

Marek BURDEK

Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica

MODELOWANIE NUMERYCZNE PROCESU ZGNIATANIA OBROTOWEGO TULEI ZE STALI MARAGING

Celem pracy było modelowanie numeryczne procesu zgniatania obrotowego tulei ze stali maraging z zastosowaniem programu QForm3D. Analizowano warianty procesu różniące się średnicą rolek i grubością ścianki tulei. W wyniku obliczeń stwierdzono, że zarówno zmiana średnicy rolek jak i zmiana grubości ścianki tulei powodują podwyższenie temperatury na powierzchni tulei, co jest niedopuszczalne ze względu na możliwe starzenie materiału, które prowadzi do przedwczesnego pęknięcia.

Słowa kluczowe: stal maraging, korpus silnika rakietowego, zgniatanie obrotowe

NUMERICAL MODELLING OF FLOW FORMING OF MARAGING STEEL TUBE BLANK

The aim of the work was numerical modelling of flow forming of maraging steel tube blank with QForm3D software. Process variants with different roll diameters or tube blank wall thickness were analyzed. It was found that both the change of roll diameter and the change of tube blank wall thickness caused the increase of temperature on the tube blank surface, which was not acceptable because of the possibility of steel aging resulting in premature cracking.

Key words: maraging steel, rocket motor body, flow forming

1. WPROWADZENIE

Stale maraging są materiałami coraz częściej wykorzystywanymi przez projektantów ze względu na jej unikatowe właściwości, tj. bardzo dużą wytrzymałość w porównaniu z innymi gatunkami stali, którą zawdzięczają umocnieniu cząsteczkami faz międzymetalicznych w osnowie martenzytycznej [1]. Ujemną cechą stali maraging jest ich wysoki koszt wytwarzania, nie tylko ze względu na dużą zawartość pierwiastków stopowych, lecz również ze względu na konieczność stosowania materiałów wsadowych o dużej czystości oraz wytapiania próżniowego [2]. Z powyższych względów stale maraging stosuje się na wyroby specjalne, takie jak elementy silników rakietowych, przeguby skrzydeł o zmiennej geometrii, wały turbin gazowych, korbowody i wały napędowe samochodów.

Zgniatanie obrotowe na zimno jest wyjątkowo trudnym procesem do symulacji numerycznych ze względu na złożoność ruchu narzędzi i wsadu (jednoczesne występowanie ruchu obrotowego i posuwisto-zwrotnego trzech i więcej rolek i obracającego się trzpienia z tuleją) zwłaszcza wobec specyficznych właściwości stali maraging, szczególnie przy odkształcaniu na zimno.

Celem pracy było modelowanie numeryczne procesu zgniatania obrotowego na zimno tulei ze stali maraging z zastosowaniem programu QForm3D. Przewidywano, że poprzez zmianę średnicy rolek lub zmianę grubości materiału wsadowego można wpłynąć na zmianę technologii wykonania korpusów silników rakietowych.

Pracę realizowano w ramach projektu, którego celem była optymalizacja technologii produkcji korpusu silnika rakietowego, polegająca m.in. na wykonaniu korpusu z odcinka pręta metodami kucia, ciągnięcia oraz zgniatania obrotowego na zimno.

2. PROGRAM DO SYMULACJI NUMERYCZNYCH

2.1. KRÓTKA INFORMACJA O PROGRAMIE

Ze względu na unikatowość procesu zgniatania obrotowego brak jest gotowych programów do jego symulacji numerycznej. Dotychczasowe próby symulacji zgniatania obrotowego na zimno z zastosowaniem programu „Forge” (w ramach projektu rozwojowego dot. wykonania korpusów silników rakietowych kaliber 227 mm technologią zgniatania obrotowego) nie dały zadowalających rezultatów. Obliczenia trwały bardzo długo i nie zakończyły się sukcesem. Z tego powodu zaplanowano zakup programu komputerowego, który można zaadaptować do symulacji zgniatania obrotowego.

