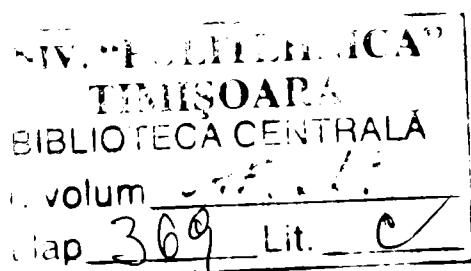


UNIVERSITATEA POLITEHNICĂ TIMIȘOARA
FACULTATEA DE INGINERIE

ING. ȘTEFAN MIHĂILĂ

Teză de doctorat

**CONTRIBUȚII PRIVIND INFLUENȚA TEMPERATURII
MARIȚELOR DE INJECTAT ASUPRA CALITĂȚII
PRODUSELOR DIN MATERIALE TERMOPLASTICE.**



Conducător științific:
Prof. Dr. Doc. Șt. D. H. C. Ing. AUREL NANU

TIMIȘOARA 2005

CUPRINS

INTRODUCERE.....	5
SCURT ISTORIC AL DEZVOLTĂRII MATERIALELOR PLASTICE	8
1. MATERIILE TERMOPLASTE UTILIZATE, PRINCIPIUL INJECTĂRII	12
1.1. Materiale termoplastice folosite la injectare	12
1.2. Caracterizare generală.....	13
1.3. Proprietăți fizice.....	17
1.3.1. Proprietăți fizice ale materialelor termoplastice granulare sau pulverulente (medii discontinue).....	17
1.3.2. Proprietăți fizice ale materialelor termoplastice (medii continue).....	18
1.4. Tehnologia injectării materialelor termoplastice	27
1.4.1. Principiul injectării.....	27
1.4.2. Trepte de proces.....	27
2. MATRIȚE DE INJECTAT UTILIZATE LA PRELUCRAREA MATERIALELOR TERMOPLASTICE.....	30
2.1. Generalități	30
2.2. Clasificarea matrițelor.....	30
2.3. Materiale utilizate la construcția matrițelor.....	31
2.3.1. Oțelurile.....	31
2.3.2. Materiale speciale	33
2.4. Utilizarea sistemelor CAD, CAE, CAM pentru piese injectate și matrițe.....	35
2.4.1. Sisteme CAE pentru piesa injectată	35
2.4.2. Sisteme CAE în concepția matriței	37
2.4.3. Sisteme CAD/CAM la realizarea matriței	41
2.4.4. Fabricarea matriței cu ajutorul calculatorului.....	43
2.4.5. Principii privind dimensionarea răcirii matrițelor de injectat.....	45
3. STUDIU PRIVIND OPTIMIZAREA TEMPERATURII MATRIȚELOR DE INJECTAT DIN OȚEL	54
3.1. Introducere.....	54
3.2. Calculul sistemului de răcire a matrițelor de injectat.....	55
3.2.1 Temperatura medie a peretelui cuibului matriței	56
3.2.2 Rezistența la căldură a corpului matriței	58

3.2.3 Transferul de căldură dintre orificiul de răcire și apa de răcire	60
3.3. Determinarea ecuației generale de bilanț termic în matriță.....	63
3.3.1. Transferul de căldură între materialul plastic și matriță.....	64
3.3.2. Transferul de căldură în interiorul matriței.....	66
3.3.3. Transferul de căldură între matriță și mediul de temperare.....	67
3.4. Determinarea timpului de răcire în matriță	68
3.4.1 Determinarea timpului de răcire folosind monograme	68
3.4.2. Determinarea timpului de răcire prin calcul	70
3.4.3 Determinarea ecuației timpului de răcire	72
3.4.4. Determinarea practică a timpului de răcire.....	77
3.5. Calculul de dimensionare a sistemului de temperare.....	78
3.5.1. Calculul lungimii canalelor de răcire	78
3.5.2. Amplasarea sistemului de temperare	80
3.6. Experițe de dimensionare a sistemelor de răcire.....	81
3.6.1. Metode de răcire cu barbotare	82
3.6.2. Metode de răcire cu șicane	84
3.7. Soluții constructive privind optimizarea temperaturii matrițelor de injectat.....	87
4. CERCETARI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND MODELAREA ȘI SIMULAREA SISTEMELOR DE TEMPERARE LA MATRIȚELE DE INJECTAT	99
4.1. Temperatura matriței parte componentă a procesului de injectare.....	99
4.1.1. Procesul de răcire.....	101
4.2. Metode de simulare cu calculatorul.....	102
4.3. Modelarea și optimizarea sistemului de temperare într-o matriță experimentală.	104
4.3.1 Piesa injectată	105
4.3.2. Matrița de injectat	107
4.4.1. Analiza post-deformațiilor la piesele injectate de formă plană, utilizând programe de simulare asistate de calculator.....	120
4.5. Analiza circuitelor noi de temperare a matriței în vederea optimizării temperaturii..	124
5. CONTRIBUTII PRIVIND REDUCEREA DEFORMAȚIILOR LA PRODUSELE INJECTATE DE FORMĂ PLANĂ.....	133
5.1 Experimentări și analize comparative.....	133
5.1.2. Cercetări privind analiza sistemului de temperare inițial	135
5.1.3. Cercetări privind analiza sistemului de temperare final.....	137

