



Przykłady zastosowania MES do analizy wybranych zagadnień w inżynierii materiałowej

A. Irla^a, A. Śliwa^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny,
email: artur.irla@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: agata.sliwa@polsl.pl

Streszczenie: W opracowaniu zaprezentowano zagadnienie dotyczące wykorzystania Metody Elementów Skończonych na przykładzie programu ANSYS Workbench. Omówiono wykorzystanie tej metody oraz zwrócono uwagę na korzyści płynące z jej wykorzystywania.

Abstract: In the paper were presented selected problems which concern with applying of Finite Element Method on the example of ANSYS Workbench program. It was discussed the usage of this method and it was highlighted benefits from its application.

Słowa kluczowe: metoda elementów skończonych, symulacja komputerowa, element skończony

1. WSTĘP

Jednym z głównych problemów współczesnej inżynierii materiałowej jest wytwarzanie materiałów o żądanych własnościach eksploatacyjnych, co wiąże się z odpowiednim kształtowaniem ich struktury. Rozwój nauki o materiałach, jak i narzędzi informatycznych, sprawił, że coraz częściej wykorzystuje się metody numeryczne do rozwiązywania różnych zagadnień związanych z inżynierią materiałową, np. do predykcji określonych własności mechanicznych lub symulacji zjawisk zachodzących w materiałach czy to podczas ich wytwarzania i obróbki, czy też w trakcie eksploatacji.

W tych celach stosuje się różne metody komputerowe, do których należą m.in. metoda elementów skończonych (MES), algorytmy genetyczne, sztuczne sieci neuronowe, logika rozmyta i metoda Monte Carlo.

Metoda elementów skończonych swoją popularność zyskała dzięki łatwości z jaką można ją wykorzystać do symulacji różnorodnych problemów, w których mamy do czynienia ze skomplikowaną geometrią, złożonym stanem obciążenia, różnymi warunkami brzegowymi

oraz z różnymi materiałami. W takich przypadkach ciężko uzyskać rozwiązanie analityczne, a wykorzystanie komputera i idei MES opartej na dzieleniu skomplikowanych obiektów na małe, proste elementy znacznie ułatwia uzyskanie wyniku.

MES można wykorzystywać w każdej dziedzinie nauki, sprawdza się z dużym powodzeniem także w inżynierii materiałowej, gdzie jest używana np. do badania rozkładu temperatur w trakcie eksploatacji materiału lub rozkładu naprężeń w powłokach PVD [1-3].

2. METODA ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Metodę elementów skończonych, której podstawy opracowano ponad 50 lat temu, można zaliczyć do grupy programów CAE (*Computer Aided Engineering*). Cechą podstawową tej metody jest podział obiektu (konstrukcji jednolitej – ciągłej) na skończoną liczbę elementów połączonych w węzłach (model dyskretny). Taki podział konstrukcji nazywa się dyskretyzacją. Stąd też wzięła się nazwa metody – elementy mają niewielkie, ale skończone wymiary. Rozmiar elementów jest zależny od wymagań jakie stawiają kształty pól wektorowych oraz dokładność. Liczba równań w MES jest proporcjonalna do ilości węzłów i stopni swobody, które posiada każdy z nich, dlatego rozmiary i liczba elementów skończonych zależy także od możliwości obliczeniowych [1].

3. ZALETY I WADY MES

Niewątpliwie MES posiada wiele zalet, które wpływają na jego popularność. Do największych można zaliczyć m.in. uniwersalność, dużą bibliotekę elementów skończonych różnych typów, zastosowanie w przypadkach zarówno liniowych, jak i nie liniowych, a także mały wpływ błędów zaokrągleń na wyniki. MES można programować w zapisie macierzowym np. w językach C lub Fortran. Metoda elementów skończonych posiada niestety również wady, jest to np.: uciążliwość metody w zagadnieniach przestrzennych, do których potrzeba dużo pamięci operacyjnej, szybkiego dysku i długiego czasu obliczeń oraz brak ciągłości odkształceń i naprężeń pomiędzy brzegami elementów [1,2].

