

WYKORZYSTANIE METOD SYMULACJI W PROCESIE WYTWARZANIA ELEMENTÓW ZŁĄCZNYCH

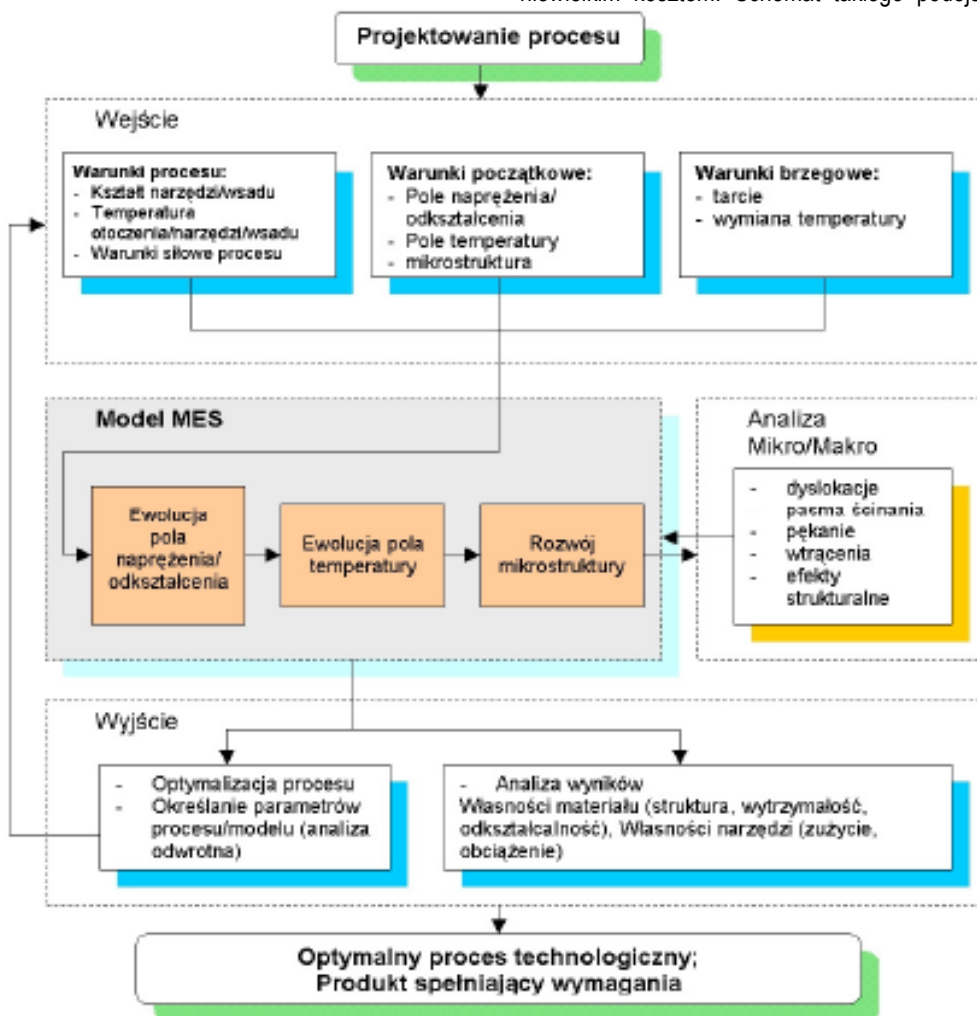
Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane przykłady zastosowania symulacji numerycznych w procesach wytwarzania elementów złącznych. Zaprezentowano wybrane aspekty modelowania kucia precyzyjnego na zimno śrub z łbem sześciokątnym oraz proces walcowania poprzecznego gwintu śruby. Oba zagadnienia nie należą do prostych z punktu widzenia modelowania numerycznego. Niemniej jednak pokazują, jak można wykorzystać techniki komputerowe do rozwiązywania problemów technologicznych na etapie projektowania.

