

Maciej Włodarczyk ¹⁾

ANALIZA WPŁYWU SIŁ SKRAWANIA ORAZ ZAMOCOWANIA NA POZIOM NAPRĘŻEŃ W ASPEKTCIE GRUBOŚCI ŚCIANEK WYBRANEJ KONSTRUKCJI KIESZENIOWEJ

Streszczenie: W pracy przedstawiono fragment pracy dotyczącej symulacji wpływu sił obróbki oraz zamocowania na postać odkształceń oraz rozkład naprężeń w wybranej konstrukcji kieszeniowej. Przedstawiono wpływ zmiany grubości ścianek na wartość naprężeń zredukowanych oraz poziom odkształceń w konstrukcji, dla której symulowano obróbkę skrawaniem. Symulację komputerową prowadzono z wykorzystaniem MES. Uzyskane wyniki zaprezentowano w postaci kolorowych bitmap oraz wykresów.

Słowa kluczowe: Symulacja obróbki skrawaniem, konstrukcja kieszeniowa, MES.

WSTĘP

Opracowanie wydajnych procesów technologicznych obróbki skrawaniem dla skomplikowanych części lotniczych wykonanych z stopów aluminium lub magnezu, rodzi konieczność przyjęcia właściwego rozwiązania, zarówno co do sposobu zamocowania części na obrabiarkę uwzględniającego wpływ naprężeń i odkształceń pochodzących od sił zamocowania przedmiotu obrabianego, jak również sił skrawania [1, 2, 3, 4].

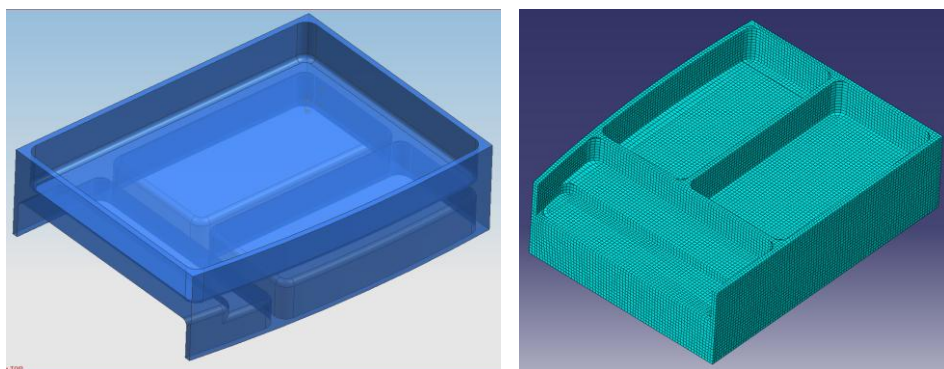
Dzięki programom komputerowym CAE wykorzystującym metodę elementów skończonych (MES) istnieje możliwość symulacji obciążenia zewnętrznego pochodzącego np.: od sił zamocowania, sił skrawania, wpływu ciepła generowanego podczas skrawania na dokładność wymiarowo-kształtową opracowywanej konstrukcji. Definiując właściwie warunki brzegowe możliwa jest analiza przyjętego rozwiązania pod względem zastosowanego oprzyrządowania technologicznego, mocującego element w przestrzeni obróbczej maszyny jak i badanie wpływu przyjętych parametrów technologicznych, takich jak: posuw i prędkość skrawania, na powstałe w materiale obrabianym wartości naprężeń oraz przemieszczeń.

W realizacji zadania posłużono się oprogramowaniem NX6, w celu opracowania modeli geometrycznych części przyjętych do analizy, oraz systemem ABAQUS do prowadzenia symulacji MES.

¹ Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska.

BUDOWA MODELI NUMERYCZNYCH

W pracy przedstawiono jeden z wariantów analizowanej konstrukcji kieszeniowej zaprezentowanej na rys.1. Model stanowi wycinek elementu żebra zamodelowany w postaci bryły cienkościennej o wymiarach gabarytowych 190x140x50 mm. Bryła posiada dwie zamknięte asymetryczne kieszenie po jednej stronie modelu, rozdzielone ścianką od otwartej kieszeni schodkowej. Z drugiej strony modelu, zaprojektowano zamkniętą kieszeń na całej powierzchni żebra. Kieszenie rozdzielają ścianki w zakresie grubości od 0,5 do 12 mm.

