



Wpływ wkładek formujących na profil fali sprężystej propagującej się w długich prętach

Krzysztof KOCHANOWSKI

*Institut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49
e-mail: krz.kochanowski@gmail.com*

Artykuł wpłynął do redakcji 06.05.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 24.11.2014

DOI: 10.5604/20815891.1138365

Streszczenie. W artykule zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych wpływu wkładek formujących na kształt fal sprężystych propagujących się w prętach zastosowanych w układzie badawczym techniki dzielonego pręta Hopkinsona (SHPB). Analizy przeprowadzono dla wkładek wykonanych z blachy miedzianej i pręta miedzianego dla sześciu różnych grubości oraz dla różnych szybkości uderzenia pręta wymuszającego. Zaprezentowane w artykule wyniki wskazują, iż jeśli zastosowana wkładka jest zbyt gruba, to nie pozwala ona na uzyskanie impulsu obciążenia próbki gwarantującego stałą szybkość odkształcenia. Natomiast zastosowanie zbyt cienkiej wkładki dla zadanej prędkości uderzenia nie powoduje zmniejszenia oscylacji impulsu wymuszającego. Wyniki badań dowodzą, że stosowanie wkładek formujących daje duże możliwości w kształtowaniu fali wymuszającej.

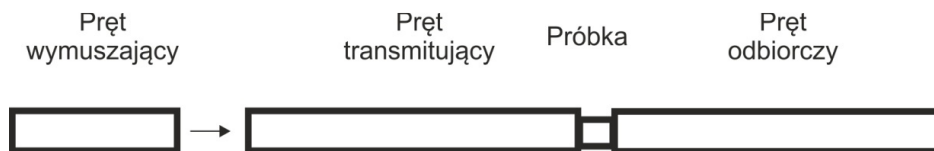
Słowa kluczowe: mechanika, metody badań dynamicznych, dzielony pręt Hopkinsona, wkładki kształtujące falę sprężystą

1. WSTĘP

Do wyznaczania właściwości dynamicznych materiałów stosuje się wiele metod eksperymentalnych. Do najbardziej znanych zaliczane są: test płyta – płyta (ang. *planar plate impact method*), umożliwiający badanie z szybkościami odkształceń dochodzącymi do 10^6 s^{-1} ; test pierścieniowy (ang. *freely expanding ring test*), stosowany do badania plastycznego zachowania się materiałów; uderzeniowy Test Taylora (ang. *impact Taylor test*), pozwalający na wyznaczenie dynamicznej granicy plastyczności oraz metoda dzielonego pręta Hopkinsona SHPB (ang. *Split Hopkinson Pressure Bar*) umożliwiająca badanie z szybkościami odkształceń od 10^3 do 10^5 s^{-1} [1-3].

Spośród wyżej wymienionych, najbardziej powszechną jest metoda dzielonego pręta Hopkinsona. Została ona opracowana w 1949 roku przez Herberta (Harry'ego) Kolsky'ego, który wykorzystał metodę pomiaru impulsu dynamicznego obciążenia za pomocą długiego pręta, opracowaną przez Bertrama Hopkinsona [4, 5].

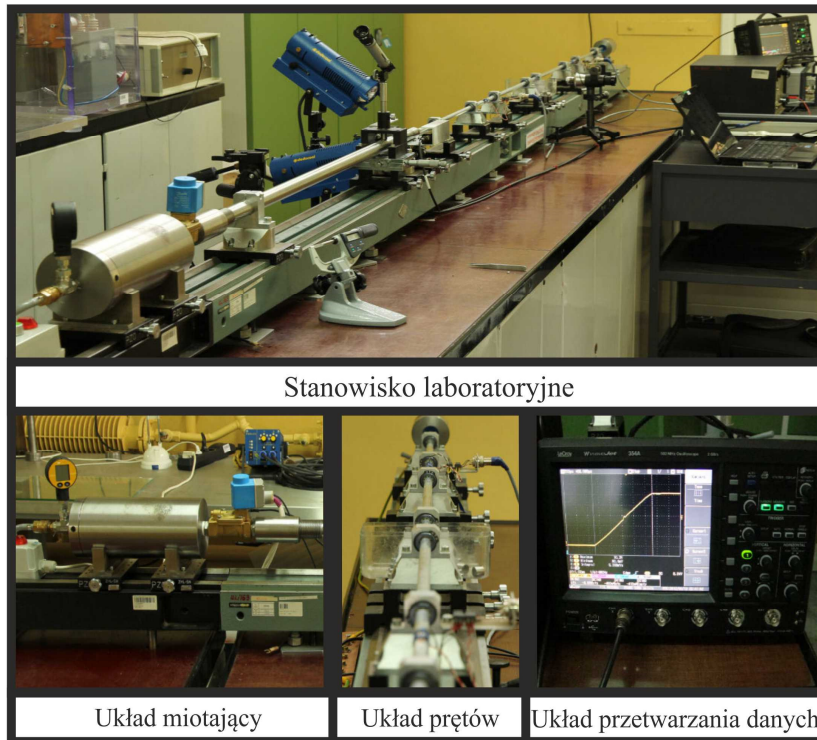
W eksperymencie Kolsky'ego zastosowane zostały dwa pręty – transmitujący oraz odbiorczy, pomiędzy którymi mocowana jest próbka w kształcie dysku. Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawiony został na rysunku 1 [6, 7].



