

# STUDY THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY AND M&S THERMAL PROCESSES DURING MILLING OPERATION

TUDOR ALEXANDRA

Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea:, Evaluarea calitatii materialelor si produselor,  
Anul de studii:I Master, e-mail:t.alexandramihaela@yahoo.com

Conducător științific: S.L. Dr. **Constantin Petriceanu, Conf.dr. ing. Nițoi Dan**

*REZUMAT: The paper presents a global, effective and efficient method of studying thermal processes during the milling operation. The value and distribution of temperatures in the processing area are of great importance for certain materials but also for the durability of the tool. After obtaining the images with the help of the thermography camera, specialized programs were used, FLIR tools to process the images and to make graphics that symbolize the variation of the maximum temperature on the thermal image reached during the cutting process; and MATLAB to highlight heat dissipation. For the theoretical part of the examination, the time field distribution for the set consisting of the two materials milled in volume and sections was simulated in the ANSYS program. This method helps to understand what is happening inside the material, where other methods are not successful.*

*CUVINTE CHEIE: milling, thermography, thermal, fileld, modeling*

## 1. Introducere

În această lucrare s-au evidențiat aspecte privind procesele de aşchiere precum apariția și distribuția căldurii ca fiind procese inevitabile, aceasta apărând ca urmare a transformării aproape integrale a lucrului mecanic consumat la aşchiere în căldură.

Căldura generată de procesul de frezare este transferată într-un procent specific pentru piesa de prelucrat, scula și aşchie [7]. O cantitate mai mare de energie este transferată prin intermediul aşchiilor, restul este transferată la scula și la piesa, iar cantitatea poate fi redusă în funcție de viteza de aşchiere. Este important să se cunoască temperatura din această zonă, deoarece o creștere excesivă poate deteriora scula, piesa de prelucrat sau mașina de prelucrat în sine. Căldura poate modifica compoziția materialului de pe suprafața sa, care ar afecta duritatea și caracteristicile dimensionale. De asemenea, o sculă ruptă sau uzată este predispusă să genereze mai multă căldură din cauza frecării generate între ea și piesa de prelucrat.

În zona de contact se formează o joncțiune fierbinte, sculă-piesă, astfel ambele piese sunt conductori. În metodele de radiație indirectă, sunt utilizate măsurători punctuale și camerele termografice. Principalele avantaje ale dispozitivelor termografice sunt răspunsul rapid și fără contact fizic, care permit efectuarea de măsurători în locuri inaccesibile în procesul în care aşchiile pot deteriora sistemul de măsurare[1].

## 2. Materiale și metode utilizate

### 2.1 Prelucrarea prin frezare

Pentru realizarea experimentelor ce privesc prelucrarea prin frezare a unei plăci bimetalice din oțel și aluminiu sudate prin explozie (Fig. 1) s-a folosit mașina de frezat din laboratorul departamentului. Procesul de frezare s-a realizat cu ajutorul unei freze cilindro-frontale. Piesa semifabricat a fost realizată din oțel placat prin explozie cu aluminiu, iar dimensiunea acesteia este de 50 mm. S-a ales adâncimea de aşchiere de  $h = 0.5$  mm pentru toate regimurile de frezare. La frezare s-a urmărit îndepărtarea unui strat de aceeași grosime atât din oțel cât și din aluminiu (Fig.1).



Fig.1. Prelucrarea prin frezare a piesei bimetalice

Daca condițiile de precizie și calitate a suprafeței sunt ridicate, adaosul de prelucrare se îndepărtează în două faze: frezare de degroșare și frezare de finisare.

Regimul de așchiere la frezare este prezentat în tabelul 1. S-a putut observa, căldura se propaga foarte repede, ea rămâne în material după procesul de frezare, astfel aluminiul se răcește repede, în timp ce oțelul este fierbinte, menținând căldura datorită proprietăților fizico-termice diferite. Motivul pentru care scula așchietoare se încălzește este datorită fenomenului de frecare, care se produce în timpul procesului de așchiere.

În timpul procesului de frezare, cu ajutorul camerei de termografiere în infraroșu, au fost evidențiate 3 zone de interes: material, sculă așchietoare, așchie.

