

Ocena właściwości materiału wielowarstwowego Al-Ti zgrzewanego metodą wybuchową po różnych obróbkach cieplnych dla celów modelowania obróbki skrawaniem materiałów kompozytowych

Evaluation of multilayer material Al-Ti properties after various heat treatments for machining of composite materials modeling

MICHAŁ NAJWER
PIOTR NIESŁONY *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.413

W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowych materiału warstwowego zgrzewanego metodą wybuchową AA2519-Ti6Al4V dla różnych przypadków obróbki cieplnej i walcowania. Dodatkowo przeprowadzono symulację numeryczną w celu weryfikacji wyników eksperymentalnych dla potrzeb modelowania obróbki skrawaniem.

SŁOWA KLUCZOWE: Symulacja MES, platerowanie, zgrzewanie, kompozyt

In this paper, the results of strength tests of clad material AA-2519-Ti6Al4V made by explosive welding after various cases of heat treatment and rolling were presented. Additionally numerical simulation was conducted to verify obtained experimental results for modeling machining.

KEYWORDS: Simulation FEM, cladding, explosive welding, composite

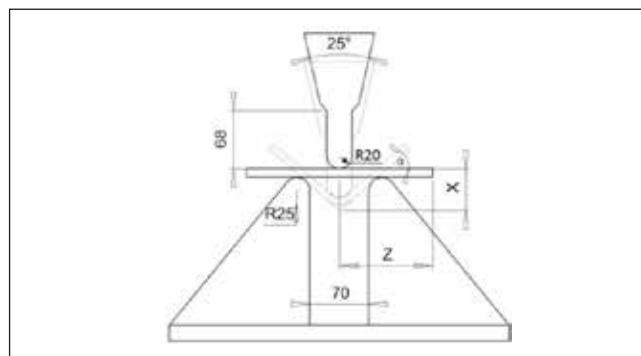
W obecnych czasach dąży się do zmniejszenia mas elementów poprzez stosowanie materiałów ze stopów metali lekkich. Takim przykładem jest trójwarstwowy plater AA2519 (5 mm) – AA1050 (1 mm) – Ti6Al4V (5 mm). Charakteryzuje się on wysoką wytrzymałością oraz odpornością balistyczną. Dzięki temu może być stosowany w przemyśle lotniczym, wojskowym bądź kosmicznym na osłony lub tarcze.

Mimo wysokiej wytrzymałości dzięki odpowiednim obróbkom cieplnym bądź innym procesom technologicznym można jeszcze bardziej poprawić jego właściwości wytrzymałościowe. Zbadano [1], że zastosowanie obróbki cieplnej z chłodzeniem w wodzie lub wykonanie przeróbki plastycznej, takiej jak walcowanie, znacznie wpływa na stan plateru. Ma to odbicie zarówno na wytrzymałości, jak i skrawalności tego materiału. Z tego powodu ustalenie modelu MES adekwatnego do zmienionych właściwości plateru jest jednym z ważnych elementów pozwalających na symulacyjne ustalenie parametrów procesu skrawania dla takich wielowarstwowych materiałów obrabianych.

Cel i metodyka badań

W większości przypadków badany, trójwarstwowy plater (trimetal) znajdzie zastosowanie jako osłony bądź tarcze balistyczne. Z tego też powodu materiał ten będzie formowany głównie poprzez tłoczenie i obróbkę skrawa-

niem. W tym też celu przeprowadzono próby gięcia dla różnych stanów materiału oraz wykonano symulacje MES w celu weryfikacji modelu dla potrzeb modelowania obróbki skrawaniem. Oznaczenia próbek oraz stany materiałowe zostały przedstawione w tabl. I, a schemat próby gięcia zamieszczono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat próby gięcia

TABLICA I. Oznaczenia oraz stany materiałowe próbek

Próbka	Stan
HTS	Stan surowy
HT1	Obróbka cieplna w 530°C przez 120 min + starzenie w 165°C przez 600 min
HT2	Obróbka cieplna w 530°C przez 120 min + starzenie w 165°C przez 600 min + redukcja grubości AA2519 o 15% poprzez walcowanie