Rys. 1. Idea metody dzielonego pręta Hopkinsona

Fig. 1. Schematic representation of Split Hopkinson bar

W wyniku uderzenia pręta wymuszającego w powierzchnię czołową pręta transmitującego, generowana jest fala ściskająca, propagująca w kierunku próbki. W chwili osiągnięcia płaszczyzny kontaktowej pomiędzy prętem wymuszającym a próbką, część fali odbija się, część zostaje przekazana do próbki, a następnie do pręta transmitującego. Do rejestracji fal propagujących w poszczególnych prętach stosowane są tensometry, które połączone są z układem przetwarzania i archiwizacji danych [6, 7]. Na rysunku 2 przedstawiono widok typowego stanowiska laboratoryjnego metody SHPB dostępnego na Wydziale Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej.



Rys. 2. Widok stanowiska laboratoryjnego metody SHPB oraz jego głównych podzespołów

Fig. 2. View of the laboratory set and its main components

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów fal sprężystych propagujących w prętach można wyznaczyć dynamiczną krzywą umocnienia (krzywa naprężenie – odkształcenie) za pomocą następujących zależności [8-10]:

$$\sigma_S(t) = E_B \frac{A_B}{A_S} \varepsilon_T(t) \text{ – naprężenia występujące w próbce} \quad (1)$$

$$\varepsilon_S(t) = -2 \frac{C_B}{L_S} \int_0^{t_1} \varepsilon_R(t) dt \text{ – odkształcenie próbki} \quad (2)$$

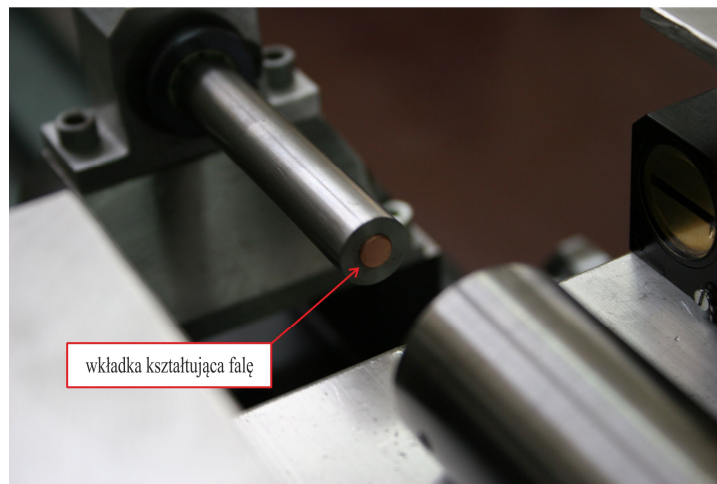
$$\dot{\varepsilon}_S(t) = -2 \frac{C_B}{L_S} \varepsilon_R(t) \text{ – szybkość odkształcenia} \quad (3)$$

gdzie: E_B – moduł Younga materiału prętów, A_B – pole przekroju poprzecznego prętów, A_S – pole przekroju poprzecznego próbki, $\varepsilon_T(t)$ – impuls fali transmitującej, C_B – prędkość fali sprężystej w prętach, L_S – długość próbki, $\varepsilon_R(t)$ – impuls fali odbitej.

Powyższe równania są spełnione w przypadku równowagowego stanu naprężeń występujących w układzie prętów.