Tab.1 Parametrii regimului de așchiere folosiți la frezare

Parametrii regimului de așchiere	Prima etapă	A doua etapă	A treia etapă
Turație [rot/minut]	630	630	630
Avans [m/min]	80	125	50
Adâncime de așchiere [mm]	0,5	0,5	0,5

## 2.2 Termografierea în infraroșu în timpul procesului de așchiere (frezare)

În procesul de așchiere apariția căldurii este un proces inevitabil, aceasta apărând ca urmare a transformării aproape integrale a lucrului mecanic consumat la așchiere în căldură. Mecanismul de formare al căldurii se explică prin consumarea lucrului mecanic în procesul de deformare plastică a materialului așchiat pentru a învinge frecările interne din material și de asemenea pentru a învinge frecările externe, între sculă și așchie, respectiv sculă și materialul de prelucrat. Modul cum se dezvoltă și se repartizează căldura elementelor din sistemul tehnologic determină starea staționară de distribuție a temperaturilor în zona de așchiere. Temperatura elementelor care iau parte la procesul de așchiere influențează modul de formare al așchiei, uzura sculei așchietoare, precizia de prelucrare și formarea unor tensiuni în stratul de sub linia de așchiere [3].

Transformarea aproape integrală a lucrului mecanic în căldură reprezintă retrocedarea energiei consumate cu deformarea materialului așchiat într-o proporție destul de ridicată (97%) sub formă de căldură și reținerea unei mici cantități de energie potențială sub forma tensiunilor remanente din structura stratului de sub linia de așchiere și a tensiunilor din așchie [3].

Schema de principiu a transferului de căldură în procesul de frezare este prezentată în figura 2.

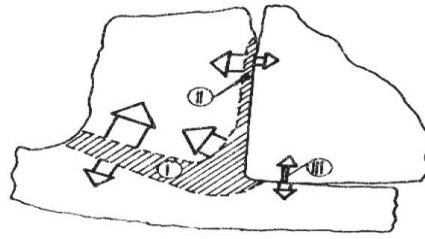


Fig. 2. Schema de principiu a propagării câmpului termic la prelucrarea prin aşchiere

Unde este  $E_1$  – energia necesară separării celor două suprafețe, a piesei și a aşchii,  $E_2$  – energia necesară deformării materialului pe planul de forfecare principal,  $E_3$  – energia necesară învingerii frecării dintre aşchie și fața de degajare a sculei, pe lungimea de contact  $l_c$ ,  $E_4$  – energia necesară învingerii frecării dintre scula și suprafața aşchiată pe lungimea de contact între acestea,  $l_p E_5$  – energia necesară deplasării aşchii detașate, (energia cinetică a aşchii) [3].

Bilanțul energetic al procesului de aşchiere va fi:

În timpul laboratorului de Informatizarea și Optimizarea Proceselor de Control am mers, împreună cu colegii mei, domnul tehnician și domniile profesori: S.I. Dr.ing. Ștefan Constantin PETRICEANU și Dumitrașcu Constantin în laboratorul de prelucrări mecanice (prin aşchiere). Pentru învățarea modului în care se aplică termografierea în infraroșu, s-a realizat examinarea operației de frezare. Acolo am filmat cu ajutorul camerei de termoviziune procesul de frezare, aceste imagini urmând a fi prelucrate în Matlab pentru a vedea anumite detalii sau eventualele defecte. În laboratorul CF008a, am studiat, aplicarea termografierii în infraroșu pentru diverse tipuri de prelucrări prin aşchiere (frezare, strunjire, rabotare, mortezare, rectificare). În prima etapă de pregătire a termografierii s-au realizat câteva operații premergătoare:

- Urmărirea indicațiilor de defect date de emisia de radiație a corpului examinat;
- Se calibrează camera, se poziționează, se înregistrează o imagine vizibilă și o imagine în infraroșu și se salvează.
- Se prelucrează imaginile cu ajutorul software-ului Matlab. Imaginea în infraroșu se va denumi  $F_{R1}$ , iar imaginea văzută de ochiul uman se va denumi  $F_{V1}$ . Fiecare imagine se va împărți în patru cadrane și se vor numerota în sensul trigonometric.

Cu ajutorul camerei termografice s-a putut observa cum piesa din oțel și aluminiu se încălzea în timpul operației de frezare, precum și problemele legate de izolarea termică a acestuia. Astfel s-au identificat valorile temperaturilor de maxim și minim în timpul procesului de „Examinări termografice a operației de frezare” prin:

- variația temperaturii maxime în timpul procesului de aşchiere;
- căldura disipată în material;
- modul de încălzire al sculei aşchietoare;
- temperatura atinsă în aşchie [2].