Odpowiednie przeprowadzenie procesu symulacji gięcia wymaga zaimplementowanie adekwatnego modelu konstytutywnego. Model materiałowy ma opisywać relacje pomiędzy naprężeniami i odkształceniami występującymi w poszczególnych warstwach trimetalu, w obszarze odkształceń plastycznych, aż do zniszczenia materiału [3]. Współcześnie wykorzystuje się szereg modeli materiałowych, lecz najczęściej do modelowania stopów metali używany jest model Johnsona-Cooke'a (J-C). Uwzględnia on takie parametry, jak umocnienie materiału, prędkość odkształcenia, jak również wpływ zmiękczenia cieplnego na zmianę stanu naprężeń materiału [2]. Do przeprowadzenia symulacji w programie ABAQUS przyjęto model J-C w postaci:

$$\sigma_p = [A + B(\dot{\epsilon}^p)^n] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_{ot}}{T_t - T_{ot}} \right)^m \right] \quad (1)$$

gdzie: σ_p – naprężenia uplastyczniające, $\dot{\epsilon}^p$ – odkształcenia plastyczne, $\dot{\epsilon}_0$ – prędkość odkształcenia odniesienia, T – temperatura, T_t – temperatura topnienia materiału, T_{ot} – temperatura otoczenia, A, B, C, m, n – stałe zależne od modelowanego materiału obrabianego.

* Mgr inż. Michał Najwer (michal1656@gazeta.pl), dr hab. inż. Piotr Niesłony prof. PO (p.nieslony@po.opole.pl) – Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska

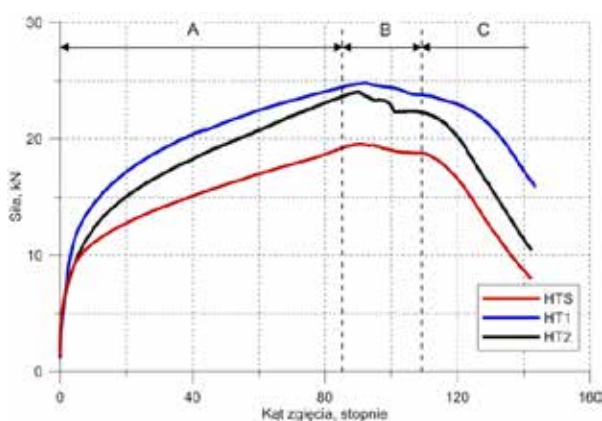
Przyjęte własności fizyczne i parametry modelu J-C dla materiałów warstw plateru podane zostały w tabl. II.

TABLICA II. Własności fizyczne i parametry modelu J-C dla materiałów warstw plateru [2, 4, 5]

Materiał	Gęstość ρ , kg/m ³	Moduł Younga E , Pa	Liczba Poissona ν			
AA2519	2820	$7 \cdot 10^9$	0.33			
AA1050	2710	$7,1 \cdot 10^9$	0.33			
Ti6Al4V	4510	$11 \cdot 10^9$	0.342			
	A , Pa	B , Pa	C	n	m	$\dot{\epsilon}_0$, s ⁻¹
AA2519	$78 \cdot 10^6$	$302 \cdot 10^6$	0.0001	0.46	0.7	1
AA1050	$324 \cdot 10^6$	$113 \cdot 10^6$	0.002	0.42	1.34	1
Ti6Al4V	$862 \cdot 10^6$	$331 \cdot 10^6$	0.012	0.34	0.8	1

Wyniki badań eksperymentalnych i symulacji MES

Wykonane dla trzech stanów plateru próby gięcia, oceniane w funkcji zgięcia trimetalu, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg próby gięcia z rozciąganą warstwą Ti6Al4V oraz wyszczególnionymi charakterystycznymi strefami

Proces gięcia można podzielić na trzy strefy. W strefie A, po ustabilizowaniu się układu, zaobserwowano monotoniczny, jednostajny wzrost siły gięcia w funkcji kąta wygięcia próbki. Strefa B charakteryzuje się pewnymi wahaniami siły gięcia, co może być związane z przewężeniem oraz zmianą kształtu warstwy rozciąganego materiału. Może być to również spowodowane rozpoczęciem procesu przeginięcia próbki i jej wciskania ślizgowego w oprzyrządowanie testowe. Ostatnia strefa C związana jest z wyginaniem próbki włączanej ślizgowo pomiędzy szczęki oprzyrządowania.

Próbki w stanie HTS (rys. 2) wykazywały się najmniejszą podatnością na zginanie. Wyraźny wzrost wytrzymałości zaobserwowano dla próbek HT1 oraz HT2. Dla średniego kąta zgięcia 60° przyrost siły wyniósł odpowiednio 9 kN (53%) i 4,7 kN (28%). Mniejsza siła użyta do zgięcia próbki HT2 spowodowana jest zredukowaniem grubości aluminium poprzez walcowanie, co za tym idzie zmniejszeniem przekroju. Mimo to próbki te wykazywały się największą wytrzymałością. Zestawienie wytrzymałości doraźnej dla poszczególnych stanów badanego trimetalu przedstawiono w tabl. III.

