

PROCEDURA ZASTOSOWANIA PROGRAMU ANSYS DO OBLICZANIA POŁA TEMPERATURY W NOŻU TOKARSKIM

Andrzej Skibicki

*Zakład Inżynierii Materiałowej
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy*

Streszczenie

W artykule przedstawiono procedurę numerycznego wyznaczania temperatury w skrawającym nożu tokarskim. Zastosowano metodę elementów skończonych (MES), program ANSYS. Szczegółowo przedstawiono wszystkie etapy tworzenia modelu numerycznego: geometrii, własności materiałowych, budowania sieci i obciążeń cieplnych. Pokazano dwa sposoby rozwiązywania, prowadzące do wyznaczenia ustalonego oraz nieustalonego pola temperatury. Przedstawiono przykładowe wyniki.

1. WPROWADZENIE

Poznanie rozkładu temperatury w konstrukcji pozwala na uzyskanie wyrobów sprawniejszych, lżejszych, tańszych, trwalszych, pozbawionych naprężeń lub niezdegenerowanych cieplnie. Możliwe jest uniknięcie uszkodzenia lub nawet stopienia się fragmentów urządzenia. Dotyczy to bardzo wielu urządzeń i elementów. Analizowany jako przykład skrawający nóż tokarski przejmuje część energii użytej do skrawania i nagrzewając się traci część swoich zalet. Określenie wpływu warunków skrawania na temperaturę może pomóc np. w uzyskaniu wyższej trwałości ostrza i dokładniejszej obróbki [2, 5].

Znane są eksperymentalne metody badania temperatury. Z wielu powodów są niewystarczające. Pomiar może być punktowy lub dotyczyć tylko powierzchni – na jej widocznej części. Metody obliczeniowe pozwalają na określenie pola temperatury zgodnie z ogólnymi zależnościami fizycznymi.

Przepływ ciepła opisany jest prawem Fouriera-Kirchhoffa [4]:

$$c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + \dot{q}_l \quad (1)$$

gdzie:

- c_p – ciepło właściwe,
- ρ – gęstość,
- T – temperatura,
- t – czas,
- λ – współczynnik przewodzenia ciepła,
- $\dot{q}_l$ – wydajność objętościowa źródeł ciepła.

Analityczne metody rozwiązywania tego równania umożliwiają uzyskanie ograniczonej liczby rozwiązań, z wieloma istotnymi warunkami brzegowymi upraszczającymi np. geometrię, nieliniowość i anizotropowość własności materiałowych, rodzaj źródeł i upustów ciepła czy zmienność w funkcji czasu.

Równanie to można rozwiązać także w sposób numeryczny – nie lubiany przez matematyków, ale bardzo przydatny dla inżynierów. Obecnie najczęściej do tego celu stosuje się Metodę Elementów Skończonych (MES, z angielskiego FEM) [7]. Metoda ta pozwala na rozwiązywanie równań opisujących liczne zjawiska fizyczne, np. odkształcenia i naprężenia, stateczność, drgania mechaniczne, magnetyzm, elektromagnetyzm, filtrację, przepływy płynów itd. Dodatkowo pozwala na nieskomplikowane przenoszenie wyników analizy pomiędzy różnymi obszarami fizyki, a nawet przeprowadzanie analiz sprzężonych dwóch i więcej zjawisk [6]. Numeryczna reprezentacja przedmiotu jest intuicyjnie zrozumiała dla inżyniera ułatwiając efektywną pracę. Dzięki wielu pracom teoretycznym i wysiłkowi programistów możliwe jest uwzględnianie zjawisk zmiennych w czasie, nieliniowych własności materiałowych (a nawet skokowo zmiennych, jak przemiany fazowe czy plastyczność) przy bardzo skomplikowanej geometrii. Ze względu na dostępną moc obliczeniową komputerów pierwotnie stosowano kilkunastowęzłową geometrię jednowymiarową, obecnie używa się zmiennych w czasie modeli trójwymiarowych o milionach węzłów i elementów. Źródłem opisu geometrii mogą być programy typu CAD. Obliczenia te są obecne w każdym prawie dziale techniki, umożliwiając budowę lekkich, tanich, o optymalnych przekrojach, konstrukcji promów kosmicznych, telefonów komórkowych, turbin i generatorów, tuneli, mostów, wieżowców itp. Programy pozwalające na prowadzenie obliczeń są dostępne komercyjnie i mogą być używane także na komputerach klasy PC. Przedstawione dalej obliczenia prowadzono stosując program ANSYS [1] w wersji edukacyjnej.