Do zjawisk mających znaczący wpływ na poprawność wykonywania testów oraz dokładność otrzymywanych metodą SHPB wyników można zaliczyć: oscylacje powstające podczas uderzenia pręta wymuszającego w pręt uderzeniowy; zmienność szybkości odkształcenia; nierównowagowy stan naprężenia wynikający z efektów inercyjnych oraz tarcia pomiędzy powierzchniami czołowymi próbki i prętów.

Ograniczenie powyższych negatywnych zjawisk można osiągnąć poprzez zastosowanie wkładki kształtującej falę (ang. *pulse shaper* lub *wave-shaper*). Wkładka kształtująca to najczęściej mały dysk wykonany z plastycznego materiału, umieszczony na powierzchni czołowej pręta transmitującego (rys. 3). Zgodnie z pracą [7], wkładki są najczęściej wykonywane z miedzi, ale także z papieru, aluminium, mosiądzu lub stali nierdzewnej. Odpowiednio dobrane wkładki zapewniają po pierwsze eliminację oscylacji wysokich częstotliwości, a po drugie pozwalają na uzyskanie prawie stałej szybkości odkształcenia próbki w trakcie testu dynamicznego.



Rys. 3. Zamocowanie wkładki kształtującej falę na pręcie transmitującym

Fig. 3. Mounting of wave shaper on transmitting bar

Pierwotną przyczyną stosowania wkładek kształtujących falę była potrzeba tłumienia występujących w prętach oscylacji. Powstają one, ponieważ pręt odkształca się nie tylko wzdłuż osi propagacji fali, ale również radialnie. W wyniku uderzenia pręta wymuszającego w pręt transmitujący, propagująca się fala główna jest przyspieszana lub opóźniana przez zaburzenia falowe, będące rezultatem tzw. efektu brzegowego. Powstałe w powyższy sposób oscylacje powodują, iż następuje dyspersja impulsu wywołanego uderzeniem. Pojawienie się dyspersji skutkuje zmianą profilu (kształtu) impulsu w miarę przemieszczania się fali.

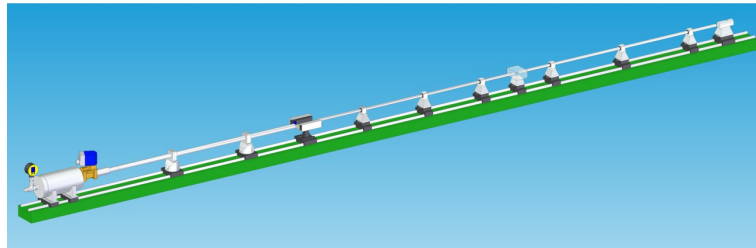
Zjawisko to jest niekorzystne ze względu na dokładność otrzymywanych wyników badań eksperymentalnych. Wynika to z faktu, iż rejestracja fal realizowana jest za pomocą tensometrów, umieszczonych w połowie długości prętów, a nie w pobliżu próbki. W pracy [7] oszacowano, że zastosowanie wkładki formującej falę pozwoliło na zmniejszenie błędu pomiarowego, wywołanego dyspersją do poziomu poniżej 3%.

Rola wkładki formującej jest bardzo istotna ze względu na wymagania metodyczne metody SHPB. Jednakże właściwe dobranie wymiarów i materiału wkładki kształtującej falę stwarza duże problemy i jest bardzo złożonym zagadnieniem. Wynika to z faktu, że w zależności od prędkości uderzenia, materiału i wymiarów prętów oraz próbki, należy tak dobrać geometrię wkładki, aby wyłumić oscylacje fali wymuszającej, a jednocześnie uzyskać stałą prędkość deformacji próbki. W ramach niniejszej pracy podjęto próbę oceny wpływu grubości wkładki miedzianej na oscylacje i kształt fali wymuszającej, generowanej podczas uderzenia z różnymi prędkościami pręta wymuszającego.

2. METODYKA BADAŃ LABORATORYJNYCH

Badania przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym przedstawionym na rys. 2. Składa się ono z trzech głównych podzespołów: układu miotającego; układu prętów oraz układu przetwarzania i archiwizacji danych (wzmacniacz tensometryczny SGA0B; oscyloskop LeCroy WaveJet 354A; tensometry CEA-13-062UW-350).

Dla zapewnienia współosiowości układu miotającego z zespołem prętów zastosowane zostały ława optyczna oraz precyzyjne podpory (rys. 2 i 4).



