

MODELOWANIE ROZPŁYWU CIEPŁA, NAPRĘŻEŃ TERMICZNYCH I MECHANICZNYCH W WIERTLE KRĘTYM METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

SIMULATION OF HEAT DISTRIBUTION IN TWIST DRILL TAKING CHIPS AND WORKPIECE INTO CONSIDERATION

W referacie przedstawiono wyniki badań symulacyjnych nad modelem wiertła krętego z uwzględnieniem wióra i przedmiotu obrabianego. Wykorzystując metodę elementów skończonych dokonano analizy rozplywu ciepła i rozkładu naprężeń. Analizowano również wpływ ilości ciepła przekazywanego do narzędzia, wióra i przedmiotu obrabianego, na temperaturę w strefie skrawania oraz wpływ różnych sposobów chłodzenia narzędzia, na jego temperaturę.

Słowa kluczowe: wiertło kręte, rozplyw ciepła, MES

The Paper is continuation of investigations in Department of Machine Technology of Silesian University of Technology working on thermal model of twist drill. Main goal of investigations were to work out the mathematical model of twist drill using of finite elements analysis, that it would be basis to optimization of it geometrical shape. In addition range of research was extended about chip and workpiece.

Keywords: twist drill, thermal simulation, FEA

1. Wstęp

Na ilość ciepła w procesie skrawania składa się praca odkształceń plastycznych, praca tarcia a także praca odrywania, zginania i zwijania wióra. Ciepło nie powstaje równomiernie w całej masie odkształconej warstwy skrawanej, w związku z czym nie można mówić o jakiejś jednej temperaturze, która charakteryzuje cały proces skrawania, lecz o polu temperatur.

W tym zakresie brak jest rozwiązań analitycznych, a informacje osiągalne w literaturze, pochodzą z badań eksperymentalnych. Dopiero rozwój i upowszechnienie oprogramowania do modelowania metodą elementów skończonych, umożliwiło podjęcie badań symulacyjnych nad tymi zagadnieniami. Opracowanie modelu matematycznego, który umożliwi przewidywanie rozkładu naprężeń i temperatur w narzędziu skrawającym oraz przedmiocie obrabianym pozwoli na ocenę trwałości ostrza i dokładności wymiarowo – kształtowej obrabianej części.

2. Program badań

Badania modelowe przeprowadzono dla wiertel o średnicy $\phi 5$ mm, wykonanych ze stali SK5M. Analizowano wiercenie w stali austenitycznej 1H18N9. Dane dotyczące sił i momentów przy wierceniu zaczerpnięto z badań prowadzonych w Katedrze Budowy Maszyn.

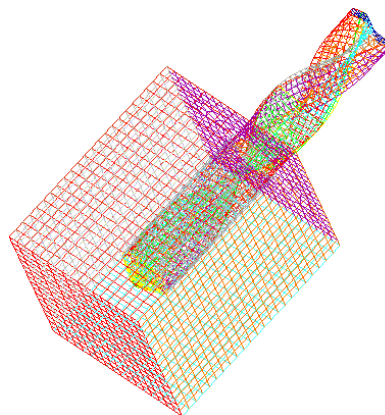
Model poddano następującym badaniom symulacyjnym:

- obciążenie siłą osiową i momentem skrawania oraz wyznaczenie naprężeń i odkształceń,
- obciążenie źródłami ciepła i wyznaczenie rozkładu temperatury,
- obciążenie źródłami ciepła i wyznaczenie naprężeń termicznych,
- obciążenie siłą osiową, momentem skrawania oraz źródłami ciepła i wyznaczeniem naprężeń i odkształceń.

3. Tworzenie modelu geometrycznego

Model wiertła, wióra i przedmiotu obrabianego został wykonany w postaci trójwymiarowej przy użyciu programu do modelowania przestrzennego „Solid Edge”. Złożoność budowy geometrycznej wiertła wymagała dokonania pewnych uproszczeń przy

budowaniu modelu. Na podstawie znanego kształtu przekroju narzędzia, utworzono na uprzednio zdefiniowanej płaszczyźnie za pomocą linii i łuków profil wiertła, który stał się podstawą do wygenerowania modelu trójwymiarowego. W sposób analogiczny postąpiono w przypadku modelu wióra i przedmiotu obrabianego. Stworzone w ten sposób elementy przeniesiono do pakietu Algor, w którym na podstawie siatki powierzchniowej wygenerowano siatkę wewnętrzną (rys. 1).



