

SIMULAREA NUMERICĂ A PROCEDEELOR DE NETEZIRE ȘI DURIFICARE

Cosovschi P.

Universitatea Tehnică a Moldovei, bd. Ștefan cel Mare, 168, MD-2004, Chișinău, Republica Moldova

e-mail: c.pashag@gmail.com

Această lucrare este destinată pregătirii complete a modelului supus simulării numerice pentru procesul de prelucrare prin metoda deformării plastice superficiale. Precizia și discretizarea modelului pe elemente finite este necesară pentru obținerea rezultatelor corecte și practicabile.

Cuvinte-cheie: simularea numerică, discretizarea modelului, deformarea plastică superficială, elemente finite.

This paper is intended to a full preparation of a model subjected to the numerical simulation of the process of machining by surface plastic deformation method. The accuracy and discretization of the model through the finite elements is necessary to obtain correct and practicable results.

Keywords: numerical simulation, model discretization, surface plastic deformation, finite elements.

INTRODUCERE

Codul numeric folosit pentru simulare, LS-DYNA, este un program de analiză a proceselor și fenomenelor fizice, cu largi posibilități de utilizare în domeniul mecanicii corpurilor deformabile. Ca metodă de analiză s-a optat pentru o metodă cu rețea – metoda elementelor finite - care asigură o foarte bună reprezentare discretă a corpurilor implicate în proces. Solverul explicit al programului LS-DYNA, ales pentru integrarea ecuațiilor, are avantajul unei mai bune reprezentări în timp a soluțiilor, față de solverul implicit. Alegerea este justificată de faptul că procesele analizate sunt procese mecanice de durată, continue și se produc cu o anumită viteză. Pentru o soluție corectă și completă este necesar ca incrementul de calcul să fie în concordanță cu pasul rețelei și cu viteza relativă dintre semifabricat și sculă.

Conform metodologiei, pentru realizarea simulării numerice a proceselor de netezire și durificare a sculelor prin deformare plastică superficială este necesară realizarea unui model discretizat cu elemente finite în concordanță cu scopul urmărit.

Discretizarea modelului fizic ca o esențializare a procesului impus analizei, a fost realizată cu densități foarte diferite de elemente finite, în funcție de locul și importanța corpului în proces. Modelul procedurii de netezire și durificare a sculelor prin deformare plastică prin contact de alunecare este reprezentat în Fig. 1.

MODELUL DISCRETIZAT CU ELEMENTE FINITE

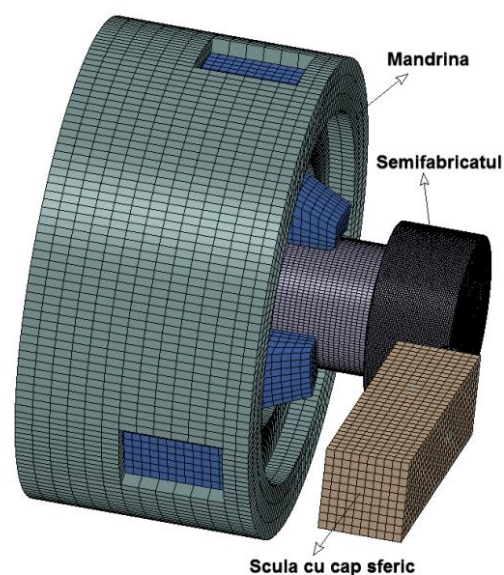


Fig. 1. Modelul discretizat cu elemente finite

Corpul cel mai important în ansamblu – semifabricat – a fost discretizat diferențiat cu 142848 elemente finite SOLID cu 8 noduri și un număr total de noduri de 156369, așa cum se arată în Fig. 2. Stratul superficial al semifabricatului, locul în care se produc deforțațiile plastice are cea mai mare densitate de discretizare. Astfel, pe generatoarea suprafeței prelucrate sunt dispuse 64 de elemente cu pasul de 0.25 mm iar pe circumferință sunt 256 de elemente cu pasul de 0.43 mm. Rețeaua diferențiată de elemente finite, reprezentată în Fig. 3, a redus considerabil efortul de calcul.