Rys. 4. Schemat zamocowania układu miotającego oraz prętów na ławie optycznej

Fig. 4. Scheme of mounting of the propellant system and bar's on the optical bench

Wszystkie pręty zastosowane w stanowisku laboratoryjnym wykonane zostały ze stali maraging gatunku 350 o średnicy 12,05 mm. Długość pręta transmitującego i wymuszającego wynosiła 1218 mm, podczas gdy długość pręta uderzeniowego była równa 200 mm. Właściwości fizyczne materiału prętów zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości fizyczne stali

Table 1. Physical properties of steel

Właściwość	Wartość
Umowna granica plastyczności	$R_{0,2} = 2032 \text{ MPa}$
Moduł Younga	$E = 190,6 \text{ GPa}$
Prędkość dźwięku w prętach	$C_0 = 4860 \text{ m/s}$

Do odczytu naprężeń występujących w prętach zastosowane zostały tensometry, które poprzez mostki tensometryczne oraz wzmacniacz połączone są z oscyloskopem. Według informacji literaturowych [7], układ przetwarzania i archiwizacji danych powinien charakteryzować się pasmem przenoszenia o częstotliwości przynajmniej 100 kHz. W niniejszych badaniach zastosowano układ rejestracji o paśmie przenoszenia wynoszącym 1 MHz.

Wkładki kształtujące falę wykonane zostały z blachy miedzianej oraz z pręta miedzianego. Przygotowanych zostało 6 zestawów o różnej grubości. Do wykonania wkładek z blachy zastosowano dwie metody: metodę wykrawania – w przypadku wykorzystania półfabrykatu w postaci blachy oraz metodę elektroerozyjnego cięcia drutem – w przypadku półfabrykatu w postaci pręta. W tabeli 2 przedstawiono wymiary otrzymanych wkładek.

Tabela 2. Wymiary zastosowanych wkładek

Table 2. Dimensions of used wave shapers

Grubość wkładki [mm]	Średnica wkładki [mm]	Półfabrykat
0,1	5,3	blacha
0,2	5,3	blacha
0,3	5,3	blacha
0,42	5,3	blacha
0,6	4,0	pręt
2	4,0	pręt

3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH ORAZ ICH ANALIZA

Dla każdej z wymienionych w tabeli 2 grubości wkładek kształtujących impuls przeprowadzono badania przy różnych wartościach ciśnień napędzania pręta uderzeniowego. Wynosiły one odpowiednio 1, 2 oraz 3 bar.

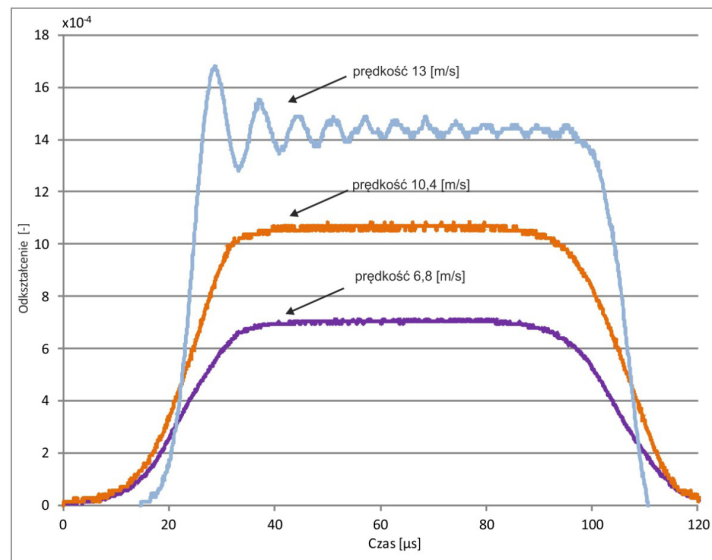
Ponieważ przy zadanym ciśnieniu prędkości pręta uderzeniowego różniły się, w dalszej części pracy posłużono się uśrednionymi wartościami prędkości w zależności od ciśnienia, przedstawionymi w tabeli 3.