4. ANSYS

Do najbardziej znanych systemów MES można zaliczyć następujące programy: ABAQUS, LS-DYNA, ANSYS, MARC, ADINA, NASTRAN. Są o tyle ciekawym narzędziem, że nie wymagają wielkiej wiedzy komputerowej i większość z nich wymaga jedynie niewielkiej wprawy w obsłudze by można ich używać do zaawansowanych czynności. Wśród nich ANSYS jest programem zaliczanym do czołówki, ze względu na wiele zalet, które posiada. Spośród pozytywnych cech można wymienić: język opisu konstrukcji APDL, duże możliwości wyboru cech obiektów i prezentacji wyników, bogatą bibliotekę elementów skończonych (ponad 200) oraz bardzo dobrą pomoc i dokumentację. ANSYS jest także jednym z najobszerniejszych pakietów, jeśli chodzi o ilość zagadnień, do których można go stosować. W programie tym można rozwiązać problemy należące do poniższych działów mechaniki:

- mechanika konstrukcji, a w niej:
 - problemy liniowe statyki i dynamiki;
 - problemy nieliniowe fizycznie i geometrycznie;

- optymalizacja, zmęczenie materiałów, pękanie, pełzanie;
- przewodnictwo cieplne;
- mechanika płynów;
- elektromagnetyzm;
- pola sprzężone.

Ze względu na duże znaczenie powtarzalności i dokładności wyników w badaniach, firma ANSYS przed wydaniem nowej wersji testuje swoje oprogramowanie minimum 20 tysięcy razy i porównuje wyniki z obliczeniami analitycznymi bądź z rzeczywistymi pomiarami. Posiada także certyfikat ISO 9001 [4-6].

5. ETAPY MES

Programy komputerowe do obliczeń MES, w tym również ANSYS, składają się z trzech części, które wyznaczają kolejne etapy rozwiązywania założonego problemu [1,7,8]:

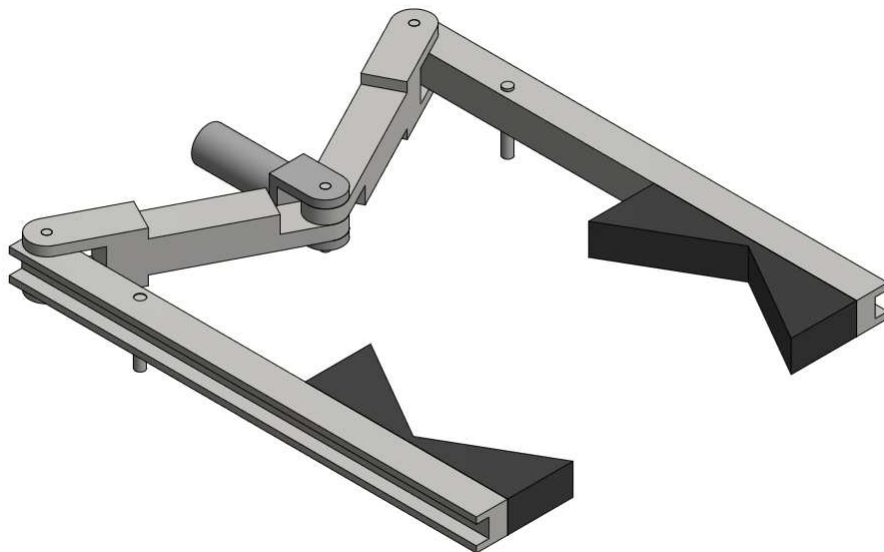
1. preprocesor – w jego trakcie definiuje się model geometryczny, typy elementów, własności materiału i następnie generuje się siatkę węzłów i elementów. Podaje się także warunki brzegowe i obciążenia. Typy elementów w ANSYS można wybrać ze specjalnej biblioteki, przykładowo:
 - dwuwymiarowe: pręt (Link1), belka (Beam3), tarcza (Plane42,Plane82),
 - trójwymiarowe: prętowe (Link8), belkowe (Beam4), powłokowe czterowęzłowe (Shell63), bryłowe czterowęzłowe czworościenne lub ośmiowęzłowe sześciocienne (Solid45),
 - sprężysto-plastyczne: belka plastyczna (Beam23), powłoki (Shell93, Shell181);
2. procesor – na tym etapie następuje rozwiązanie zadania, czyli wykonanie obliczeń. Obliczenia nie wymagają udziału użytkownika, a ich czas zależy od stopnia złożoności problemu;
3. postprocesor – po zakończonych obliczeniach, program poinformuje użytkownika o tym odpowiednim komunikatem i można przejść do ostatniego etapu, czyli obróbki i przeglądania wyników. Wyniki można prezentować w różny sposób np. jako deformację konstrukcji, mapę naprężeń, przemieszczeń, wykresów wzdłuż przekroju.

