

Autorzy: inż. Mioduszeński Piotr, inż. Szcześniak Michał, dr inż. Patyk Radosław  
e-mail: mioduszek@o2.pl

Instytucja: Politechnika Koszalińska, Katedra Mechaniki Technicznej  
i Wytrzymałości Materiałów

**Tytuł plakatu: Analiza wpływu profilu  
chropowatości powierzchni po obróbce poprzedzającej na stan warstwy  
wierzchniej przedmiotu po nagniataniu**



**Streszczenie:**

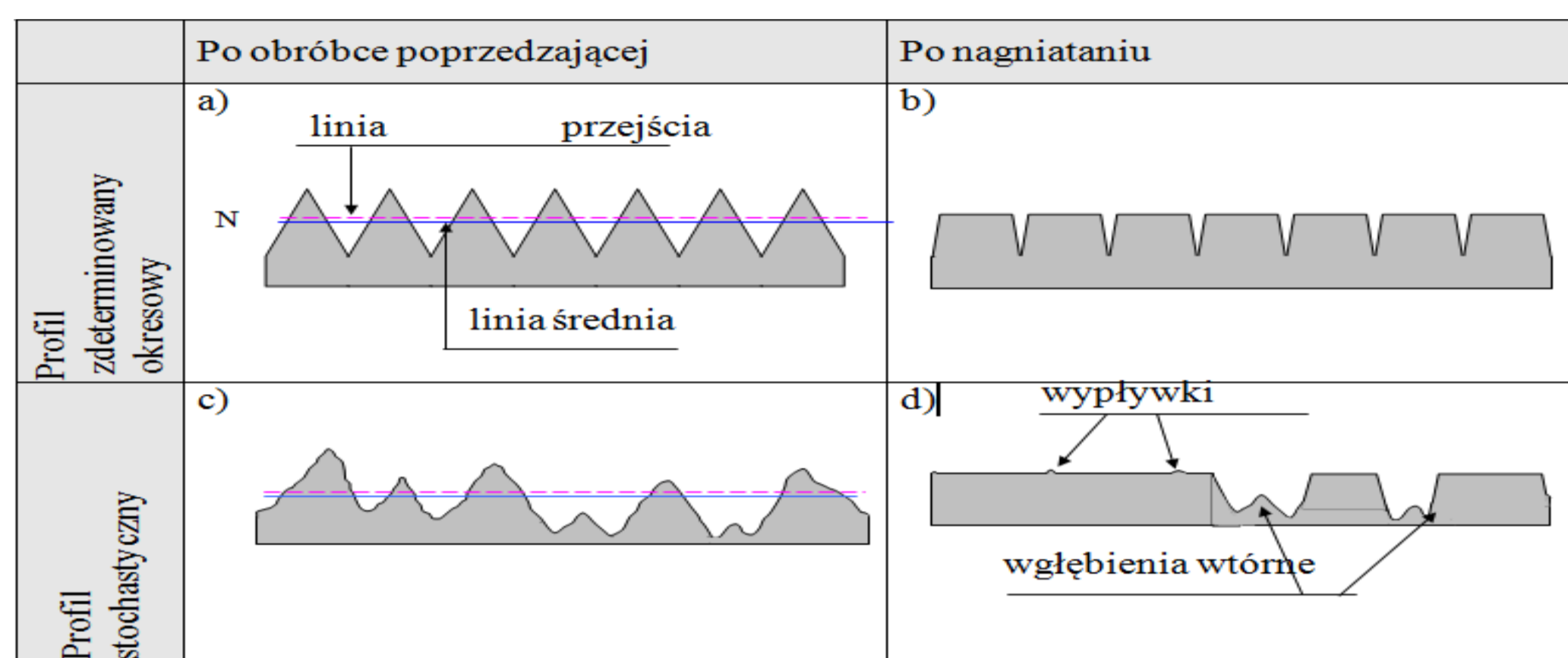
Warstwa wierzchnia od wielu lat jest obiektem badań i eksperymentów ze strony naukowców. Poznanie jej właściwości i charakterystyki jest niezmiernie ważne, ponieważ około 80% uszkodzeń części maszyn zaczyna się na powierzchni przedmiotów lub bezpośrednio pod nią. Dzieje się tak, gdyż podczas pracy i eksploatacji maszyn elementy, z których zostały skonstruowane ulegają zużyciu. Proces ten spowodowany jest oddziaływaniem zbioru wszelkiego rodzaju wymuszeń zewnętrznych (ciepłych, mechanicznych, chemicznych, elektrycznych itp.). Nieodpowiednie właściwości warstwy wierzchniej są przyczyną krótszej żywotności detali jak i zmniejszeniu ich niezawodności. Do najważniejszych właściwości wpływających na trwałość detali należą: umocnienie, naprężenia własne, struktura geometryczna powierzchni, rodzaj i struktura materiału raz wielkość i rozkład wad materiału. Analizując proces technologiczny, w którym nagniatanie stosowane jest jako obróbka wykańczająca jakość wyrobu zależy zarówno od warunków realizacji procesu, jak i od stanu przedmiotu po obróbce poprzedzającej. Spośród trzech profili chropowatości: stochastyczny (rys. 1.c), zdeterminowany okresowy (rys. 1.a) oraz kompozycyjny, najkorzystniejszy w procesie nagniatania jest profil zdeterminowany okresowy, ponieważ stosując go uzyskujemy po operacji nagniataniem również profil regularny (rys. 1.b). Stosowanie tego profilu pozwala na świadome sterowanie procesem nagniatania i otrzymywanie zaplanowanych wyników. W innym przypadku otrzymana warstwa wierzchnia charakteryzuje się dużą anizotropią umocnienia i utwardzenia, powstają wypłytki oraz wgłębienia wtórne. Stosowanie takich metod jak frezowanie, szlifowanie lub toczenie w obróbkach poprzedzających uniemożliwia uzyskanie odpowiednich właściwości warstwy wierzchniej pod nagniataniem. Nie jest możliwe uzyskanie tymi technologiami profilu zdeterminowanego okresowego o określonym zarysie nierówności. Można tego dokonać posługując się metodami obróbki plastycznej. Obróbka ta charakteryzuje się m.in. bardzo małą chropowatością, poprawieniem wytrzymałości zmęczeniowej oraz zwiększeniem odporności na korozję.

