

Józef JEZIEŃSKI, Marek KOWALIK

Politechnika Radomska

Tomasz TRZEPIECIŃSKI

Politechnika Rzeszowska

OKREŚLENIE GŁĘBOKOŚCI OSADZANIA ŻEBER RADIATORA ZA POMOCĄ SYMULACJI NUMERYCZNEJ

W pracy zaprezentowano wyniki badań doświadczalnych oraz symulacji numerycznej procesu osadzania żeber radiatora. Do symulacji numerycznej użyto pakietu Msc MARC/Mentat 2005. Porównano zastosowaną technologię osadzania żeber w płycie radiatora poprzez wgłębianie stempli na krawędziach frezowanego kanału z wynikami symulacji numerycznej. Miara jakości złącza jest powierzchnia przylegania żeber w złączu z powierzchnią rowka w płycie radiatora. W celu sprawdzenia tego parametru przecięto radiator i wykonano zgięty do zdjęć metalograficznych.

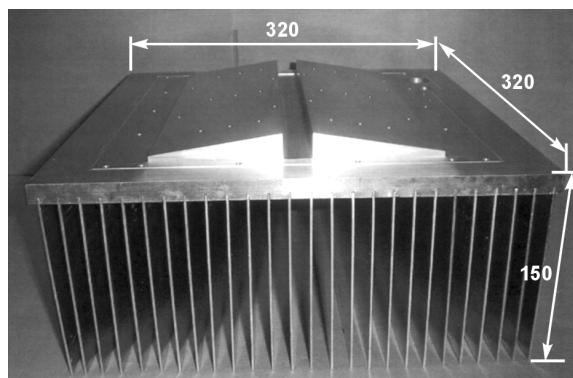
Słowa kluczowe: radiator, metoda elementów skończonych, symulacja numeryczna

Wstęp

Radiatory są elementami urządzeń elektrotechnicznych i elektronicznych, których głównym zadaniem jest odprowadzenie i wyemitowanie ciepła do otoczenia. Dobrze działający radiator powinien dobrze przylegać do zespołów elektronicznych (tranzystor, układ scalony itp.), bardzo dobrze przewodzić ciepło oraz przez dużą powierzchnię odprowadzać ciepło do otoczenia. Radiatory wykonywane są głównie z aluminium [1]. Technologią wyciskania otrzymuje się radiatory o małych wymiarach. Dla potrzeb elektroniki przemysłowej i kolejnictwa duże radiatory (o masie nawet kilkudziesięciu kilogramów) są zbudowane z płyty aluminiowej i żeber. Na jednej stronie płyty montuje się podzespoły elektroniczne, a na drugiej są osadzane żebra wykonane z blachy aluminiowej. Na rysunku 1. przedstawiono segment radiatora, na którego skośnych powierzchniach osadza się fotodiody świecące typu LED, o łącznej mocy około 300 W. Duże wymiary wynikają z wrażliwości diod LED na temperaturę. Na styku powierzchni diody z płytą temperatura nie może przekroczyć 100°C [2].

W artykule porównano zastosowaną technologię osadzania żeber w płycie radiatora poprzez wgłębianie stempli na krawędziach frezowanego kanału z wynikami symulacji numerycznej. Zastosowanie symulacji numerycznej pozwala na ustalenie prawidłowych warunków i parametrów procesów obróbki oraz przeróbki metali bez konieczności wytwarzania prototypów narzędzi w procesie produkcyjnym. O poprawności i dokładności modelu matematycznego decydują przede wszystkim warunki brzegowe, przyjęty model konstytutywny materiału oraz sposób obliczeń [3]. Dokładne odwzorowanie rzeczywistego procesu wiąże się z koniecznością uwzględnienia nieliniowych właściwości technologicznych i geometrycznych materiału. Nieprawidłowe wyniki symulacji mogą wynikać z błędnie przyjętego modelu materiału, który determinuje występowanie określonego stanu naprężeń i odkształceń w materiale. Warunkiem decydującym o poprawności wykonanej symulacji jest zweryfikowanie otrzymanych wyników na podstawie danych doświadczalnych [4].