6. MODELOWANIE

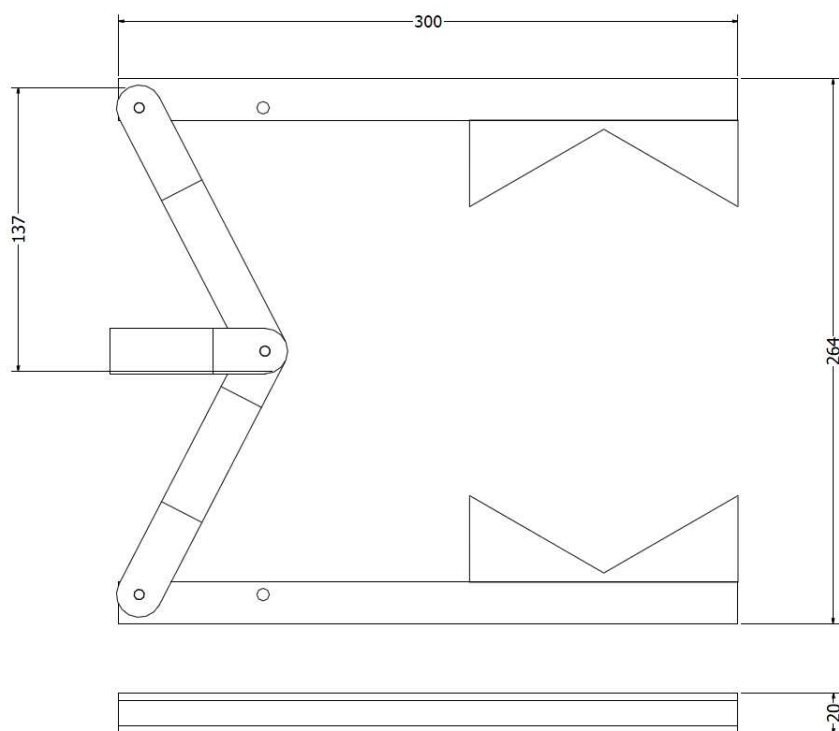
Wiele gałęzi współczesnego przemysłu wykorzystuje metodę elementów skończonych, są to m.in. przemysł samochodowy, stoczniowy, maszynowy, elektrotechniczny i lotniczy. Jest również wykorzystywana w trakcie badań przez takie dziedziny jak mechanika, medycyna, mechatronika oraz inżynieria materiałowa. Metoda elementów skończonych wykorzystywana jest także do sprawdzania wykonanych wcześniej obliczeń analitycznych, czy zaprojektowana wcześniej konstrukcja faktycznie wytrzyma warunki pracy i czy dobrano odpowiedni materiał [12-17]. Pozwala to na pominięcie prób na gotowym (nie rzadko kosztownym) elemencie lub jest nawet jedyną możliwością sprawdzenia danej konstrukcji (np. ze względu na wielkość) i umożliwia naniesienie poprawek do projektu [9-11].

