

Uproszczony dwuwymiarowy model ugięć cienkiej ścianki wywołanych siłą odporową od frezu

Simplified two-dimensional model of thin wall deflections caused by the reaction force from mill

ANDRZEJ KAWALEC
MARCIN PŁODZIEN *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.442

W artykule omówiono zagadnienie numerycznego modelowania ugięć cienkiej ścianki półwyrobu kształtowanego w procesie frezowania frezem walcowym. Opracowany model obliczeniowy jest dwuwymiarowy i uwzględnia zjawiska przenoszenia nacisków w obszarze styku między frezem a obrabianą ścianką. Do obliczenia przemieszczeń, odkształceń oraz naprężeń zastosowano metodę elementów skończonych.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie cienkiej ścianki, metoda elementów skończonych, modelowanie styku, przemieszczenia, odkształcenia i naprężenia

In the paper there is described the problem of numerical modeling of deflections of thin wall in the process of milling using plain milling cutter. Developed numerical model is two-dimensional and takes into consideration the distribution of pressure phenomena between the milling cutter and manufactured wall. For computing displacements, strains and stresses the finite element method was used.

KEYWORDS: milling of thin wall, finite element method, contact modeling, displacements, strains and stresses

Współczesne urządzenia muszą spełniać coraz surowsze wymagania dotyczące m.in. odpowiedniej funkcjonalności, wytrzymałości, trwałości, małej masy, bezpieczeństwa użytkownika i przyjazności dla środowiska. Szczególne warunki odnoszą się do środków transportu lądowego i powietrznego, zwłaszcza techniki lotniczej, gdzie odpowiednia wytrzymałość i mała masa danego środka transportu wpływają na efektywność jego użytkowania. Stałe doskonalą się więc zarówno konstrukcje, jak i technologie, aby sukcesywnie zmniejszać masę własną samolotu przy braku pogorszenia jego pozostałych właściwości. Prowadzi to do coraz bardziej powszechnego stosowania monolitycznych konstrukcji cienkościennych ze stopów metali lekkich i kompozytów [1]. Elementy takie posiadają wiele cienkich ścianek (rys. 1). Wytwarzanie ich wiąże się jednak z szeregiem problemów wynikających z dużej podatności ścianek, które ulegają deformacjom w trakcie procesu ich kształtowania metodą frezowania.

Odkształcenia wytwarzanych w procesie frezowania elementów cienkościennych mogą skutkować nadmiernymi błędami ich wykonania [2÷6], co powoduje ich eliminację z dalszego procesu wytwarzania oraz straty materialne ponoszone przez producenta. W celu zminimalizowania tych skutków prowadzi się badania eksperymentalne i numeryczne służące określeniu przemieszczeń, odkształceń i naprężeń w obrabianych elementach, narzędziach i oprzyrządowaniu technologicznym. Szczególną rolę odgrywają w tym przypadku metody modelowania, gdyż zjawiska zachodzące w ścisłej strefie obróbki są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do poznania empirycznego

na obecnym etapie wiedzy i technologii m.in. ze względu na ograniczenia pomiarowe, brak odpowiednich metod, urządzeń i systemów pomiarowych. Analiza numeryczna pozwala na określenie wpływu wybranych parametrów wejściowych, opisujących kształt i wymiary obrabianych przedmiotów i narzędzi, ich właściwości materiałowe, warunki procesu technologicznego i in. na pole odkształceń, naprężeń i temperatury, dokładność wykonania wyrobu, jakość ukształtowanej powierzchni i in. [1, 6÷12].



Rys. 1. Cienkościennie elementy konstrukcyjne współczesnych samolotów pasażerskiego i transportowego: wręga podłogowa (z tyłu), żebro skrzydła tego samolotu (z przodu na dole)

Na dokładność kształtu i wymiarów frezowania wyrobu na obrabiarce CNC wpływają m.in.: kinematyka, dynamika, sztywność i dokładność obrabiarki, system sterowania CNC, rozkład temperatury w obszarze roboczym, występujące podczas obróbki obciążenia, sztywność narzędzi oraz ich stan zużycia, zamocowanie półwyrobu oraz właściwości materiału wyrobu i narzędzia [2÷6]. Należy je więc odpowiednio uwzględniać w modelowaniu procesu frezowania.

Cel i zakres badań

Celem wykonanych badań było stworzenie uproszczonego, płaskiego modelu frezu walcowego oddziałującego na obrabianą przez niego cienką ściankę, który pozwoliłby prognozować powstające w wyniku tych wzajemnych oddziaływań przemieszczenia, odkształcenia i naprężenia, zarówno w narzędziu, jak i kształtowanej nim ściance wyrobu.