5.2. Determinarea rezultatelor obținute prin simulare și experimente practice	140
5.3. Concluzii	149
6. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	150
6.1. Concluzii generale	150
6.2. Contribuții personale.....	152
BIBLIOGRAFIE	156
7. ANEXE	166

INTRODUCERE

În ultimele decenii materialele plastice ocupă un loc foarte important în societatea modernă înlocuind tot mai mult materialele metalice, ceramice și lemnoase.

Materialele plastice denumite deseori și polimeri sau macromolecule au cuprins toate domeniile de activitate umană fiind în multe cazuri predominante în realizarea diferitelor produse. La ora actuală utilizarea lor este foarte diversificată, ele regăsindu-se în producerea materialelor de construcții, aparatelor electrice și mecanice, materialelor și componentelor din industria de automobile, telefonie, aeronautică, aerospațială, navală, medicină, optică, produselor electrocasnice, textilelor, agricultură, transporturi, artă și publicitate.

Datorită eforturilor conjugate ale specialiștilor pentru descoperirea de noi polimeri cu caracteristici foarte diferite, pentru perfecționarea metodelor de creație, a tehnologiilor de fabricație, de îmbunătățire a rețelei și procedeele de comercializare a acestei categorii de produse rolul acestora în evoluția civilizației actuale este tot mai mare.

Factorul principal care a determinat însă lărgirea accelerată a domeniilor de utilizare specifice polimerilor, atât în domeniul bunurilor de consum, cât și în sfera aplicațiilor industriale, îl constituie proprietățile fizico-chimice ale acestor materiale.

Polimerii se regăsesc într-o varietate sortimentală mare fiind foarte diversificați din punct de vedere a caracteristicilor mecanice și chimice.

Avantajele principale ale materialele plastice constau în diversitatea procedeele de prelucrare într-un timp foarte scurt în raport cu materialele tradiționale. Materialele plastice permit obținerea în serii mari de fabricație a produselor mici sau mari, rigide sau suple, colorate sau transparente, cave sau volumice cu pereți subțiri sau groși, de asemenea se caracterizează prin cost energetic scăzut.

Produsele din materiale plastice sunt ușoare datorită densității scăzute a polimerilor.

Utilizarea maselor plastice este însoțită însă și de unele dezavantaje ale acestora cum ar fi: - proprietățile de rezistență mecanică inferioare, nu sunt biodegradabile, pot degaja produse toxice în timpul arderii lor.

Principalele procedee de prelucrare a materialelor plastice sunt: injectarea, extrudarea, suflarea, termoformarea, calandrarea, matrițarea stratificatelor și a compozitelor și asamblarea.

Injectarea este unul din procedeele cele mai utilizate și reprezentative în prelucrarea

materialelor plastice, se pot prelucra atât materiale termorigide cât și materiale termoplastice, prin acest procedeu se pot realiza piese ce cântăresc de la câteva grame la zeci de kilograme, în funcție de performanțele tehnice ale utilajului.

Calitatea produselor injectate este influențată direct de modul cum este proiectat și executat sistemul de temperare a matriței, temperatura ei are un rol foarte important, atât în ceea ce privește precizia dimensională, cât și aspectul produsului finit.

Datorită acestui fapt consider că temperarea matrițelor este și va rămâne în continuare un subiect de mare importanță în domeniul procesării materialelor termoplastice, fapt confirmat de toți specialiștii în domeniu.

Ținând seama de cele prezentate mai sus, în cadrul tezei de doctorat, autorul își propune să contribuie la ridicarea calității produselor injectate din materiale termoplastice încercând să rezolve în mare măsură acest aspect prin implementarea unor concepte noi ce contribuie cu succes la optimizarea temperaturii în matriță, temperatură care influențează semnificativ calitatea produsului finit.

