

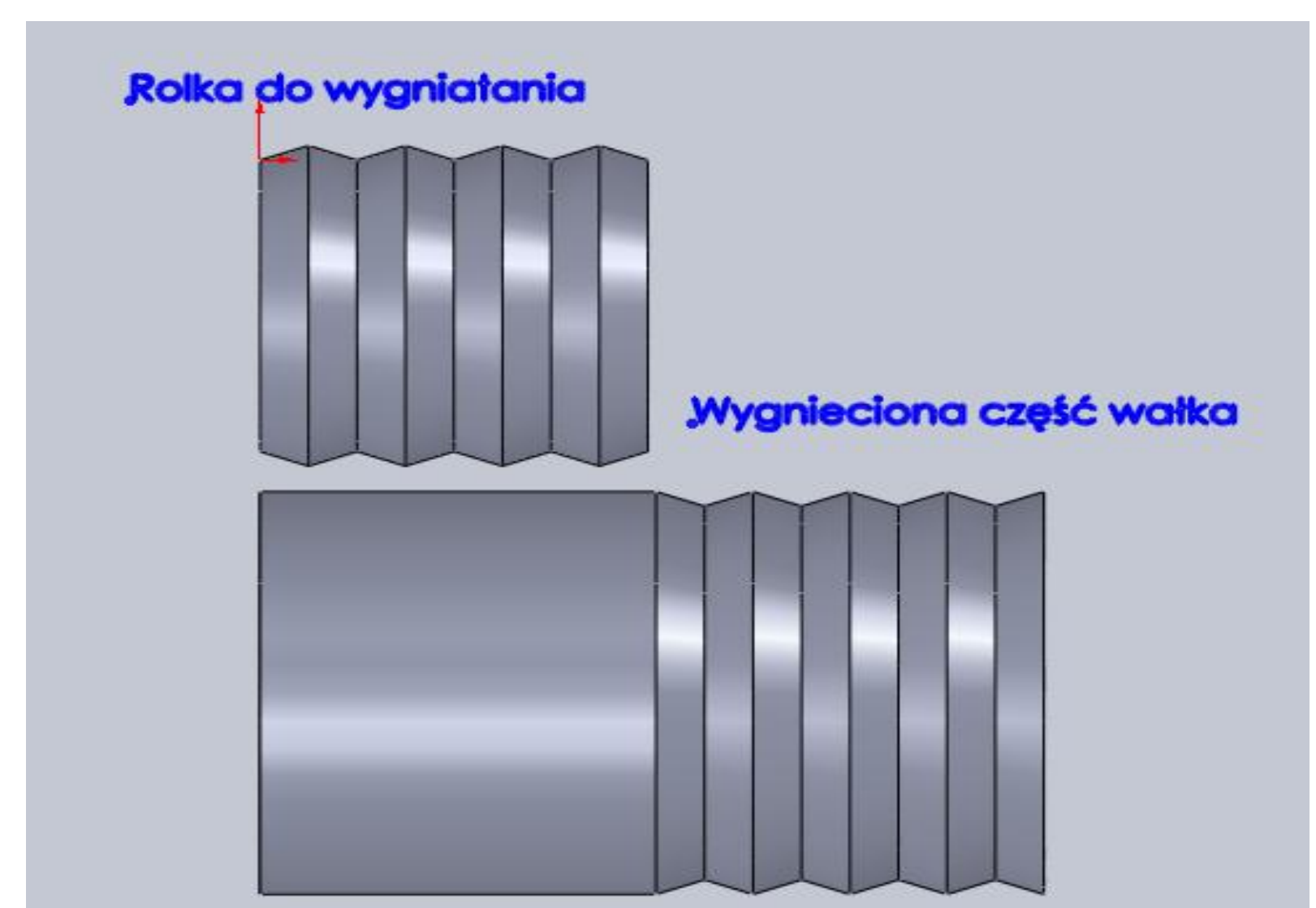
Autorzy: prof. dr hab. inż. Leon Kukiełka, Michał Szcześniak

e-mail: [mieteksszcześniak@wp.pl](mailto:mieteksszcześniak@wp.pl)Instytucja: Politechnika Koszalińska, Katedra Mechaniki Technicznej  
i Wytrzymałości Materiałów**Analiza numeryczna procesu wygniatacia nierówności trójkątnych  
na powierzchni wałków stalowych**