În urma procesului de frezare ( $\epsilon_{\text{oțel}}, \epsilon_{\text{aluminiu}}$ ) se creează în piesă un câmp termic. Câmpul termic din scula aşchietoare, adică căldura este disipată în material.

În urma procesului de frezare pot apărea defecte de tipul: goluri sau lipsă de legătură, incluziuni la interfața dintre cele 2 materiale (materialul de bază oțel, materialul deplasat prin placare - explozie aliaj de aluminiu).

Pentru efectuarea analizei prin termografiere s-au parcurs etapele:

1. Alegerea echipamentului necesar pentru termografierea în infraroșu varianta pasivă;
2. Montarea piesei pe dispozitivul de poziționare și orientare al mașinii de frezat în poziție optimă, cu ajutorul elementelor de fixare;
3. Poziționarea camerei și focalizarea imaginii termice. Pentru a se obține o imagine clară trebuie aleasă distanța optimă între camera de termografiere și proba ce urmează a fi examinată. Reglajul fin al

clarității imaginii se efectuează și prin acționare manuală sau automată prin intermediul calculatorului sau a obiectivului optic al camerei;

4. Stabilirea parametrilor de așchiere, în funcție de natura materialului din care este confecționată proba și de grosimea acesteia, corelarea realizându-se prin metode teoretice și experimentale;

5. Parametrii care influențează examinarea sunt: temperatura mediului ambiant, temperatura de background (aportul de căldură al obiectelor înconjurătoare asupra obiectului examinat). Temperatura de background se măsoară pe o folie de aluminiu așezată în apropierea obiectului examinat cu emisivitatea camerei reglată la o valoare cât mai apropiată de 0 (am ales valoarea 0,1). Subdomeniul de temperatură reglat în cameră: 0-500° C;

6. Înregistrarea imaginilor în infraroșu s-a efectuat prin conectarea de tip firewire între camera de termografieră și laptop-ul de achiziție pe care este instalat software-ul specializat thermacam researcher SR2;

7. Elaborarea concluziilor se face pe baza vizualizării și interpretării modului în care este distribuit câmpul termic pe suprafața materialului. Această distribuție a câmpului termic este dependentă de starea suprafețelor prelucrate, de omogenitatea materialului și de fenomenele termice apărute în timpul procesului de frezare. De regulă, aprecierile privind omogenitatea se fac doar pentru straturile aflate în apropierea suprafeței exterioare și de solicitările la care cele 2 materiale au fost supuse în timpul frezării.

### 3. Prelucrarea imaginilor in infraroșu cu ajutorul unor funcții specifice

Prelucrarea imaginilor cu ajutorul soft-ului matlab a avut ca scop evidențierea disipării de căldura, astfel s-a putut observa procesul de propagare rapidă a căldurii. Aceasta rămâne în material după procesul de frezare, iar aluminiul se răcește repede (Fig. 3).

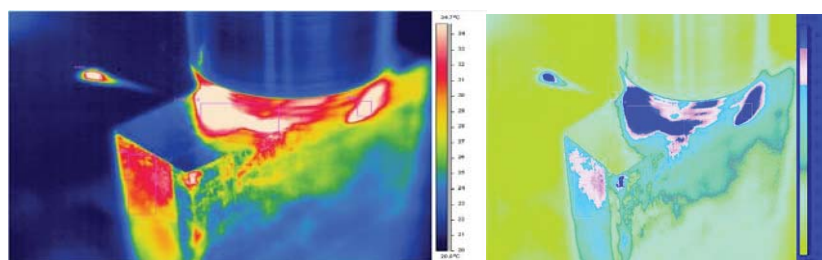


Fig.3. Înregistrarea temperaturii prin termografieră –a; Prelucrarea imaginii în Matlab – b

În figura 4 se prezintă o imagine de ansamblu a procesului de transmitere a căldurii și histograma atașată determinate prin termografieră.