**Analiza numeryczna procesu nagniatania  
gładkościowo-umacniającego:**

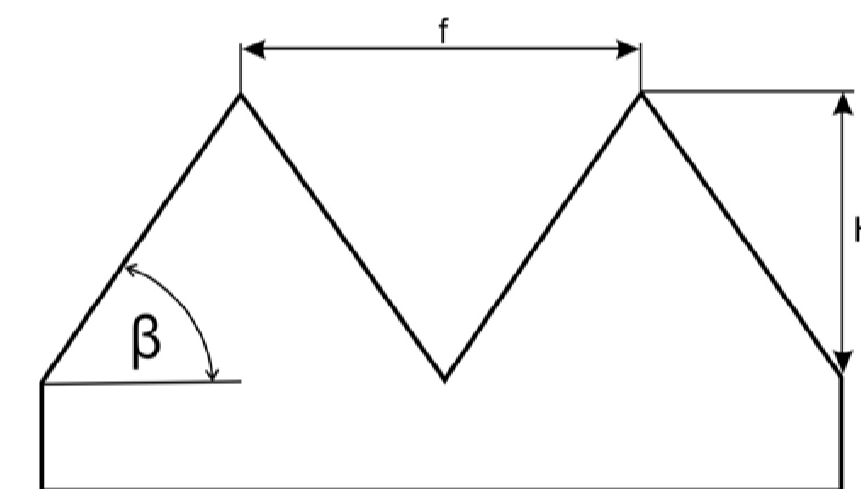
W przeprowadzonej analizie przyjęto przestrzenny stan naprężeń i płaski stan odkształceń. Materiał nagniatany zamodelowany został jako sprężysto/lepkoplastyczny, a narzędzie jako ciało idealnie sztywne. Symulację opracowano z zastosowaniem całkowania jawnego (metoda explicit). Do dyskretyzacji narzędzia oraz przedmiotu nagniatanego użyto elementu typu PLANE 162. Rozpatrywany zarys nierówności (rys. 2.) miał profil zdeterminowany okresowy trójkątny, o kącie wierzchołkowym  $2\alpha$  zmieniającym się w przedziale od  $140^\circ$  do  $150^\circ$  oraz odstępem między wierzchołkami równym  $f=1\text{mm}$ . Po przeanalizowaniu otrzymanych wyników zaproponowana została zmiana profilu chropowatości. Dodane zostało zaokrąglenie dna nierówności o promieniu  $r=0.3\text{mm}$  (rys. 3.).