2. OBLICZANIE ROZKŁADU TEMPERATURY W NOŻU TOKARSKIM

Procedura poszukiwania rozkładu temperatury w skrawającym nożu tokarskim zostanie przedstawiona krok po kroku, dla istotnie uproszczonej geometrii. Możliwa jest jej zmiana oraz zastosowanie przedstawionego sposobu przeprowadzania obliczeń dla innych zagadnień przepływu ciepła.

Procedurę można podzielić na trzy podstawowe etapy: budowę modelu (ang. preproccesing), rozwiązywanie macierzowego układu równań (solution) i ocenę otrzymanych rozwiązań (postproccesing). Ze względu na możliwość łatwego uruchamiania obliczeń, przedstawiania kolejnych etapów w treści tego artykułu oraz łatwość wprowadzania zmian pokazano działanie w trybie wsadowym programu ANSYS, tj. wykonującym kolejne komendy zapisane w pliku tekstowym. W przedstawionym przypadku były to ObICAX02.txt (obliczenia, został zamieszczony w Załączniku 1) i ObICAX02.txt (postproccesing).

Początkowo zdefiniowania wymagają: nazwa problemu (/FILENAME, TempNTok1) oraz zmienne pomocnicze i opisowe (/TITLE,...).

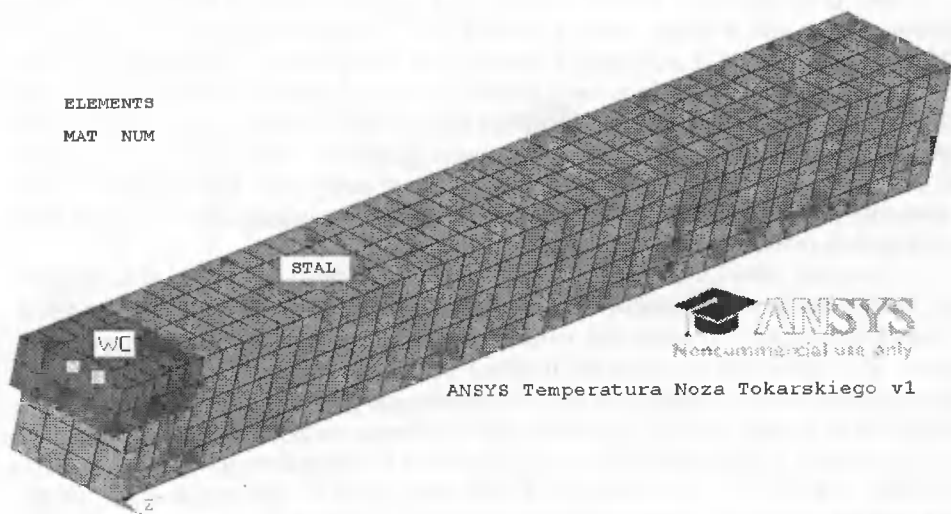
Przygotowanie modelu odbywa się w preprocesorze (/PREP7).

Kolejnym krokiem jest zdefiniowanie rodzaju stosowanych elementów skończonych. Dla przestrzennego przepływu ciepła użyto SOLID70: 8-węzłowego, bryłowego elementu I stopnia, mającego swój odpowiednik w ewentualnych dalszych analizach strukturalnych. W przedstawionej analizie użyto tylko jednego typu elementu.