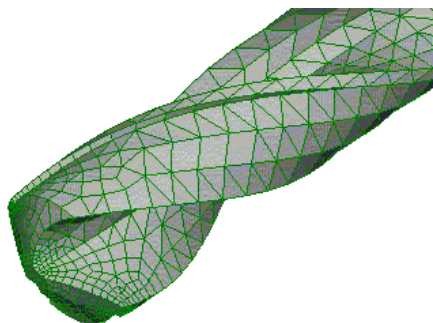
Rys. 1. Postać modelu z nałożoną siatką powierzchniową

Dodatkowo dokonano modyfikacji siatki powierzchniowej, która polegała na jej zagęszczeniu w okolicach ścina, krawędzi skrawających oraz łysinek (rys. 2).

Opracowany model posiadał w swej strukturze 17686 elementów skończonych z czego:

- wiertło: 7791 elementów połączonych 3291 węzłami,
- wióry: 2297 elementów połączonych 1917 węzłami,
- przedmiot obrabiany: 7598 elementów połączonych 6171 węzłami.

Wszystkie elementy były elementami 4, 5, 6 i 8 węzłowymi typu bryła.



Rys. 2. Wiertło z zagęszczoną siatką powierzchniową w okolicach krawędzi skrawających

4. Badania symulacyjne

4.1. Obciążenie siłą osiową i momentem skrawania

W modelu tym, zdecydowano się na ukrycie przedmiotu obrabianego i wióra, gdyż nie wpływają one w sposób istotny na wyniki analizy, ponieważ siły powstające na skutek tarcia wióra o powierzchnię rowka wiórowego oraz łysinek wiertła o przedmiot obrabiany są nieporównywalnie małe do sił powstających w obszarze skrawania. Model obciążono siłą i momentem skrawania.

Dane zaczerpnięte zostały z wyników badań laboratoryjnych [6], a wartości ich wyniosły:

- wypadkowy moment skrawania: $M=820\text{ Nmm}$,
- wypadkowa siła osiowa: $F=330\text{ N}$.

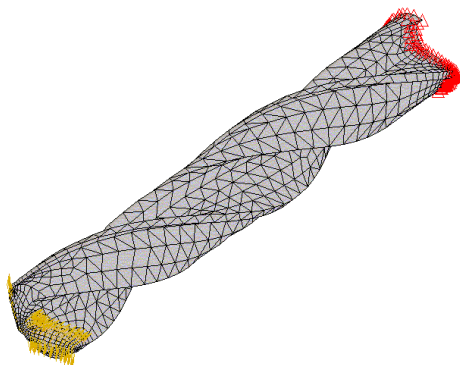
Siły wywołujące moment skrawania przyłożone zostały w 40 węzłach na powierzchni natarcia w pobliżu krawędzi skrawającej (po 20 na każdą krawędź). Wartość elementarnej siły wynosiła $F_e=16,2\text{ N}$. Obciążenia modelu siłą osiową dokonano w ten sposób, że 65% wartości tej siły oddziaływało na ścin, w 24 węzłach położonych najbliżej osi wiertła.

$$F_o=0,65 \cdot F \quad (4.1)$$

$$F_o=214,5\text{ [N]} \quad (4.2)$$

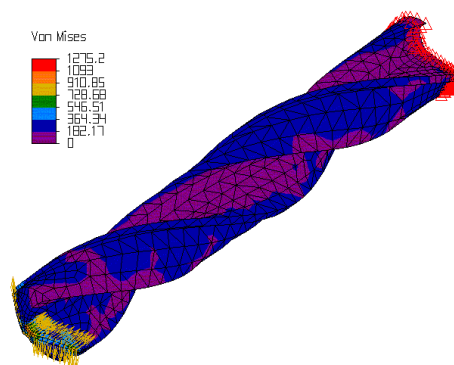
Wartość elementarnej siły na ścinie wynosiła $F_s=8,9\text{ N}$. Pozostała wartość siły osiowej przyłożona została w 40 węzłach na powierzchni przyłożenia w pobliżu krawędzi skrawającej (po 20 na każdą krawędź). Wartość siły od strony powierzchni przyłożenia wynosiła $F_p=2,9\text{ N}$.