Fig. 2. Semifabricatul cilindric discretizat cu elemente finite

Sfericitatea corpului sculei a fost asigurată cu precizie suficientă prin modelarea pe suprafața activă cu o rețea fină cu pasul de 0.4 mm.

Pentru celelalte corpuri ale modelului rețeaua de discretizare este mai lejeră, dar suficient de densă pentru a asigura simularea corectă a funcționării, mai ales a contactelor la prinderea piesei de prelucrat și la ghidarea bacurilor. În total, pentru discretizarea întregului model, au fost folosite 224512 de elemente finite 3D de tipul SOLID cu 8 noduri și un număr de 261264 de noduri. Această schemă de discretizare a fost folosită fără modificări, la toate formele de semifabricate.

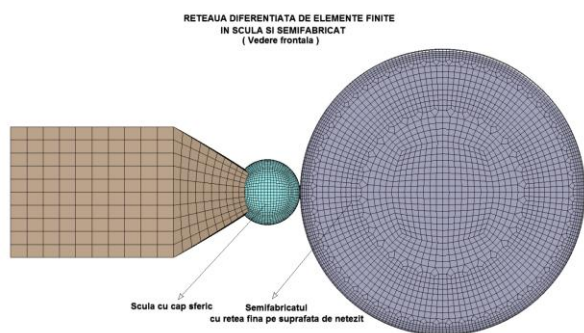


Fig. 3. Rețeaua diferențiată de elemente finite în sculă și semifabricat

Procedul de netezire presupune că suprafața de prelucrat are o rugozitate produsă prin procesul tehnologic de fabricație, cel mai frecvent prin așchiere.

Modelele analizate încearcă să fie fidele realității, purtând pe suprafața de prelucrat o rugozitate simulată, similară celei rezultate în procesul de strunjire normală, cu avansul

compatibil cu rețeaua de elemente finite, de 0.5 mm/rot.

Generarea rugozității virtuale s-a realizat cu o metodă de calcul aleator. Astfel, nodurile de pe suprafața de prelucrat a piesei au fost deplasate aleator în toate cele trei direcții, folosind un parametru al generării cu o valoare impusă în acord cu rugozitatea dorită. Cu ajutorul parametrului generării se delimitează câmpul probabilității uniforme. Pentru cele trei direcții deplasările impuse nodurilor s-au calculat cu următoarele relații aleatoare:

- direcția radială: $\Delta_r = \pm D[1 - \text{RAND}(-1, 1)]$,
 - direcția circumferențială, ca deplasare unghiulară: $\Delta_t = D \cdot \text{RAND}(-1, 1) \cdot 180^\circ / \pi R$, (1)
 - direcția axială: $\Delta_a = 5 \cdot D \cdot \text{RAND}(-1, 1)$,
- în care $\text{RAND}(-1, 1)$ este un număr real, extras aleator, cu densitate de probabilitate uniformă, din intervalul $(-1, +1)$, iar R este raza medie a suprafeței înainte de alterare.

Rugozitatea fictivă corespunzătoare procedurii de strunjire normală $R_a = 3.2 \dots 6.3 \mu\text{m}$ se obține pentru un parametru de generare $\Delta = 0.01 \text{ mm}$. În lucrare se utilizează mai des rugozitatea măsurabilă R_z . Concret, pentru parametrul de generare folosit, $\Delta = 0.01 \text{ mm}$, valorile rugozității R_z sunt în jur de $20 \mu\text{m}$ și are corespondentul $R_a \approx 5 \mu\text{m}$, încadrat în limitele impuse.

Evidențierea clară a unora dintre efectele procedurii – netezirea suprafețelor – a implicat realizarea unor modele cu rugozitate vizibilă și măsurabilă virtual, ca cel din Fig. 4.

Modelarea suprafețelor cu rugozități mai mici, cu $R_a < 3.2 \mu\text{m}$, ar conduce la discretizări cu un număr mult mai mare de elemente și practic, la imposibilitatea soluționării cu un efort de calcul rezonabil.

Evaluarea rugozității generate aleator pe o suprafață (Fig. 4) a fost făcută, utilizând procedura standardizată, prin calcul într-o serie de noduri predefinite, dispuse pe generatoarea suprafeței. Astfel, pentru piesa cilindrică reprezentată în Fig. 4 s-a obținut seria de valori: 20.15, 19.28, 17.23, 19.22, 21.65 μm , cu valoarea medie $R_z = 19.5 \mu\text{m}$.