Własności materiałowe (KXX – współczynnik przewodzenia ciepła, DENS – gęstość, C – ciepło właściwe) zdefiniowano dla 2 materiałów: stali węglowej (trzonek – 1) i cermetu (węglkowa płytka skrawająca – 2) [3]. Są one stałe, ale można zdefiniować ich zależność od temperatury, kierunku i czasu. W pliku wsadowym zdefiniowano również własności Al_2O_3 , Cu i Al – dla ułatwienia analizy innych wariantów.

Uproszczona geometria została zdefiniowana poprzez (K,...,...), położenia 22 punktów w kartezjańskim układzie współrzędnych XYZ. Dla zachowania spójności jednostek układu SI wymiary podano w metrach. Punkty stanowią naroża brył utworzonych (V,...,...) jako płytki skrawająca i trzonek. Automatycznie zostały też utworzone krawędzie i powierzchnie. Geometrię pięciu brył scalono komendą VGLUE.

Kolejnym krokiem jest utworzenie sieci elementów. Globalną wielkość elementu zdefiniowano (ESIZE,...) jako 2,5 mm. Następnie dla wybranych materiałów (MAT,...) tworzących sieć w 5 bryłach (VMESH,...). Uzyskany model, zawierający 1257 węzłów i 828 elementów, pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Model MES noża tokarskiego (pola: jasne – stal, ciemne – płytka z węglików spiekanych)

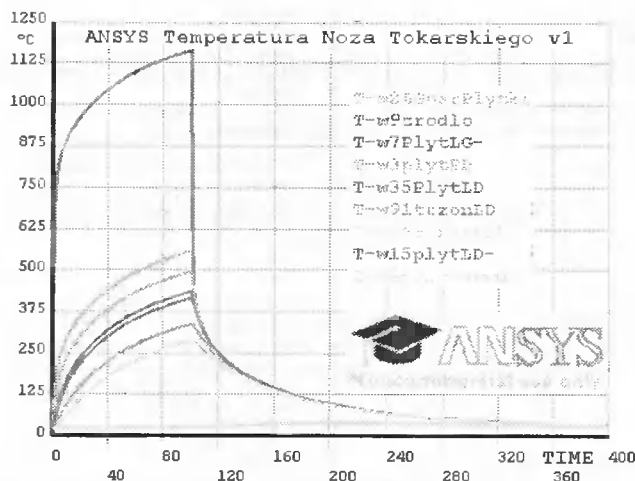
Na powierzchniach zewnętrznych zdefiniowano konwekcyjne odprowadzanie ciepła do otoczenia (SFA,...,...). Komenda FINISH kończy działanie preprocesora.

Proces rozwiązywania macierzowego układu równań dla danego problemu odbywa się w kolejnym module (/SOLUTION). Określono ogólną temperaturę początkową (TUNIF,...) i wartość zmiennej QQ1. Źródło ciepła może być zdefiniowane np. jako powierzchniowe, liniowe lub objętościowe. Zdecydowano się na punktowe źródło ciepła, umieszczone w dwóch węzłach leżących na części krawędzi płytki skrawającej. Symuluje to skrawanie swobodne. Po wybraniu tych węzłów zdefiniowano tam źródło ciepła (F,all,HEAT,QQ1) o mocy określonej zmienną QQ1. Niekiedy, dla zachowania numerycznej stabilności rozwiązania, stosuje się utwierdzenie temperaturowe (D,all,temp,20) odległego węzła modelu. Można to interpretować jako intensywne odprowadzanie ciepła do innego fragmentu urządzenia, np. imaka.

Możliwe jest obliczenie temperatury dla dwóch podstawowych sytuacji: stanu ustalonego lub nieustalonego.