Metodyka badań

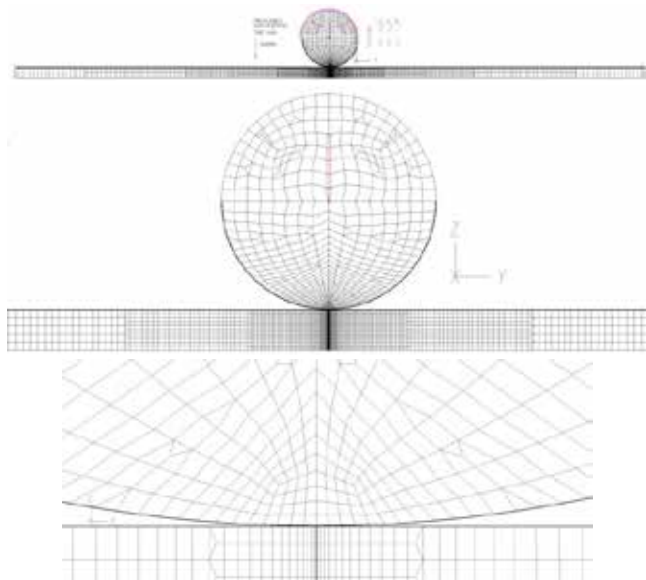
Do stworzenia modelu wykorzystano metodę elementów skończonych (MES) [13, 14]. Zastosowano płaski stan odkształceń, który jest adekwatny w przypadku, gdy w kierunku trzeciego wymiaru (tu odpowiada on kierunkowi wysokości frezowanej wiotkiej ścianki) nie ulegają zmianie kształt,

* Dr hab. inż. Andrzej Kawalec prof. PRZ (ak@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Płodzien (plodzien@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyki, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska

warunki obciążenia i warunki brzegowe oraz właściwości materiałowe modelowanych elementów. Do modelowania i obliczeń zastosowano system ADINA [15].

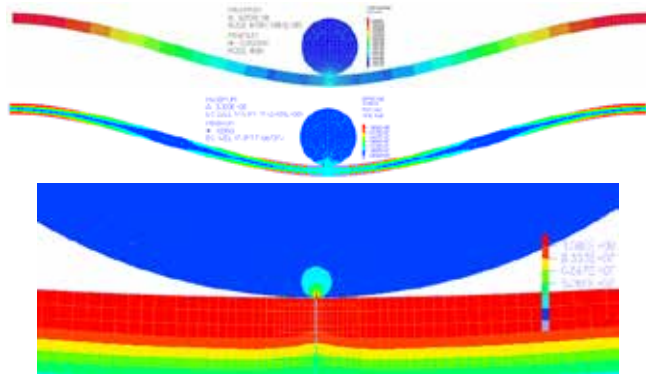
Wyniki badań

W opracowanym modelu (rys. 2) sparametryzowano wymiary, położenie frezu względem ścianki, zadawane obciążenia oraz właściwości materiałów narzędzia i ścianki, a także współczynnik tarcia na powierzchni ich styku. Model umożliwił m.in. oszacowanie zmiany przemieszczeń frezowanej ścianki w zależności od stosunku jej grubości do długości.



Rys. 2. Widoki, w różnych skalach, modelu do obliczeń MES, uwzględniającego zjawiska styku i tarcia (elementy skończone i algorytmy) między modelem wiotkiej ścianki i modelem frezu walcowego

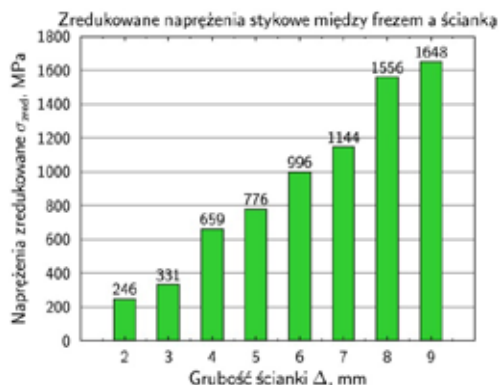
Ścianka była utwierdzona na obu końcach. Dla materiału frezu (węgiel spiekany) przyjęto moduł Younga $E = 2,1e5$ MPa i współczynnik Poissona $\nu = 0,3$. Materiał przedmiotu to stop Al 7075, $E = 7,8e4$ MPa, $\nu = 0,33$. Współczynnik tarcia $\mu = 0,4$. Długość ścianki $L = 180$ mm, grubość $g = 3$ mm, średnica frezu $D = 16$ mm. Przemieszczenia i naprężenia pokazano na rys. 3. Przykładowo, obliczone zredukowane naprężenia stykowe HMH przy ugięciu ścianki o $\delta = 2$ mm wynoszą $\sigma = 331$ MPa (rys. 3 i 4).