Premizele fiind create, în cadrul tezei de doctorat, autorul urmărește:

- Dezvoltarea conceptului sistemelor CAD,CAM,CAE privind realizarea piesei și matriței de injectat, prezentându-se avantajele acestui sistem referitor la creșterea calității și productivității produselor obținute.
- Efectuarea unor calcule de optimizare a temperaturii matrițelor cum ar fi:
 - calculul sistemului de răcire a matrițelor de injectat;
 - calculul rezistenței la căldură a corpului matriței;
 - calculul transferului de căldură dintre orificiul de răcire și apa de răcire;
 - calcule privind transferul de căldură între materialul plastic și matriță, transferul de căldură în interiorul matriței și între matriță și mediul de temperare;
 - calcule privind determinarea timpului de răcire în matriță;
 - calcule de dimensionare a sistemului de temperare,
 - calculele de dimensionare a răcirii matrițelor de injectat, s-a efectuat un studiu de caz pentru un material din polistiren de uz general.
- Efectuarea unui studiu de caz pentru un sistem de temperare în cadrul unei matrițe de injectat cu duză caldă, având un singur cuib, utilizându-se o piesă tehnică din PP, de formă plană.
- Modelarea în 3D a sistemelor de temperare din matrița de injectat studiată, utilizându-se unul dintre cele mai performante programe de modelare Moldflow 4.1.

- Realizarea practică a circuitelor de temperare suplimentare recomandate de program la matrița de injectat analizată astfel încât să se elimine complet deformațiile la piesele injectate, datorită uniformizării temperaturii pe cele două semimatrițe.
- Proiectarea și realizarea a unui sistem de răcire în paralel, implementat la matrițe de injectat cu două sau mai multe cuiburi.
- Proiectarea și realizarea unei noi metode de temperare a semimatrițelor prin confecționarea unor poansone din mai multe plăci care permit realizarea unor circuite de răcire în zonele optime, realizându-se o temperatură constantă pe întreaga suprafață exterioară a poansonului.
- Realizarea unor încercări la temperaturi de intrare diferite ale lichidului de răcire, pentru determinarea cât mai precisă a mărimii deformațiilor apărute la piesele de formă plană, comparându-se cele două sisteme de temperare.
- Elaborearea unor tabele și grafice în 2D și 3D care scot în evidență mărimea deformațiilor în funcție de timpul de răcire, temperatura matriței și timpul total de ciclu, utilizându-se mai multe tipuri de materiale foarte des folosite în practică.

Toate aceste realizări n-ar fi fost posibile fără sprijinul permanent al conducătorului științific, *Prof. Dr. Doc. St. D.H.C. Ing. AUREL NANU*. Pe această cale autorul mulțumește în mod deosebit domnului profesor pentru îndrumarea competentă, și riguros științifică pe toată durata pregătirii doctoratului.

De asemenea autorul mulțumește conducerii firmei S.C. Plastor S.A. Oradea, reprezentată de domnul dr.ing. Ion Șereș care mi-a dat posibilitatea să realizez toate încercările practice din cadrul tezei, având la dispoziție printre cele mai moderne S.D.V. –uri existente în acest domeniu.

Mulțumesc de asemenea domnilor ingineri Sorin Ilie și Horia Ungur din cadrul aceleiași firme, pentru sprijinul de mare competență referitor la realizările practice și nu numai.

Autorul mulțumește colegilor de la catedra de TCM din cadrul Facultății de IMT Oradea, pentru sugestiile acordate privind realizarea acestei lucrări.

SCURT ISTORIC AL DEZVOLTĂRII MATERIALELOR PLASTICE

- 1838- V. Renault (Franța) reușește să obțină în laborator clorura de vinil și policlorura de vinil;
- 1839- Goodyear vulcanizează cauciuc natural cu sulfura pe cauciuc;
- 1845- J. Blyth (Anglia) și A. W. Hoffmann (Germania), descoperă polimerizarea stirenului;
- 1846- Th. Pelouze (Franța) și Ch. F. Schonbein (Elveția), descoperă nitroceluloza cu acțiunea acidului nitric și acidului nitrocloric asupra bumbacului;
- 1859-Rh. Taylor (Anglia), dezvoltă fibrele vulcanizate;
- 1865- R. > E. Parker, primește primul patent pentru rășini artificiale de tip celuloid făcut din nitrat de celuloză și camfor;
- 1869- J. S. Hyatt de la Albany Biliard Ball Co. (S.U.A.), începe producția de celuloid;
- 1872- A. Ritter de la Baeyer (Germania), descoperă policondensarea fenolului și formaldehidei;
- 1877- H. Goldschmidt, face primii pași în transformarea ureei cu formaldehida;
- 1878- Rhein, Gummi und Celluloidfabrik, Mannheim este prima companie din Germania care începe producția celuloidului;
- 1897- W. Kriche (Germania) și A. Spitteler (Germania), dezvoltă o rășină sintetică din caseină și formaldehidă (galalith);
- 1904- Int. galalith-Ges Hopf & Co. (Germania), pornește producția galalitului;
- 1907- L. H. Baekeland (Belgia/S.U.A.), dezvoltă compundurile fenolformaldehydice pentru injectare;
- 1907- L. H. Baekeland (Belgia/S.U.A.), începe producția masivă de rășini sintetice de fenol devenite cunoscute sub numele de bachelită;
- 1909- H. Stobbe (Germania), examinează posibilitatea de polimerizare pentru stiren;
- 1910- producția pe scară largă a primului cauciuc sintetic prin polimerizarea isoprenului rezultând polisoprenul (cauciucul isoprenic);
- 1912- F. Klatte (Germania), descoperă bazele pentru producerea P.V.C. și polivinilacetatului;