Rodzaj zastosowanej obróbki wykończeniowej, podczas której zostaje ukształtowana warstwa wierzchnia, istotnie wpływa na jakość technologiczną wyrobu. Proces nagniatania pozwala uzyskać bardzo dobre właściwości wyrobu, powoduje podwyższenie właściwości mechanicznych, zmniejsza chropowatość powierzchni i zwiększa odporność na zużycie ścierne. Mimo oczywistych zalet płynących z zastosowania obróbki nagniataniem jest ona rzadko stosowana w przemyśle polskim. Jednym z przyczyn takiej sytuacji są trudności w uzyskaniu stabilnej struktury geometrycznej po obróbkach poprzedzających. Niezdefiniowana struktura geometryczna powierzchni do nagniatania powoduje, że po procesie nagniatania struktura geometryczna powierzchni wyrobu jest również przypadkowa. Jednym z rozwiązań jest zastąpienie ubytkowych metod przygotowania powierzchni (toczenie, frezowanie i szlifowanie) metodami obróbki plastycznej. Plastyczne wygniatacie nierówności zapewni ich regularność i okresowość. Wydaje się, że najkorzystniejszym zarysem nierówności jest zarys trójkątny, ponieważ w czasie wygniatacia powstają mniejsze naprężenia w materiale niż w przypadku np. zarysu trapezowego. Inny powód skłaniający do wyboru nierówności trójkątnych wynika, że na szeroką skalę stosuje się proces wygniatacia gwintów o zarysie trójkątnym, co w znaczący sposób ułatwia przygotowanie próbek do badań.