Tabela 3. Uśrednione wartości prędkości w zależności od ciśnienia

Table 3. Mean values of speed depending on the pressure

Wartość ciśnienia [bar]	Uzyskiwana prędkość [m/s]
1	$6 \pm 0,5$
2	10 ± 1
3	13 ± 1

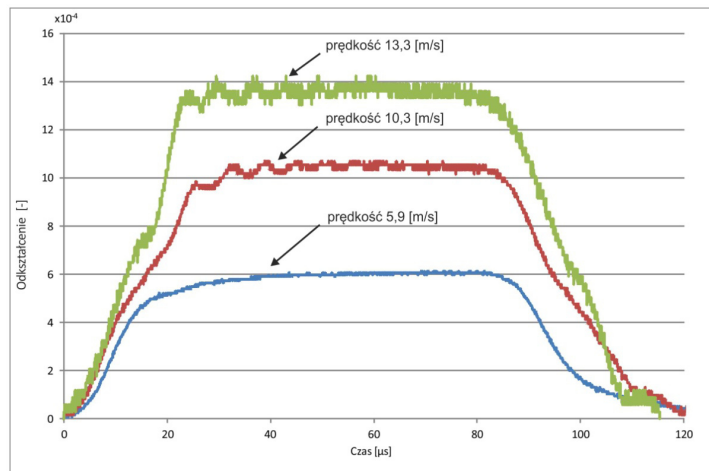
Na rysunkach od 5 do 9 zostały zaprezentowane przebiegi fal sprężystych propagujących w prętach w zależności od czasu oraz odkształcenia. Rysunek 5 przedstawia wyniki uzyskane dla testów kalibracyjnych. Przedmiotowe badania wykonane zostały bez zastosowania wkładek kształtujących falę.



Rys. 5. Profile fal wymuszających w zależności od prędkości uderzenia bez zastosowania wkładek kształtujących impuls

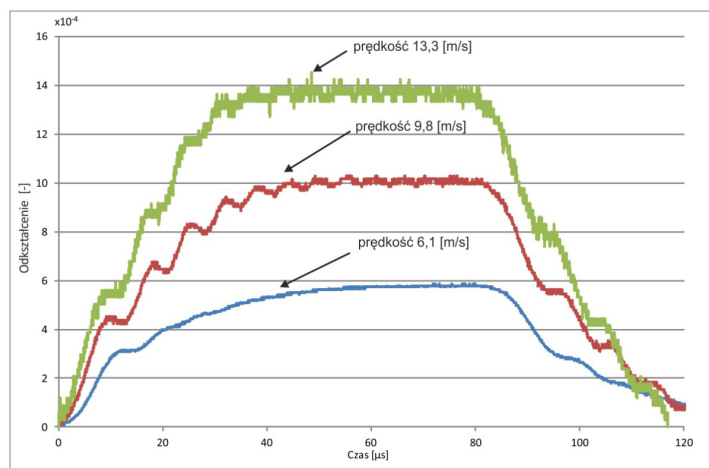
Fig. 5. Profiles of waves depending on the speed of impact without the use of wave shaper

Z kolei na rysunkach 6 i 7 przedstawiono profile fal wymuszających dla trzech prędkości uderzenia i wkładek o grubościach 0,2 mm (rys. 6) oraz 0,3 mm (rys. 7).



Rys. 6. Przebiegi dla wkładki kształtującej impuls o grubości 0,2 mm

Fig. 6. Waveforms for wave shaper with a thickness of 0.2 mm



Rys. 7. Przebiegi dla wkładki kształtującej impuls o grubości 0,3 mm

Fig. 7. Waveforms for wave shaper with a thickness of 0.3 mm

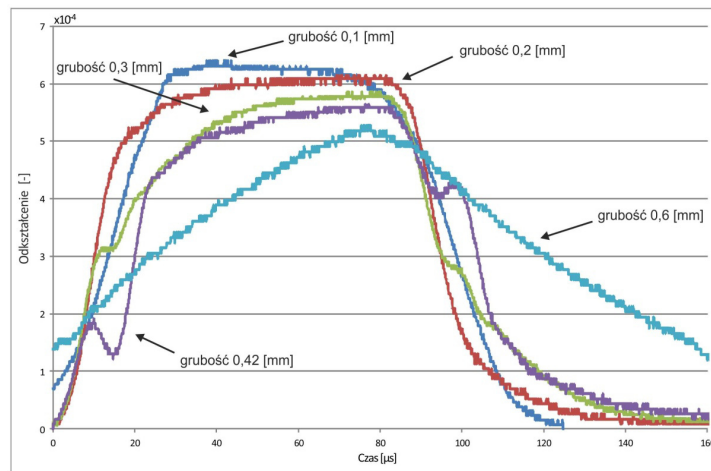
Ogólnie należy stwierdzić, iż we wszystkich przypadkach profile fal mają kształt zbliżony do trapezu. Kształt wyraźnie zbliżony do trapezu można zaobserwować dla testów bez użycia wkładki oraz z wkładką o grubości 0,2 mm.

