

Marcin Kowalski, Wojciech Zwierzchowski¹, Jerzy Jura²

Modelowanie i analiza procesów plastycznej przeróbki metali z zastosowaniem metody elementów skończonych*

Formowanie wyrobów z metali i ich stopów charakteryzuje się różnorodnością procesów wytwarzania, których dobór zależy od własności materiału, wymaganego kształtu końcowego oraz żądanej dokładności wymiarowej. Jednym z procesów wytwarzania jest przeróbka plastyczna.

Analiza i optymalizacja procesów plastycznej przeróbki metali jest trudna i wymaga przeprowadzania wielu kosztownych i czasochłonnych prób technologicznych. Stąd też w niniejszym artykule przedstawiono możliwości zastosowania symulacji komputerowej w celu ograniczenia wyżej wymienionych trudności.

Symulacja komputerowa jest metodą badawczą, stanowiącą pomost pomiędzy teorią a eksperymentem. Często nosi ona nazwę eksperymentu komputerowego. Znajduje zastosowanie w badaniach podstawowych, m.in. do weryfikacji modeli wspomagających teorie [1].

Symulacja komputerowa pozwala zaprojektować model nowego obiektu (można również „odtworzyć” już istniejący obiekt), w celu obserwowania zachowania się tego obiektu oraz wprowadzenia do niego dowolnych zmian i śledzenia ich konsekwencji. Możliwe jest wówczas przetestowanie wybranego rozwiązania, analiza występujących w nim problemów oraz ustalenie sposobów ich rozwiązania jeszcze przed wprowadzeniem zmian do procesu rzeczywistego [2]. Z przedstawionych powodów symulacja komputerowa znajduje zastosowanie również w badaniach przeróbki plastycznej materiałów [3].

Zasadniczym celem autorów artykułu jest przedstawienie możliwości zbudowania modelu i symulacji przebiegu jednego z procesów plastycznej przeróbki – spęczania [4], przy zmieniającym się współczynniku tarcia.

¹ Uniwersytet Śląski w Katowicach, Wydział Pedagogiki i Psychologii.

² Akademia Pedagogiczna w Krakowie, Instytut Techniki; Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN w Krakowie.

* Tekst złożono do druku 26 września 2005 roku. Obliczenia wykonano w ACK Cyfronet AGH w Krakowie.

Spęczanie jest operacją, przy której następuje skracanie długości jednej z głównych osi przekroju odkształcanego materiału, wskutek czego zwiększa się powierzchnia przekroju prostopadłego do tej osi.

Operację spęczania stosuje się wówczas, gdy:

- przekrój odkuwki lub jej części ma być większy niż przekrój materiału wsadowego,
- żądany stopień przekucia wymaga zwiększenia przekroju przed dalszymi operacjami,

- wlewek lub kęs przygotowuje się do przebijania w nim otworów,

- kuje się odkuwki w kształcie kostek, krążków, pierścieni,

- wymagane jest polepszenie własności mechanicznych odkuwki.

Przeprowadzony „eksperyment komputerowy” realizuje następujące cele:

- zaprojektowanie procesu spęczania,
- analizę wybranych parametrów procesu, jak: naprężenia, odkształcenia, temperatury oraz siły przy zadanym współczynniku tarcia,
- określenie wpływu tarcia na proces spęczania, a przez to sformułowanie wskazań do optymalizacji tego procesu.

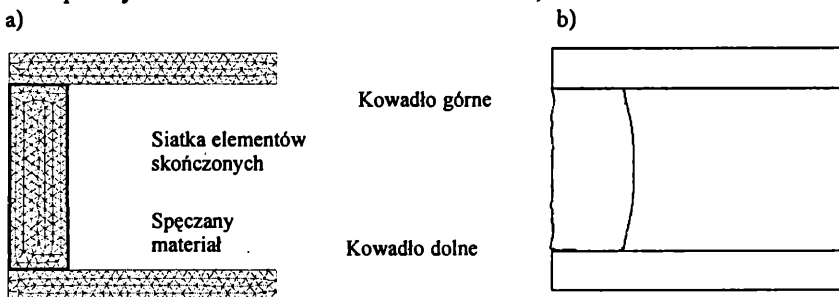
Do obliczeń wykorzystano program Abaqus oparty na metodzie elementów skończonych [6].