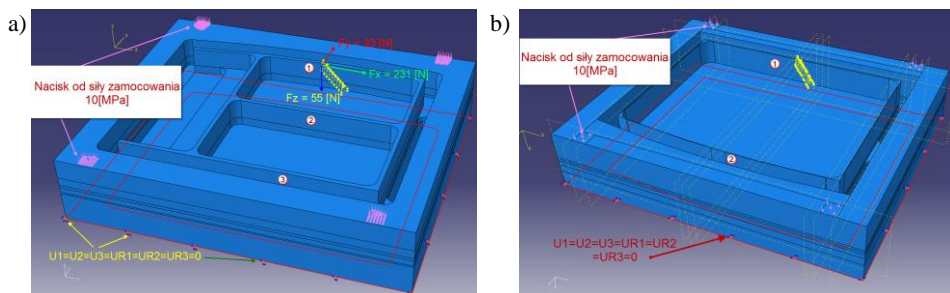


Rys. 1. Widok modelu bryłowego wybranej konstrukcji kieszeniowej typu żebro oraz siatki elementów skończonych wygenerowanej na tym modelu

Modele geometryczne poddano operacji konwertowania na format pośredni „step”, a następnie zaimportowano je do środowiska systemu MES Abaqus 6.9 EF1, w środowisku tym poddano je dyskretyzacji.

Warunki brzegowe oraz obciążenie zewnętrzne zdefiniowane zostały w globalnym układzie współrzędnych modelu, opisanych osiami x, y, z. Na powierzchni podstawy modelu w pierwszym zamocowaniu ograniczono możliwości przemieszczania węzłów we wszystkich kierunkach (x, y, z) modelując w ten sposób utwierdzenie modelu (brak rotacyjnych stopni swobody w węzłach elementów bryłowych). Takie przyjęcie mocowania odpowiadać będzie zamocowaniu elementu na płycie podciśnieniowej – uchwytu mocującego.

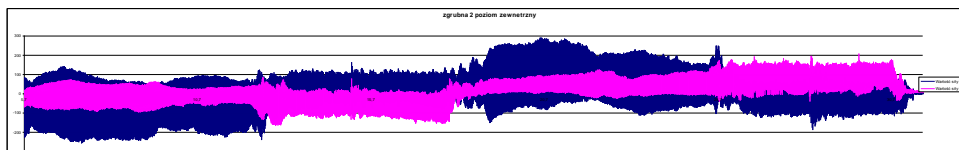
Analiza odkształceń i naprężeń wywołanych siłami skrawania oraz warunkami mocowania, ustalonymi w warunkach brzegowych, prowadzona była wieloetapowo w poszczególnych krokach analizy numerycznej. W zależności od przyjętego wariantu analizowanego modelu, siły skrawania przykładane były zgodnie z założonymi parametrami obróbki wzdłuż linii ścieżek, po których porusza się narzędzie na podstawie torów wygenerowanych w środowisku CAM systemu NX. Widok modelu z miejscami przyłożenia sił obciążających konstrukcję oraz sił zamocowania pokazano na rys. 2.



Rys. 2. a) pierwsze zamocowanie elementu wręgi z zaznaczonymi powierzchniami, na których odebrano stopnie swobody oraz przyłożono obciążenia; b) drugie zamocowanie

Wartość siły skrawania przyjęta w analizie numerycznej została wyznaczona na podstawie przebiegu 3 składowych siły zarejestrowanych podczas próby doświadczalnej.

W eksperymencie skrawaniu frezem R216.33-16040-AJ20UH10F poddano element wykonany w postaci kostki ze stopu EN AW-7075. Frezowanie odbyło się z następującymi parametrami technologicznymi: prędkość skrawania ustalono na poziomie $V_c=25$ m/min przy prędkości obrotowej wrzeciona $n=5000$ obr/min, głębokość skrawania $a_p=4$ mm, szerokość frezowania $a_e=9,6$ mm, posuw roboczy $F_z=0,05$ mm/ostrze. Dla tak określonych parametrów skrawania zarejestrowano przebieg amplitudy sił zaprezentowany na rys.3.