Do zakupu wytypowano program QForm3D przeznaczony do symulacji numerycznych procesów przeróbki plastycznej. Program QForm3D został wybrany ze względu na swoje unikatowe cechy, do których można zaliczyć: intuicyjny interfejs, możliwość łatwej pracy w obrębie projektu z różnymi wariantami technolo-

gicznymi, w pełni automatyczna generacja siatki MES zarówno wsadu jak i narzędzi, czy też zapewnienie uzyskania wyników obliczeń w krótkim czasie. Program umożliwi symulację procesu zgniatania obrotowego na zimno, co w połączeniu z korzystną ceną wyróżniało go spośród konkurencyjnych programów. Program funkcjonuje na komputerach klasy PC.

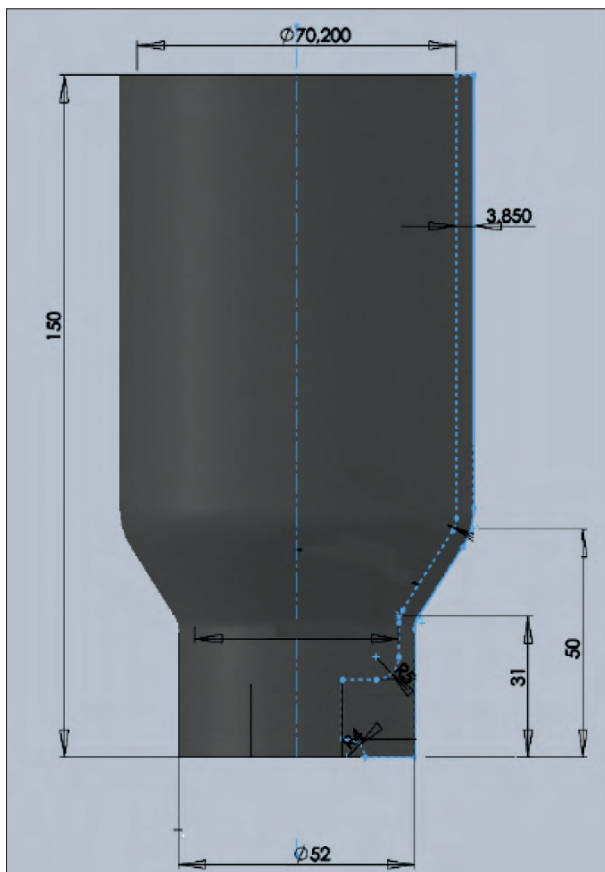
2.2. PRZYGOTOWANIE PROCESU ZGNIATANIA OBROTOWEGO NA ZIMNO

W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych zbudowano w bazie urządzeń programu QForm nowe pięcionarzędziowe urządzenie użytkownika, a następnie przy pomocy kreatora symulacji programu QForm złożono operację zgniatania obrotowego.

Zdefiniowano parametry dodatkowe, które w zależności od wariantu obliczeń mogły ulec zmianie, ponieważ w pierwszej fazie obliczeń numerycznych zmierzano do zbliżenia się do warunków rzeczywistego procesu zgniatania obrotowego. Dodatkowo zdefiniowano boksy: mocujący (z rozszerzeniem fix), podtrzymujący (z rozszerzeniem box) oraz dla siatki MES (z rozszerzeniem adp).

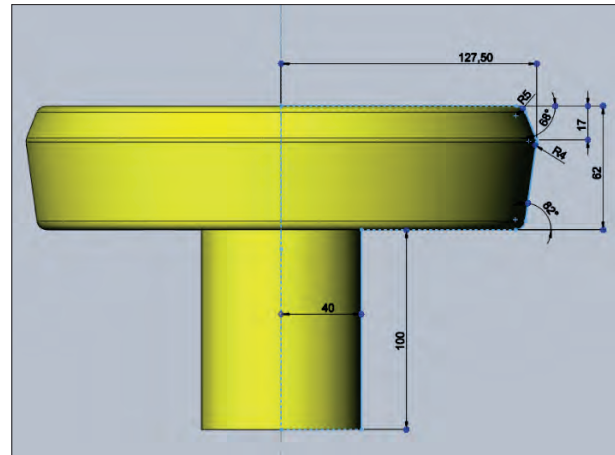
2.3. PRZYGOTOWANIE GEOMETRII WSADU I GEOMETRII NARZĘDZI