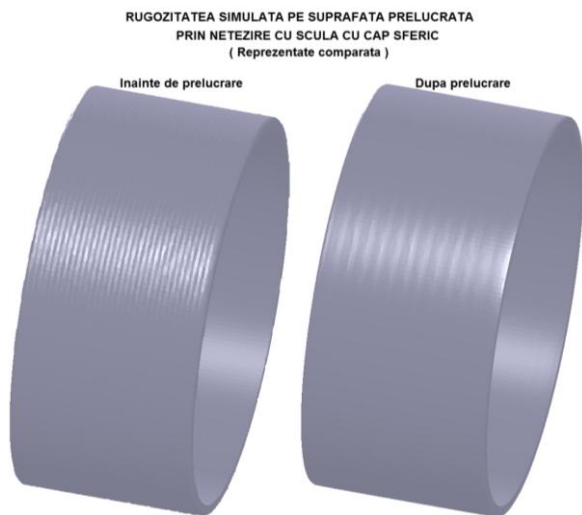


Fig. 4. Rugozitatea simulată pe suprafața prelucrată prin netezire cu scula cu cap sferic

După prelucrare, rugozitatea va fi recalculată în aceleași noduri de control și comparată cu cea inițială. Din considerentele expuse mai sus, derivă justificarea utilizării sculei cu capul de netezire sferic cu rază mare $R_{sf} = 4$ mm, la limita celor uzuale.

Controlul forțelor aplicate de sculă piesei în procesul de prelucrare simulat este realizat de sistemul de senzori dispuși pe corpul sculei.

Al doilea pas important în faza de pre-procesare se referă la formularea modelului de material. Analiza consistentă a materialelor asociate modelelor simulate făcute își dovedește acum utilitatea. Modelul de plasticitate Johnson-Cook sub formă simplificată

$$\sigma_y = (A + B \varepsilon_p^n) \left(1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}_p}{\dot{\varepsilon}_0} \right)$$

are reprezentarea cea mai completă. Termenul termic din relația, din motive justificate – încălzire ne semnificativă, dovedită experimental – a fost suprimat.

Pentru fonta cenușie cu grafit lamelar, folosită în simulare, valorile coeficienților A, B și n sunt cele determinate experimental. Coeficientul C a fost preluat de la materiale similare cu valoarea $C = 0.06$, conform pct. 1 din lucrare.

Celelate corpuri sunt modelate cu materiale elastice (oțeluri) sau perfect rigide.

Condițiile pe frontiere și funcționale simulate au fost stabilite în concordanță cu parametrii proceselor tehnologice de netezire și de durificare.

Prinderea piesei în madrină este simplă, prin contact între bacuri și prelungirea tehnologică a piesei.

Contactul între capul sferic a sculei și semifabricat se realizează fie elastic, cu controlul forței, fie rigid, cu controlul deplasării. Avantajele și dezavantajele acestor două posibilități de control se vor analiza după simulările numerice.

Turația, avansul longitudinal, forța de apăsare sau adâncimea radială sunt stabilite conform criteriilor generale.

Materialul supus prelucrării simulate – fontă cenușie cu grafit lamelar cu duritate Brinell, determinată experimental, cuprinsă între 122 și 140 HB și, în consecință datele au fost folosite cu valoare orientativă.

Densitatea mică și rugozitatea mare ($3.2...6.3 \mu\text{m}$) specifică fontei cu grafit lamelar, dar și riscul de producere a fărâmișării superficiale a materialului, au influențat decisiv alegerea parametrilor regimului de lucru.

Raza aleasă pentru capul sferic, $R_{sf}=4$ mm, se poate justifica extrapolând tendințele. Conform acestor tendințe, pentru materiale moi, cu densități mici și rugozități mari, pentru realizarea efectului sunt necesare scule cu raze mai mari.