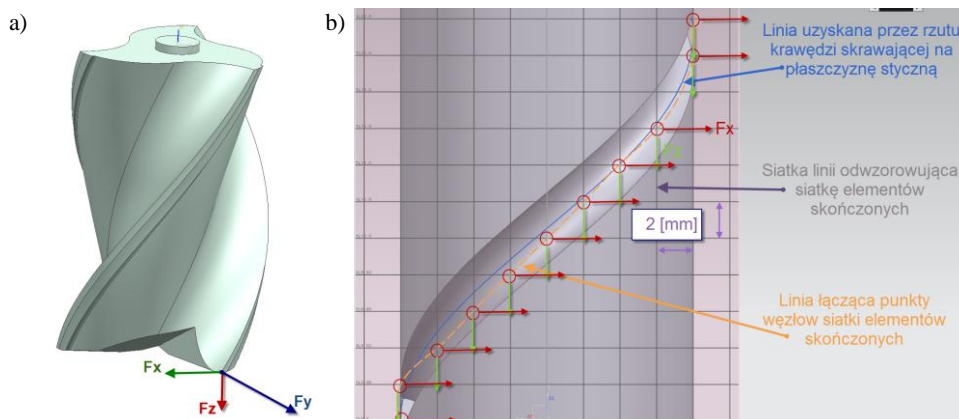


Rys. 3. Przebieg amplitudy siły F_x oraz F_y zarejestrowany podczas próby frezowania stopu EN AW-7075

W celu uproszczenia zadania obliczeniowego, do dalszej analizy numerycznej przyjęto maksymalną wartość składowej F_x z całego przebiegu. Pozostałe składowe siły przyjęto dla danego punktu czasowego, w którym zarejestrowano siłę F_x . Przyjęto następujące wartości sił skrawania na poszczególnych kierunkach: $F_x = 231$ N, $F_y = 33$ N, $F_z = 55$ N.

Podane powyżej wartości siły skrawania przyłożono w 11 punktach węzłowych siatki elementów skończonych. Poszczególne wartości składowych sił zostały podzielone przez liczbę punktów węzłowych, do których przyłożono siły. Położenie tych punktów uzyskano na podstawie rzutu krawędzi skrawającej narzędzia, R216.33-16040-AJ20UH10F o kącie $\alpha=40^\circ$ zamodelowanego w NX7.5 na siatkę linii o podziale równym 2mm odpowiadającym wielkości elementów skończonych przyjętych w analizie, wyznaczając w ten sposób przybliżoną loka-

lizację punktów działania sił skrawania. Przyjęto uproszczenie, że narzędzie obrabia dany materiał przy kącie opasania $A=180^{\circ}$. Sposób wyznaczenia punktów, do których przyłożono siły skrawania przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. a) Przestrzenny układ wektorowy sił przyłożonych do modelu frezu oraz kierunki składowych sił; b) rzut krawędzi skrawającej na płaszczyznę styczną oraz linia utworzona przez punkty przyłożenia sił składowych.

Dla elementu wręgi ze względu na jego konstrukcję przyjęto obróbkę w dwóch zamocowaniach. Konieczność obróbki profilu każdej ze ścian w poszczególnym zamocowaniu technologicznym wymusiła zastosowanie zamocowania pośredniego. Poprzez pośredni element mocujący w postaci specjalnie zamodelowanego fragmentu geometrii (łącznika), element wręgi łączy się ze sztywnym elementem ramki. Do ramki przyłożono nacisk pochodzący od elementów mocujących. Na powierzchniach ramki mocującej odebrano poszczególne stopnie swobody.

Jako materiał wręgi został przyjęty stop aluminium EN AW-7075, dla którego przyjęto właściwości materiałowe według następujących wartości podanych w tabelicy 1.

Tabela 1. Właściwości stopu aluminium EN AW-7075

Gęstość:	2,81 g/cm ³
Moduł sprężystości E:	72 GPa
Moduł Kirchhoffa G:	27,1 GPa
Liczba Poissona:	0,33

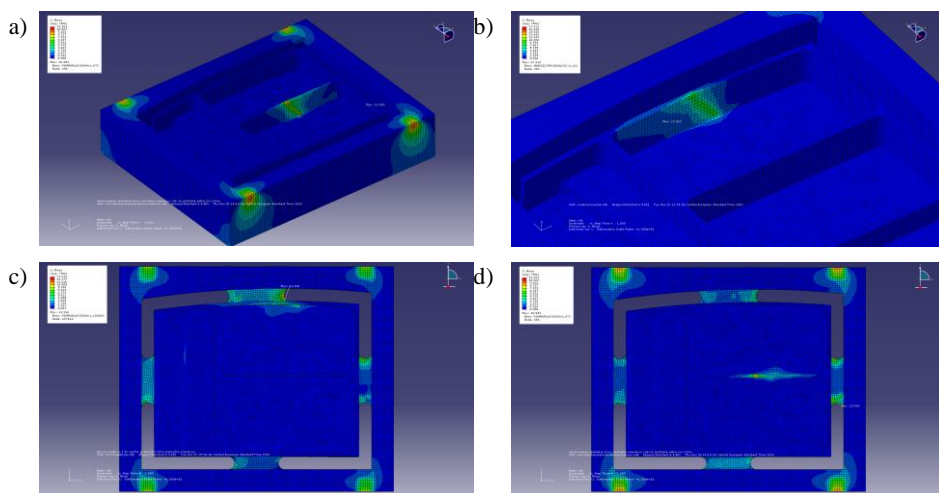
Dla materiału przyjętego do analizy założono charakterystykę materiału, jako liniową.