Dla testów z zastosowaniem wkładki o grubości 0,3 mm uzyskany kształt impulsów odbiega od trapezowego, a jednocześnie są obserwowane zaburzenia występujące na zboczu narastającym i spadkowym impulsu. Na kształt fali, a w szczególności na jej amplitudę, wyraźny wpływ ma grubość wkładki. Przy prędkości 13 m/s dla testu kalibracyjnego uśredniona amplituda wynosiła $14,26 \times 10^{-4}$, natomiast w przypadku testu przeprowadzonego z tą samą prędkością uderzenia, lecz z zastosowaniem wkładki o grubości 0,2 mm uśredniona amplituda wynosiła $13,6 \times 10^{-4}$. Najmniejsza amplituda impulsu, wynosząca $13,3 \times 10^{-4}$, została zaobserwowana dla wkładki o grubości 0,3 mm, którą zastosowano w teście przeprowadzonym z prędkością wynoszącą 13,3 m/s. Spadek amplitudy dla testu z wkładką 0,3 mm w porównaniu z testem bez wkładki wyniósł zatem 6,7%. Jednakże zastosowanie wkładki wydłuża czas narastania i spadku impulsów. Przekłada się to na skrócenie części impulsu, dla której wartość amplitudy podlega niewielkim zmianom (plateau). Ponadto obecność wkładki wpływa także na wydłużenie czasu trwania fali. Odpowiednio czas trwania fali dla testu kalibracyjnego (prędkość uderzenia 10,3 m/s) wynosił około 102 μ s, podczas gdy dla testu z zastosowaniem wkładki o grubości 0,2 mm wynosił 110 μ s. Natomiast czas trwania fali powstałej od wkładki 0,3 mm podczas eksperymentu ze zbliżoną prędkością uderzenia wynosił 118 μ s. Powyższe wyniki są zgodne z przewidywaniami oraz danymi literaturowymi [1].

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na to, że wielkość oscylacji w istotny sposób zależy od prędkości uderzenia. Największe oscylacje występują w przypadku testów wykonanych z prędkościami 13,3 m/s i bez zastosowania wkładki formującej. W miarę zmniejszania prędkości uderzenia, oscylacje znikają. W przypadku testu z prędkością uderzenia 5,9 m/s, profil fali jest prawie całkowicie pozbawiony oscylacji.

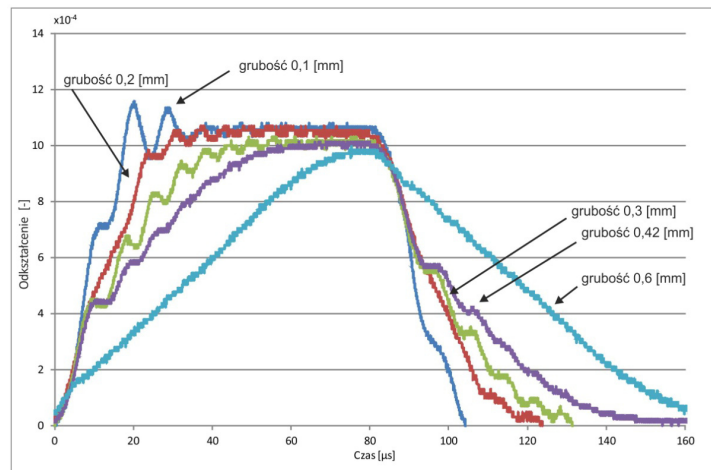
Pomimo zastosowania wkładek kształtujących impuls, testy wykonane z prędkościami 10 oraz 13 m/s ujawniły wyraźne zaburzenia widoczne na zboczach narastających oraz spadkowych. Zaburzenia te są szczególnie wyraźne w przypadku testów z wkładką o grubości 0,3 mm. Zjawisko to jest prawdopodobnie spowodowane dynamiczną reakcją materiału wkładki formującej. Materiał wkładki podczas zderzenia prętów ulega bardzo dużym deformacjom, zachodzącym z bardzo dużymi prędkościami. Podczas tych deformacji materiał wielokrotnie poddawany jest procesowi umocnienia odkształceniowego i osłabienia termicznego. Powoduje to zmiany naprężenia plastycznego płynięcia materiału wkładki w czasie, co prawdopodobnie skutkuje zaburzeniami na zboczach narastających i spadkowych impulsu fali.