WSTĘP

Modelowanie numeryczne jest dziś jedną z najbardziej obiecujących i rozwijających się dziedzin inżynierii. Główną jego zaletą jest możliwość uzyskania rozwiązania danego problemu, który inaczej należałoby rozwiązać za pomocą metod doświadczalnych. Współcześnie procedura projektowania nowych technologii,

opierająca się głównie na kompleksowym modelowaniu komputerowym, zawiera wiele etapów, począwszy od wprowadzenia założonych parametrów procesu (na przykład kształtów, warunków, danych materiałowych, itd.), aż do analizy wyników przeprowadzanych symulacji (właściwości produktu, zużycia materiałów, energii, itd.) oraz optymalizacji w celu uzyskania jak najlepszego jakościowo produktu relatywnie niewielkim kosztem. Schemat takiego podejścia zaprezentowany



Rys. 1. Schemat blokowy zastosowań modelowania do kompleksowej analizy i projektowania procesów technologicznych w przetwórstwie metali [7]

został na rysunku 1 [6].

Szybki rozwój mocy obliczeniowej komputerów spowodował, że metody numeryczne z zastosowaniem metody elementów skończonych zyskały na wartości, czego efektem było pojawienie się pakietów komercyjnych programów do symulacji różnych procesów technologicznych [1]. W kontekście aplikacji przemysłowych prawdziwą korzyścią jest nie tylko pomoc przy projektowaniu danego procesu, która eliminuje tym samym kosztowne próby technologiczne, lecz również szybsze odpowiedzi na potrzeby zmieniającego się rynku. Zwykle oprogramowanie z zastosowaniem metody elementów skończonych zezwala na rozszerzenie dostępnych narzędzi o dodatkowe zewnętrzne procedury. Zawierać one mogą interesujące w danym etapie projektowania elementy takie jak analiza mikro/makro opisująca wpływ takich czynników jak efekty mikrostrukturalne na płynięcie metalu w czasie odkształcenia [2]. Kończącym etapem jest zwykle zastosowanie metod optymalizacji bazujących na algorytmie wstecznej propagacji. Takie podejście do projektowania procesów technologicznych ma wiele zalet, w tym skrócenie czasu samego projektowania jak i oszczędności w kosztach i materiałach (eliminacja procedury prób i błędów w warunkach przemysłowych). Co więcej, wśród parametrów, które mogą być optymalizowane znajduje się bardzo wiele elementów, począwszy od warunków procesu, kształtu narzędzi i wsadu, aż do końcowych właściwości produktu, które stanowią jedno z podstawowych kryteriów oceny.

Połączenia gwintowe pełnią bardzo ważną rolę praktycznie we wszystkich gałęziach przemysłu. Są one zaliczane do najczęściej stosowanych połączeń w zespołach maszynowych. Zastosowanie takich połączeń daje możliwość wielokrotnego rozmontowania i ponownego złożenia zespołów części bez konieczności wymiany łączników jakimi są komplety połączeń śrubowych.

Celem artykułu jest zaprezentowanie wykorzystania symulacji numerycznych w procesach wytwarzania elementów złącznych na

wybranych przykładach.

1. MODELOWANIE KUCIA PRECYZYJNEGO NA ZIMNO

Poniższy przykład dotyczy zastosowania modelowania numerycznego do procesu kucia precyzyjnego na zimno stanowiącego podstawę wytwarzania śrub. W aktualnie stosowanej technologii kształt łba i trzonu uzyskiwany jest w trzech operacjach [3]. Po okrojeniu wyplýwki następuję walcowanie gwintu. Kucie śruby odbywa się w matrycy otwartej, stąd w ostatnim etapie kształtowania łba powstaje wyplýwka, która mimo niewielkiej średnicy odkuwki osiąga grubość około 2 mm, stanowiąc znaczne straty materiałowe (rys. 2). Ponadto przemieszczenie materiału względem powierzchni matrycy górnej podczas ścinania baryłkowej powierzchni powoduje szybkie zużywanie się krawędzi matrycy [5].