Analizę numeryczną prowadzono w oparciu o pliki uzyskane po rozwiązaniu ich przez solver „STANDARD” systemu Abaqus. W zadaniu obliczeniowym użyto elementów skończonych typu C3D8R. Zadanie obliczeniowe zdefiniowane

w module „Job” miało następujące założenia: wykonanie analizy, jako kompletnej przy użyciu od 4-8 procesorów.

WYNIKI ANALIZ ODKSZTAŁCEŃ I NAPRĘŻEŃ KONSTRUKCJI

Obliczenia przeprowadzone przez solwer Standard systemu Abaqus wizualizowano w module *Visualization*. Wyniki zaprezentowano na rys. 5. w postaci kolorowych bitmap przemieszczeń węzłów siatki oraz naprężeń zredukowanych wg hipotezy wytrzymałościowej Hubera-Misesa uśrednionych na poziomie 75%.

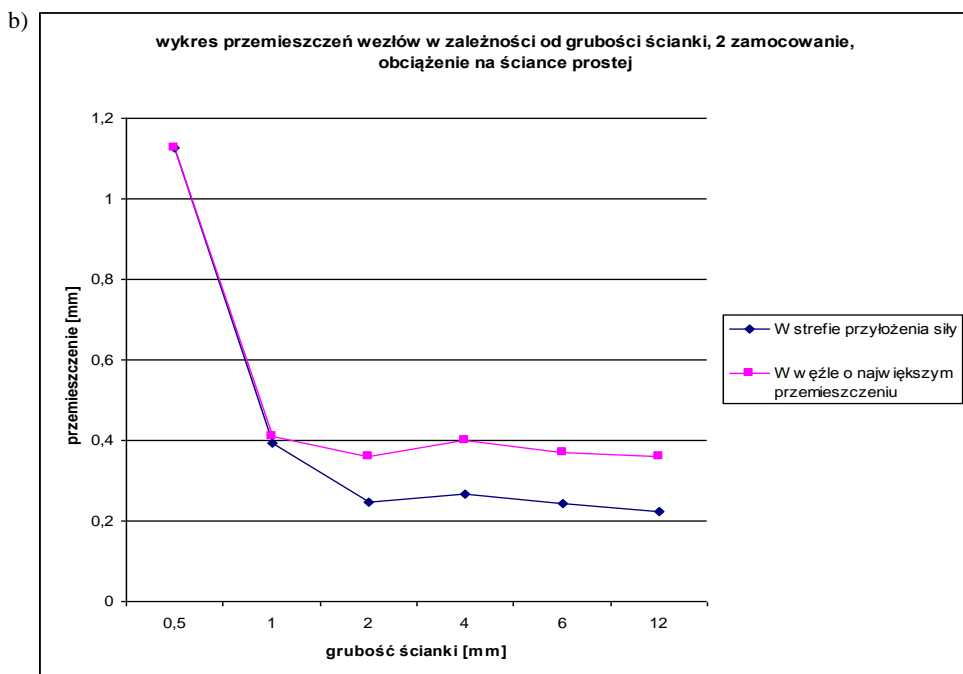
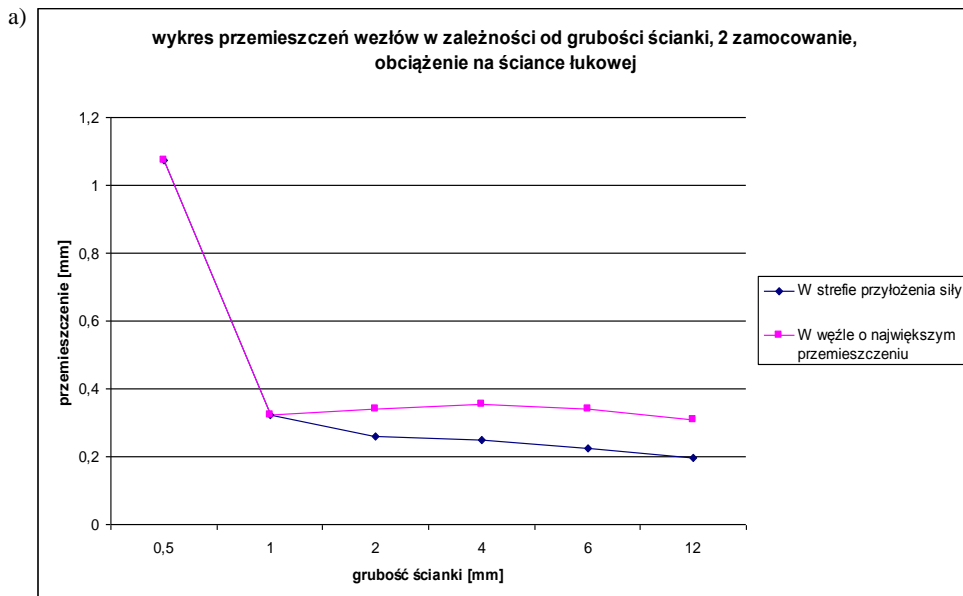