- 1922- H. Staudinger (Germania), introduce termenul de macromoleculă;
- 1923- L. Pollak (Germania), intenționează producerea rășinilor de uree (Pollopas);
- 1927- Polimerizarea butadienei folosind sodiul ca și catalizator;
- 1927- Cauciucul butadien stirenice este fabricat prin copolimerizarea stirenului și a butadienei;
- 1928- O. Rohm (Germania), reușește polimerizarea metilmetacrilatului în blocuri de sticlă cunoscut din 1933 sub numele de plexiglas;
- 1930- J. G. Farben, Werk Ludwigshafen (Germania), pornește producția polistirenului și poliacrilonitrilului;
- 1930- fabricarea cauciucului nitrilic prin copolimerizarea acrilonitrilului și butadienei;
- 1931- J. G. Farben, Werk Ludwigshafen (Germania), produce P.V.C. și copolimeri;
- 1931- W. H. Carothers (S .U.A.), dezvoltă policondensarea hexametilenei diaminei și acidului adipic până la fabricarea pe scară largă a poliamidei 6.6 (nylon);
- 1933- E. W. Fawcett, R.G.Gibson, Perrin, Paton, Williams (Anglia), descoperă polimerizarea la înaltă presiune a etilenei: polietilena;
- 1933- Corning Glass Works (S.U.A.), primele cercetări sistematice referitoare la silicon;
- 1934- J. G. Farbenindustrie, Werk Hoechst (Germania), dezvoltă polimerii flourați;
- 1937- J. G. Farben, Leverkusen (Bayer), începe lucrul cu poliuretanalul;
- 1937- Du Pont (S.U.A.), începe producția poliamidei 6.6;
- 1938- P. Schlack (Germania), dezvoltă producția fibrelor din poliamida 6 din E-caprolactan, nume comercial Perlon;
- 1938- este descoperit cauciucul sintetic cloroprenic (Neopren);
- 1942- General Electric și Dow Corning dezvoltă cauciucul silionic disponibil din 1945;
- 1956- H. Schnell (Germania), dezvoltă producția poliesterilor din dioxid de carbon (policarbonati), cunoscut din 1898;
- 1957- FarbwerkeHoechst AG (Germania), începe producția pe scara largă a polipropilenei după metoda Ziegler-Natta. Prima producție Natt Italia 1953;
- 1958- Du Pont introduce pe piață primul poliacetat (Delrin);

- 1963- producția pe scară largă cauciucului EPM/EPDM prin polimerizare;
- 1964- General Electric Comp. (S.U.A.), împreună cu AKU (Olanda), preia producția pe scară largă a oxidului de polifenilă, poliamidei și poliamidei Torlon de la Amoco;
- 1965- Union Carbide Comp. (S.U.A.) produce polisulfona;
- 1965- Du Pont - primul polimer cu cristale lichide;
- 1967- Dynamit Nobel (Germania), introduce poliamida transparentă amorfă - Trogamid;
- 1971 - Uniroyal (S.U.A.), începe producția de poliarleter (Arylon T);
- 1971- 3 M Comp.(S.U.A.), produce poliarsulfona cu nume comercial Astrel 360;
- 1971- Phillips (S.U.A.), introduce pe piață polifenilen sulfidă - nume comercial Ryton;
- 1972- Du Pont introduce etilen / tetrafluoretilen - Tefzel;
- 1972- Du Pont introduce aleanul perfluor alcoxyl cu numele Teflon (PFA);
- 1972- ICI (Anglia) introduce polieter sulfonă (PES);
- 1973- Dynamit Nobel (Germania), introduce fluorura de poliviniliden (PVDF) - Diflor pe piață;
- 1974- Hoechst AG (Germania) introduce pe piață propria etilen/tetrafluoretilen - Hostaflon ET;
- 1982- General Electric introduce polieter imida - Ulterm;
- 1983- Polieteretercetona introdusă de ICI;
- 1983- Plasticul fotoabsorbant LISA introdus de Bayer;
- 1986 - Poliester carbonat - Baye; poliarylamidă - Solvay; polietercetona –ICI etc.
- aliaje de termoplaste cu elastomeri (IPN -rețea polimerică interpenetrantă)
- plastice conductive: poliacetilenă, polifenilenă, poliprorol, polianilie.