Siły tarcia wywierają znaczący wpływ na rozkład i wartość odkształceń podczas symulacji numerycznej osadzania żebra w płycie radiatora. Dokładność opisu zjawisk tarcia wpływa na jakość i dokładność symulacji w sposób zależny od przyjętego modelu tarcia. Obecnie, mimo istnienia szeregu nieliniowych modeli tarcia, do numerycznego modelowania kształtowania blach powszechnie stosuje się liniowe prawo Amontona-Coulomba. Należy zwrócić uwagę na modele nieliniowe tarcia, które są budowane zwykle przy wielu założeniach upraszczających, mających związek z trudnością w jednoznacznym zdefiniowaniu i opisie złożonych zjawisk kontaktowych.



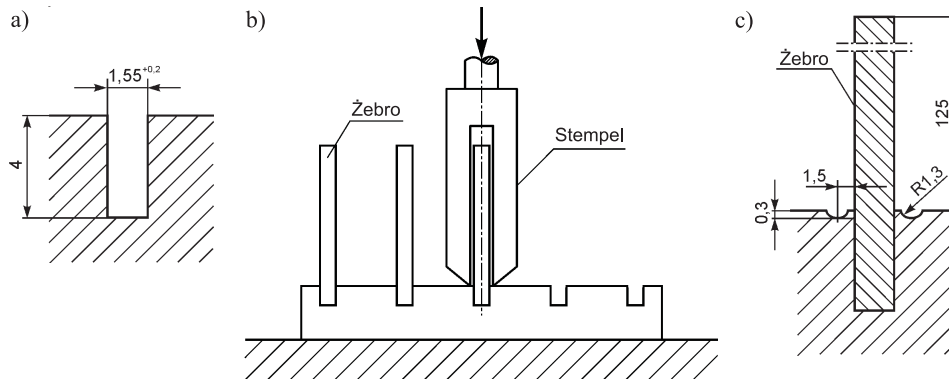
Rys. 1. Radiator z żebrami osadzonymi w płycie metodą wgłębiania stempli na krawędzi kanału

Fig. 1. Heat sink with fins fixed in plate using punches mounting method

Technologia osadzania żeber w płycie radiatora

Na rysunku 2. przedstawiono schematycznie technologię osadzenia żeber. W płycie wykonanej z aluminium 851SP kanały o szerokości $1,50 \div 1,60$ mm i głębokości 4 mm (rys. 2a) są frezowane frezem piłkowym. Ogólnie można

stwierdzić, że głębokość kanału zawiera się w przedziale $2\div 3$ grubości żebra wykonanego ze stopu aluminium AA5251. Po umieszczeniu żebra w kanale, blachę zaciska się poprzez symetryczne wgłębianie na prasie dwóch krawędzi stempła o takiej samej geometrii na krawędziach kanału (rys. 2b). Na rysunku 2c przedstawiono żebro połączone z płytą poprzez plastyczne zaciśnięcie na prasie. Plastycznie odkształcony materiał płyty powinien obcisnąć blachę żebra na całej głębokości kanału. Technologię zaciskania plastycznego żeber stosuje się do wielokrotnie większych radiatorów używanych w elektronice przemysłowej, gdzie w czasie eksploatacji narażone są na bardzo duże drgania.

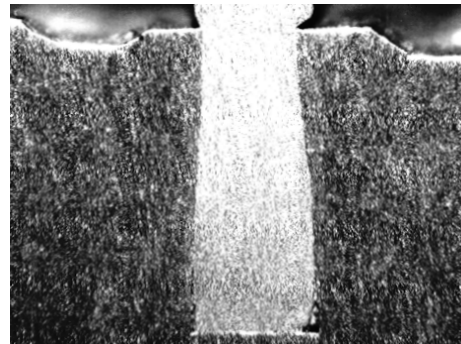


Rys. 2. Technologia osadzania żeber w płycie radiatora: a) kanał w płycie radiatora do osadzania żebra, b) montaż żeber w płycie, c) przekrój zaciśniętego żebra