Rys. 5. Rozkład naprężeń zredukowanych wg hipotezy Hubera-Misesa

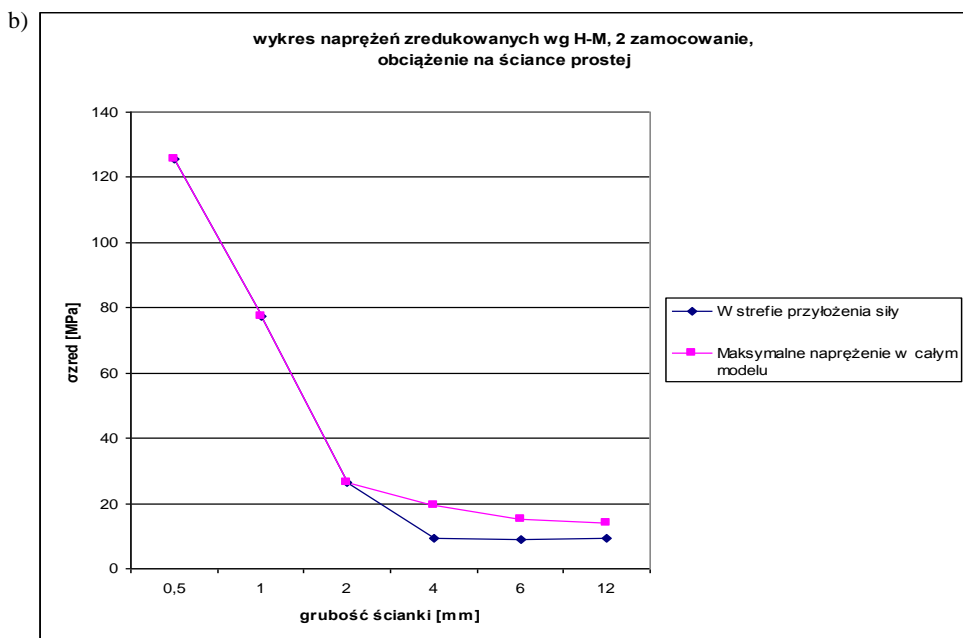
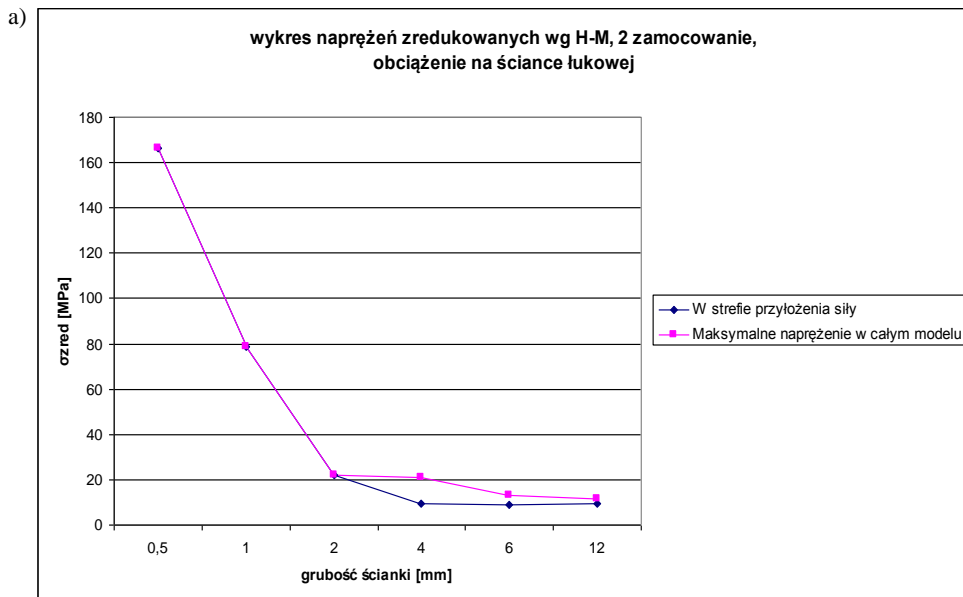
Jak wynika z symulacji największy poziom naprężeń generuje się wokół strefy działania obciążenia pochodzącego od sił skrawania. W zależności od miejsca przyłożenia sił naprężenia generują się również w elemencie łącznika osiągając w nim najwyższy poziom. W strefie przyłożenia sił zamocowania zaobserwowano również zwiększony poziom naprężenia, jednak ich poziom jest na tyle mały, że nie powoduje odkształcenia konstrukcji.