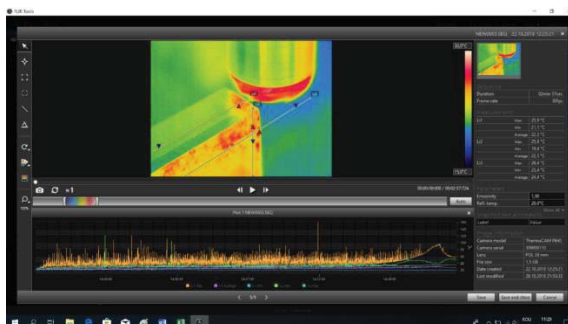


Fig. 4. Imagine de ansamblu a procesului de transmitere a căldurii și histograma atașată determinate prin termografieră

În figura 5 se prezintă variația temperaturii maxime în procesul de frezare

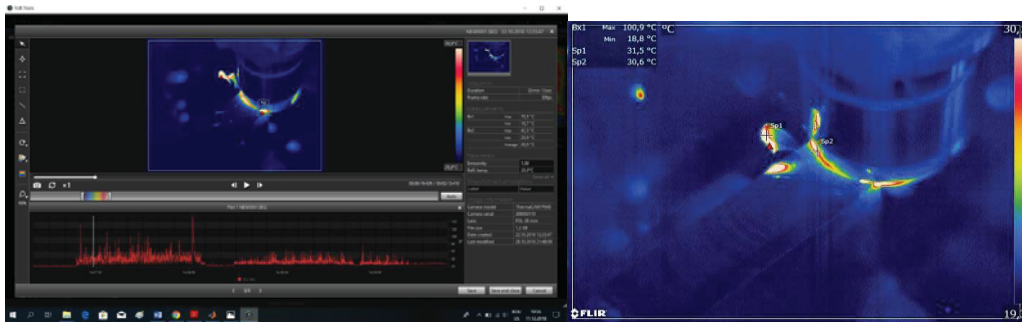


Fig. 5 Variația temperaturii maxime în procesul de frezare

La sfârșitul procesului de aşchiere câmpul termic în zona prelucrării este prezentat în figura 6.

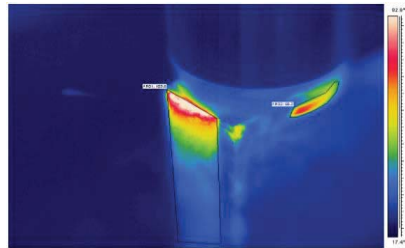


Fig. 6 Câmpul termic în zona prelucrării la sfârșitul acesteia

#### 4. Modelarea câmpului termic pentru procesul de frezare a două plăci din aluminiu și oțel sudate prin explozie in Ansys

Cercetarea proceselor, fenomenelor fizice, chimice, mecanice, electrice reprezintă permanente provocări la care oamenii de știință răspund prin multiple metode teoretice sau practice. Sunt unele domenii în care din păcate metodele practice de lucru nu pot fi aplicate. Un exemplu foarte bun este cel prezentat în această lucrare în care se analizează propagarea câmpului termic în interiorul unei piese, dar nu numai. Pentru a “vedea” modul în care o piesă solidă se încălzește în interiorul său, nu se poate rezolva prin amplasarea de senzori termici (termocuple de exemplu) sau prin folosirea unor camere de termoviziune [3].

Această ultimă metodă s-a folosit în lucrarea prezentată la determinarea temperaturilor ce apar în timpul procesului de frezare a unui bloc metalic format din două plăci, una din oțel și una din aluminiu. Generarea de căldură în procesul de frezare are loc datorită proceselor complexe de frecare, deformare plastică și rupere ce au loc sub acțiunea dinților sculei aşchietoare. Folosind camera de termoviziune s-a măsurat, cu anumită aproximare, temperatura ce se dezvoltă în procesul de frezare. Câmpul termic generat în procesul de frezare se propagă atât la nivelul plăcutelor aşchietoare și a corpului sculei, dar și în interiorul materialului prelucrat. Parametrii ce caracterizează câmpul termic al celor două material sunt prezentați în figura 7. Pentru Aluminiu se prezintă căldura specifică și conductivitatea termică în figura.7.a, iar în figura 7.b pentru oțel.