Również celem tej pracy jest sprawdzenie czy zaprojektowany wcześniej chwytak (rys. 1) ma odpowiednie wymiary i odpowiednio dobrany materiał, aby spełnił stawiane przed nim

zadania. Stworzono go do przenoszenia walców o maksymalnej średnicy 150,7 mm i wadze do 7,6 kg. Widok i niektóre wymiary pokazano na rysunku 2.



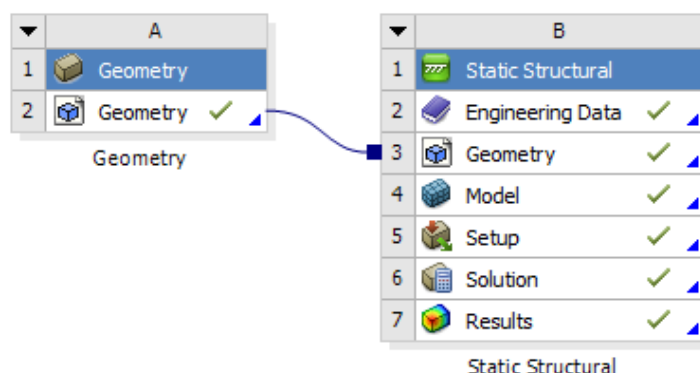
Rysunek 1. Model geometryczny chwytaka
Figure 1. Geometric model of the grasper



Rysunek 2. Widok chwytaka z wymiarami
Figure 2. Grasper with the dimensions

6.1. Dane wejściowe

Przestrzenny model chwytaka przygotowano wcześniej w programie Autodesk Inventor i zaimportowano do programu ANSYS Workbench. Workbench jest interfejsem graficznym cechującym się łatwiejszą obsługą w przeciwieństwie do ANSYS-ADPL (Classic), ale posiada ten sam moduł rozwiązujący (solver) co w starszym interfejsie. ANSYS Workbench radzi sobie lepiej z importowaniem geometrii bezpośrednio z innych programów lub w formatach niezależnych jak SAT, Parasolid, IGES, STEP. Po zaimportowaniu program automatycznie wykrywa interakcje pomiędzy elementami i zakłada kontakt (w złożeniach). ANSYS Workbench posiada również własny moduł CAD, który pozwala edytować lub tworzyć geometrię od podstaw [1,6]. Na rysunku 3 pokazano schemat projektu, który wyznacza kolejne kroki jakie należy podjąć aby wykonać żadaną analizę.



Rysunek 3. Schemat projektu. A – zaimportowana geometria, B – wykonywana analiza, B1 – rodzaj analizy, B2 – dane materiałowe, B3 – geometria, B4 – moduł dyskretyzacji, B5 – moduł zakładania obciążeń i warunków brzegowych, B6 – procesor, B7 – postprocesor (prezentacja wyników)

Figure 3. Scheme of project. A – imported geometry, B – performed analysis, B1 – type of analysis, B2 – material data, B3 – geometry, B4 – discretization module, B5 – setting module load and boundary conditions, B6 – processor, B7 – postprocessor (presentation of results)

Warunki pracy sprawiają, że na ramiona chwytaka działają zmienne siły o maksymalnej wartości 1147 N, a na tylne mocowanie działa siła 8791 N wywierana przez tłok siłownika. Chwytnak jest zrobiony ze stali S275, której podstawowe własności przedstawiono w tabelcy 1. Własności te zaimplementowano w module *Engineering Data* w ANSYS Workbench.