Stan ustalony można by zaobserwować po nieskończone długim czasie skrawania w niezmiennych warunkach, np. podczas obróbki bardzo długiego wału. Dla rozwiązania takiego problemu wystarcza zazwyczaj jednokrotne rozwiązanie macierzowego układu równań (jeżeli nie zdefiniowano parametrów nieliniowych). Wynikiem jest pojedyncze pole temperatury dla czasu $t = \infty$.

Zmiana materiału trzonka noża na miedź prowadzi do obniżenia temperatury płytki skrawającej. Wytrzymałości mechanicznej takiego trzonka nie analizowano.



Rys. 3. Zmiana temperatury wybranych węzłów w funkcji czasu dla stanu nieustalonego

3. PODSUMOWANIE

Temperatury wyliczone dla stanów ustalonego i nieustalonego różnią się istotnie, zwłaszcza dla krótkich czasów skrawania. Wykorzystując analizę MES można zaplanować krótkookresowy charakter obróbki pojedynczym ostrzem, mogący pozwalać na większe chwilowe obciążenia termiczne.

Przedstawiona szczegółowa procedura może być szybko i łatwo zastosowana także dla skomplikowanej geometrii i innych warunków skrawania lub nagrzewania.

LITERATURA

- [1] Ansys User Manual.
- [2] Grzesik W., 1998. Podstawy skrawania materiałów metalowych. WNT Warszawa.
- [3] Mały poradnik mechanika. 1996. Tom I i II. WNT Warszawa.
- [4] Ranatowski E., 1999. Elementy fizyki spajania metali. Wyd. Uczeln. ATR w Bydgoszczy.
- [5] Sinopalnikov V.A., Gurin V.D., 1997. Raspredelenie temperatur w zone rezuscego klina instrumenta iz bystrozruscegoi stali. Vestnik Masinostroenia.
- [6] Skibicki A., 2006. Dobór technologii impulsowego spawania stopów aluminium na podstawie analizy MES temperatury i naprężeń. Prace Naukowe Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy, z. 77. 67-76.
- [7] Zienkiewicz O.C., 1972. Metoda elementów skończonych. Arkady Warszawa.

THE PROCEDURE OF ANSYS USE FOR TEMPERATURE CALCULATION IN INDEXABLE TURNING TOOL

Summary

Detailed procedure for temperature calculation in indexable turning tool are present. FEM model building, heat sources location and solution for transient and residual temperature fields were present. Listing of the batch file and examples of results are shown.