Fig.7. Prezentarea proprietăților de material pentru: a. - Al și b. – oțel



După discretizarea structurii [4] s-a realizat o analiză termică tranzitorie adică s-a studiat variația temperaturii în funcție de timp. Pentru această analiză s-a considerat un timp de aproximativ 115 sec. ce a fost împărțit în  $n = 13$  etape. Pentru fiecare etapă, în figura 9 se prezintă imaginile reprezentative ale câmpului termic. După cum se poate observa, în placa din aluminiu, cea cu grosime mai mică, căldura se propagă mai mult iar temperatura este ușor diferită și mai mare față de zona alăturată din oțel și aceasta datorită conductivității termice mai mari a aluminiului. În pasul 6 se constată un fenomen interesant și anume se observă că datorită unei permanente acumulări de căldură, în aluminiu se formează un concentrator de căldură într-o zonă inferioară, la începutul plăcii. Pentru acest pas se prezintă și o vedere din partea plăcii din oțel, observându-se o distribuție diferită a temperaturilor. În pasul 7, deoarece sursa de căldură și anume procesul de frezare se depărtează față de poziția inițială, concentratorul de căldură din placa de Al dispare rămânând însă evidentă diferența de temperaturi dintre cele 2 materiale până la sfârșitul procesului de frezare din pasul 13. La sfârșitul acestui proces se observă însă cum cele două plăci se încălzesc într-un volum mult mai mare față de începutul procesului de frezare, mai mult de jumătate încălzindu-se față de temperatura mediului ambiant care este de  $18^0$  C. Această temperatură se înregistrează în partea inferioară a celor două plăci.