Tablica 1. Wybrane własności stali S275

Table 1. Selected properties of steel S275

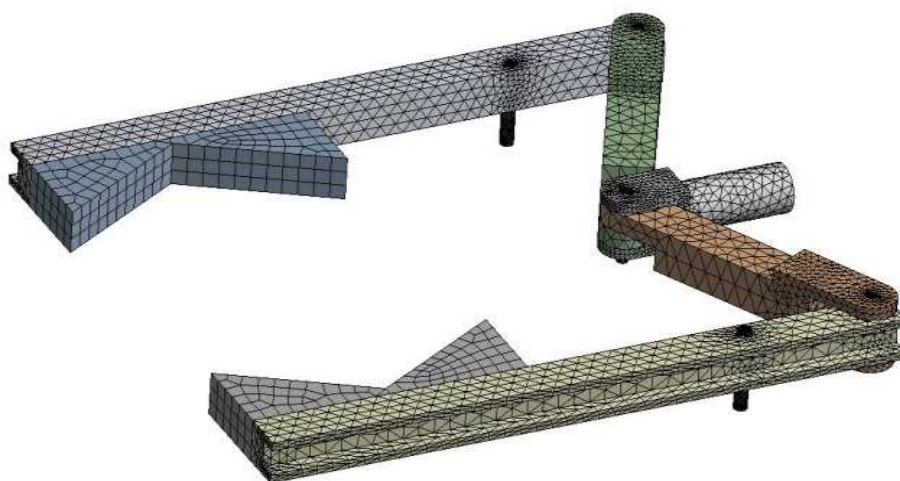
R_e , MPa	R_m , MPa	A_5 , %	HB
275	490	17-20	160

Po zaimportowaniu geometrii, kontakty pomiędzy częściami ustawiono na Bonded dla połączeń ciasnych lub No Separation dla połączeń z poślizgiem. Do wygenerowania siatki elementów skończonych użyto zaawansowanej funkcji dopuszczającej krzywizny, a następnie zagęszczono ją na powierzchniach gdzie obliczenia powinny być dokładniejsze (np. otwory). Kolejnymi etapami rozwiązania problemu było założenie utwierdzeń na dwóch sworzniach, obciążenie siłami przyzm i łącznika oraz dokonanie obliczeń. W trakcie realizacji zadania dopuszczono pewne założenia upraszczające:

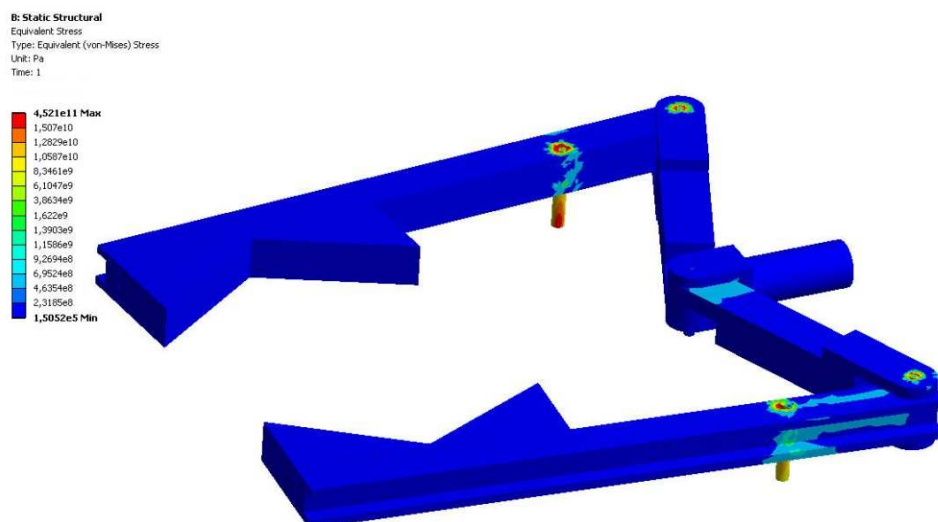
- zrezygnowano z modelowania siłownika, który zastąpiono siłą działającą w jego miejsce,
- na sworzniach pominięto gwinty,
- pryzmy zamodelowano bez gumowej powłoki, ze względu na pomijalny wpływ, a pozwoliło to uprościć obliczenia,
- uproszczono siatkę elementów w miejscach, gdzie dokładność obliczeń nie jest zbyt wymagana.