Model

Schemat modelu spęczania przedstawia rysunek 1.

Założenia modelu:

1. Materiał izotropowy.
2. Stosunek wysokości materiału spęczanego do jego średnicy – 1,5.
3. Stopień odkształcenia – 30%, materiał – stal węglowa zwykłej jakości.
4. Temperatura materiału – $T_w = 1200^\circ\text{C}$ (temperatura kowadeł – $T_n = 300^\circ\text{C}$).
5. Moduł Younga – 210 GPa, współczynnik Poissona – 0,24.
6. Gęstość – 7,85 g/cm³.
7. Współczynnik tarcia – od 0 do 1 ze skokiem 0,05.



Rys. 1. Schemat procesu spęczania: a) początek procesu, b) koniec procesu

Wyniki

W wyniku przeprowadzonej symulacji komputerowej otrzymano rozkłady naprężeń średnich, odkształceń oraz temperatury. Na rysunku 2 przedstawiono rozkłady naprężeń średnich [MPa] w próbce uzyskane dla różnych wartości współczynnika tarcia. Rysunki odnoszą się do stanu końcowego procesu spęczania.

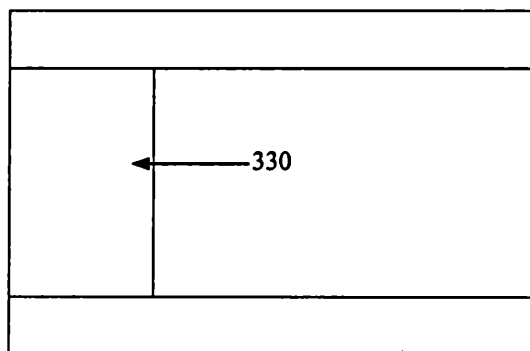
Analiza wyników

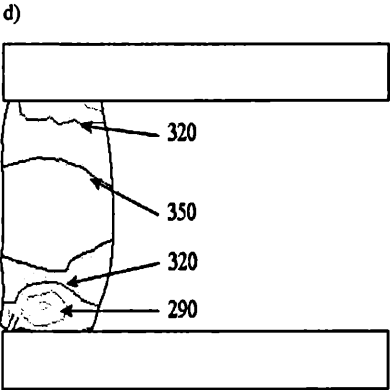
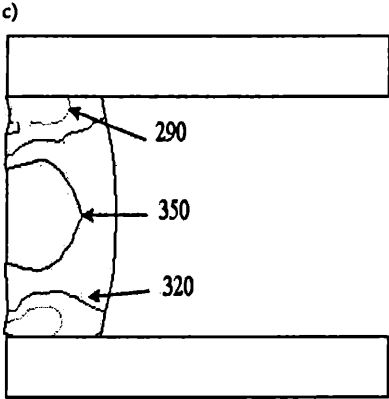
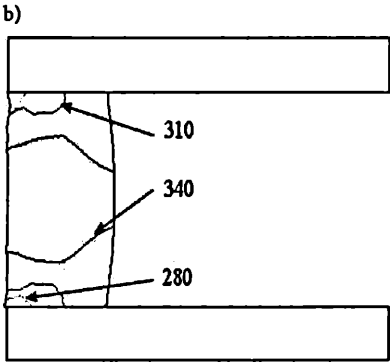
Przy braku tarcia $f = 0$ (rys. 2a) obserwujemy całkowicie jednorodny proces spęczania próbki. Nie obserwujemy powstawania „baryłkowatości”. Wynik ten jest zgodny z oczekiwaniami, gdyż brak tarcia powoduje, iż warstwy metalu przylegające do kowadeł nie są „hamowane” podczas spęczania. Zatem warstwy przylegające i warstwy środkowe płyną równomiernie równoległe do powierzchni kowadeł. Maksymalne naprężenie wynosi 330 MPa.

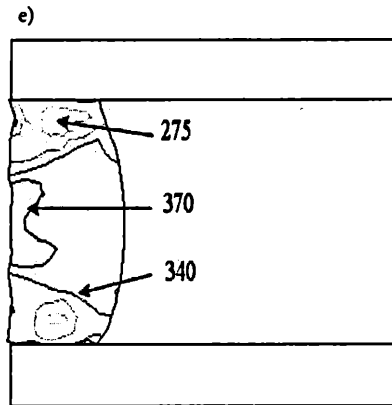
Przy współczynniku tarcia $f = 0,2$ (rys. 2b) wyraźnie pojawia się strefa podwyższonych naprężeń, leżąca w centrum odkuwki i rozciągająca się aż do jej brzegu. Naprężenia w tej strefie są znacznie wyższe niż w pozostałej części próbki. Często jest to przyczyną pęknięć w bocznej części odkuwki. Naprężenie maksymalne wzrasta do 375 MPa.