Kolejnym etapem było nałożenie warunków brzegowych (podpór) (rys.3). W rozpatrywanym przypadku były to więzy sztywne przyłożone na przeciwległym końcu narzędzia. Takie umiejscowienie miało na celu zasymulowanie uchwytu obrabiarki.



Rys. 3. Wiertło z nałożonymi warunkami brzegowymi

Największe naprężenia występowały w okolicach krawędzi skrawających i ścina (rys. 4). Niewielkie spiętrzenia naprężeń można było zauważyć również w okolicach łysinek na całej długości wiertła.



Rys. 4. Wynik analizy naprężeń w MPa

Spiętrzenie naprężeń w okolicach naroży wiertła wywołane było występowaniem największej wartości oporu skrawania, natomiast w okolicach ścina wynikało z dużych sił nacisku. Dodatkowo, zauważalny był negatywny wpływ ostrych przejść z jednej krawędzi na drugą. Najmniejsze odkształcenia występowały w kierunku osi Y i wynosiły 0,0022 mm. W pozostałych osiach odkształcenia wynosiły odpowiednio:

- w osi X 0,066 mm,
- w osi Z 0,062 mm.

Największe przemieszczenia występowały w okolicach krawędzi skrawających i wynikały z istnienia w tym miejscu sił pochodzących od skrawania. Siły te powodują „odkręcanie” wiertła, co niekorzystnie wpływa na dokładność wykonania otworu. Na podstawie przeprowadzonych symulacji można stwierdzić, iż postać odkształcenia zależy od kształtu przekroju wiertła.

4.2. Symulacja rozplywu ciepła

W celu wiernego odzwierciedlenia procesu rozplywu ciepła podczas skrawania należało uwzględnić model wióra oraz przedmiotu obrabianego. Założono, że proces wiercenia odbywał się w pełnym materiale, a wiertło zagłębione zostało w nim na głębokość 15 mm. Pozostała część wiertła znajdowała się nad przedmiotem obrabianym.

Do analizy rozplywu ciepła posłużono się modelem, którego proces tworzenia został szczegółowo opisany powyżej. Modyfikacji uległy jedynie okolice strefy skrawania, w której umieszczono źródła ciepła. Zdecydowano się na umieszczenie źródeł ciepła w okolicach krawędzi skrawających wiertła, jak również na wiórze i przedmiocie obrabianym.

Metody pomiaru temperatury występującej podczas procesu wiercenia ze względu na trudność dostępu do strefy skrawania dają tylko wyniki przybliżone. Można jednak określić ilość ciepła powstającego podczas procesu skrawania. Całkowita ilość ciepła wydzielająca się podczas jednej minuty jest równa mocy skrawania wykonanej przez ostrze.

$$Q=F_c \cdot v_c \quad (4.3)$$

gdzie: F_c – główna siła skrawania, [N],
 v_c – prędkość skrawania, [m/min].

Potrzebne dane do obliczenia całkowitej ilości ciepła zaczerpnięte zostały z wyników badań laboratoryjnych [6], a wartości ich wyniosły:

- wypadkowy moment skrawania: $M=820 \text{ Nmm}$,
- posuw: $f=0,06 \text{ mm/obr}$,
- prędkość skrawania: $v=12 \text{ m/min}$.

Na podstawie podanych parametrów skrawania i przy założeniu, że wiertło zostało zaostrzone symetrycznie wyliczono siłę skrawania wg wzoru:

$$M = 0,25 \cdot (F_{c1} + F_{c2}) \cdot d \quad (4.4)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad (4.5)$$

$$F_c = \frac{M}{0,25 \cdot d} \quad (4.6)$$

$$d = 5 \text{ mm} \quad (4.7)$$

$$F_c = \frac{0,82}{0,25 \cdot 0,005} = 656 \text{ N} \quad (4.8)$$

Całkowita ilość ciepła powstałego w czasie jednej sekundy procesu skrawania wynosi:

$$Q = \frac{v_c \cdot F_c}{60} = \frac{12 \cdot 656}{60} = 131,2 \text{ W/s} \quad (4.9)$$

Obciążenie cieplne modelu zrealizowane zostało poprzez zdefiniowanie źródeł ciepła o określonej mocy. Zdecydowano się na umieszczenie źródeł ciepła w okolicach krawędzi skrawających wiertła, jak również na wiórze i przedmiocie obrabianym. Całkowita moc skrawania została podzielona w następujący sposób:

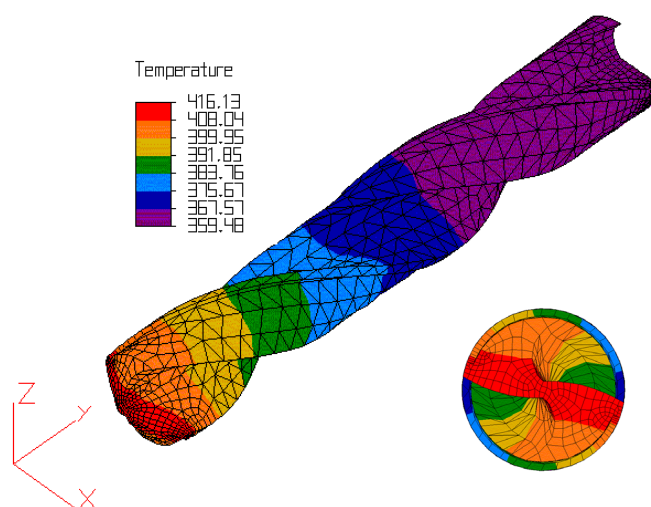
- 70% ciepła było generowane na wiórze,
- 15% na przedmiocie obrabianym,
- 10% na krawędziach skrawających wiertła.

Warunki brzegowe w rozpatrywanym modelu uzależnione zostały od intensywności odprowadzania ciepła, a więc od współczynników konwekcji oraz temperatur panujących na poszczególnych powierzchniach. W związku z tym, że ciepło odprowadzane było przez konwekcję swobodną, różne intensywności jego odprowadzania określone zostały różnymi współczynnikami konwekcji. Na tej podstawie dla każdego elementu modelu wyróżniono powierzchnie charakteryzujące się odmiennymi współczynnikami konwekcji i temperaturami otoczenia (tabela 1).

W celu lepszego zobrazowania rozplywu ciepła w narzędziu zdecydowano się na ukrycie wióra i przedmiotu obrabianego. Największa temperatura występowała w strefie krawędzi skrawających i malała w kierunku uchwytu narzędzia (rys. 5). Krawędzie wiertła to obszary szczególnie narażone na szybkie zużycie. Temperatura w strefie skrawania zawierała się w przedziale 399 – 416 °C.

Tab. 1. Warunki brzegowe modelu

Model		Współczynnik konwekcji [W/m ²]	Temperatura otoczenia [°C]
Wiertło	powierzchnia przyłożenia	25	250
	powierzchnia rowków wiórowych	30	250
	powierzchnia boczna	25	200
	powierzchnia uchwytu	100	100
Wiór	wszystkie powierzchnie	40	300
Przedmiot obrabiany	powierzchnia dna otworu	25	300
	powierzchnia boczna otworu	25	200
	powierzchnia zewnętrzna przedmiotu	30	50



Rys. 5. Wynik analizy rozplywu ciepła i rozkład temperatur w strefie skrawania w [°C]

5. Podsumowanie

Analiza badań symulacyjnych pozwala na sformułowanie wniosków:

- największa koncentracja naprężeń pojawia się w miejscach występowania karbów i załamania powierzchni tj. okolice łysinek oraz ścina,

- poprzez zmianę geometrii modelu można wpływać na rozkład naprężeń mechanicznych i termicznych,
- temperatura powoduje przyspieszone zużycie ostrza oraz wpływa niekorzystnie na dokładność wymiarowo – kształtową obrabianej części.

6. Literatura

- [1] Bijak A.: Praca dyplomowa magisterska. Gliwice, 2000.
- [2] Dokumentacja techniczna pakietu Algor.
- [3] Kaczmarek J.: *Podstawy obróbki wiórowej, ściernej i erozyjnej*. Warszawa: WNT, 1970.
- [4] Praca zbiorowa: *Poradnik inżyniera - Obróbka skrawaniem*. Warszawa: WNT, 1991.
- [5] Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn Nr 1/2000.
- [6] Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn Nr 2/1998.

Mgr inż. Lesław Toszek

Wydział Mechaniczny Technologiczny
Politechnika Śląska
Katedra Budowy Maszyn
ul. Konarskiego 18a, 44-100 Gliwice
tel: 0-32/237-16-31, fax: 0-32/237-23-36
e-mail: toszek@kbm.mt.polsl.gliwice.pl