6.2. Rezultaty

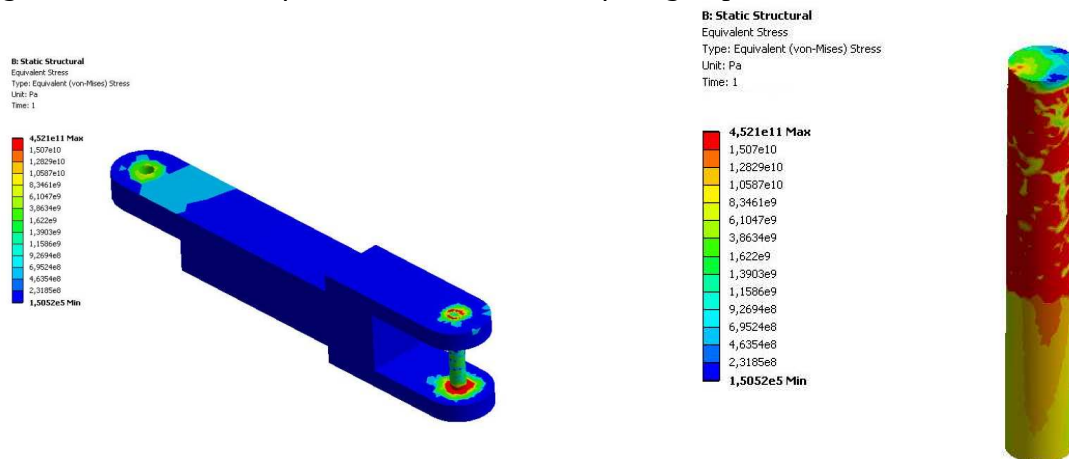
Dyskretyzacja modelu, a także rozkład naprężeń w całym elemencie jak i w poszczególnych jego częściach zostały przedstawione na rysunkach 4-9.



Rysunek 4. Dyskretyzacja modelu
Figure 4. Geometric model after meshing



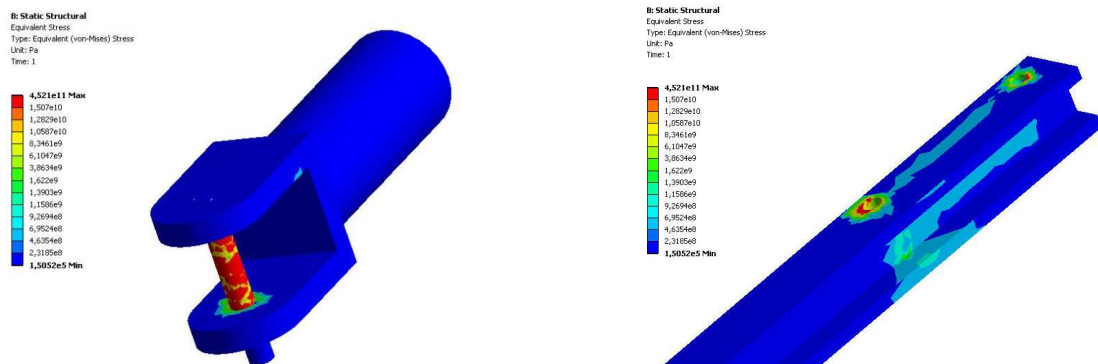
Rysunek 5. Rozkład naprężeń w całym chwytaku

Figure 5. Distribution of the simulated stresses of the grasper

Rysunek 6. Rozkład naprężeń w krótszym ramieniu i sworzniu

Figure 6. Distribution of the simulated stresses in shorter arm and bolt

Rysunek 7. Rozkład naprężeń w sworzniu utwardzonym w podłożu

Figure 7. Distribution of the simulated stresses in fixed boltRysunek 8. Rozkład naprężeń w tylnej złączce
*Figure 8. Distribution of the simulated stresses in back nipple*Rysunek 9. Rozkład naprężeń w dłuższym ramieniu
Figure 9. Distribution of the simulated stresses in longer arm

7. PODSUMOWANIE

Powyższa konstrukcja została odpowiednio zaprojektowana na podstawie obliczeń analitycznych. Założone obciążenia są maksymalnymi jakie mogą działać na konstrukcję i konstrukcja wytrzymała je bez problemu. Największe naprężenia występują na sworzniach (rys. 5-8).

