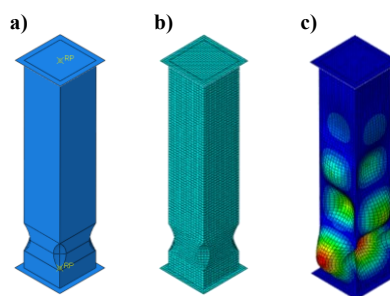
2. Obiekt badań

Obiektem badań był energoabsorber kolumnowy (crash box) wykonany ze standardowego profilu ze stopu aluminium AW6063-T5 (rys 1a) o przekroju kwadratowym i grubości ścianki 1,2 mm. Jeden z profili został poddany wygrzewaniu palnikiem przez odpowiedni czas w miejscu widocznym na rysunku 1b (cztery ścianki), aby struktura materiału zmieniła się i jego twardość uległa zmniejszeniu w ten sposób powstał innowacyjny i niewidoczny gołym okiem trigger. Kolejne inicjatory zgniotu na energoabsorberach wytłoczono z wykorzystaniem oprzyrządowania (sferoidalne przetłoczenia na ściankach wklęsłe i wypukłe – rys 1c, oraz walcowe przetłoczenia na krawędziach 1d). Pewne prace dotyczące tego typu inicjatorów zostały już opublikowane [5, 6]



Rys. 1. Przykładowe próbki zamontowane na stanowisku tuż przed zgniotem (zdjęcie z kamery szybkiej)

Jednocześnie prowadzono modelowanie i analizy numeryczne MES z wykorzystaniem systemu Abaqus – Explicit, których głównym celem było uzyskanie modeli walidowanych eksperymentem do prowadzenia analiz parametrycznych. Przykładowy model dotyczący walcowego przetłoczenia przedstawiono na rys. 2.

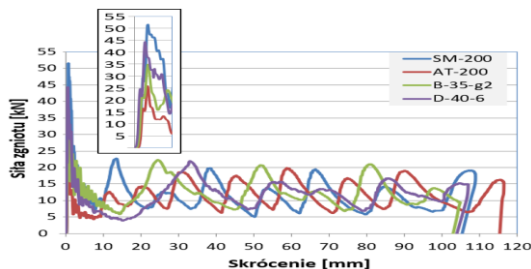


Rys. 2. Model MES energoabsorbera z walcowym przetłoczeniem na krawędzi

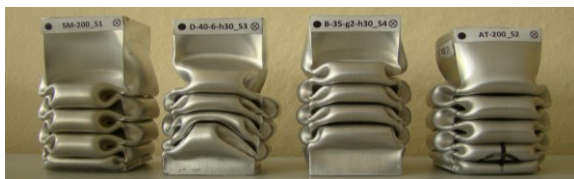
Badane modele zostały oznaczone w następujący sposób: SM – model gładki bez triggera, AT – innowacyjny trigger „termiczny”, D-40-6-h30 – walcowe przetłoczenie na krawędzi o średnicy 40 mm i głębokości 6 mm na wysokości 30 mm, B-35-g2 – sferoidalne przetłoczenie na ściance o średnicy 35 mm i zagłębione na dwie grubości ścianki a więc 2,4 mm. Próbkki i modele numeryczne zostały poddane uderzeniu o energię $E=1,47$ kJ.

3. Wyniki badań

Głównym efektem badań jest uzyskanie charakterystyki siła zgniotu- skrócenie, na podstawie której wylicza się wskaźniki energoabsorbcyjne [7]. Na rysunku 3 przedstawiono je dla badań eksperymentalnych, zaś w tab. 1 zaprezentowano wartości wskaźników. Rysunek 4 pokazuje próbkki po przeprowadzonych testach.



Rys. 3. Charakterystyka siła zgniotu skrócenie dla wybranych próbek w badaniach eksperymentalnych

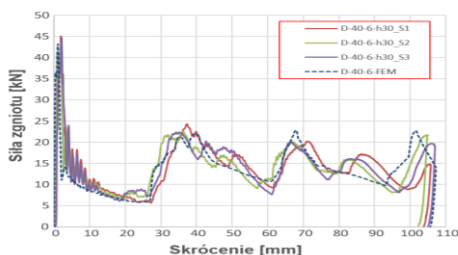


Rys. 4. Próbkki po przeprowadzonych testach

Tabela 1. Wartości wskaźników energoabsorbcyjnych

Model	MCF [kN]	PCF [kN]	CLE [%]	SE [-]	TE [%]
SM-200	13,312	51,595	25,80	0,545	14,05
AT-200	12,447	25,813	48,21	0,583	28,09
B-35-g2	13,347	34,899	38,24	0,524	20,06
D-40-6	13,834	44,654	30,98	0,535	16,57

Walidację modelu numerycznego zaprezentowano na przykładzie modelu D-40-6, gdzie rys. 5 pokazuje charakterystyki dla trzech prób eksperymentalnych i symulacji numerycznej.