Progresul deosebit în cercetarea și producția de materiale plastice a impulsat și dezvoltarea tehnologiei de prelucrare a acestora. În 1872, J. W. Hyatt (S.U.A.) a conceput prima mașină de compactizat și plastifiat materiale plastice ce lucra cu amestec de nitroceluloză și camfor. Este de menționat faptul că în prima jumătate a secolului XIX, dezvoltarea echipamentelor de prelucrare a fost nesemnificativă, abia în a doua parte a secolului se simte evoluție însemnată.

În 1921 H. Buchholz construiește prima mașină de injecție folosind principiul cunoscut astăzi, iar producția de serie a început doar în 1926 de către Eckert & Ziegler GmbH.

acționarea unității de închidere făcându-se manual iar injectarea prin acționare pneumatică.

În anul 1956 are loc un progres tehnic important când Ankerwerk Gebr. Goller realizează prima mașină de injecție cu cilindru și melc de plastifiere, punând bazele injecției moderne.

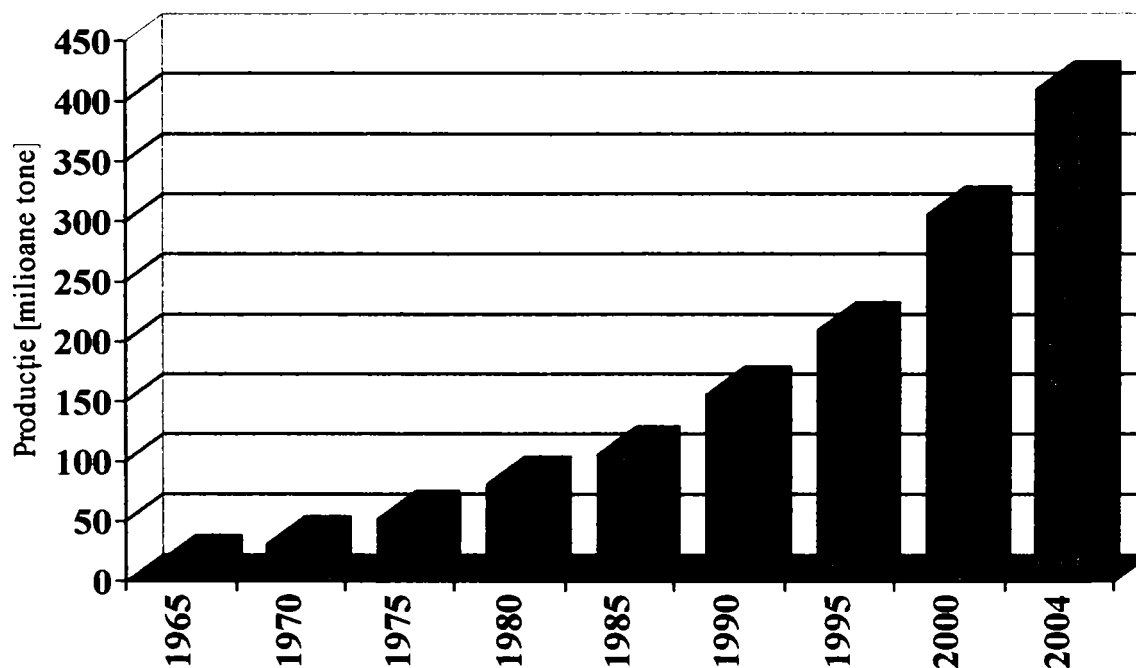
Atât dezvoltarea economico-industrială cât și progresul deosebit de spectaculos al electronicii au contribuit semnificativ la construcția mașinilor de injecție, care au devenit tot mai performante, cu posibilități tot mai mari de reglaj, fiind capabile să îndeplinească toate exigențele cerute de către fabricanții de produse termoplastice.

În ultima perioadă au fost de asemenea dezvoltate și implementate tehnologii speciale de injecție cum sunt: injecția cu gaz, cu apă, procedeul mu-cel, injecția sandwich, injecția pulberilor metalice și ceramice, precum și injecția multicomponentă.

Producția mondială de materiale plastice s-a dezvoltat în ultimele 4 decenii într-un ritm foarte rapid, având o creștere medie de 14% ceea ce înseamnă dublarea producției la un interval de aproximativ 6 ani, în ciuda unei relative încetiniri a extracției de petrol și gaze, cele două surse primare de materii prime în fabricarea lor.

