

WIKŁO Marcin¹
KRÓL Kazimierz²
KOŁODZIEJCZYK Krzysztof³
OLEJARCZYK Krzysztof⁴
SIEMIĄTKOWSKI Zbigniew⁵

WPLYW NAPRĘŻEŃ WŁASNYCH NA GEOMETRYCZNE INPERFEKCJE WAŁU KORBOWEGO W TRAKCIE PROCESU OBRÓBKI MECHANICZNEJ CZĘŚĆ II

Artykuł zatytułowany "Wpływ naprężeń własnych na geometryczne inperfekcje wału korbowego w trakcie procesu obróbki mechanicznej" podzielony został na dwie części: część pierwsza (teoretyczna) przedstawia podstawy numerycznej symulacji procesu obróbki mechanicznej druga natomiast przedstawia wyniki numerycznej symulacji. Proces toczenia został zasymulowany w programie MSC MARC z wykorzystaniem modułu Machining. Przedstawiono w nim między innymi wpływ niesymetrycznego usuwania wierzchniej warstwy materiału. Dane wejściowe dla procesu numerycznej symulacji zostały otrzymane z pomiarów dokonanych na gotowym elemencie.

THE INFLUENCE OF RESIDUAL STRESS ON THE GEOMETRIC IMPERFECTIONS OF THE CRANKSHAFT DURING THE PROCESS OF MACHINING PART II

The paper titled "The influence of residual stress on the geometric imperfections of the crankshaft during the process of machining" is divided into two parts: the first part (theoretical) presents the background of the machining process numerical simulations and the other one presents the results of the numerical simulations. Turning modeling is performed with use the MSC. MARC FEM software with the machining module. The influence of the unsymmetrical material removing to the deflection of the element is presented. To input data have been collected from experimental measurements taken on the finished element.

Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Krasickiego 54
Tel: 48/48 361-71-16

¹ E-mail: m.wiklo@pr.radom.pl

² E-mail: k.krol@pr.radom.pl

³ E-mail: k.kolodziejczyk @pr.radom.pl

⁴ E-mail: k.olejarczyk@pr.radom.pl

⁵ Tel: 48/48 361-76-05, E-mail: z.siemiatkowski@pr.radom.pl

1. WSTĘP

W pierwszej części artykułu "Wpływ naprężeń własnych na geometryczne inperfekcje w trakcie procesu obróbki mechanicznej" przedstawiono ogólny zarys idei numerycznej symulacji procesu skrawania. Podano również zaproponowany przez autora publikacji [1,2] podział podejmowanych prac przez osoby zajmujące się tematyką numerycznej symulacji procesu obróbki mechanicznej. Prezentowany artykuł możemy umieścić w działach: geometryczne efekty, parametry procesu oraz naprężenia wewnętrzne w procesie obróbki. W pracy pominięto całkowicie wpływ temperatury, narzędzia, uchwyty, dynamiczne aspekty i kontrole procesu jak również formowanie wiórów.

Głównym celem artykułu jest przedstawienie wpływu uwolnionych naprężeń wewnętrznych na geometrię obrabianego elementu.

Do symulacji numerycznych wybrano model wielkogabarytowego monolitycznego wału korbowego. W celu skrócenia czasu obliczeń ograniczono się do symulacji procesu obróbki mechanicznej jednego wykorbenia.

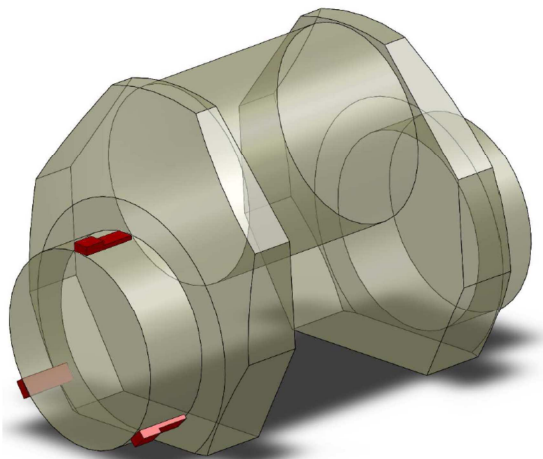
2. SYMULACJA PROCESU SKRAWANIA

2.1 Ogólne założenia

Proces symulacji usuwania materiału wykonano korzystając z oprogramowania MARC firmy MSC z modułem NC/Machining.