**Wyniki analizy numerycznej:**

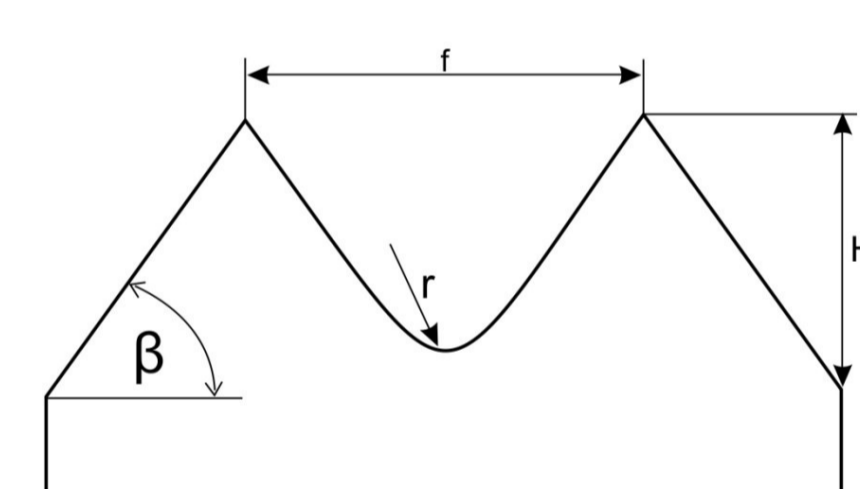
Analiza numeryczna procesu nagniatania gładkościowo - umacniającego przeprowadzona została dla kątów wynoszących  $13^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $17^\circ$  i  $20^\circ$ . Profil użytym w symulacji był zdeterminowany okresowy o zarysie trójkątnym. Skok pomiędzy wierzchołkami nierówności był stały. Zmienną wielkością była wysokość  $H$  zależna od rozpatrywanego kąta. Poniżej przedstawiono mapy intensywności naprężeń dla kąta  $\beta = 13^\circ$  przed wprowadzeniem zmian w profilu nierówności oraz po zaokrągleniu dna nierówności (rys. 4. i rys. 5.). Po przeanalizowaniu wyników zauważyć można, że istnieje zależność pomiędzy jakością wygładzenia powierzchni otrzymanej, a kątem przy podstawie trójkąta. Stosunkowo najlepsze wygładzenie powierzchni uzyskano dla kąta  $\beta$  wynoszącego  $13^\circ$ . Głębokość wrębu wyniosła w tego przypadku  $0,016\text{mm}$ . Po modyfikacji profilu chropowatości głębokość wrębu dla tego samego kąta zmniejszyła się niemal o połowę i wynosiła  $0,0085\text{mm}$ . Szczegółowe wyniki przedstawione zostały w poniższych tabelach.



Rys. 1. Przykładowe profile chropowatości po obróbce poprzedzającej i po nagniataniu