W celu przygotowania geometrii wsadu i geometrii urządzeń wykorzystano program SolidWorks. Na rys. 1 przedstawiono wymiary wsadu, na rys. 2 przykładową rolkę zgniatającą, a na rys. 3 schemat procesu zgniatania obrotowego z uwzględnieniem rozmieszczenia rolek na obwodzie



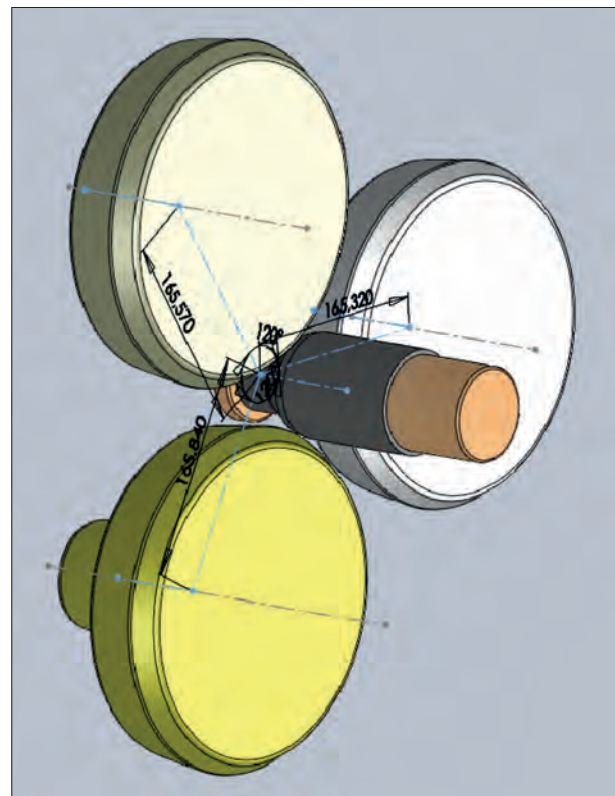
Rys. 1. Materiał wsadowy

Fig. 1. Charge material



Rys. 2. Rolka nr 1

Fig. 2. Roll No. 1



Rys. 3. Schemat procesu zgniatania obrotowego na zimno

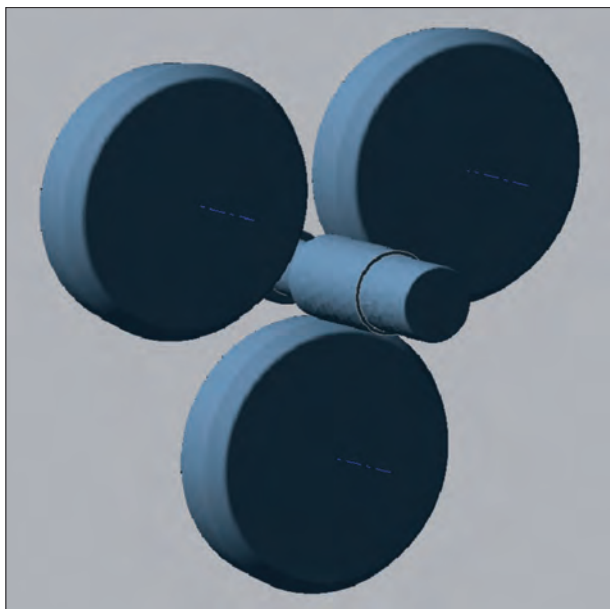
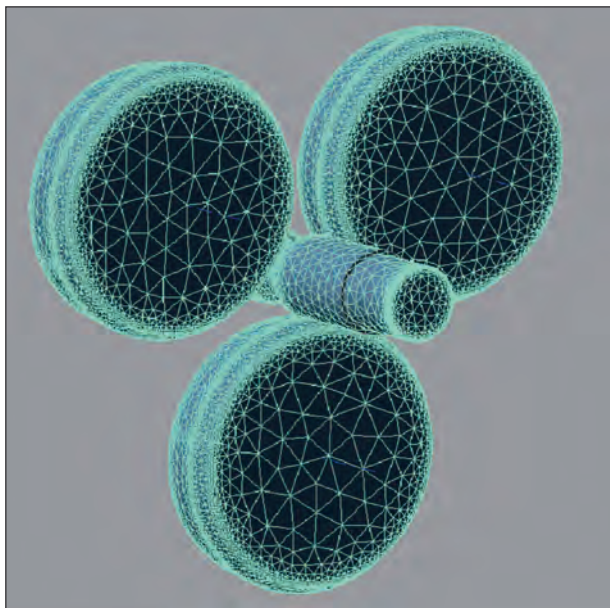
Fig. 3. Diagram of cold flow forming