Powyższe niedoskonałości stosowanej technologii skłoniły do wprowadzenia zmian, które oprócz podwyższenia żywotności narzędzi, umożliwią kucie bezwyplýwkowe. Ten problem rozwiązano przez zmianę kształtu przedkuwki, który ustalono metodą modelowania numerycznego. Przyjęto, że odpowiednie proporcje wymiarów przedkuwki, umożliwią wywołanie złożonego procesu spękania i wyciskania w łbie śruby bez skłonności do pływnięcia promieniowego poza obszar wykroju matrycy. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych dla przyjętych konstrukcji przedkuwki przedstawiono na rysunku 3. Jest to kolejny ważny aspekt w modelowaniu numerycznym, gdyż nie trzeba robić kosztownych eksperymentów, aby zobaczyć kolejne etapy wytwarzania elementów śrub.

Oprócz określenia schematu pływnięcia materiału przy założonych kształtach narzędzi pozwalającego wyznaczyć optymalne parametry kształtu w poszczególnych etapach, jak również wyznaczenia rozkładów temperatury, naprężeń, odkształceń, przemieszczenia materiału w różnych obszarach i uwzględnienia odkształceń sprężystych przy modelowaniu numerycznym kucia na zimno, istot-

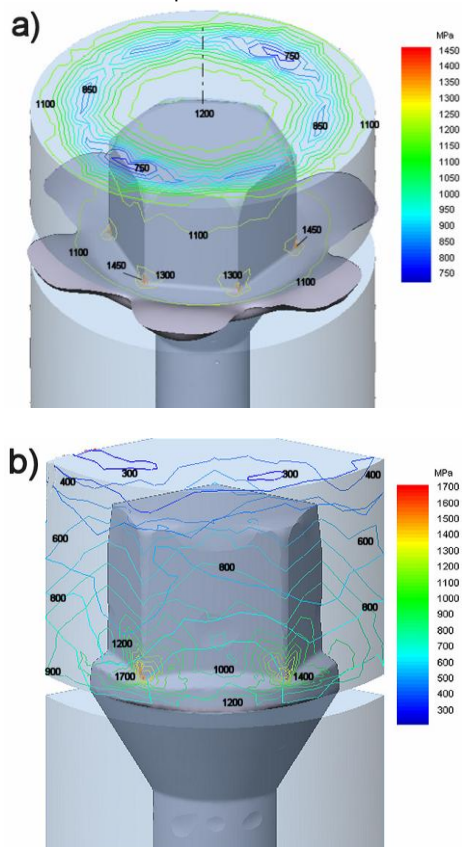


Rys. 2. Ukształtowany łeb śruby z wyplýwką: a, c – model numeryczny, b, d – rzeczywisty [6]



Rys. 3. Przykładowy przyjęty wariant pokazujący etapy wyciskania przedkuwki (a), matrycowania łba (b) [6]

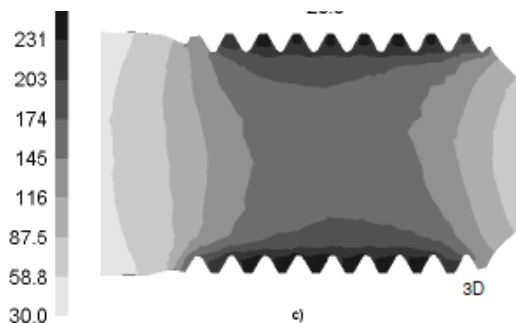
nie jest określenie odkształcenia sprężystego matryc. Ponieważ po kuciu łeb analizowanej śruby, podobnie jak wiele innych odkuwek drobnych kształtowanych na zimno, nie jest już poddawany żadnej obróbce, musi mieścić się w wąskich tolerancjach wymiarowych. Precyzję kucia można prognozować obliczając odkształcenie sprężyste matryc. Na rysunku 4 pokazano rozkład intensywności naprężeń w stemplu, w ostatnim etapie kucia.