Przy współczynniku tarcia $f = 0,4$ (rys. 2c) największe wartości naprężeń koncentrują się w części centralno-osiowej odkuwki. Wyraźnie widoczne są obszary naprężeń, które wraz ze wzrostem tarcia zmieniają swój kształt i zasięg. Rozkład stref wskazuje na coraz większą niejednorodność procesu. Naprężenie maksymalne wzrasta do 391 MPa.

a)







Rys. 2. Rozkłady naprężeń średnich [MPa] na przekroju próbki dla różnych wartości współczynnika tarcia f : a) $f = 0$, b) $f = 0,2$, c) $f = 0,4$, d) $f = 0,6$, e) $f = 1$

W zakresie współczynnika tarcia od $f = 0,6$ do 1 (rys. 2d, e) obserwujemy postępującą niejednorodność procesu odkształcania oraz wzrost wartości naprężeń. Baryłkowatość jest znaczna.

Podsumowanie i wnioski

Symulacje komputerowe procesów technologicznych są obecnie powszechnie wykorzystywane i zyskują coraz większą popularność, zwłaszcza tam, gdzie przeprowadzenie badań jest praktycznie niemożliwe lub tam, gdzie w grę wchodzi duże koszty wykonania prób technologicznych (np. próby zderzeniowe w przemyśle motoryzacyjnym). Możliwość przeprowadzenia symulacji w takich przypadkach jest sposobem dużo szybszym i tańszym, a uzyskane wyniki na ogół nie odbiegają w istotny sposób od rzeczywistości.

Przedstawiony w artykule eksperyment komputerowy i analiza jego wyników pozwoliły w prosty i szybki sposób określić wpływ tarcia na proces prostego spęcznienia oraz na ilościowe ujęcie zmiany parametrów procesu kucia w celu jego optymalizacji.

Otrzymane wyniki symulacji charakteryzuje dobra zgodność z rozkładami naprężeń i odkształceń przewidywanymi teoretycznie [4, 5]. Wynika stąd, że opracowany model procesu odkształcania jest poprawny.

Analiza uzyskanych wyników pozwala sformułować następujące wnioski:

– im mniejsze tarcie w procesie, tym bardziej jednorodny rozkład naprężeń, a zatem również większa jednorodność własności odkuwki;

- najkorzystniejszy byłby proces beztarciowy, gdyż wtedy nie obserwujemy niejednorodności odkształcenia;
- wzrost tarcia powoduje zwiększenie naprężeń, co skutkuje szybszym zużyciem narzędzi, a także wymaga większej mocy maszyny;
- zapewnienie optymalnego smarowania na styku kowadeł z metalem jest zatem konieczne dla uzyskania odkuwek o jak najlepszych własnościach.

Bibliografia

- [1] Kołodziński E., *Symulacyjne metody badania systemów*, WN-T, Warszawa 2002
- [2] Perkowski P., *Technika symulacji cyfrowej*, WN-T, Warszawa 1980
- [3] Pietrzyk M., *Metody numeryczne w przeróbce plastycznej metali*, Wydawnictwo AGH, skrypt nr 1303, Kraków 1992
- [4] Mórawiecki M., Sadok L., Wosiek E., *Przeróbka plastyczna – podstawy technologicznych procesów przeróbki plastycznej*, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1977
- [5] Wasiuńyk P., Jarocki J., *Kuźnictwo i prasownictwo*, WSiP, Warszawa 1991
- [6] Abaqus/User's Manual, Hibbit, Karlsson&Sorensen, Pawtucket, USA 1999

Modelling and analysis of metal-forming processes using the finite element method

Summary

The possibilities of application of computer simulation to analysis and optimization of plastic deformation processes are presented in the paper. The influence of friction on the upsetting process was analysed. The calculations were carried out using the finite element code Abaqus.

Key words: simulation, finite element method, upsetting