**Proces wygniatacia nierówności trójkątnych**

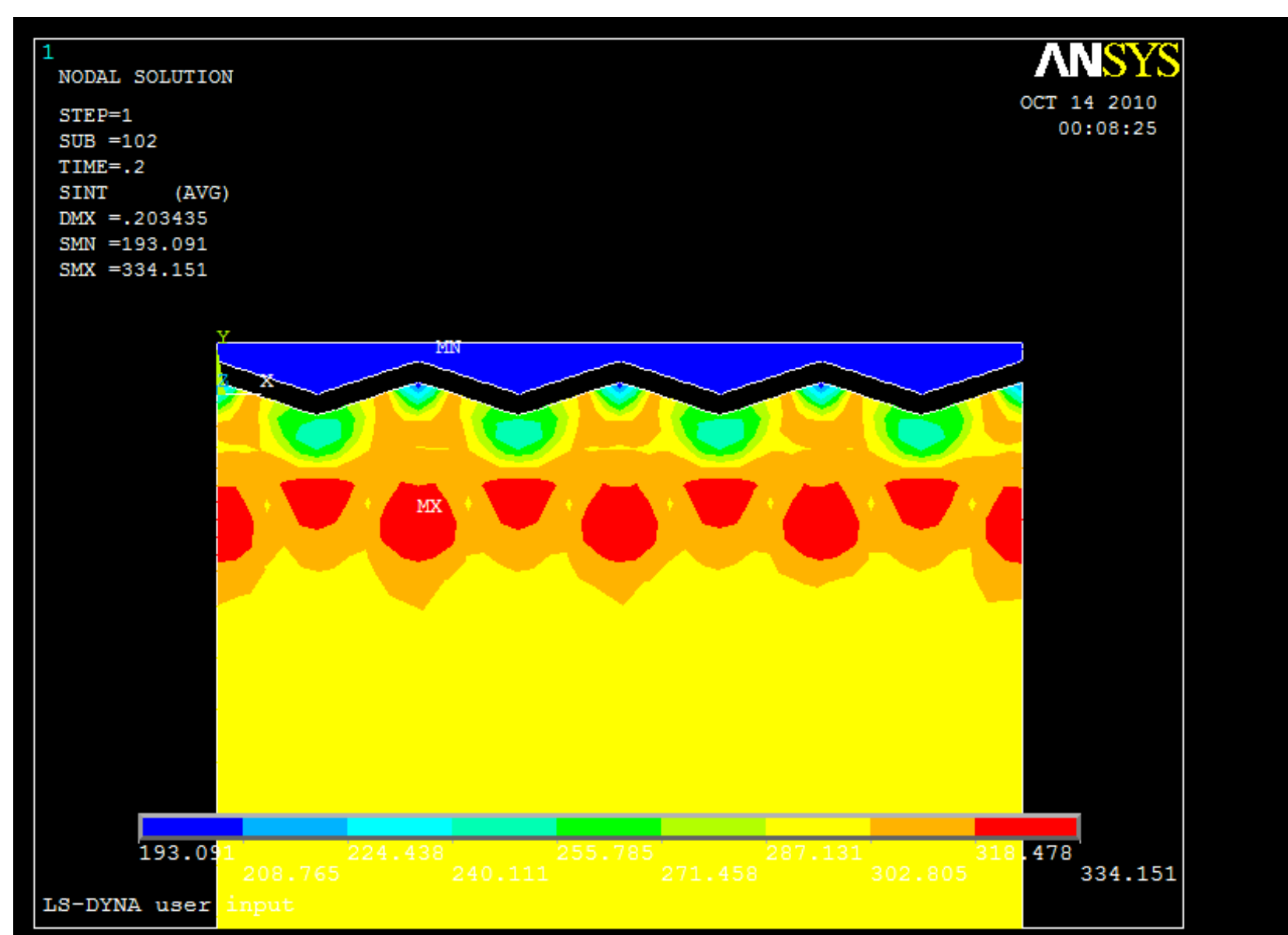
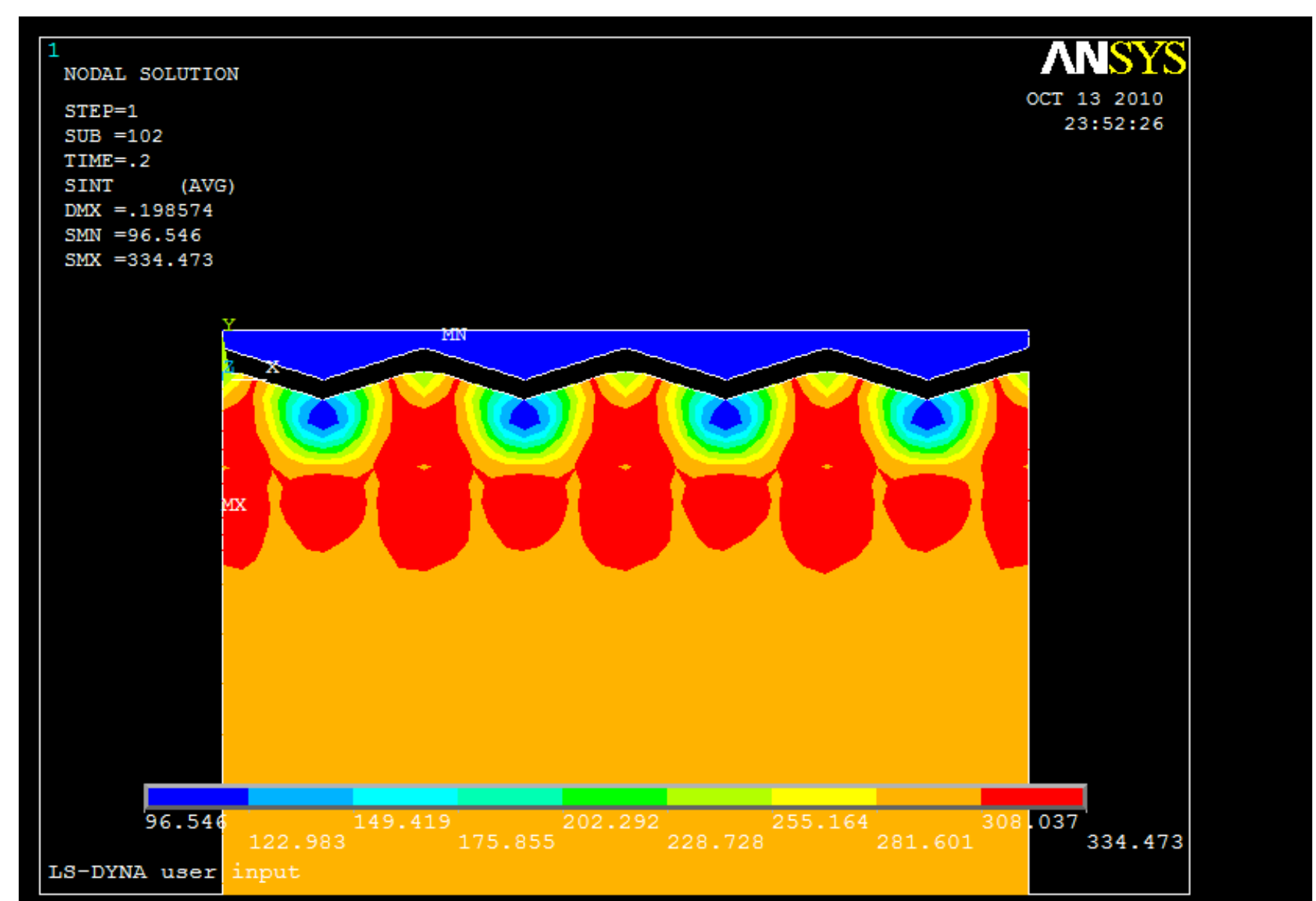
Analiza procesu wygniatacia trójkątnych nierówności została przeprowadzona dla próbek wałkowych (rys. 1). Dla założonej grubości warstwy wierzchniej  $g=3$  mm, przyjęto następujące parametry geometryczne nierówności: wysokość  $h=0,32$  mm, kąt pochylenia boków  $\beta=20^\circ$ , promień zaokrąglenia wierzchołków  $r=0,2$  mm. Wartość kąta pochylenia boków zapewnia całkowite wygładzenie powierzchni w procesie nagniatania bez występowania tzw. wgłębień wtórnych. Symulacje przeprowadzono w celu określenia wpływu modułu umocnienia materiału przedmiotu na jakość wygniatających nierówności. Do analizy numerycznej metodą elementów skończonych zastosowano program ANSYS. Do rozwiązania równania ruchu zastosowano metodę Explicit. W celu ułatwienia obliczeń proces został zamodelowany jako 2D, przyjmując płaski stan odkształceń i przestrzenny stan naprężeń. Symulacja nie uwzględnia płynięcia materiału na kierunku stycznym tj. przed i za narzędziem. Rolka wygniatająca została przyjęta jako idealnie sztywna, natomiast przedmiot jako ciało sprężysto-plastyczne, z umocnieniem. Przedmiot obrabiany został dyskretyzowany elementami typu solid. Przemieszczenie narzędzia w kierunku  $Y=0,16$  mm. Parametry modelu materiałowego wyniosły odpowiednio: moduł Younga  $E=210$  GPa, współczynnik Poissona  $\nu=0,3$  i początkowa granica plastyczności  $\sigma_0=300$  MPa. Analiza została przeprowadzona dla dwóch wartości modułu umocnienia:  $E_T=250$  MPa i  $E_T=750$  MPa.