Rys. 4. Rozkład intensywności naprężeń w matrycy górnej w ostatnim etapie kucia: a) z wypływką, b) bez wypływki [6]

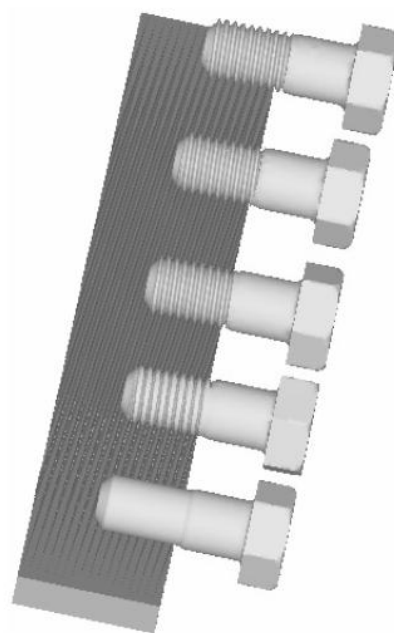
2. ANALIZA NUMERYCZNA PROCESU WALCOWANIA POPRZECZNEGO GWINTU ŚRUBY

Innym przykładem wykorzystania symulacji numerycznej do analizy elementów złącznych jest badanie procesu walcowania poprzecznego gwintu śruby. Można pokazać przydatność wykorzystania MES w warunkach przestrzennego stanu odkształcenia (model 3D) do analizy złożonego procesu kształtowania plastycznego metodą walcowania gwintu [4]. W szczególności możliwe jest uzyskanie dokładnych informacji na temat rozkładów stanu naprężenia i odkształcenia, których nie można wyznaczyć w inny sposób. Zastosowanie obliczeń numerycznych do analizy kształtowania gwintu pozwoliło także na określenie rozkładu temperatury materiału w czasie kształtowania. Przedstawione na rysunku 5 rozkłady temperatury odnoszące się do modeli 2D (rys. 5a, 5b), dotyczą końca procesu kształtowania. Taki rozkład temperatury jest bliski rzeczywistości, gdyż największa temperatura metalu występuje w miejscu styku narzędzia z materiałem, a jej wzrost jest wynikiem zamiany pracy tarcia, oraz pracy odkształcenia plastycznego na ciepło. Jednak rząd wielkości amplitud temperatur jest kilkakrotnie niższy od notowanego dla modelu 3D.



Rys. 5. Rozkład temperatury (w °C) w przekroju osiowym śruby wyznaczony dla końca fazy wejściowej dla modelu 3D [4]

Na rysunku 6 przedstawiono kolejne położenia śruby względem narzędzia w czasie trwania procesu kształtowania. Możliwość zastosowania modelu 3D do obliczeń walcowania gwintu pozwoliła na prześledzenie zmian kształtu śruby podczas walcowania gwintu.



Rys. 6. Zmiana kształtu śruby w czasie kształtowania metodą walcowania poprzecznego stycznego [4]

Na końcu strefy wyjściowej śruba ma prawidłowy kształt i jest wyrobem gotowym do użycia.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule wybrane przykłady wspomagania komputerowo technologii wytwarzania elementów złącznych pokazują, że można bez konieczności przeprowadzania kosztownych eksperymentów dobrać odpowiednie warunki procesu wymagane do uzyskania produktu wysokiej jakości (o oczekiwanym kształcie, bez konieczności dodatkowych zabiegów technologicznych), przy minimalnych kosztach (redukcja strat materiałowych). Obecnie dostępne programy do symulacji procesów kucia osiągnęły taki stopień zaawansowania, że modelując sprężyste i cieplne zmiany wymiarów możliwa jest znaczna poprawa dokładności wymiarowo-kształtowej uzyskiwanych wyrobów, np. procesie kucia. Pozwala to bardziej zbliżyć się do finalnego kształtu wyrobu przy minimalnym zużyciu materiału. Mimo przedstawionych zalet obliczeń numerycznych, należy jednak pamiętać, że obliczenia w przestrzeni trójwymiarowej (3D) są ciągle jeszcze czasochłonne i mogą stanowić przeszkodę w szybkim procesie projektowania. Mimo wysokiej