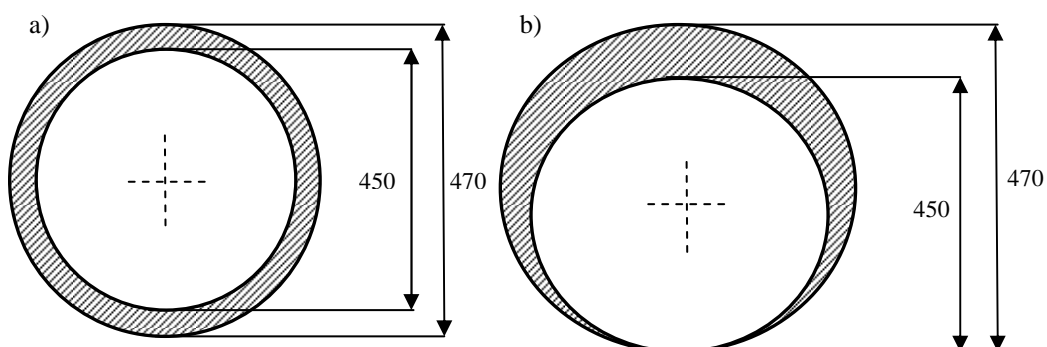
Punkty przyłożenia naprężeń własnych na powierzchni wykorbenia przyjęte są na bazie wyników otrzymanych z pomiarów naprężeń wewnętrznych. Pomiar wykonano metodą wiercenia otworu, przeprowadzony w trakcie realizacji projektu. Dodatkowe dane otrzymano z pracy [3] udostępnionej przez Hutę Ostrowiec CELSA. Wykorzystano również wyniki symulacji numerycznych otrzymane w innym zadaniu projektu, w którym symulowano proces obróbki cieplnej oraz kucia. Dane liczbowe dotyczące warunków początkowych oraz miejsca ich przyłożenia a także zaprogramowana ścieżka narzędzia zostały przedstawione w pierwszej części artykułu.

Celem jak najwierniejszego odwzorowania procesu obróbki mechanicznej założono podparcie przedstawione na rys.1. Na trzech liniach tworzących czopa rozstawionych co $120[^\circ]$ zamrożone są przemieszczenia na kierunku osi x , y i z . Symbolami graficznymi podparcia są na czerwono zaznaczone bryły. W symulacji nie uwzględnia się siły ciężkości, która wprowadziłaby dodatkowe pole naprężeń.



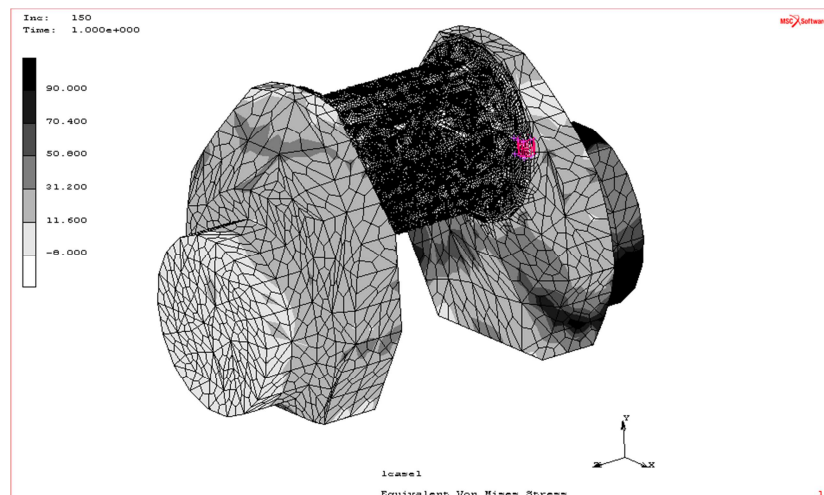
Rys.1. Model bryłowy czopa wału, z zaznaczonymi punktami podparcia