Fig. 2. Technology of settling fins in the heat sink plate: a) groove in heat sink plate, b) assembly of fins in plate, c) section of mounting fin

Rys. 3. Przekrój złącza płyta-zebro, pow. 10× (jaśniejszy obszar to zebro)

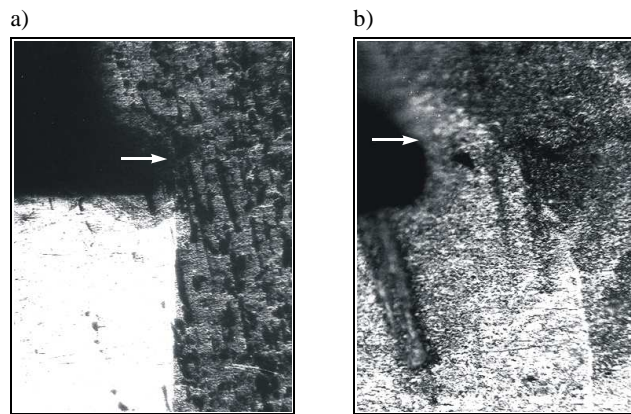
Fig. 3. Plate-to-rib joint section, magnification 10× (light region means rig)



Jest oczywiste, że przewodność cieplna złącza płyta-zebro zależy od dokładnego przylegania odkształconego w procesie montażowym kanału płyty radiatora. Sam proces przewodzenia ciepła na styku dwóch elementów (choć są wykonane praktycznie z tego samego materiału) jest skomplikowany i z fizycznego

punktu widzenia trudny do analitycznego opisanie. Budując niniejszy radiator, przyjęto, że podstawową miarą jakości wykonanego złącza będzie przyleganie żebra w złączu jak największą powierzchnią do kanału płyty. W celu sprawdzenia tego parametru przecięto radiator i wykonano zgłady do zdjęć metalograficznych.

Na rysunku 3. przedstawiono przekrój złącza płyta-zebro w powiększeniu 10×. Widoczne jest bardzo wyraźne odkształcenie kanału w płycie radiatora na całej jego wysokości. Odkształcona jest również blacha żebra – powstało przewężenie blachy ok. 0,3 mm, tworząc kształtowe połączenie na tzw. jaskółczy ogon. Rysunek 4a przedstawia w 50-krotnym powiększeniu fragment przewężenia w miejscu, gdzie zebro wchodzi w płytę radiatora. Widoczny jest uskoki o wysokości 0,3 mm wskazujący na to, że materiał żebra po całkowitym wypełnieniu kanału wypływał do góry. Na rysunku 4b pokazano ten sam fragment złącza co na rysunku 4a, lecz w powiększeniu 200×. Widoczne jest wypływanie przez zwężającą się szczelinę kanału materiału płyty do góry, razem z materiałem żebra.

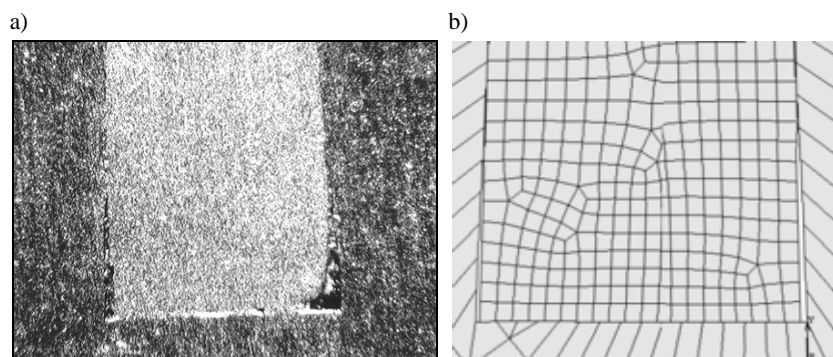


Rys. 4. Połączenie żebro-płyta radiatora, widok na wyjściu żebra z płyty: a) przekrój w miejscu wejścia żebra w płytę (płyta radiatora jaśniejsza, zebro ciemniejsze), pow. 50×, b) przejście żebro-płyta (jaśniejszy materiał płyty, wypłynięcie widoczne w postaci „jasnej fali”), pow. 200×