Z kolei na rysunkach 8 i 9 przedstawiono profile fal powstałych w wyniku zderzenia z prędkościami wynoszącymi odpowiednio 6 i 10 m/s.



Rys. 8. Profile fal dla prędkości wymuszającej wynoszącej 6 m/s

Fig. 8. Waveforms for forcing speed of 6 m/s



Rys. 9. Profile dla prędkości wymuszającej wynoszącej 10 m/s

Fig. 9. Waveforms for forcing speed of 10 m/s

Należy stwierdzić, iż w dwóch wyżej przedstawionych przypadkach profile impulsów, w zależności od grubości zastosowanej wkładki, zmieniają znacząco swój kształt. Zbliżony do trapezu kształt można zaobserwować dla testów z wkładką o grubości 0,2 mm, natomiast dla testów przeprowadzonych dla wkładki 0,6 mm uzyskany kształt impulsów przypomina trójkąt. Zastosowanie tej wkładki wpłynęło na prawie całkowitą eliminację zaburzeń występujących podczas narastania oraz spadku amplitudy impulsu.

Przedstawione na rysunkach 8 oraz 9 wykresy potwierdzają wcześniej stwierdzony wpływ grubości wkładki kształtującej falę na wartość amplitudy impulsów (patrz rys. 6 i 7). Odpowiednio dla przebiegów uzyskanych przy prędkości wymuszającej 10 m/s przy zastosowaniu wkładki 0,1 i 0,6 mm amplitudy impulsów uzyskały wartości wynoszące $10,6 \times 10^{-4}$ oraz $9,72 \times 10^{-4}$. Wykresy przedstawione na rysunkach 8 i 9 obrazują również wpływ wkładki kształtującej falę na zwiększenie czasu trwania impulsu. Odpowiednio dla testu przeprowadzonego z prędkością uderzenia 10,2 m/s dla wkładki o grubości 0,1 mm czas trwania impulsu wynosił około 104 μ s, natomiast dla testu z wkładką 0,6 mm czas ten wynosił 165 μ s.

4. WNIOSKI

Dobór wkładki kształtującej falę w zależności od planowanych warunków eksperymentu z wykorzystaniem metody SHPB jest zadaniem bardzo złożonym. Na wybór geometrii i rodzaju materiału wkładki mają wpływ zarówno parametry konstrukcyjne stanowiska laboratoryjnego, jak i rodzaj badanego materiału oraz zakładane szybkości odkształceń. W literaturze brakuje przykładów prezentacji wyników, które w pełni ilustrowałyby sposób doboru wkładki formującej falę wymuszającą. Wynika to przede wszystkim z różnorodności stanowisk laboratoryjnych, warunków eksperymentu dynamicznego, a także z faktu, że zagadnienie doboru wkładki jest przedmiotem przygotowania i przeprowadzenia doświadczenia badawczego. Porównywanie wyników z innymi badaniami możliwe jest jedynie w sposób jakościowy ze względu na stosowanie w eksperymentach różnych materiałów, średnic oraz długości prętów.

Podczas badań dynamicznych przy wykorzystaniu metody dzielonego pręta Hopkinsona, wkładka kształtująca impuls odgrywa bardzo ważną rolę. Może ona zostać zastosowana do formowania uzyskiwanych w eksperymencie fal sprężystych. Należy jednak pamiętać o jej odpowiednim dobraniu. Zaprezentowane w artykule wyniki wskazują, iż jeśli zastosowana wkładka jest zbyt gruba, to nie pozwala ona na uzyskanie impulsu obciążenia próbki gwarantującego stałą szybkość odkształcenia. Zastosowanie zbyt cienkiej wkładki dla zadanej prędkości uderzenia nie powoduje zmniejszenia oscylacji fali wymuszającej. Przy prędkości 10 m/s wkładki o grubości 0,6 mm spowodowały zmianę impulsu fali z trapezowego na trójkątny, co w konsekwencji uniemożliwiłoby osiągnięcie metodą SHPB prawidłowych wyników pomiarów. Wkładka o grubości 0,1 mm przy tej samej prędkości eksperymentu nie wytłumiła oscylacji w wystarczającym stopniu.