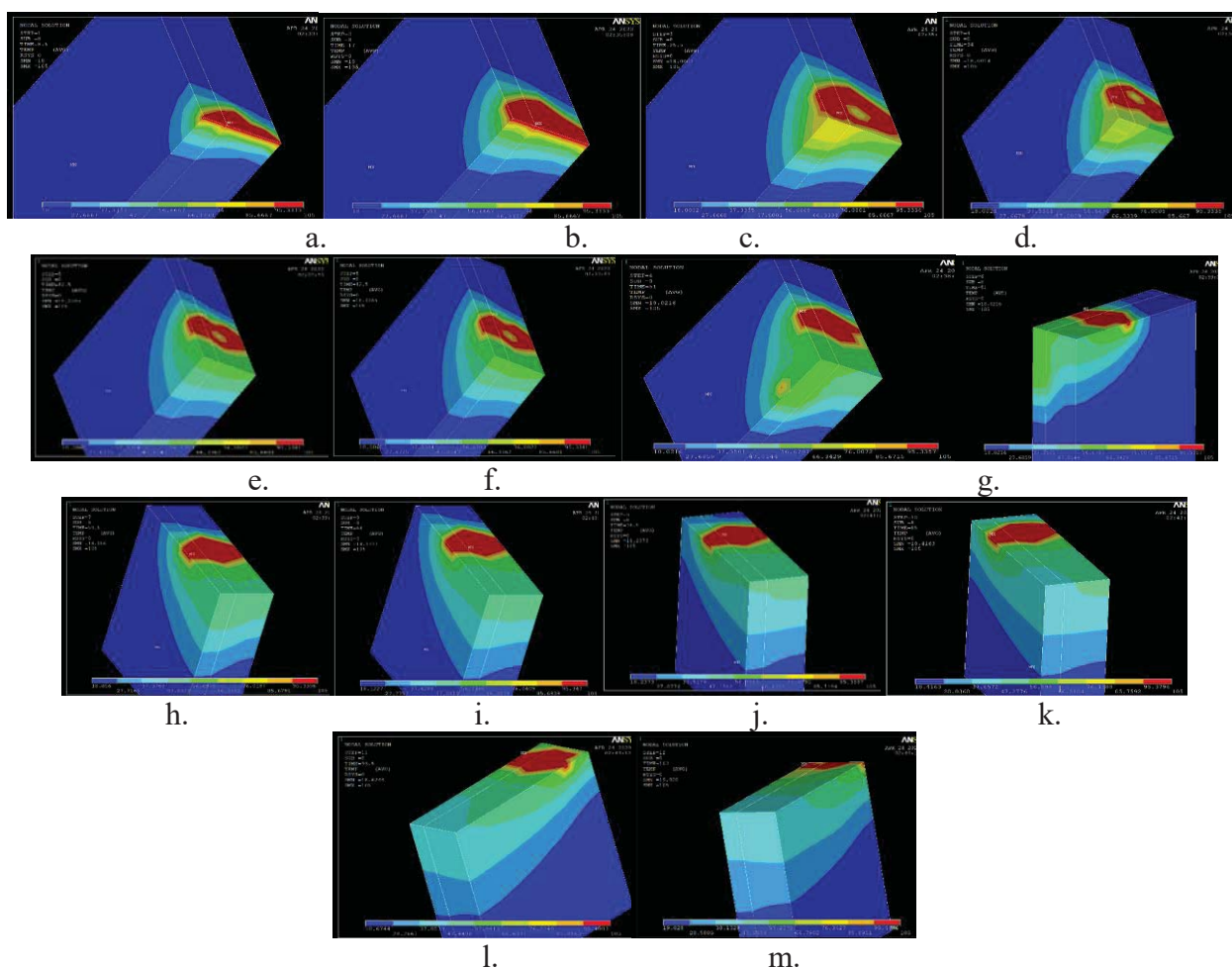


Fig. 8. Prezentarea celor 13 pași ce simulează propagarea câmpului termic în procesul de frezare

O altă facilitate foarte importantă în cazul folosirii programului este prezentarea fluxului termic. Astfel, pentru pasul 6 și 13, în figura 9 a și b se prezintă imaginile corespunzătoare. Spre exemplu în pasul 6, aflat la milocul procesului de frezare în aria de lucru de aproximativ  $S = 50 \times 30$  mm se dezvoltă o cantitate de căldură de aproximativ  $C = 750000 \times 0.0015 = 1125$  W.

Poate cel mai important avantaj al programelor de modelare și simulare sau al calculului numeric se referă la posibilitatea determinării proprietăților de material în interiorul volumului acestora. Pentru studiul prezentat, nu se poate realiza măsurarea directă a temperaturii în interiorul blocului de metal, singura metodă de aproximare fiind simularea acesteia. În acest sens, în figura 9c se prezintă o imagine a câmpului termic într-o secțiune prin blocul din Aluminiu. Se observă aici nodul termic format la aproximativ 50 sec de la începutul procesului de frezare și aproximativ la 50 mm sub zona de frezare (culoarea galbenă) [6]

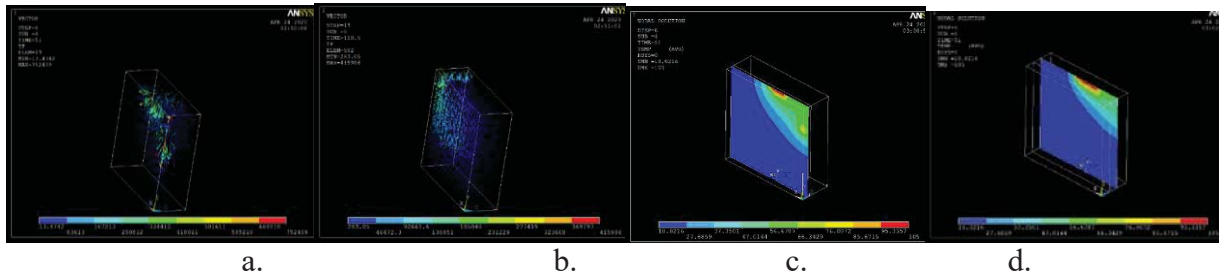


Fig. 9. Calculul: a - fluxului de căldură TF la timpul  $t = 51$  sec și b – la timpul  $t = 110$  sec; c – secțiune prin placa din Al; d – secțiune prin placa de oțel

În figura 9d se prezintă o secțiune prin placa din oțel. Se poate observa aici cum în prima secțiune, situată mai aproape de placa din Al temperaturile sunt mai ridicate apărând aici și o influență a nodului termic din placa din Al. În cea de a doua secțiune zona cu temperaturi mai ridicate are o suprafață mai mică, Oțelul având o conductivitate termică mai mică, în cea de a treia secțiune câmpul termic fiind foarte apropiat de cea anterioară.

În situația în care se dorește trasarea unui grafic de variație, de exemplu, a temperaturii în timp pentru un anumit punct, programul oferă această posibilitate. În cazul analizei prezentate am ales punctul de început al frezării și punctul de sfârșit. În figura 10a se prezintă variația temperaturii pentru punctul de început de frezare. Un lucru foarte interesant se poate observa, cum după aproximativ 25 sec de la începutul prelucrării temperatura crește în zona de început cu toate că freza s-a deplasat față de acesta. Aceasta se poate explica prin acumularea de căldură, în același fel cum în jurul timpului  $t = 50$  sec se observă un prag, temperatura nu mai scade datorită aceluiași fenomen. Pentru timpul  $t = 50$  sec se poate observa cum pragul apărut coincide exact cu timpul în care se formează concentratorul de căldură din aluminiu. Acest concentrator stopează procesul de răcire treptată și continuă din zona începutului de prelucrare [5].