Fig. 4. Fin-plate joint, of the heat sink: a) section in the place of the input of fin from plate (lighter material of the heat sink plate), original mag. 50x, b) fin – plate section (lighter material of the plate, outflow is visible as „light wave”), magnification 200x

Wypływanie materiału z żebra z kanału radiatora świadczy o bardzo dobrym wypełnieniu i przyleganiu łączonych elementów na poziomie naprężenia uplastyczniającego, tj. dla aluminium ok. 100 MPa. Pomimo występowania zjawie-

ska wyciskania przeciwbieżnego materiału żebra, dolna część kanału zostaje niewypełniona na około $0,2 \div 0,25$ jego wysokości. Powiększenie zagłębienia stempli w większym stopniu wpływa na pocienienie żebra niż na wypełnienie. Fotografię niewypełnionego obszaru przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Widok dna kanału – wyniki otrzymane eksperymentalnie (a) po powiększeniu 10× oraz numerycznie (b), widoczne niewypełnione naroża

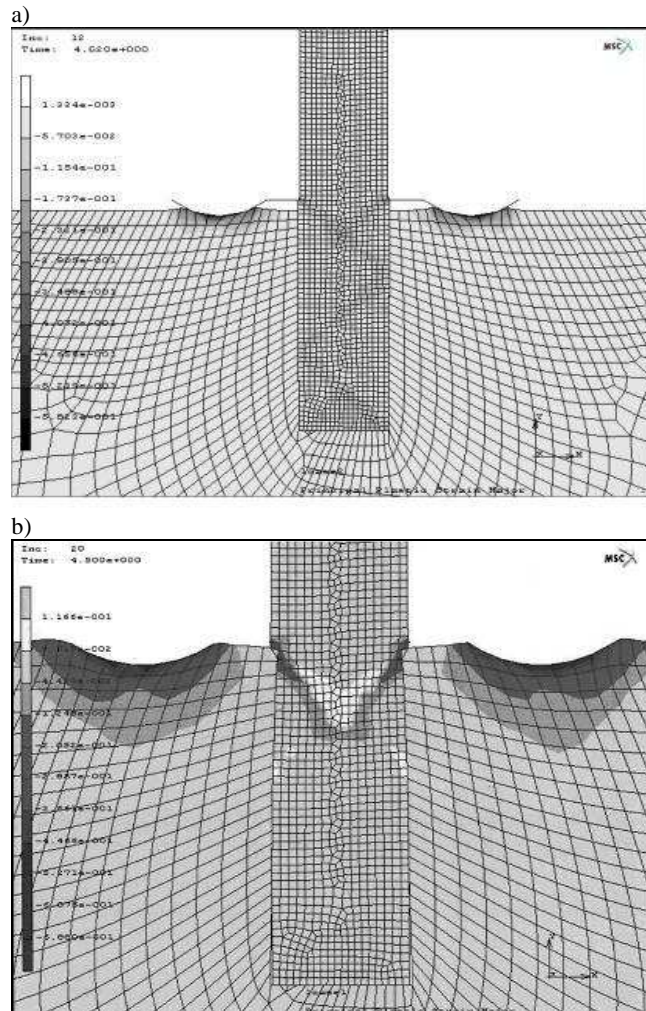
Fig. 5. The view of the passage bottom – experimental results (a), magnification 10× and numerical results (b), visible unfilled corner