tulei (co 120°), wzajemnego umiejscowienia poosiowego rolek (różna odległość między rolkami nr 1 i 2 oraz 2 i 3) oraz umiejscowieniem rolek względem osi tulei odpowiednio: 165,84 mm, 165,57 mm i 165,32 mm, w wyniku czego rolki zagłębią się w materiał na wymagane głębokości. Tak przygotowana geometria została zaimportowana do podprogramu QShape (rys. 4).

2.4. WARUNKI BRZEGOWE PROCESU ZGNIATANIA OBROTOWEGO TULEI

Do symulacji numerycznych wybrano operację zgniatania obrotowego tulei o redukcji grubości ścianki z 3,8 na 2,5 mm (wariant v7). W procesie tym ustawienie rolek jest następujące:

rolka nr 1 – gniot 1,0 mm;



Rys. 4. Schemat procesu w podprogramie QShape
Fig. 4. Diagram of flow forming in subprogram QShape

rolka nr 2 – gniot 0,55 mm;
rolka nr 3 – gniot 0,50 mm.

Jak widać, rzeczywisty gniot sumaryczny jest większy od gniotu wyliczonego z redukcji grubości (odpowiednio $\Delta g_r = 2,05$ mm i $\Delta g = 1,3$ mm). Wynika to z faktu, że takie nastawy urządzenia zapewniają uzyskanie założonej grubości ścianki po przepuszczeniu. Dla takich samych nastaw rolek wykonano obliczenia odkształcania tulei rolek o mniejszej średnicy (wariant v9) oraz odkształcania tulei o większej grubości ścianki z zastosowaniem rolek standardowych (v10), jak w wariantach v7. Celem tych obliczeń była próba modyfikacji bieżącej technologii przemysłowej, przyjętej w obliczeniach jako standardowa.

Pozostałe parametry brzegowe były następujące:

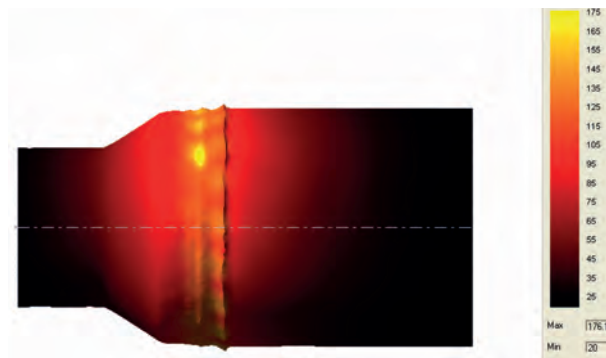
- prędkość obrotowa trzpienia: 580 obr/min.,
- prędkość liniowa rolek: 5 mm/s,
- chłodzenie: woda,
- materiał: stal N18K12M4Ts,

- temperatura wsadu: 20°C,
- temperatura narzędzi: 20°C,
- wymiary narzędzi zgodnie z rysunkami.

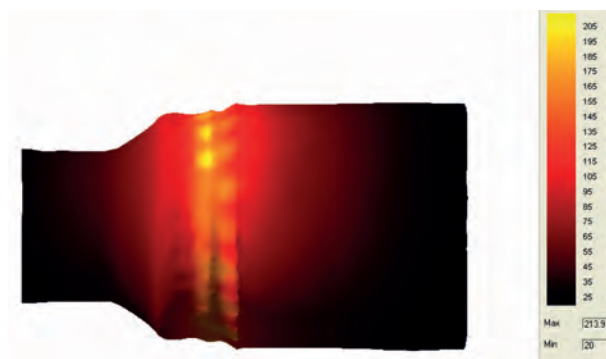
2.5. WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