Rys. 2. Profil chropowatości użyty w symulacji



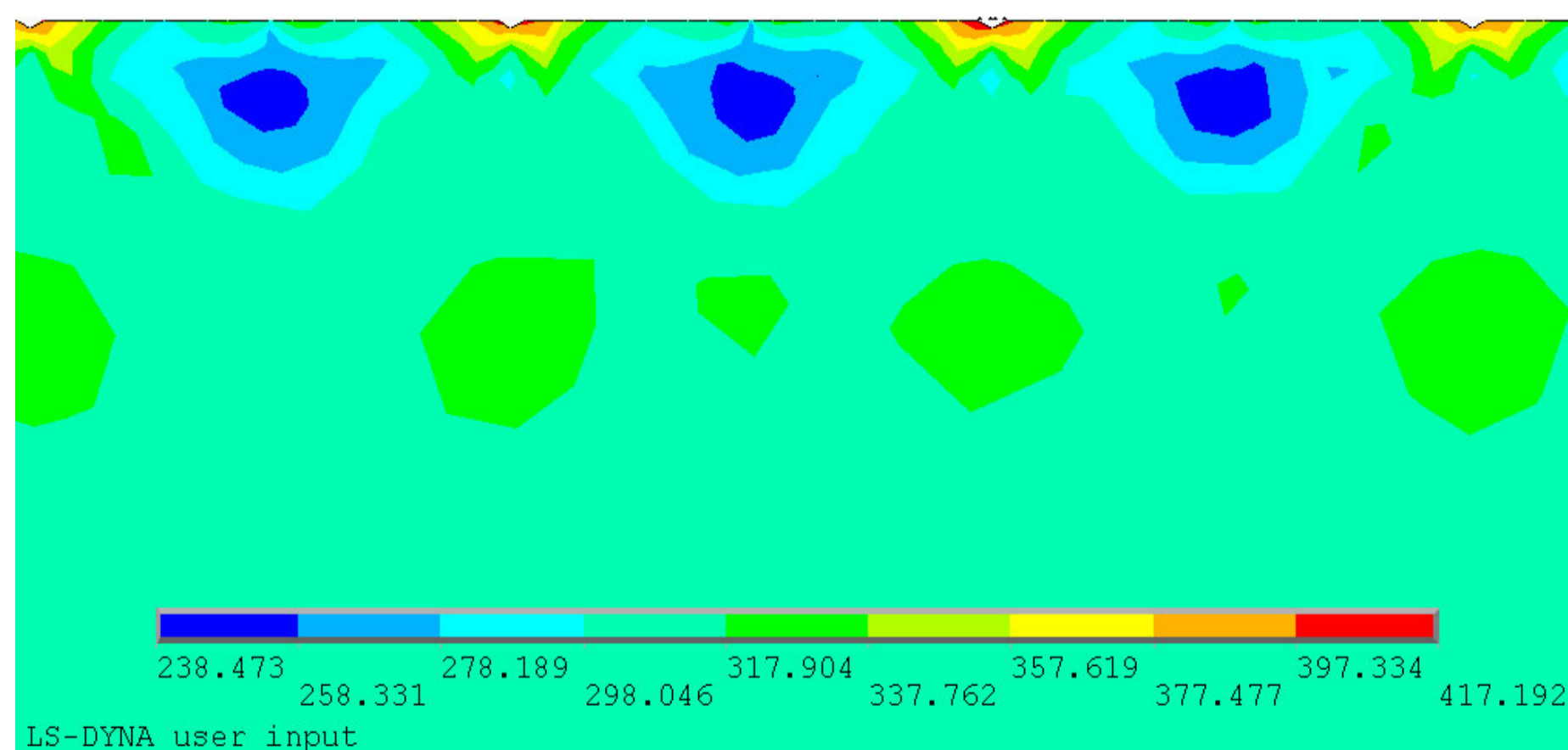
Rys. 3. Profil chropowatości użyty w symulacji z zaokrągleniem dna wrębu