Modelowanie numeryczne zaciskania żebra w płycie radiatora

Proces zaciskania żebra w płycie radiatora modelowano numerycznie przy użyciu oprogramowania MSC Marc/Mentat. Symulację metodą elementów skończonych przeprowadzono dla płaskiego modelu rowka i żebra oraz narzędzi z zachowaniem rzeczywistej kinematyki procesu. Symetryczne stemple zamodelowano jako nieodkształcalne, uwzględniając w modelu obliczeniowym tylko zewnętrzne promienie ich zaokrągleń. Ze względu na specyfikę geometryczną osadzania żebra w płycie radiatora założono płaski stan odkształcenia. Model numeryczny żebra został dyskretyzowany za pomocą 5225 4-węzłowych elementów izoparametrycznych, elementów typu *plain-strain* [5], natomiast model płyty zamodelowano 2296 elementami tego samego typu. Zjawiska kontaktowe między blachą a narzędziami opisano prawem Coulomba ze współczynnikiem 0,15.

Problem zaciskania żeber w płycie radiatora jest złożony. Do wyjaśnienia przebiegu odkształcenia przy zagłębianiu należy przeanalizować zjawiska zachodzące podczas wgłębiania się stempli w płytę. W momencie kontaktu narzędzia z płytą powstaje obszar odkształceń plastycznych, który podczas dalszego zagłębiania się stempli powiększa się i przesuwa w kierunku zaciskanego żebra. Następuje ściskanie żebra i jego pocienienie na tzw. jaskółczy ogon. Dalsze wgłębianie powoduje wciskanie przeciwbieżne materiału żebra na zewnątrz

(widoczne na rys. 4.). Wnętrze kanału podstawy ma około $0,2 \div 0,25$ jego wysokości, od podstawy nie zostaje wypełnione. Na rysunku 6. przedstawiono wyniki symulacji numerycznej dla zagłębienia stempli 0,1 mm oraz 0,3 mm, identyczne jak dla prezentowanych na rysunku 3.



Rys. 6. Rozkład odkształceń plastycznych uzyskanych w wyniku symulacji numerycznej dla zagłębienia stempli 0,1 mm (a) oraz 0,3 mm (b)

Fig. 6. Numerical results of principal plastic strain distribution at 0.1 mm of punch travel (a) and 0.3 of punch travel (b)

Wnioski

Uzyskano dużą zgodność symulowanego odkształcenia z wynikami zdjęć metalograficznych. Dla danej grubości żebra istnieje optymalna głębokość rowka w płycie radiatora, przy której przestrzeń niewypełniona jest najmniejsza lub nie występuje w ogóle. Zastosowanie dużego wgłębienia stempli w procesie montażu jest niecelowe, ponieważ powoduje przewężenie i wyciskanie materiału żeber, obniżając parametry przewodnictwa cieplnego.

Konstruując radiator, należy tak zaprojektować głębokość kanału, aby zaciśnięcia żeber dokonać przy jak najmniejszym wgłębieniu stempli, tak aby obszar występowania odkształceń plastycznych był możliwie mały.

Literatura

- [1] Celiński Z.: Materiałoznawstwo elektrotechniczne, OW PW, Warszawa 2005.
- [2] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej, OW PW, Warszawa 2005.
- [3] Pietrzyk M., Hodgson P. D.: Internal variable model applied of the prediction of grain size during thermomechanical processing of C-Mn steel, *Inżynieria Materiałowa*, 57 (1998), 645-650.
- [4] Rojek J., Pielą A.: Weryfikacja wyników numerycznej symulacji procesu tłoczenia, *Hutnik – Wiadomości Hutnicze*, 69 (2002), 84-88.
- [5] MSC Marc Volume B: Element Library, MSC. Software Corporation, 2005.

DETERMINATION OF DEPTH SETTING OF HEAT SINK FIN USING NUMERICAL SIMULATION

In this paper the results of experimental researches and numerical simulation of the heat sink fin fixed were presented. The Msc MARC/Mentat 2005 package was used to numerical simulation. The aim of the article is to compare application mount technology of fins in heat sink plate with the results of numerical simulation. The measure of the joint qualities is the adherent surface of the fin in joint with the groove surface in heat sink plate. To verify this parameter the heat sink was cross-cutted and the metallographic specimen were performed

Keywords: heat sink, finite element method, numerical simulation

Złożono w Redakcji w listopadzie 2009 r.