

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Analiza numeryczna nagniatającego przepychania ślizgowego tulei stalowych

Tomasz Dyl, Wioletta Kuśmierska-Matyszcak

Katedra Materiałów Okrętowych i Technologii Remontów, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Morski w Gdyni

email: t.dyl@wm.umg.edu.pl, wiolettakusmierska@gmail.com

STRESZCZENIE: Obróbka nagniataniem wewnętrznych powierzchni walcowych jest stosowana jako wykończeniowa obróbka elementów typu: tuleje, rury i itp. Celem stosowania danego sposobu obróbki nagniataniem może być np. zwiększenie gładkości i dokładności przedmiotu, względy ekonomiczne oraz zwiększenie odporności na korozję i na zmęczenie. Głębokość zalegania odkształceń plastycznych i stopień umocnienia oraz dokładność obróbki to główne różnice efektów obróbkowych dla poszczególnych sposobów nagniatania. Dobór warunków nagniatania jest zależny od sposobu wywierania docisku elementów nagniatających do obrabianej powierzchni, który może być sprężysty (siłowy) lub sztywny (naprężeniowy). W pracy zaproponowano zastosowanie procesu nagniatania do obróbki wewnętrznych powierzchni walcowych twardym narzędziem w postaci nagniataka trzpieniowego. W trakcie nagniatającego przepychania ślizgowego siła jest wywierana w głównej mierze przez suwak prasy, przemieszczając element nagniatający, posiada przy tym właściwości pchające. Wykonano symulacje komputerowe nagniatającego przepychania ślizgowego w programie FORGE® pozwalające na przeprowadzenie obliczania stanu naprężenia i odkształcenia w tulejach stalowych.

SŁOWA KLUCZOWE: nagniatające przepychanie ślizgowe, nagniatak trzpieniowy, stan naprężenia, stan odkształcenia, tuleje stalowe

1. Wprowadzenie

Nagniatanie jest to oddziaływanie twardego i gładkiego elementu nagniatającego (np. kulki, rolki, krążka, nagniataka trzpieniowego) na powierzchnię obrabianą. Nagniatające przepychanie ślizgowe polega na przepychaniu elementu nagniatającego, który ma większy wymiar niż otwór o wartość tzw. wcisku nagniatania. Do nagniatającego przepychania ślizgowego otworów stosowane w produkcji seryjnej i masowej są: kulki, nagniataki trzpieniowe oraz wieloelementowe przeciągacze ślizgowe [1, 6, 8]. W wyniku nagniatania w warstwie wierzchniej występuje stan odkształcenia sprężystego i stan odkształcenia plastycznego. Oddziaływanie narzędzia nagniatającego na przedmiot obrabiany najczęściej jest modelowane z zastosowaniem rozwiązań dla ciał sprężysto – plastycznych oraz sztywno – plastycznych [2-4, 6-9].

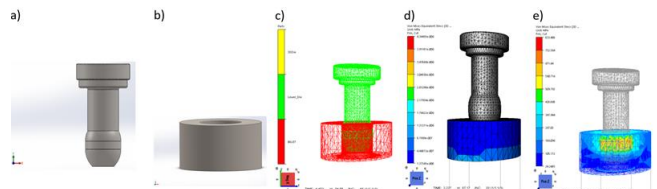
W pracy przedstawiono wyniki analizy numerycznej procesu nagniatania. Określono sposób oddziaływania sztywnego narzędzia o określonej krzywiznie elementu nagniatającego na odkształcany przedmiot. Na styku elementu nagniatającego z wewnętrzną powierzchnią tulei ze stali określono stan odkształcenia i stan naprężenia wykorzystując program komercyjny FORGE® oparty na metodzie elementów skończonych MES [5]. Nagniatające przepychanie ślizgowe umożliwia poprawę parametrów geometrycznych otworu, zmniejszenie chropowatości powierzchni, zwiększenie twardości warstwy wierzchniej, ukonstytuowanie ściskających naprężeń własnych. Obróbka ta cechuje się dużą wydajnością, prostotą oprzyrządowania technologicznego oraz możliwością obróbki otworów o osi nieprostoliniowej. Element nagniatający ma większy

wymiar niż otwór o wartość wcisku. Wcisk nagniatania to różnica wymiaru narzędzia i wymiaru przedmiotu po obróbce poprzedzającej, określanej jako średnia wartość pomiaru w trzech płaszczyznach.