Obecnie rozwój technik komputerowych pozwala na numeryczne rozwiązywanie złożonych obliczeniowo zagadnień technicznych. Natomiast nacisk technologiczny i ekonomiczny w inżynierii wymaga optymalizacji dotychczasowych procesów technologicznych, a metoda elementów skończonych jest odpowiednim narzędziem aby tego dokonać [10,11]. Jak pokazała

powyższa praca, zastosowanie MES i wykorzystujący ją program ANSYS Workbench, umożliwia szybką i wiarygodną analizę konstrukcji w warunkach wirtualnych, bez konieczności tworzenia rzeczywistych elementów by zweryfikować poprawność projektu i wprowadzić ewentualne poprawki. Prowadzi to do skrócenia czasu powstania nowych wyrobów oraz zmniejsza koszty ich projektowania. Szeroka skala możliwości sprawia, że ANSYS może zostać wykorzystany w trakcie kształcenia inżyniera.

LITERATURA

1. S. Łaczek, Modelowanie i analiza konstrukcji w systemie MES ANSYS v.11, Kraków, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2011.
2. E. Rusiński, Metoda elementów skończonych, system COSMOS, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1994.
3. strona internetowa: www.mecso.com.pl
4. K. Lawrence, Ansys Tutorial-release 6.1, SDC Schroff Development Corporation, 2002.
5. J. Baker, Ansys exercise - Ansys Tutorial.
6. strona internetowa: www.ansys.com
7. M.R. Hatch, Vibration using MATLAB and ANSYS, Chapman & Hall/CRC, 2001.
8. G. Rakowski, Z. Kacprzyk, Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005.
9. M. Łodygowski, W. Kąkol, Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich, skrypt nr 1779, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1994.
10. A. Gołdasz, Z. Malinowski, Analiza pola temperatury w czasie krzepnięcia i stygnięcia wlewka kuźniczego, Materiały konferencji „Informatyka w Technologii Metali” KomPlastTech, Ustroń, 2005.
11. A. Brodowski, M. Majewski, J. Lisok, Numeryczna symulacja procesu tłoczenia elementu tłumika, Materiały konferencji „Informatyka w Technologii Metali” KomPlastTech, Ustroń, 2005.
12. A. Śliwa, J. Mikuła, L.A. Dobrzański, FEM application for modelling of PVD coatings properties, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 41/1-2 (2010) 164-171.
13. L.A. Dobrzański, A. Śliwa, T. Tański, Finite Element Method application for modelling of mechanical properties, Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering 1/1 (2009) 25-28.
14. L.A. Dobrzański, A. Śliwa, W. Sitek, Finite element method application for modeling of PVD coatings properties, Proceedings of the 5th International Surface Engineering Conference, 2006, 26-29.
15. L.A. Dobrzański, M. Staszuk, K. Gołombek, A. Śliwa, M. Pancielejko, Structure and properties PVD and CVD coatings deposited onto edges of sintered cutting tools, Archives of Metallurgy and Materials 55/1 (2010) 187-193.
16. L.A. Dobrzański, A. Śliwa, W. Kwaśny, Employment of the finite element method for determining stresses in coatings obtained on high-speed steel with the PVD process, Journal of Materials Processing Technology 164-165 (2005) 1192-1196.
17. L.A. Dobrzański, W. Kwaśny, B. Dołęńska, A. Śliwa, K. Gołombek, G. Nowak, The computer simulation of internal stresses of tool gradient materials reinforced with the WC-Co, Archives of Materials Science and Engineering 57/1 (2012) 38-44.