De remarcat este faptul că și în România, domeniul materialelor plastice s-a dezvoltat deosebit de mult, la ora actuală există un număr de peste 400 de firme care se ocupă cu: fabricarea materiei prime, proiectarea și fabricarea echipamentelor utilizate la prelucrarea materialelor plastice, întreținerea lor, procesarea materialelor plastice precum și reciclarea lor.

În figura de jos se reprezintă grafic evoluția producției mondiale de materiale plastice.



Evoluția producției mondiale de materiale plastice.

1. MATERIALE TERMOPLASTICE UTILIZATE, PRINCIPIUL INJECTĂRII.

1.1. Materiale termoplastice folosite la injectare

Materialele termoplastice, reprezentate în fig.1, pe o structurare pe verticală sunt împărțite în trei categorii: polimeri de largă consumație, tehnopolimeri, și superpolimeri, aria mai mare sau mai mică în care sunt marcați simbolizând și răspândirea acestora pe piață.

Polimerii de largă consumație, ocupând cel mai mare segment pe piața sunt acele materiale care nu necesită echipamente speciale pentru injectare, fiind destinate aplicațiilor din domeniul bunurilor de larg consum, jucării, articole de grădină sau de baie. Temperatura de utilizare este în general sub 100°C.

Tehnopolimerii sunt destinați realizării de piese tehnice ce trebuie să aibă proprietăți fizice, chimice sau electrice ridicate, și sunt destinate industriei electrice, electrotehnice de automobile. Necesită echipamente auxiliare (uscătoare, utilaje echipate cu unități de injecție rezistente la abraziune). Temperatura de utilizare este cuprinsă între 100°C - 150°C