W pracy przedstawiono analizę pola odkształcenia i naprężenia w tulei stalowej podczas procesu nagniatającego przepychania ślizgowego.

2. Modelowanie numeryczne

Modelowanie numeryczne nagniatającego przepychania ślizgowego polegało na określeniu oddziaływania sztywnego narzędzia jakim jest nagniatak trzpieniowy ze stali 20CrMo4 (1.7225) o określonej krzywiznie i średnicy zewnętrznej równej 17 mm na odkształcany przedmiot, a mianowicie tuleję ze stali niestopowej C45 (rys. 1).



Rys. 1. Model 3D: a) nagniataka trzpieniowego, b) tulei, c) widok siatki MES, d) widok siatki MES dla złożenia podczas rozpoczęcia symulacji, e) z widocznym rozkładem intensywności naprężeń

Próbki miały jednakową średnicę zewnętrzną 45 mm i wysokość 25 mm. Docelowo średnica wewnętrzna po obróbce nagniataniem powinna wynosić 17 mm. Wartość wcisku wynosiła 0,1 mm. Jest to różnica wymiaru

mierzonego w trzech płaszczyznach, przed obróbką i po nagniataniu.

Właściwości reologiczne stali niestopowej C45 i łożyskowej 20CrMo4 (tab. 1). zostały wprowadzone do programu FORGE® za pomocą funkcji Hensla - Spittla [2, 4, 7]:

$$\sigma_p = K_0 e^{m_1 T} \varepsilon^{m_2} \dot{\varepsilon}_i^{m_3} e^{\frac{m_4}{\varepsilon}} \quad (1)$$

gdzie:

σ_p - naprężenie uplastyczniające,

ε - intensywność odkształcenia,

$\dot{\varepsilon}_i$ - prędkość odkształcenia,

T - temperatura,

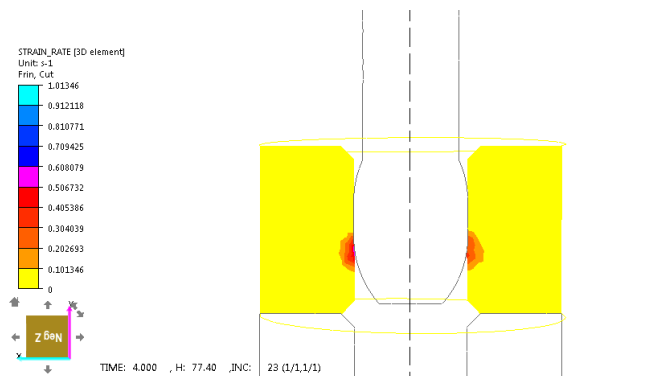
K_0, m_1, m_2, m_3, m_4 - współczynniki materiałowe wyznaczone poprzez aproksymację badań plastometrycznych (tab. 1).

Tabela 1. Współczynniki określające własności reologiczne stali wykorzystanych w badaniach numerycznych

Stal	K_0	m_1	m_2	m_3	m_4
C45	1521,306	-0,00269	-0,12651	0,14542	-0,05957
20CrMo4	1232,9863	-0,00254	-0,05621	0,1455	-0,0324