Dla zilustrowania zachowania się wału przeprowadzono dwie symulacje: symetrycznego rys. 2a oraz niesymetrycznego rys. 2b usuwania warstwy materiału. Obszar zakreskowany na rysunkach poniżej przedstawia warstwę usuwaną w trakcie obróbki.

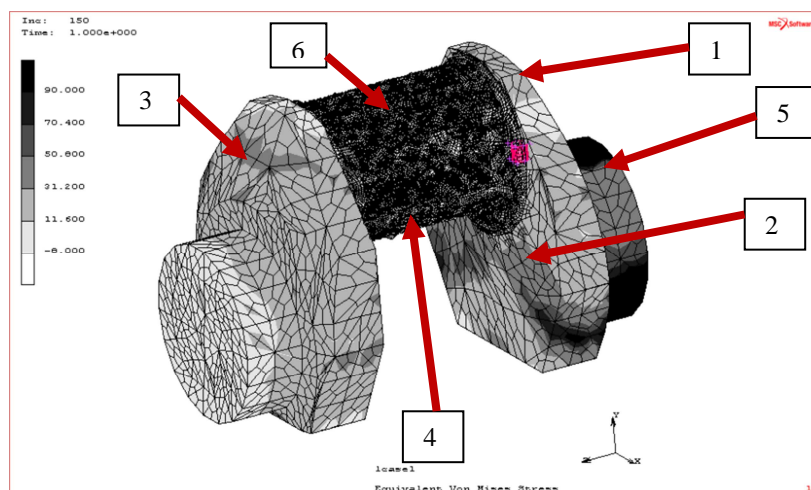


Rys. 2 Schematyczne przedstawienie usuwanej warstwy materiału przy symulacji a) symetrycznej i b) niesymetrycznej.

Na rys. 3 i 4 przedstawiono wyniki symulacji procesu skrawania odpowiednio symetrycznego oraz niesymetrycznego naddatku w postaci map naprężeń zredukowanych na wykorbeniu. Widoczna koncentracja naprężeń spowodowana jest utrzymywaniem się wprowadzonych warunków początkowych przez umieszczone tam warunki brzegowe (uchwyt tokarki). Można zaobserwować, że nierównomierne usuwanie warstwy materiału powoduje uwalnianie większej ilości NW zlokalizowanych w materiale.

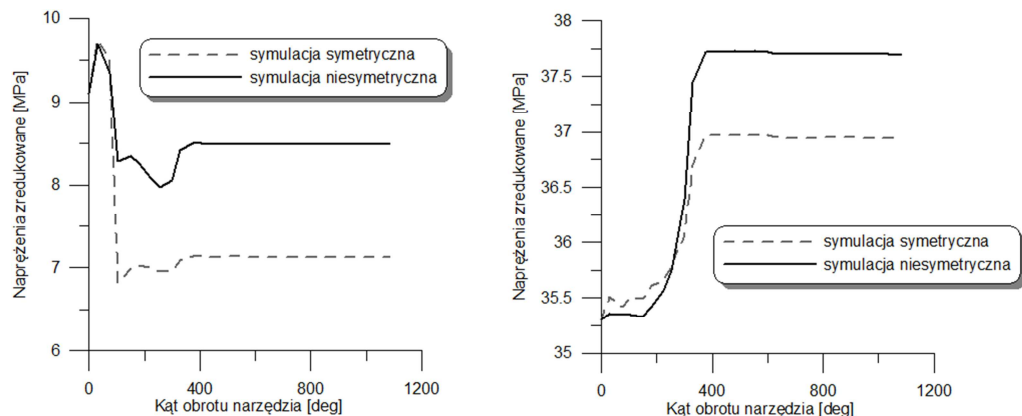


Rys. 3 Rozkład naprężeń zredukowanych w ostatnim kroku procesu symulacji skrawania symetrycznego