Rys. 3. Widoki ugiętej ścianki: pole przemieszczeń (górną część), pole naprężeń zredukowanych HMH w modelu (środek) i w obszarze otaczającym powierzchnię styku frezu ze ścianką (dół)

Przykładowe wyniki wyznaczone dla 8 grubości ścianki g , zmieniającej się od 2 do 9 mm co 1 mm pokazano na rys. 4. Zwiększenie zredukowanych naprężeń HMH w ob-

szarze styku frezu i ścianki ma charakter quasi-liniowy, gdyż przyjęto liniowe modele materiałowe frezu i ścianki.



Rys. 4. Naprężenia zredukowane w obszarze styku frezu i ścianki

Podsumowanie

Dwuwymiarowa analiza zjawisk oraz brak uwzględnienia zjawiska pęknięcia materiału w procesie skrawania, które zastąpiono modelem tarcia, stanowią niedostatki opracowanego modelu. Jednak oprócz tych wad ma on też zalety, którymi są uniwersalność oraz możliwość wykonania przybliżonych, parametrycznych obliczeń wielu modeli w relatywnie krótkim czasie w oparciu o standardowy kod MES, uwzględniający nieliniowe modelowanie styku elementów odkształcalnych. Ponadto model ten może być dalej rozwijany przez zamodelowanie krawędzi skrawającej i zjawiska skrawania oraz przejście do modelu trójwymiarowego.

LITERATURA

- Oczko K.E., Kawalec A. „Kształtowanie metali lekkich”. PWN, Warszawa 2012.
- Schwenke H., Knapp W., Haitjema H., Weckenmann A., Schmitt R., Delbressine F. “Geometric error measurement and compensation of machines – an update”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 57, No. 2 (2008): pp. 660÷675.
- Zhou J.M., Andersson M., Stahl J.E. “Identification of cutting errors in precision hard turning process”. *J. of Materials Processing Technology*. Vol. 153÷154, No. 10 (2004): pp. 746÷750.
- Salgado M.A., López de Lacalle L.N., Lamikiz A., Munoa J., Sánchez J.A. “Evaluation of the stiffness chain on the deflection of end-mills under cutting forces”. *Int. J. of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 45, No. 6 (2005): pp. 727÷739.
- Aoyama T., Inasaki I. “Performances of HSK interfaces under high rotational speeds”. *Annals of the CIRP*. Vol. 50, No. 1 (2001): pp. 281÷284.
- Kawalec A., Magdziak M. “Deformations of selected milling cutters while milling Ti6Al4V alloy on a CNC machine tool, experimental tests and fem modeling”. *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 35, No. 4 (2011): pp. 19÷31.
- Grzesik W. „Wykorzystanie modelowania numerycznego i techniki VR do doskonalenia procesów technologicznych części silnie obciążonych cieplnie i mechanicznie”. *Mechanik*. R. 85, z. 10 (2012): s. 803÷817.
- Zębała W. „Modelowanie procesu skrawania”. Kraków: Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2011.
- Niesłony P., Grzesik W., Chudy R. „Wpływ dyskretyzacji modelu narzędzia na efekt symulacji MES procesu skrawania”. *Mechanik*. R. 87, z. 8÷9 (2013): s. 89÷96.
- Markopoulos A.P. “Finite element method in machining processes”. Springer, London 2013.
- Niesłony P., Grzesik W. „Modelowanie procesu i operacji skrawania metodą elementów skończonych (MES)”. Cz. I. Podstawy i programy symulacyjne. *Mechanik*. R. 86, z. 10 (2013): s. 825÷832.
- Niesłony P., Grzesik W. „Modelowanie procesu i operacji skrawania z zastosowaniem metody elementów skończonych (MES)”. Cz. II. Przykłady zastosowań praktycznych. *Mechanik*. R. 86, z. 11 (2013): s. 909÷917.
- Kleiber M. (red.). „Komputerowe metody mechaniki ciał stałych”. PWN, Warszawa 1995.
- Bathe K.-J. “Finite element procedures”. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs 1996.
- ADINA theory and modeling guide. ADINA R&D, Watertown, MA 2016. www.adina.com.