Na podstawie otrzymanych wyników badań przedstawionych w artykule można stwierdzić, iż zastosowanie wkładek kształtujących falę powoduje spadek wartości amplitudy impulsu oraz wydłużenie czasu jego trwania.

Dla prędkości 13 m/s, dla testu kalibracyjnego oraz testu przy zastosowaniu wkładki o grubości 0,3 mm, wartość procentowa spadku amplitudy wyniosła 6,7%, natomiast wydłużenie czasu trwania fali przy prędkości uderzenia 10,3 m/s dla testu kalibracyjnego oraz testu przy zastosowaniu wkładki o grubości 0,3 mm wynosiło 13,6%. W związku z powyższym stwierdzono, iż w celu otrzymania wiarygodnych wyników badań przeprowadzanych za pomocą metody SHPB należy tak dobrać wkładki kształtujące falę, aby uzyskać stałą szybkość odkształcenia przy jednoczesnym zmniejszeniu (do założonego akceptowalnego poziomu) oscylacji impulsów propagujących w prętach.

Opisane w pracy badania doświadczalne wskazują, iż dobranie odpowiedniej geometrii wkładki kształtującej impuls jest złożonym i pracochłonnym zagadnieniem, dlatego wydaje się, że dobór ich geometrii na drodze symulacji komputerowych może okazać się najskuteczniejszą metodą.

Serdecznie dziękuję Panu pptk. dr. hab. inż. Jackowi Janiszewskiemu z Wydziału Mechaniki i Lotnictwa WAT za wszelką pomoc przy powstawaniu artykułu.

LITERATURA

- [1] Meyers M.A., *Dynamic Behavior of Materials*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA 1994.
- [2] Maciaszek K., *Opracowanie komory próżniowej do wykonywania ekspansji elektromagnetycznej pierścieni*, praca magisterska, WAT, 2009.
- [3] Moćko W., Kowalewski Z., *Opracowanie i weryfikacja modelu MES zminiaturyzowanego stanowiska do badań metodą bezpośredniego uderzenia pocisku w próbkę*, *Transport Samochodowy*, z. 2, IPPT PAN, 2011.
- [4] Kolsky H., *An Investigation of the Mechanical Properties of Materials at Very High Rates of Loading*, Proc. Phys. Soc., London, 1949.
- [5] Baranowski P., Gieleta R., Małachowski J., Damaziak K., Mazurkiewicz L., *Split Hopkinson Pressure Bar impulse experimental measurement with numerical validation*, *Metrology and Measurement Systems*, vol. XXI, pp. 47-58, 2014.
- [6] Frew D.J., Forrestal M.J., Chen W., *Pulse Shaping Techniques for Testing Brittle Materials with a Split Hopkinson Pressure Bar*, *Experimental Mechanics*, vol. 42, pp. 93-106, 2002.
- [7] Chen W., Song B., *Split Hopkinson (Kolsky) Bar Design, Testing and Applications*, Springer, 2011.

- [8] Janiszewski J., *Badania materiałów inżynierskich w warunkach obciążenia dynamicznego*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 2012.
- [9] Kaiser M.A., *Advancements in the Split Hopkinson Bar Test*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 1998.
- [10] Gomez-del T., Barbero E., Zaera R., Navarro C., Dynamic tensile behavior at low temperature of CFRP using a split Hopkinson pressure bar, *Composites Science and Technology*, vol. 65, pp. 61-72, 2005.
- [11] Rhorer R.L., Davies M. A., Kennedy M.D., Dutterer B.S., Burns T.J., *Construction and alignment of Kolsky bar apparatus*, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, http://www.aspe.net/publications/annual_2002/pdf/posters/1equip/1analy/984.pdf.

The Influence of Wave Shapers on the Profile of the Elastic Wave Propagating in Long Rods

Krzysztof KOCHANOWSKI

Abstract. The article presents the experimental results of impact of the wave shapers on the shape of elastic waves propagating through the bars used in split Hopkinson pressure bar technique. Analyses were performed for the wave shapers made of copper sheet and the copper rod for six different thicknesses and for different speeds of the striker bar. Results presented in this article show that if the wave shaper is too thick, it does not allow for obtaining pulse load of the specimen that ensures a constant speed of deformation. However, using too thin wave shaper for a given impact velocity does not decrease oscillations. The results show that the use of wave shaper gives the big opportunities for shaping the elastic wave.

Keywords: mechanics, dynamic test methods, the split Hopkinson bar test, wave shapers shaping elastic wave