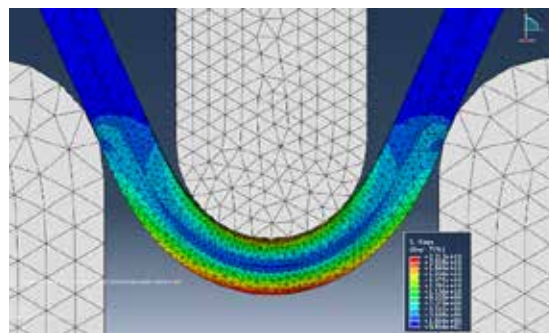
Dodatkowo, w celu oceny wytrzymałości na zginanie w stabilnym obszarze gięcia (strefa A na rys. 2), wyliczono poszczególne gradienty przyrostu siły w funkcji kąta zgięcia. Najmniejszy gradient przyrostu siły w funkcji kąta zgięcia charakteryzowały się próbki HTS. Zastosowanie parametrów obróbki cieplnej, jak dla próbki HT1, spowodowało wzrost gradientu do wartości 130 N/stopień, a najwyższe wartości 150 N/stopień uzyskano dla HT2. Ma to ogromne znaczenie przy projektowaniu technologii kształtowania i obróbki takich materiałów. Wiedza ta pozwala na zaprojektowanie

w odpowiedniej kolejności etapów kształtowania takich platerów, aby obrabiać plastycznie blachy w stanie podatnym na kształtowanie, a procesy obróbki cieplnej prowadzić przed obróbką skrawaniem.

TABLICA III. Wytrzymałości poszczególnych próbek

	Przekrój, mm ²	Siła, kN	Wytrzymałość, MPa
HTS	224,83	19,7	87,62
HT1	227,91	24,0	105,30
HT2	215,14	23,7	110,16

Proces gięcia modelowano w pakiecie Abaqus w celu określenia poprawności modelu konstytutywnego i zastosowanych jego parametrów. Ustalono, że dla analizowanych przypadków gięcia porównywalne wyniki uzyskano dla próbki HT1. Modelowanie MES trimetalu bez obróbki cieplnej (HTS) i po walcowaniu (HT2) wymaga wprowadzenia korekty w parametrach modelu J-C. Można jednak stwierdzić, że zaproponowany model może być wykorzystany do symulacji obróbki skrawaniem badanego plateru w stanie opisanym jako HT1, czyli po obróbce cieplnej i starzeniu.



Rys. 3. Rozkład naprężeń w materiale trimetalu podczas gięcia z rozciąganą warstwą Ti6Al4V

Podsumowanie

- Zaproponowane warunki obróbki cieplnej oraz przeróbki plastycznej wpływają w znaczący sposób na wytrzymałość na zginanie poszczególnych warstw badanego materiału.
- Najwyższą wytrzymałość doraźną uzyskano dla próbki po przeróbce plastycznej HT2 skojarzonej z redukcją grubości warstwy stopu aluminium AA2519.
- Oceniając symulacje MES dla wybranego zakresu parametrów konstytutywnych, ustalono, że porównywalne wyniki uzyskano dla próbki po obróbce cieplnej i starzeniu (HT1).
- Należy przyjąć, że modelowanie MES trimetalu bez obróbki cieplnej (HTS) i po walcowaniu (HT2) wymaga wprowadzenia korekty w parametrach modelu J-C.

LITERATURA

1. Najwer M., Niesłony P. "Ocena mikrotwardości oraz własności wytrzymałościowych trimetalu AA2519-AA1050-Ti6Al4V po różnych obróbkach cieplnych". *Przegląd Spawalniczy*. Nr 4 (2016): s. 16-18.
2. Zhang Y., Outeiro J.C., Mabrouki T. "On the selection of Johnson-Cook constitutive model parameters for Ti-6Al-4V using three types of numerical models of orthogonal cutting". *Procedia CIRP*. Vol. 31 (2015): pp. 112-117.
3. Kosmol J., Mieszczak W. "Zastosowanie metody elementów skończonych do modelowania procesu wiercenia". *Modelowanie Inżynierskie*. Nr 6 (2009): s. 169-176.
4. Schwer L. "Aluminum plate perforation: a comparative case study using Lagrange with erosion, multi-material ALE and Smooth Particle Hydrodynamics". *7th European LS-DYNA Conference*.
5. Beusink M. "Measurements and simulations on the (dynamic) properties of aluminum alloy AA6060". Doctoral thesis, Eindhoven University of Technology, 2011.