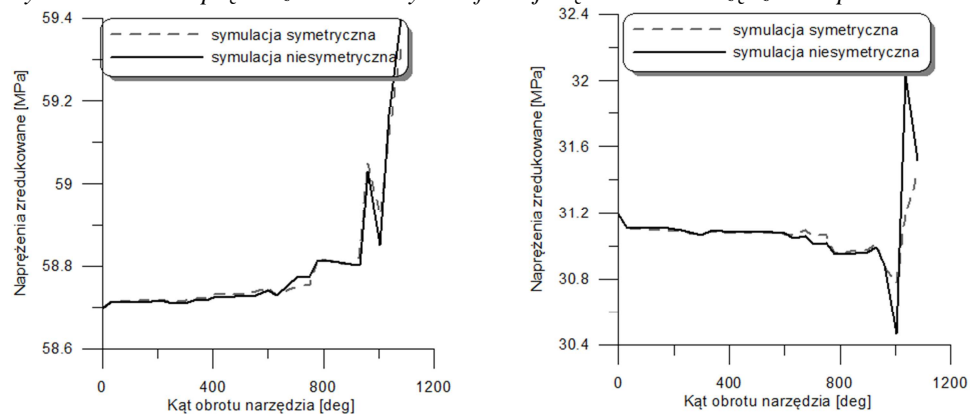


Rys. 4 Rozkład naprężeń zredukowanych w ostatnim kroku procesu symulacji skrawania niesymetrycznego, z oznaczeniem punktów w których porównywane są naprężenia zredukowane

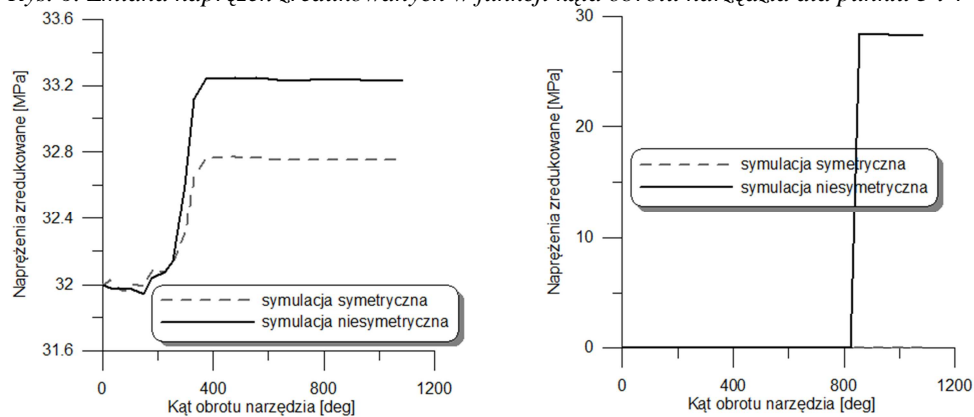
Dla lepszego zilustrowania zmiany poziomu naprężeń na powierzchni wykorbienia wybrano 6 punktów zlokalizowanych w miejscach gdzie można się spodziewać największych gradientów wartości naprężenia rys.5-7.