ANALIZA WYNIKÓW SYMULACJI MES

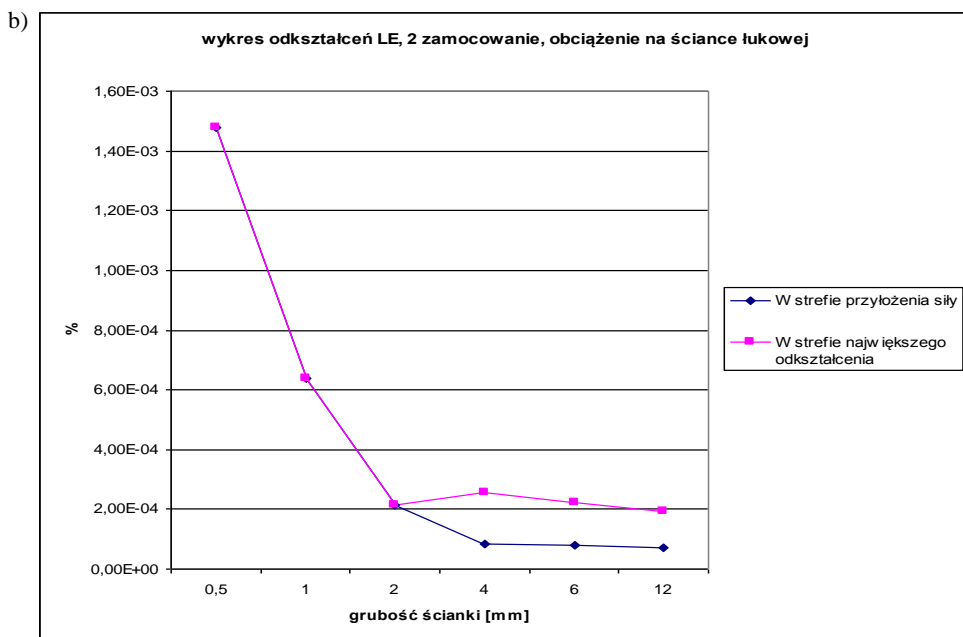
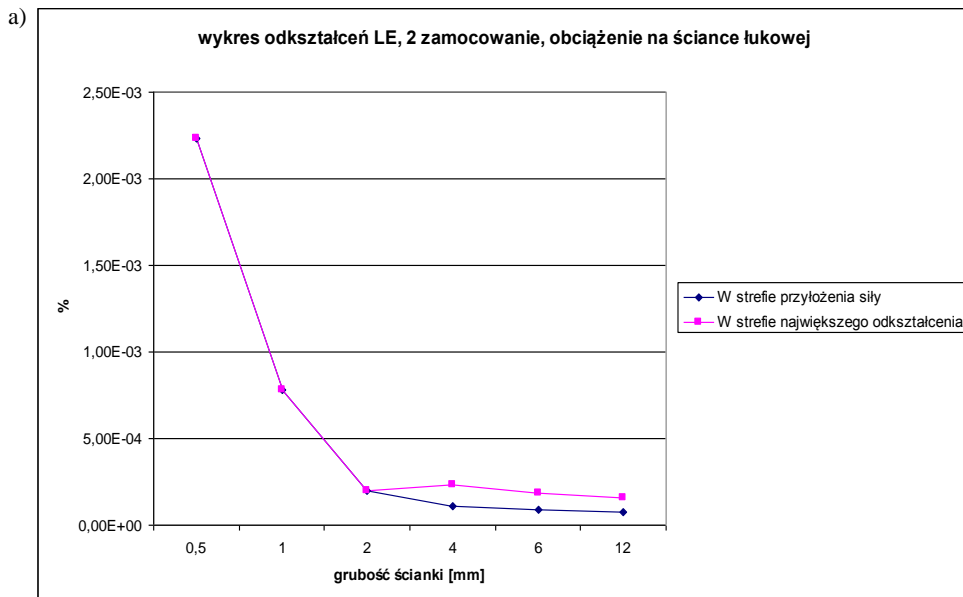
W prowadzonych badaniach symulacyjnych przeprowadzono symulację obciążenia rozłożonego na ściankach o następujących grubościach: 0, 5 – 1 – 2 – 4 – 6 – 12 mm. Wyniki przemieszczeń węzłów siatki, naprężeń zredukowanych oraz odkształceń uzyskane z symulacji MES w zależności od wariantu kształtu obciążonej ścianki w funkcji ich grubości zaprezentowano na wykresach poniżej (od rys. 6 do rys. 8).