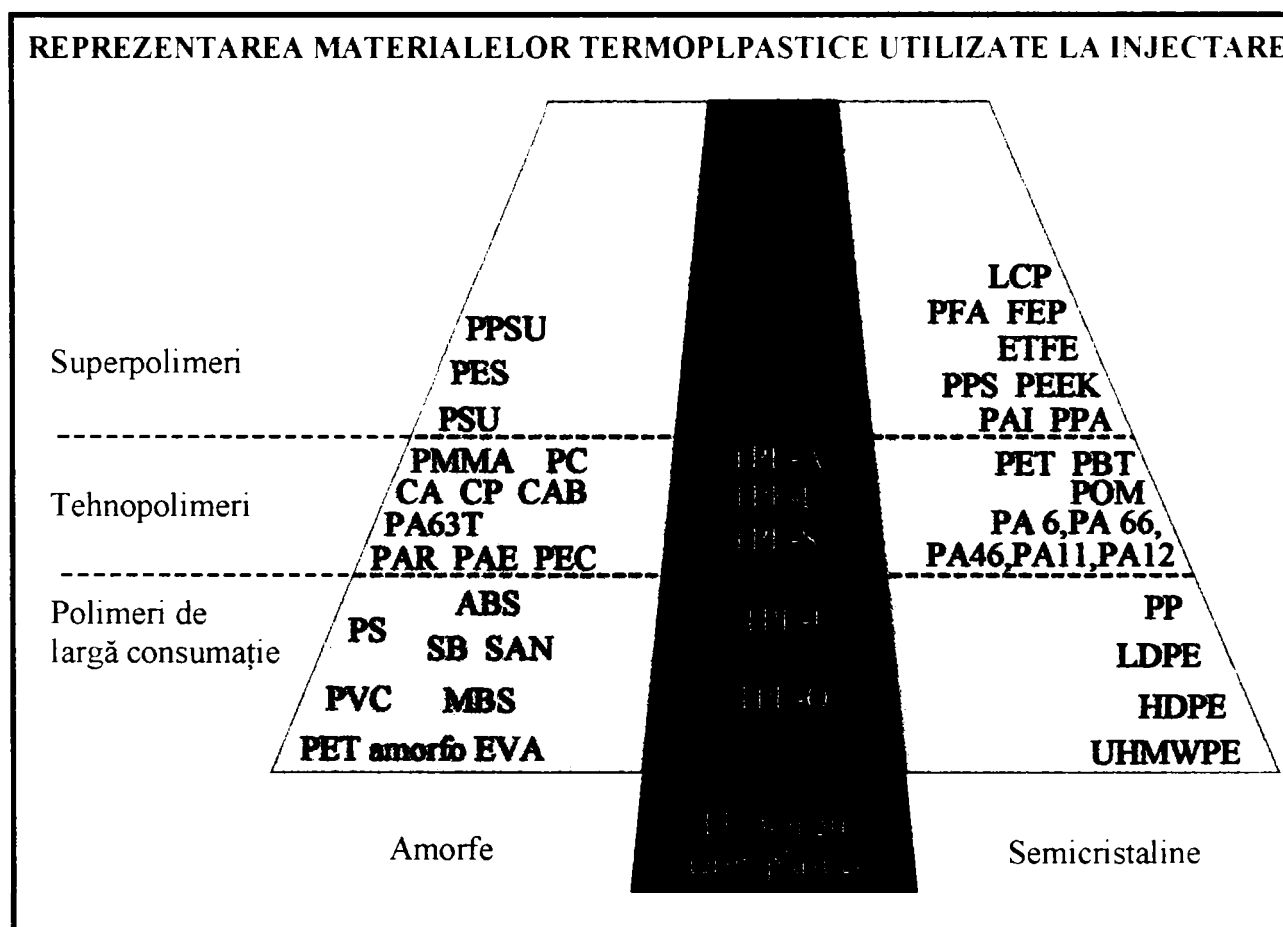


Fig.1.1.Reprezentarea materialelor termoplastice utilizate la injectare.

Superpolimeri sau polimerii de înaltă performanță sunt destinați injectiei de piese de înaltă tehnicitate destinate înlocuirii pieselor tradiționale realizate din metal sau aliaje metalice. Au preț de cost ridicat și necesită echipamente speciale (uscătoare, unități de injecție înalt rezistente la abraziune și coroziune, aparate de termostatare a matriței). Procesarea necesită temperaturi ale materialului și a matriței mari, iar piesele trebuie să aibă proprietăți mecanice, termice și chimice foarte ridicate însoțite de o foarte bună precizie dimensională, temperatura de utilizare este în general peste 150°C.

Materialele termoplaste se împart în două categorii: materiale amorfе și materiale semicristaline. Există o grupă specială de materiale, elastomeri termoplastici, cu caracteristici asemănătoare cu a materialelor amorfе, materiale care cu toate că nu fac parte din grupa termoplastelor sunt proprii prelucrării prin injectare.

1.2. Caracterizare generală

Materialele plastice sunt materialele care se obțin pe bază de polimeri și care se prelucrează la temperaturi la care acestea devin plastice în scopul obținerii produsului finit. Materialele plastice la temperatură și presiune normală sunt relativ dure, puțin elastice și lipsite de proprietăți plastice.

Polimerii sintetici se obțin prin reacții de polimerizare, policondensare și de poliadiție.

În reacția de policondensare se leagă între ele molecule de același fel sau diferite, iar polimerul, format are masa moleculară egală cu suma maselor moleculare ale moleculelor din reacție. În cazul policondensării, unirea moleculelor simple pentru formare polimerului se face cu punerea în libertate a unor substanțe simple (H₂O HCl, etc).

Întrebuințările tehnice ale materialelor plastice se clasifică luând în considerare comportarea termomecanică, ținându-se seama de variația deformației unui polimer sub sarcină constantă, în funcție de temperatură. Din punct de vedere al comportării termomecanice se deosebesc următoarele grupe de polimeri: *termorigide termoplaste, și elastomeri*.

Termorigidele sunt materiale plastice rigide la temperatura ambiantă, dar care prin creșterea temperaturii pot să se descompună ireversibil.

Termoplastele sunt materiale plastice rigide la temperatură ambiantă care prin creșterea temperaturii se înmoaie iar în momentul când se răcesc devin rigide din nou, acest proces fiind reversibil.

Elastomerii sunt materiale plastice care au comportament de cauciuc la temperatura mediului ambiant.

Dacă substanțele în natură se prezintă în patru stări de agregare: *solidă*, *lichidă*, *gazoasă* și *plasmă*, compușii macromoleculari există numai în stările de agregare , *solidă* și *lichidă*.

Pentru caracterizarea proprietăților compușilor macromoleculari starea de agregare este neconcludentă și de aceea se definește *starea de fază*, care în sens termodinamic, reprezintă o porțiune dintr-un sistem, omogenă din punct de vedere al compoziției chimice și al proprietăților, separată de restul sistemului prin suprafețe nete. În urma studiilor efectuate s-a constatat că există două stări de fază ale polimerilor: *cristalină* și *amorfă*.