Rys. 5. Zmiana naprężeń zredukowanych w funkcji kąta obrotu narzędzia dla punktu 1 i 2

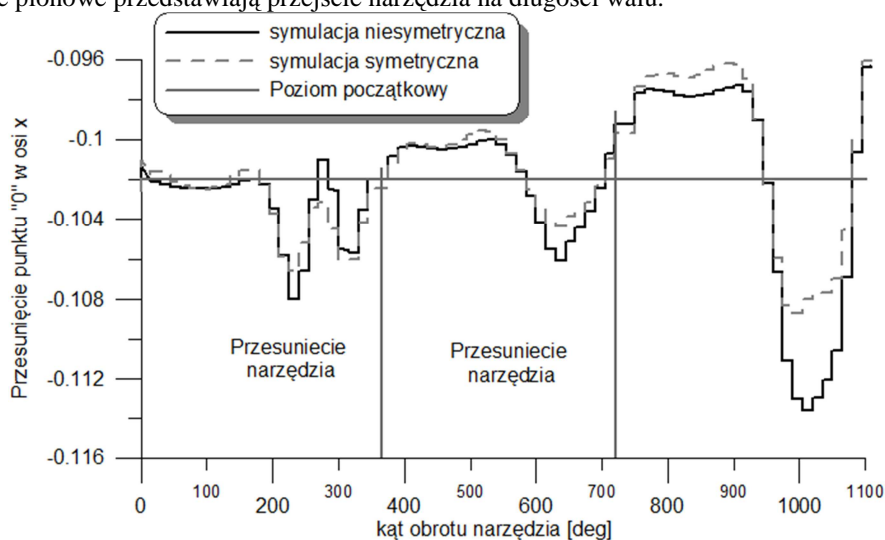


Rys. 6. Zmiana naprężeń zredukowanych w funkcji kąta obrotu narzędzia dla punktu 3 i 4

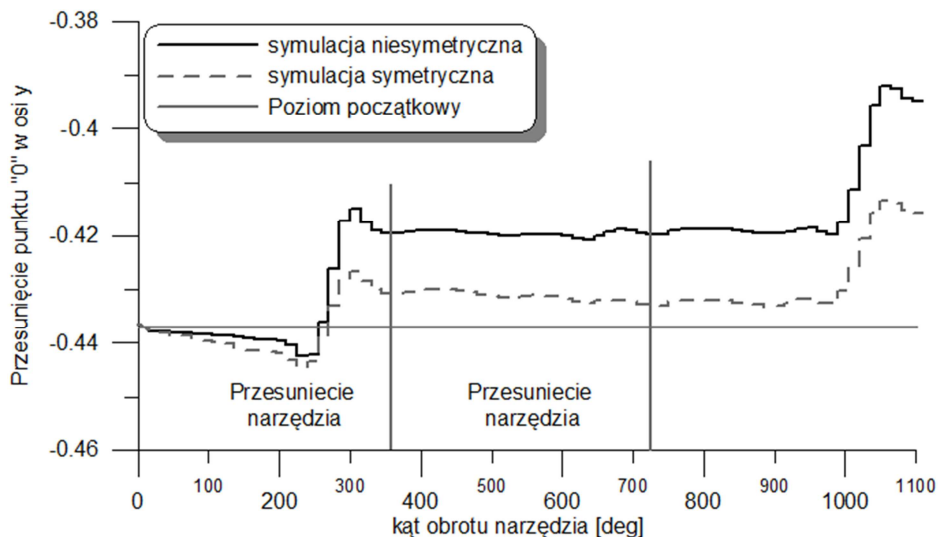


Rys. 7. Zmiana naprężeń zredukowanych w funkcji kąta obrotu narzędzia dla punktu 5 i 6