Rys. 6. Wykresy największych wartości przemieszczeń węzłów w 2 zamocowaniu w zależności od grubości ścianki: a) przy obciążeniu na łukowej ścianie; b) przy obciążeniu na prostej ścianie

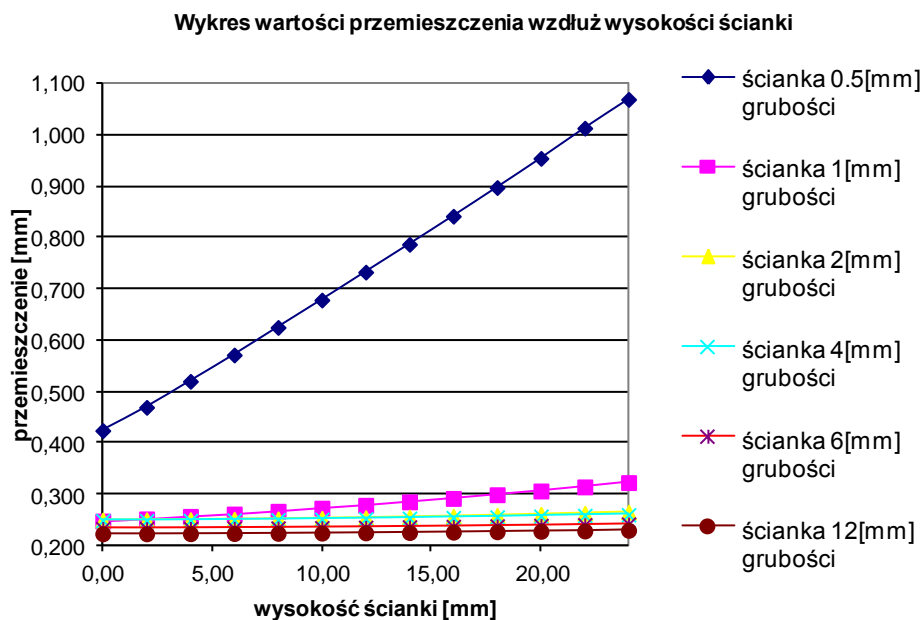


Rys. 7. Wykresy największych wartości naprężeń zredukowanych wg H-M w 2 zamocowaniu w zależności od grubości ścianki: a) przy obciążeniu na łukowej ścianie; b) przy obciążeniu na prostej ścianie



Rys. 8. Wykresy największych wartości odkształceń w 2 zamocowaniu w zależności od grubości ścianki: a) przy obciążeniu na łukowej ścianie; b) przy obciążeniu na prostej ścianie

Na podstawie przeprowadzonych symulacji numerycznych można stwierdzić, że zmiana grubości prostopadłej ścianki obrabianej w tym samym zamocowaniu, przy różnym umiejscowieniu punktów przyłożenia sił skrawania, powoduje wzrost naprężeń zredukowanych, szczególnie w zakresie grubości ścianki 0,5–1 mm (rys. 7). Najwyższy poziom naprężenia zredukowanego 168 MPa, otrzymano dla modelu ze ściankami o grubości 0,5 mm na ściance o kształcie łukowym. Zauważono istotną różnicę w poziomie naprężenia na tym samym rodzaju ścianki, który przy większych grubościach 2-12 mm utrzymywał się na podobnym poziomie około 10-15 MPa. Wzrost naprężeń jest spowodowany zmniejszeniem sztywności ścianki modelu. W pozostałych przypadkach wzrost naprężeń jest nieznaczny zarówno w strefie skrawania jak i w elementach łączników, gdzie przy większej sztywności ścianek obrabianych zaobserwowano zwiększony poziom naprężenia.