Rys. 5. Zależność siła zgniotu- skrócenie dla trzech prób eksperymentalnych modelu D-40-6 oraz modelu MES

Widać, że przebiegi krzywych eksperymentalnych oraz MES są zbliżone przede wszystkim w aspekcie

maksymalnego skrócenia oraz siły PCF. Tabela 2 pokazuje różnice w obliczeniach opartych o dane eksperymentalne i te pochodzące z symulacji numerycznej.

Tabela 2. Wskaźniki energoabsorbcyjne- model D-40-60

Model	MCF [kN]	PCF [kN]	CLE [%]	SE [-]	TE [%]
D-40-6-h30 S1	14,03	45,06	31,14	0,529	16,48
D-40-6-h30 S2	14,07	43,53	32,33	0,524	16,95
D-40-6-h30_S3	13,83	44,65	30,98	0,535	16,57
Średnie z eksperymentu	13,98	44,41	31,49	0,529	16,67
D-40-FEM	13,69	43,20	31,68	0,536	16,99
Różnica [%]	2,09	2,73	0,63	1,30	1,95

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania eksperymentalne wykazały oczywisty pozytywny wpływ inicjatorów zgniotu na osiągnięte wskaźniki energoabsorbcyjne i pozwoliły oszacować ilościowo efektywność poszczególnych rodzajów triggerów. Dane eksperymentalne pozwoliły na walidowanie modeli numerycznych, które posłużą do szeroko zakrojonych badań wpływu parametrów geometrycznych oraz rozkładu twardości (w przypadku triggera termicznego) na osiągnięte wskaźniki. Można wyartykułować pewne wnioski szczegółowe:

- 1) energoabsorber z innowacyjnym triggerem „termicznym” w porównaniu z konstrukcją bez inicjatora zgniotu oraz innymi triggerami charakteryzuje się znacznie lepszymi parametrami,
- 2) energoabsorber z wgłębieniami na krawędziach w porównaniu z tym, w którym przetłoczenia wykonano na powierzchniach bocznych ma gorsze wskaźniki energoabsorbcyjne. Jest też trudniejszy do wykonania technologicznie,
- 3) planowane jest badanie energoabsorbiera hybrydowego w którym cechy modelu AT i B-35 zostaną połączone.

Praca została wykonana w ramach finansowanego przez MNiSW projektu: Nr 030/RID/2018/19.

Literatura

- [1] A.A.A. Alghamdi, Collapsible impact energy absorbers: An overview, Thin-Walled Struct. (2001). [https://doi.org/10.1016/S0263-8231\(00\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0263-8231(00)00048-3).
- [2] S.C.K. Yuen, G.N. Nurick, The energy-absorbing characteristics of tubular structures with geometric and material modifications: An overview, Appl. Mech. Rev. 61 (2008) 0208021-02080215. <https://doi.org/10.1115/1.2885138>.
- [3] A. Baroutaji, M. Sajjia, A.G. Olabi, On the crashworthiness performance of thin-walled energy absorbers: Recent advances and future developments, Thin-Walled Struct. (2017). <https://doi.org/10.1016/j.tws.2017.05.018>.
- [4] F. Xu, X. Zhang, H. Zhang, A review on functionally graded structures and materials for energy absorption, Eng. Struct. 171 (2018) 309-325. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.05.094>.
- [5] M. Ferdynus, M. Kotelko, M. Urbaniak, Crashworthiness performance of thin-walled prismatic tubes with corner dents under axial impact – Numerical and experimental study, Thin-Walled Struct. (2019). <https://doi.org/10.1016/j.tws.2019.106239>.
- [6] M. Ferdynus, P. Rozylo, M. Rogala, Energy absorption capability of thin-walled prismatic aluminum tubes with spherical indentations, Materials (Basel). 13 (2020) 1-19. <https://doi.org/10.3390/ma13194304>.
- [7] M. Kotelko, M. Ferdynus, J. Jankowski, Energy absorbing effectiveness - Different approaches, Acta Mech. Autom. 12 (2018). <https://doi.org/10.2478/ama-2018-0009>.