Rys. 1. Schemat układu przedmiot-narzędzie w procesie wygniatacia trójkątnych nierówności

**Wyniki symulacji**

Wyniki symulacji przedstawiają mapy intensywności naprężeń dla modułu umocnienia  $E_T=250$  MPa (rys. 2) i  $E_T=750$  MPa (rys. 3).

Rys. 2. Mapa intensywności naprężeń w wygniatających nierównościach dla modułu umocnienia materiału  $E_T=250$  MPaRys. 2. Mapa intensywności naprężeń w wygniatających nierównościach dla modułu umocnienia materiału  $E_T=750$  MPa**Wnioski**

Symulacje numeryczne umożliwiają analizę zjawisk, których obserwacja lub pomiar w trakcie badań eksperymentalnych jest niemożliwe lub bardzo trudna i kosztowna. W pierwszej fazie obciążania zachodzą jedynie odkształcenia sprężyste, po czym sprężysto-plastyczne a następnie plastyczne. Natomiast po odciążeniu materiał ulega odsprężynowaniu – pojawiają się odkształcenia sprężyste. Można je zaobserwować i pomierzyć numerycznie, natomiast w praktyce są niezauważalne lub bardzo trudne do zmierzenia.

Potwierdzono istotny wpływ modułu umocnienia na proces kształtowania nierówności. Im większy jest moduł umocnienia tym trudniej jest uzyskać całkowite wypełnienie przestrzeni pomiędzy dwoma sąsiednimi klinami. Dla modułu  $E_T=750$  MPa wierzchołki zarysu nie zostały ukształtowane właściwie. W celu wyeliminowania tego zjawiska należy bądź przeprowadzić odpowiednią modyfikację zarysu narzędzia, bądź obniżyć moduł umocnienia poprzez podgrzanie materiału. Wymaga to jednak przeprowadzenia dodatkowych symulacji. Największa intensywność naprężeń w wygniatającej nierówności wynosi  $\sigma=334$  MPa. Głębokość ich zalegania zależy również od modułu umocnienia. Rolki wygniatające powinny być wykonane z odpowiednio twardego materiału, który będzie w stanie przenieść duże naciski występujące w czasie wygniatacia a jednocześnie nie będzie ulegał zbyt dużym odkształceniom sprężystym, które należy uwzględnić w projektowaniu procesu obróbki.

Proces wygniatacia nierówności a następnie ich nagniatania gładkościowego jest rozwiązaniem nowatorskim. Z przeprowadzonych symulacji wynika, że łączne analizowanie obu procesów jest słuszne. W przyszłości pozwoli to zaprojektować segmentowe głowice do realizacji tych operacji w jednym przejściu.