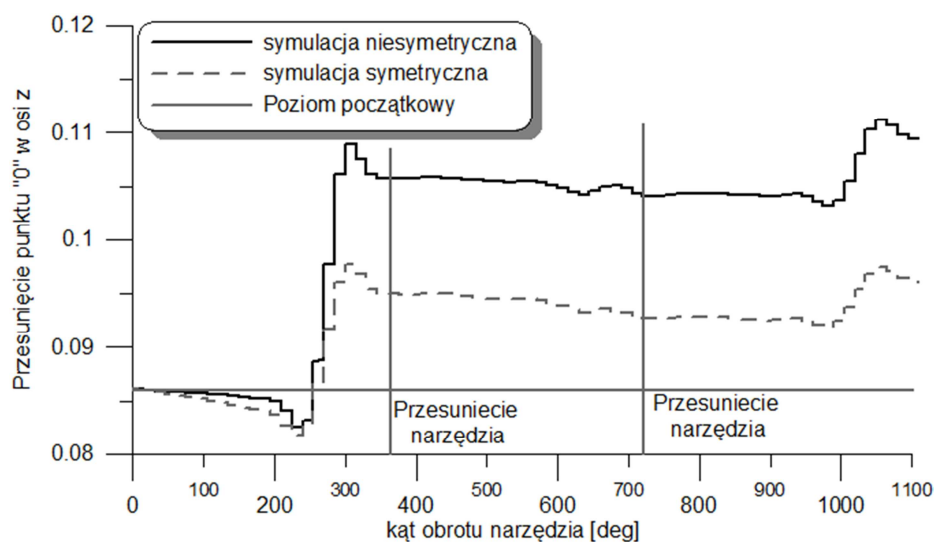
Do określenia zmiany położenia osi wykorbienia obserwowany był w trakcie analizy punkt θ o współrzędnych $[0,0,0]$. Biorąc pod uwagę nowy stan początkowy i przesunięcie punktu θ rozpatrywane przemieszczenia są odniesione do nowych współrzędnych śledzonego punktu. Na wykresach (rys.8-11) przedstawiono przesunięcie punktu θ w funkcji kąta obrotu narzędzia. Linia szarą przerywaną oznaczono symulację symetryczną, a linią czarną symulację niesymetrycznego usuwania materiału. Linia szarą poziomą zaznaczono początkowe położenie punktu z uwzględnieniem nowego stanu równowagi, natomiast linie szare pionowe przedstawiają przejście narzędzia na długości wału.



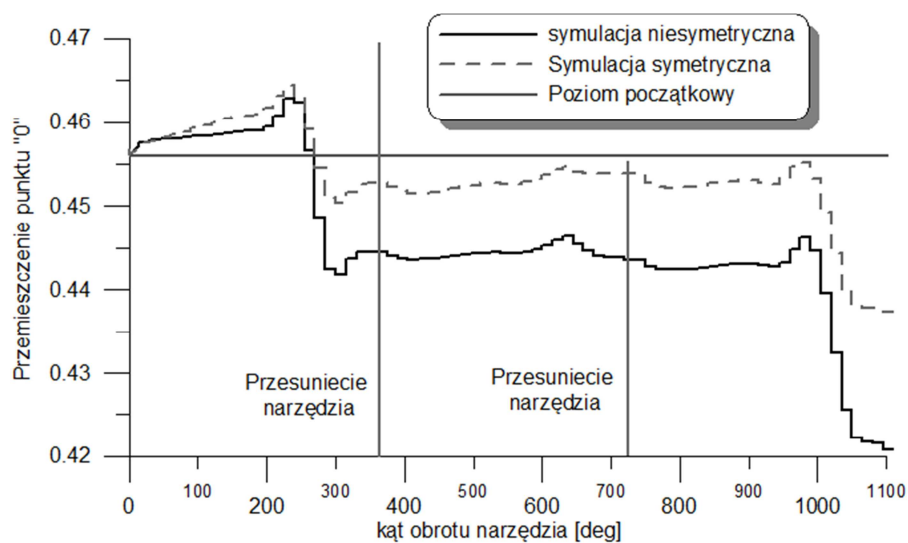
Rys. 8. Przesunięcie punktu "0" w kierunku x w funkcji kąta obrotu narzędzia