Viteza periferică a suprafeței de prelucrat stabilită pentru simulare este puțin inferioară limitei minime, recomandate. Cauza principală care a impus o viteză periferică la limita inferioară descrisă a fost disponibilitatea unui agregat dotat cu un sistem dinamometric cu 6 grade de libertate pentru probele experimentale, care funcționează optim la turația de 380 rot/min. Agregatul respectiv se găsește în laboratoarele Facultății de Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice din cadrul Universității POLITEHNICA București.

Necesitatea confruntării soluțiilor simulate cu datele experimentale a condiționat alegerea vitezei periferice corespunzătoare acestei turații (≈ 42 m/min). Turația mică a arborelui utilajului este un dezavantaj deoarece mărește durata calculului unui ciclu tehnologic complet.

În consecință simulările importante au fost realizate la turația de 380 rot/min.

Valoarea avansului axial pentru majoritatea simulărilor ($s = 0.09$ mm/rot) se încadrează în recomandările.

Pentru forțele de apăsare s-a folosit o gamă mai largă cuprinsă între 200 și 1000 N. Forțele mai mari sunt necesare pentru netezirea rugozităților mai mari ($6.3 \mu\text{m}$).

Când se dorește durificarea în stratul superficial forțele de apăsare radială trebuie crescute.

În procedeul cu sculă rigidă – controlul în deplasări – adâncimea de pătrundere a fost reglată în funcție de efectul dorit, încadrându-se în limitele impuse $h_d=0.03...0.3$ mm.

Utilajul experimental disponibil lucrează cu sculă rigidă dispusă pe dispozitivul dinamometric. Are utilizare limitată la suprafețe cilindrice coaxiale.

Un agregat experimental complet pentru aplicarea procedurii cu sculă rigidă este mai greu de realizat deoarece necesită un sistem central activ care să urmărească continuu poziția sculei în raport cu suprafața de prelucrat.

De notat că dispozitivul tehnologic simulat este complet izolat și nu interacționează cu alte corpuri, fiind o idealizare a unui agregat experimental, care în întregul lui, prin deformări elastice, jocuri și vibrații, influențează calitatea produsului.

CONCLUSION

Codul numeric contemporan dă posibilitatea de a analiza procesele și fenomenele fizice în domeniul mecanicii corpurilor deformabile. Acestea ne dau posibilități, esențial de a optimiza procesele de proiectare. Stațiile contemporane și

puternice pot prelucra un volum extrem de mare de informații pentru fiecare element finit solid. Este de folos aplicarea descrierii diferențiale. În caz de față cel mai important corpul – semifabricat a fost descrizată la 142848 elemente cu 8 noduri și un număr total de noduri de 156 369. Lucrarea dată a confirmat practicabilitatea folosirii acestei metode de proiectarea proceselor tehnologice și obținerea informației necesare la etapele inițiale pentru optimizarea experimentelor complicate și costisitoare.

BIBLIOGRAFIE

1. Balakșcin B. C. Teoria i praktika tehnologii mașinostroenia: V 2-c kN. – M.: Mașinostroenie, 1982 - 218 kn. 2. Osnovî tehnologii mașinostroenia. 1982. 367 s.
2. Balter M. A. Uprocnenie detalei mașcin M.: Mașinostroenie. 1978. 184. s.
3. Barabici M. B., Horujenko M. V. Nakatîvanie țilindreskih zubceatîh kolios. - M.: Mașinostroenie, 1970. 218 s.
4. Belov V. A. Tehnologhia obrabotki ploskosti poverhnostnîm deformirovanîem /Pod red. A.A. Matalina, - Kiev: Tehnika, 1972. 125 s.
5. Berștein M.L., Zaikovskii V. A., Kaputkina M, L. Termomehaniceskaia obrabotka stali. M.: Metallurgia. 1983. 480 c.
6. Boițov A.G. i dr. Uprocnenie detalei kombinirovannîmi sposobami /A.G. Boițov, V.N. Mașkov, V.A. Smolențev i dr. M.: Mașinostroenie, 1991. 144 s.
7. Boițov A.G., Mașkov V.N., Smolențev V.A., Hvorostuhin L. A. Uprocnenie poverhnosti detalei kombinirivanîmi sposobami. M.: Mașinostroenie, 1991. 144 s.

Prezentat la redacție la 5 octombrie 2013