wiarygodności, programy do modelowania numerycznego nie zawsze w pełni mogą zastąpić tradycyjne metody projektowania wybranych technologii, z których korzysta się określając parametry modeli geometrycznych do symulacji. Tradycyjne metody projektowania znajdują ciągłe zastosowanie przy określaniu reologii i zachowania metalu podczas procesu technologicznego.

dr hab. inż. **Krzysztof Tereskiewicz** - Politechnika Rzeszowska, im. I. Łukasiewicza, 38-959 Rzeszów, Wydział Zarządzania, al. Powstańców Warszawy 12, Tel: +48 17 865 1343, e-mail: kteres@prz.edu.pl

BIBLIOGRAFIA

1. Bramley A., N., Mynors D., J.: *The use of forging simulation tools*. Materials and Design 21 (2000) 279-286
2. Pietrzyk M., Madej Ł., Żmudzki A., *Komputerowe modelowanie procesów przetwórstwa metali – analiza wieloskalowa*. Hutnik + Wiadomości Hutnicze, 4, 2005, 238-246
3. Rudakov W., L.: *Izgotovlenie boltov povyzhennoi prochnosti dlia rielsovych stikov ŚeleznogoroŚnogoputi*. Kuznecno-Stampovocnoe Proizvodstvo: obrabotka materialov davleniem. Moskwa 2004 no. 3, 17-21
4. ŚOŁNIK P., PATER Z., *Analiza numeryczna procesu walcowania poprzecznego gwintu śruby M20x2,5 metodą styczną*. Obróbka Plastyczna Metali t. XXI nr 3 (2010)
5. Yung-Chang Y., [i in.]: *Estimation of tool wear in orthogonal cutting using the finite element analysis*. Journal of Materials Processing Technology 146 (2004) 82-91
6. Żmudzki A., Skubisz P., Sińczak J., Pietrzyk M., *Wykorzystanie metod symulacji w procesach kuźniczych*. Obróbka Plastyczna Metali t. XVII nr 3 (2006)
7. Żmudzki A., Węglarczyk S., Kondak T., Pietrzyk M., *Numerical simulation of advanced metal processing*, Manufacturing systems development industry expectations, ed. Jerzy Jędrzejewski, Machine Engineering, Vol. 5, 3-4, 2005, 12-23.

THE USE OF NUMERICAL SIMULATION METHODS IN THE MANUFACTURE CONNECTING ELEMENTS

Abstract

The article presents selected examples of the application of numerical simulation of manufacturing processes connecting elements. Presents selected aspects of modeling precision cold forging hexagon bolts and rolling process cross-tighten the screw. Both issues are not simple from the standpoint of numerical modeling. However, they show how you can use computer technology to solve technological problems at the design stage.

Autorzy:

dr inż. **Irena Nowotyńska** – Politechnika Rzeszowska, im. I. Łukasiewicza, 38-959 Rzeszów, Wydział Zarządzania, al. Powstańców Warszawy 12, Tel: +48 17 865 1894, e-mail: i_nowot@prz.edu.pl

dr hab. inż. **Stanisław Kut** – Politechnika Rzeszowska, im. I. Łukasiewicza, 38-959 Rzeszów, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, al. Powstańców Warszawy 12, Tel: +48 17 865 1558, e-mail: stan_kut@prz.edu.pl