Załącznik 1. Zawartość pliku wsadowego ObiCAX02.txt sterującego wykonywaniem przez ANSYS obliczeń przedstawionych w artykule

```

c*** ANSYS przykład analizy termicznej
c*** Noz tokarski CAX2009

/FILENAME,TempNTok1
/PREP7
/TITLE, ANSYS Temperatura Noza Tokarskiego CAX09 v7c
ET,1,SOLID70 ! Element 3D brick 8W Temp

c*** DEF Wlasnosci materialowe
c*** STAL 1
MP,KXX,1,40
MP,DENS,1,7800
MP,C,1,500
MP,REFT,1,20
c*** Węgiel WC 2
MP,KXX,2,29 !
MP,DENS,2,15630
MP,C,2,480
MP,REFT,2,20
c*** Al2O3 3 temp. topnienia ok 2300 oC
MP,KXX,3,25
MP,DENS,3,3960
MP,C,3,775
MP,REFT,3,20
c*** miedz 2 temp. topnienia ok 1083 oC
MP,KXX,4,390
MP,DENS,4,8933
MP,C,4,410
MP,REFT,4,20
c*** aluminium 3 temp. topnienia ok 660 oC
MP,KXX,5,250
MP,DENS,5,2720
MP,C,5,920
MP,REFT,5,20

c*** DEF Geometria noza i wkładki
c*** Punkty
K,1,0,0,0,0,0,0 !Przod
K,2,0,1,0,0,0,0
K,3,0,1,0,0,1,0,0
K,4,0,008,0,01,0,0,0
K,5,-0,002,0,01,0,0,0
K,6,-0,002,0,006,0,0,0
K,7,0,0,0,006,0,0,0
K,8,0,008,0,006,0,0,0
K,9,0,0,0,010,0,0,0
K,10,0,008,0,0,0,0
K,31,0,1,0,006,0,0

K,11,0,0,0,0,-0,010 !Tyl
K,12,0,1,0,0,-0,010
K,13,0,1,0,0,1,-0,010
K,14,0,008,0,0,1,-0,010
K,15,-0,002,0,0,1,-0,010
K,16,-0,002,0,006,-0,010
K,17,0,0,0,006,-0,010
K,18,0,008,0,006,-0,010
K,19,0,0,0,010,-0,010
K,20,0,008,0,0,-0,010
K,41,0,1,0,006,-0,010

c*** DEF Bryly
V,9,5,6,7,19,15,16,17 !Ostrze cz1
V,4,9,7,8,14,19,17,18 !Ostrze cz2
V,1,10,8,7,11,20,18,17 !Trzonek dol przod
V,10,2,31,8,20,12,41,18 !Trzonek dol tyl
V,31,3,4,8,41,13,14,18 !Trzonek gora tyl
Vglue,1,2,3,4,5

c*** tworzenie sieci elementow
ESIZE,0,0025 ! wielkosc elementow
MAT,2 ! rodzaj materialu dla sieci ostrze
VMESH,1
MAT,2 ! rodzaj materialu dla sieci ostrze

VMESH,2
MAT,1 ! rodzaj materialu dla sieci Trzonek
VMESH,3
MAT,1 ! rodzaj materialu dla sieci Trzonek
VMESH,4
MAT,1 ! rodzaj materialu dla sieci Trzonek
VMESH,5

c*** Konwekcyjne odprowadzanie ciepla
asel,all
asel,u,area,5,9,10,14,20 !nie pow wewnetrzne
SFA,all,conv,51,20 ! aK=51 To=20C
asel,all
vsel,all
FINISH

/SOLUTION
TUNIF,20
QQ1=3e+1
c*** DEF Q Zrodlo ciepla w wezlach
nsel,s,loc,x,-0,0025,-0,0019
nsel,r,loc,y,0,0099,0,011
nsel,r,loc,z,-0,002,-0,005
F,all,HEAT,QQ1 !ZRODLO ciepla [W]
nsel,all

c*** Utwardzenie teperaturowe w K2
nsel,s,loc,x,0,099,0,11
nsel,r,loc,y,-0,001,0,001
nsel,r,loc,z,-0,0099,-0,011
c*** D,all,temp,20 !jeden wezel ma stala temp 20C

nsel,all
esln,s,1
C*** Wybór sposobu rozwiązywania: skokiem do etykiety
c*** *GO: ustalone
c*** *GO: nieustal

c*** TEMPERATURY USTALONE
ustalone
ANTYPE,static,new
OUTRES,all,1
save
SOLVE
*GO:,razem ! ustalone - koniec

c*** TEMPERATURY NIEUSTALONE
nieustal
ANTYPE,trans,new
kbc,1
autots,on
TIMINT,on
TIME,100 ! skrawanie 100 sekund
DELTIM,1,0,01,1
nsel,all
esln,s,1
OUTRES,all,1
save
SOLVE ! Rozwiązywanie 0-100 sek
nsel,all
F,all,HEAT,0,0 ! Koniec skrawania - usunięcie źródła ciepła
TIME,400 !początek stygniecia
DELTIM,1,0,01,10
nsel,all
esln,s,1
OUTRES,all,1
save
SOLVE ! Rozwiązywanie 100.01 - 400 sek
*GO:,razem ! nieustal koniec

razem
FINISH

```