Tab. 1. Wartości wgłębienia  $h_1$  dla profilu bez zaokrąglenia dna wrębu

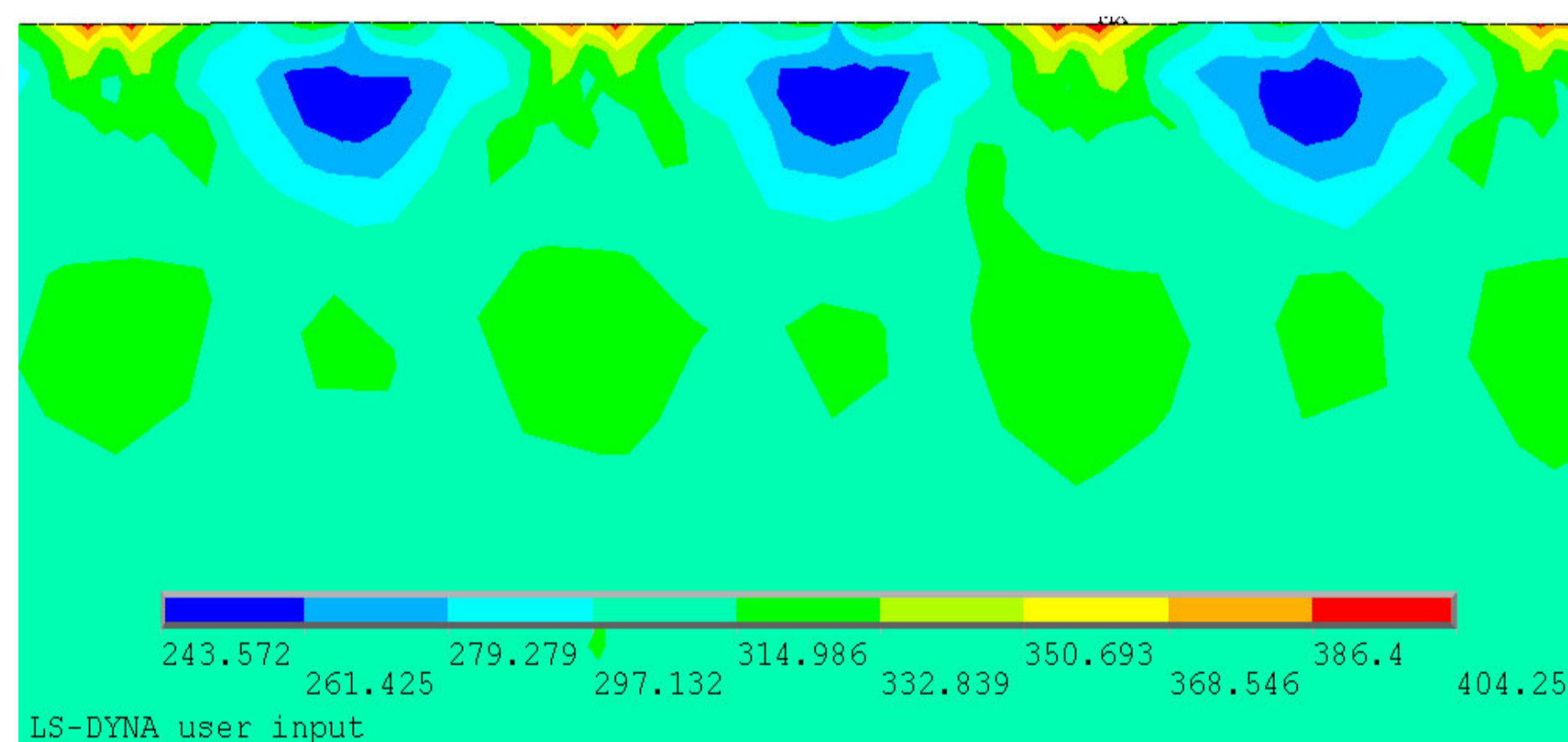
Wartości kąta $\beta$ [°]	13	15	17	20
wartość $h_1$ [mm]	0,0167	0,0228	0,0343	0,0561

Tab. 2. Wartości wgłębienia  $h_2$  dla profilu z zaokrągleniem dna wrębu

Wartości kąta $\beta$ [°]	13	15	17	20
wartość $h_2$ [mm]	0,0085	0,0114	0,0231	0,0346



Rys. 4. Intensywność naprężeń dla kąta  $= 13^\circ$  bez zaokrąglenia dna nierówności



Rys. 5. Intensywność naprężeń dla kąta  $= 13^\circ$  z zaokrągleniem dna nierówności

**Wnioski:**

Przeprowadzone zmiany kształtu profilu chropowatości wpłynęły na otrzymane wyniki. Dla kąta wynoszącego  $13^\circ$  uzyskano najlepszą jakość powierzchni. Wartość naprężeń powstałych w badanym materiale wzrasta razem ze zwiększającym się kątem. W przeciwieństwie do przedmiotu kształtowanego przy użyciu toczenia lub frezowania są to naprężenia ściskające. Wpływają one korzystnie na niezawodność wyrobu poprawiając jego wytrzymałość zmęczeniową. Odkształcenia plastyczne wystąpiły jedynie w strefie warstwy wierzchniej, co pozwala na uzyskanie przedmiotu twardego i odpornego na ścieranie, jednocześnie posiadającego niezmienną właściwość rdzenia materiału. Ich wartości maksymalne rosły wraz ze zwiększaniem się kąta  $\beta$ . Otrzymany w ten sposób wyrób będzie bardziej odporny na pęknięcie. W przeprowadzonych badaniach nie uwzględniono występowania zjawiska płynięcia materiału w kierunku obwodowym. Zmusza to do przeprowadzenia bardziej złożonej i dokładniejszej symulacji w 3D oraz do zweryfikowania otrzymanych wyników na drodze eksperymentalnej.