Rys. 9. Przesunięcie punktu "0" w kierunku y w funkcji kąta obrotu narzędzia



Rys. 10. Przesunięcie punktu "0" w kierunku z w funkcji kąta obrotu narzędzia



Rys. 11 Wypadkowe przesunięcie punktu "0" w funkcji kąta obrotu narzędzia

Obróbka mechaniczna toczenia powoduje zmianę rozkładu i wartości naprężeń własnych, których zestawienie zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie rozkładów naprężeń własnych

Nr	NW przed obróbką mechaniczną σ_{\min} [MPa]	NW po obróbce mechanicznej σ_{\max} [MPa]		Rozpiętość naprężeń po zdjęciu materiału ($\sigma_{\max}-\sigma_{\min}$) [MPa]	
		Analiza symetryczna	Analiza niesymetryczna	Analiza symetryczna	Analiza niesymetryczna
1	9.11	9.742	9.7	0.63	0.58
2	35.305	36.97	37.72	1.66	2.42
3	58.7	59.32	59.39	0.62	0.69
4	31.19	31.43	32.029	0.24	0.83
5	31.99	32.76	33.24	0.77	1.2
6	0	0	28.4	0	28

W wyniku zdjęcia warstwy zmieniają się tzn. tworzą się wtórne naprężenia własne σ_{\max} . Jednocześnie następuje skrzywienie osi wału. Przed obróbką, położenie punktu θ uległo przesunięciu o 0,45 [mm]. Po obróbce z symetrycznym usuwaniem materiału środek przesunął się o 0,019 [mm]. Natomiast po niesymetrycznym usuwaniu warstwy materiału punkt θ przesunął się o 0,036 [mm], co porównując z symetrycznym usuwaniem materiału daje wartość dwukrotnie wyższą. Podczas obróbki mechanicznej zmienia się wartość i rozkład naprężeń własnych np. w punkcie 1 naprężenia zmniejszyły się o 6%. Z obliczeń wynika, że zdejmowanie nadkładu o zmiennej grubości powoduje istotne zmiany naprężeń własnych, np. w punkcie 6 przy obróbce symetrycznej nie odnotowano zmiany naprężeń własnych, a przy obróbce niesymetrycznej tego samego czopa z takimi samymi danymi początkowymi otrzymano zmianę naprężeń własnych o 28[MPa].

3. WNIOSKI

W artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznych modelowania obróbki mechanicznej wielkogabarytowego monolitycznego wału korbowego w programie MSC.MARC. Przedstawiono wpływ uwolnionych naprężeń własnych na zmianę geometrii obrabianego elementu przy symetrycznej i niesymetrycznej grubości usuwanej warstwy materiału. Otrzymane wyniki pozwalają na stwierdzenie, iż symetryczne zdejmowanie warstwy materiału jest korzystniejsze z punktu widzenia uwalniania się naprężeń własnych i pozwala na zachowanie pożądanej geometrii obrabianego wału. Ma to wpływ w szczególności na zachowanie właściwej prostoliniowości wału.

4. PODZIĘKOWANIE

Artykuł został przygotowany dzięki realizacji projektu celowego nr 6 ZR8 2009 C/07162 pt.: „Opracowanie i wdrożenie technologii finalnej obróbki mechanicznej monolitycznych wałów korbowych kutych w przyrządach TR do czterosuwowych silników okrętowych i agregatów prądotwórczych” przez Politechnikę Radomską finansowanego przez MNiSW.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Finite-element analysis and simulation of machining: a bibliography (1976–1996), Jaroslav Mackerle, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 86, Issues 1-3, 15 February 1998, Pages 17-44.
- [2] Finite-element analysis and simulation of machining: an addendum a bibliography (1996-2002), Jaroslav Mackerle, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43, 2003, 103-114
- [3] Praca Badawcza nr BO-1234-02 pt.: „Badanie poziomu naprężeń własnych wałów turbin i korbowych w procesie wytwarzania.” Wykonana przez Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademii Górniczo Hutniczej