Temperatura na powierzchni tulei

Na rys. 5÷7 przedstawiono przykładowe wyniki symulacji zgniatania obrotowego na zimno tulei dla

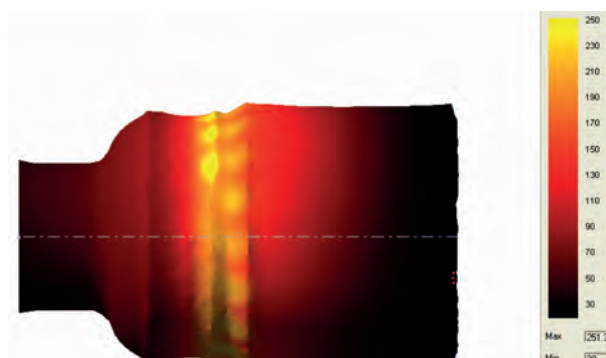


Rys. 5. Rozkład temperatury na powierzchni tulei w czasie zgniatania obrotowego na zimno – wariant podstawowy v7
Fig. 5. Distribution of temperature on tube blank surface during flow forming – basic variant v7



Rys. 6. Rozkład temperatury na powierzchni tulei w czasie zgniatania obrotowego na zimno – wariant v9 (mniejsza średnica rolek)

Fig. 6. Distribution of temperature on tube blank surface during flow forming – variant v9 (smaller roll diameters)



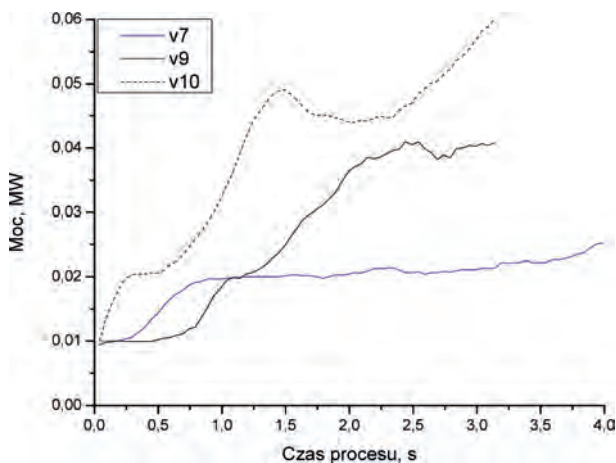
Rys. 7. Rozkład temperatury na powierzchni tulei w czasie zgniatania obrotowego na zimno - wariant v10 (większa grubość ścianki tulei)

Fig. 7. Distribution of temperature on tube blank surface during flow forming – variant v10 (bigger thickness of tube blank)

trzech wariantów procesu po 9 rekordach obliczeń, co odpowiada 2,5 sekundy procesu. Jak widać, najniższą temperaturę na powierzchni zanotowano dla podstawowego wariantu obliczeń i jest ona zbliżona do warunków rzeczywistych. Zastosowanie rolek o mniejszej średnicy i takiej samej geometrii jak rolki standardowe spowodowało wzrost temperatury o ok.30°C, a zmiana grubości ścianki tulei skutkuje znacznym wzrostem temperatury do prawie 200°C, a lokalnie nawet do 300°C, co jest niedopuszczalne ze względu na możliwe starzenie materiału, spowodowane dużym odkształceniem i wysoką temperaturą i w konsekwencji pękaniem ścianek tulei [3].