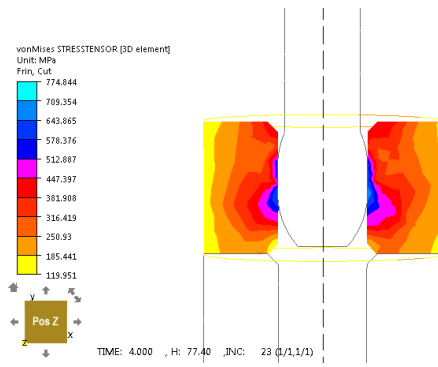
3. Wyniki badań modelowych

Modelowanie numeryczne przeprowadzono dla wcisku $w = 0,1$ mm i dla nagniataka trzpieniowego o średnicy $d = 17,00$ mm. Po przeprowadzonych badaniach numerycznych nagniatającego przepychania ślizgowego wyznaczono rozkłady intensywności odkształcenia i intensywności naprężenia dla zadanego odkształcenia bezwzględnego (wcisk nagniatania – w).



Rys. 2. Rozkład intensywności odkształcenia dla stali niestopowej C45 w symulacji komputerowej nagniatającego przepychania ślizgowego w czasie 4 s dla średnicy nagniataka trzpieniowego $\phi 17$ mm

Na podstawie analizy wyników, zamieszczonych na rysunkach 2 i 3, można stwierdzić, że obserwowane jest zwiększenie intensywności odkształcenia i naprężenia w warstwie wierzchniej tulei od jej wewnętrznej strony na styku z elementem nagniatającym.



Rys. 3. Rozkład intensywności naprężenia dla stali niestopowej C45 w symulacji komputerowej nagniatającego przepychania ślizgowego w czasie 4 s dla średnicy nagniataka trzpieniowego $\phi 17$ mm

Do określenia strefy plastycznej w nagniatanym elemencie oraz do wyznaczenia stanu odkształceń, jak również głębokości zalegania odkształceń plastycznych, wykorzystano analizę numeryczną, opartą na metodzie elementów skończonych. Przeprowadzenie analizy głębokości zalegania odkształceń plastycznych w procesie nagniatania jest istotne ze względu na prawidłowe projektowanie i opracowanie technologii nagniatania.

4. Podsumowanie

W pracy przeprowadzono analizę stanu naprężenia i odkształcenia po nagniatającym przepychaniu ślizgowym na zimno. Na podstawie opracowanego modelu matematycznego określono głębokość zalegania odkształceń w materiale.

Po nagniatającym przepychaniu ślizgowym w warstwie wierzchniej od wewnętrznej strony tulei stalowej konstituowane są odkształcenia plastyczne i naprężenia własne na określonej głębokości zależnej od wcisku nagniatania.

Literatura

- [1] Antosz K., Kluz R., Trzepieciński T., Bucior M., *Modeling of the influence of burnishing parameters on the surface roughness of rollers made of 42CrMo4 steel*, Advances in Mechanical and Materials Engineering, 38, pp. 19–29, 2022.
- [2] Dyja H., Mróz S., Rydz D., *Technologia i modelowanie procesów walcowania wyrobów bimetalowych*, Monografie – Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2003.
- [3] Dyl T., Starosta R., Rydz D., Koczurkiewicz B., Kuśmierska-Matyszcak W., *The experimental and numerical research for plastic working of nickel matrix composite coatings*, Materials, 13, 3177, 2020.
- [4] Dyl T., *Numeryczna i eksperymentalna analiza procesu nagniatania z wykorzystaniem teorii sprężystości i plastyczności*, Prace Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia, 2014.
- [5] FORGE® *Reference Guide Release*, Transvalor S.A., Parc de Haute Technologie Sophia-Antipolis 2019.
- [6] Korzyński M., *Nagniatanie ślizgowe*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne. Warszawa, 2007.
- [7] Mróz S., *Proces walcowania prętów z wzdłużnym rozdzielaniem pasma*, Monografie - Politechnika Częstochowska, Częstochowa, 2008.
- [8] Przybylski W., *Technologia obróbki nagniataniem*, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne. Warszawa, 1987.
- [9] Sachin B., Rao C.M., Naik G.M., Puneet N.P., *Influence of slide burnishing process on the surface characteristics of precipitation hardenable steel*, SN Applied Sciences, 3, 223, 2021.