Rys. 9. Wykresy największych wartości przemieszczeń w węzłach, w przekroju poprzecznym przez ściankę obciążoną siłami skrawania [11]

Na rys. 9 zaprezentowano wykres przemieszczeń węzłów siatki w przekroju poprzecznym w strefie przyłożenia sił skrawania. Zaobserwowano znaczny wzrost przemieszczeń, odkształceń oraz naprężeń wzdłuż przekroju poprzecznego ścianki, obciążonej siłą skrawania dla grubości 0,5mm. Może to oznaczać, że obciążenie takiego przekroju przy podobnych wymiarach geometrycznych ścianki w warunkach rzeczywistych nie pozwoli osiągnąć żądanej dokładności wymiarowo kształtowej.

WNIOSKI

Modelowanie zagadnień związanych z analizą warunków zamocowania oraz wpływu sił skrawania może pozwolić na wyznaczenie odpowiednich wartości parametrów technologicznych oraz geometrycznych stref zamocowania dla uzyskania właściwej dokładności wymiarowo-kształtowej. Symulując warunki obciążenia w zakresie statycznym możliwe jest wyznaczenie wartości poziomu naprężenia, jaki panuje w konstrukcji podczas skrawania oraz poziomu naprężenia sprężystego w konstrukcji. Prowadzenie symulacji numerycznych w przypadku obróbki elementów cienkościennych wydaje się być szczególnie istotnie ze względu na silnie nieliniowy wzrost poziomu odkształcenia oraz naprężenia w analizowanych przypadkach. Należałoby przeprowadzać w takiej sytuacji symulację z uwzględnieniem nieliniowości materiału po przekroczeniu granicy plastyczności, wyznaczonej na podstawie eksperymentu wytrzymałościowego. W analizowanym przypadku (dla stopu AW-7075) granica plastyczności podawana na poziomie od 80-510MPa.

Należy jednak zauważyć, że zjawiska zachodzące podczas procesu skrawania mają charakter silnie dynamiczny i należałoby zweryfikować uzyskane wyniki poziomu odkształcenia przy założeniu wpływu zmiennego charakteru wymuszenia, w postaci okresowo działających sił skrawania.

PIŚMIENNICTWO

1. Adamski W.: Wybrane kierunki zwiększania wydajności skrawania. *Mechanik* nr 5-6/2009.
2. Mabrouki T., Girardin F., Asad M., Rigal J.: Numerical and experimental study of dry cutting for an aeronautic aluminium alloy (A2024-T351). *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48, (2008).
3. Oczóś K.E., Doskonalenie procesów kształtowania ubytkowego stopów aluminium. *Mechanik* nr 3,4/2009.
4. Zalewski A.: Efektywne wytwarzanie dzięki optymalnej strategii obróbki HSM. *Projektowanie i konstrukcje inżynierskie*, 2007.
5. Bąk R., Burczyński T.: Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego. *WNT*, 2001.
6. Dobrzański L.A.: *Leksykon materiałoznawstwa*. Verlag Dashofer Sp. z o.o. 2007.
7. Dobrzański T.: *Uchwyty obróbkowe*. *WNT*, Warszawa 1990.
8. *Getting started with Abaqus version 6.5*.
9. Jemielniak K.: *Obróbka skrawaniem*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2004.
10. Rakowski G., Kacprzyk Z.: *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 2005.
11. Włodarczyk M.: Raport do umowy z realizacji grantu 108/PL/PKAero-ZB5/2010 z projektu kluczowego „Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w lotnictwie”.

temat badawczy ZB5 „Nowoczesna obróbka mechaniczna stopów magnezu i aluminium”.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF FIXING AND CUTTING FORCES ON STRESS LEVEL IN TERMS OF THE THICKNESS OF POCKETING CONSTRUCTION

Summary:

The paper presents a fragment of the work focused on simulating the impact of cutting and fixing forces on form of strain and stress distribution in the chosen pocketing structure. The paper presents the effect wall thickness on the value of reduced stresses and strains in the level of construction, for which the machining was simulated. Computer simulation was conducted with FEM. The results obtained are presented in the form of color bitmaps, and charts.

Keywords: simulation of machining, pocketing construction, FEM.

Praca realizowana w ramach projektu Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.