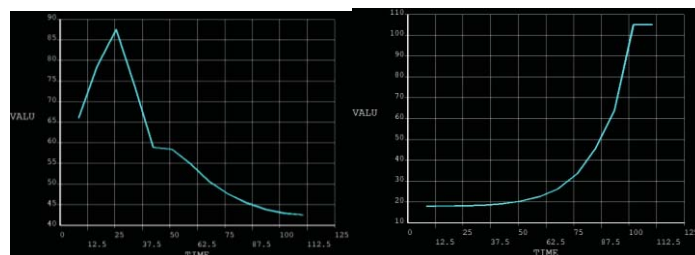


Fig. 10. Graficul variației temperaturii: a - punctului de început de prelucrare prin frezare; b - punctului de sfârșit de prelucrare prin frezare

Pentru punctul de sfârșit de prelucrare, în figura 10b, se prezintă graficul corespunzător. Se poate observa cum variația temperaturii nu este constantă începând de la temperatura mediului ambiant și până în momentul în care freza ajunge în acest punct și dezvoltă temperatura  $T = 105^{\circ}\text{C}$ .

## 5. Concluzii

Conform rezultatelor prezentate în această lucrare, pot fi trase următoarele concluzii [6]:

1. S-a dovedit faptul că folosirea tehnicii termografice este un instrument eficient în monitorizarea proceselor de prelucrare, fiind ușor de folosit.
2. Variația vitezei de așchiere și a turației, de asemenea, au indicat variații de temperatură, valoarea cea mai mare fiind indicată în așchii.
3. Termografierea în infraroșu constituie una din metodele cele mai eficiente și precise de examinare ce și-a găsit aplicabilitate în toate domeniile vieții economico-sociale.
4. Distribuția câmpului termic pe suprafața materialului, este dependentă de starea suprafețelor prelucrate, de omogenitatea și structura materialului, de fenomenele termice apărute în timpul procesului de frezare și de solicitările la care cele 2 materiale au fost supuse în timpul frezării.
5. Metoda de termografiere în infraroșu a avut ca scop identificarea variației temperaturii în timpul procesului de așchiere, precum și propagarea și disiparea căldurii în și din materialele din care este alcătuită piesa având în vedere că avem de-a face cu un bimetal, respectiv oțel și aluminiu.
6. Piesa fiind realizată din oțel placat prin explozie cu aluminiu a rezultat faptul că inerția oțelului este mai mare decât inerția aluminiului.
7. Modelarea procesului termic ce are loc la frezare oferă informații foarte utile unei cercetări, informații ce în mai multe cazuri nu se pot obține decât prin această metodă.

## 6. Bibliografie

- [1] [https://www.researchgate.net/publication/303597000\\_Evaluating\\_temperature\\_in\\_faced\\_milling\\_operations\\_by\\_infrared\\_thermography?fbclid=IwAR2M5ntK-YTqITi5vbiOIBhGcZ47PXrUE-raHbBwvHfVnN3zxnJgvJFQE](https://www.researchgate.net/publication/303597000_Evaluating_temperature_in_faced_milling_operations_by_infrared_thermography?fbclid=IwAR2M5ntK-YTqITi5vbiOIBhGcZ47PXrUE-raHbBwvHfVnN3zxnJgvJFQE)
- [2] <http://iota.ee.tuiasi.ro/~bogdan.neagu/laborator/12.%20Termografie%20in%20infrarosu.pdf>
- [3] Alexandrina Mihai, Termografia în infraroșu fundamente; Editura Tehnică, 2005.
- [4] Nițoi Dan, Introducere în Modelare și Simulare, Editura BREN, București, 2018.
- [5] Nițoi Dan, Modelare și Simulare – Analize termice, Ed. Bren, 2019.
- [6] Nițoi Dan, Optimizarea proceselor tehnologice prin metoda elementelor finite – Noțiuni teoretice și exemple, Ed. Bren, 2020.
- [7] Plesca Marcel, Dan Florin Nitoi, Procese de operare – Prelucrarea prin frezare, Editura Printech, București, 2015