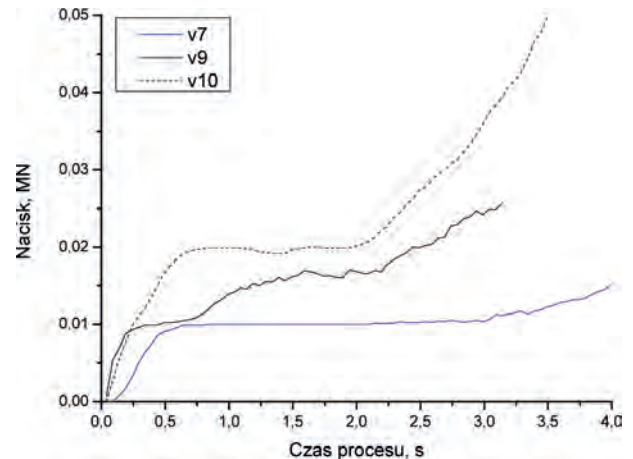
Parametry siłowe procesu

Na rys. 8 i 9 przedstawiono wykresy rozkładu mocy koniecznej do prowadzenia procesu oraz całkowitej siły nacisku wywieranej przez rolki na materiał. Jak widać, zmniejszenie średnicy rolek lub zwiększenie grubości ścianki tulei, przy niezmiennych innych parametrach, prowadzi do wzrostu sił nacisku oraz mocy koniecznej do odkształcania. Jest to związane ze wzrostem temperatury tulei, który przy zbyt małej intensywności chłodzenia może wywołać w materiale tulei proces starzenia, co w konsekwencji spowoduje lokalne utwardzenie materiału, utrudniające dalsze odkształcanie tulei, a w dalszej perspektywie – pęknięcie ścianki tulei.



Rys. 8. Całkowita moc procesu; v7 – wariant podstawowy, v9 – wariant ze zmniejszoną średnicą rolek, v10 – wariant ze zwiększoną grubością ścianki tulei

Fig. 8. Total power in process; v7 – basic variant, v9 – variant with smaller roll diameters, v10 – variant with bigger thickness of tube blank



Rys. 9. Całkowita siła nacisku; v7 – wariant podstawowy, v9 – wariant ze zmniejszoną średnicą rolek, v10 – wariant ze zwiększoną grubością ścianki tulei

Fig. 9. Total load in process; v7 – basic variant, v9 – variant with smaller roll diameters, v10 – variant with bigger thickness of tube blank

4. PODSUMOWANIE

Wykonano symulacje numeryczne procesu zgniataania obrotowego na zimno tulei wg obecnej technologii oraz dla dwóch nowych wariantów, różniących się średnicami rolek odkształcających i grubością ścianki tulei. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że modelowanie procesu zgniataania obrotowego na zimno jest niezwykle trudne i czasochłonne. Otrzymane wyniki obliczeń wskazują kierunki zmian technologii zgniataania obrotowego, lecz nie są dość dokładne dla wyznaczenia konkretnych nastaw urządzenia. Okazało się, że proponowane zmniejszenie średnicy rolek nie przyniesie spodziewanych wyników. Ewentualne wprowadzenie zgniataania obrotowego tulei o większej grubości ścianek skutkowałoby zmianami w ustawieniach urządzenia, m.in. należałoby zwiększyć intensywność chłodzenia tulei oraz prawdopodobnie zmniejszyć prędkość obrotową trzpienia. Zdecydowano, że na obecnym etapie rozpoznania wpływu zmian parametrów zgniataania obrotowego na przebieg tego procesu i właściwości materiału, nie ma podstaw do zaproponowania radykalnych zmian do wartości obecnie stosowanych parametrów. Przy kontynuacji symulacji (w ramach innego projektu) należałoby prowadzić obliczenia dla innych sterwalnych parametrów, np. prędkości obrotowej walców i prędkości przesuwu rolek.

Artykuł opracowano na podstawie wyników projektu badawczego rozwojowego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr O R00 0011 08.

LITERATURA

- Garbarz B., Gorczyca S.: Zmiany zachodzące w czasie starzenia stali maraging, *Archiwum Hutnictwa*, t.24, z.4, 1979, s.439.
- Wilson R.K.: *Maraging steel. Recent developments and applications*, A Publication of The Minerals, Metals and Materials Society, Pennsylvania, 1988.
- Burdek M., Marcisz J., Stępień J., Adamczyk M., *Optymalizacja parametrów starzenia po zgniataaniu obrotowym na zimno stali maraging N18K9M5Ts i N18K12M4Ts oraz zbadanie dynamicznych właściwości mechanicznych stali na korpusy wytwarzane metodą zgniataania obrotowego na zimno*, Sprawozdanie IMŻ nr S0 0714, Gliwice, 2009, praca niepublikowana.