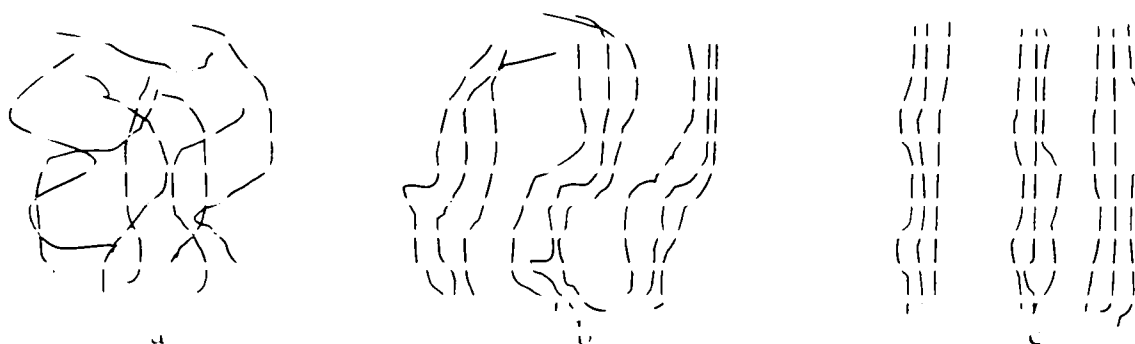


Fig.1.2. Reprezentarea schematică de împachetare a catenelor unui compus macromolecular:
a - structura amorfă; b - structură cu cristalite neorientate; c - structură cu cristalite orientate.

Starea de fază cristalină se caracterizează prin aranjarea pachetelor de macromolecule flexibile în forme regulate formând rețele spațiale fig 1.2 b, c. Pachetul care cristalizează posedă limite de separație și tensiune superficială, însușiri caracteristice substanțelor cristaline.

Starea de fază amorfă este opusul fazei cristaline implicând elemente structurale neordonate și fără simetrie fig1.2 a.

Proprietățile fizice ale fazei cristaline se schimbă după direcția de orientare, ele fiind anizotrope, iar ale fazei amorfe nu se schimbă cu orientarea, ele fiind izotrope.

La compușii macromoleculari în afara stărilor de agregare se definește și conceptul de stare fizică. Polimerii amorfi se prezintă în trei stări fizice: sticloasă, înalt-elastică și vâscoelastică.

Temperaturile caracteristice ale polimerilor sunt: temperatura de vitrifiere T_v

temperatura de curgere T_c , temperatura de fragilizare T_b , temperatura de topire T_m , temperatura de degradare termică T_d .

Acestea se deosebesc între ele printr-o serie de proprietăți din modificarea cărora se determină temperaturile de transformare dintr-o stare în alta, cât și dependența lor de structura și proprietățile polimerului.

Starea sticloasă este caracterizată de deformații elastice foarte mici care cresc liniar cu temperatura respectând legea lui Hook și se explică prin preponderența însemnată a forțelor intermoleculare și intramoleculare asupra energiei de agitație termică a acestei stări sticloase se menține până la temperatura de vitrifiere T_g . Temperatura de vitrifiere scade cu micșorarea masei moleculare.

Starea înalt-elastică începe deasupra temperaturii de vitrifiere. Pe intervalul ce este corespunzător stării înalt elastice deformațiile cresc rapid la început, după care rămân constante până la temperatura de curgere T_c în acest domeniu polimerul dezvoltă deformații mari, reversibile, datorate mișcărilor termice executate de segmentul de lanț fără ca moleculele să se deplaseze independent.

Starea vâscoelastică începe în cazul polimerilor amorfi la temperatura T_c . Acest domeniu se caracterizează printr-o mișcare termică intensă a segmentelor de lanț și a macromoleculelor în întregime. Temperatura de curgere marchează apariția, alături de deformația elastică reversibilă, a deformației ireversibile. Temperatura de curgere nu reprezintă o valoare fixă ci un interval caracteristic pentru fiecare polimer în parte, în funcție de configurația polimerului, de factori cinetici și de durata aplicării Sardinii. La T_c energia sarcinii cinetice a macromoleculelor învinge forțele de coeziune moleculare, ceea ce permite mișcarea lor relativă de alunecare. Temperatura crește cu mărimea macromoleculelor.

Temperatura de fragilizare T_b este temperatura minimă până la care materialul nu este casant. Practic, T_b este temperatura la care o epruvetă de polimer supusă unei solicitări instantanee se rupe.

Temperatura de degradare termică T_d este temperatura la care începe descompunerea polimerului sub influența căldurii. T_d depinde de durata solicitării termice. Cu cât gradul de polimerizare este mai mare, cu atât stabilitatea termică a polimerului este mai mică.

Temperatura de topire T_m este caracteristică polimerilor cristalini și marchează trecerea de la starea cristalină solidă la starea lichidă. Din analiza variației volumului specific al polimerilor cu temperatura se constată că polimerii cristalini au o temperatură de topire bine definită, iar polimerii semicristalini se caracterizează atât prin temperatura de topire, cât

și prin temperatura de vitrifiere (fig.1.3). Polimerii numiți "cristalini" sunt de fapt semicristalini cu grad de cristalinitate mai mare de 90%.

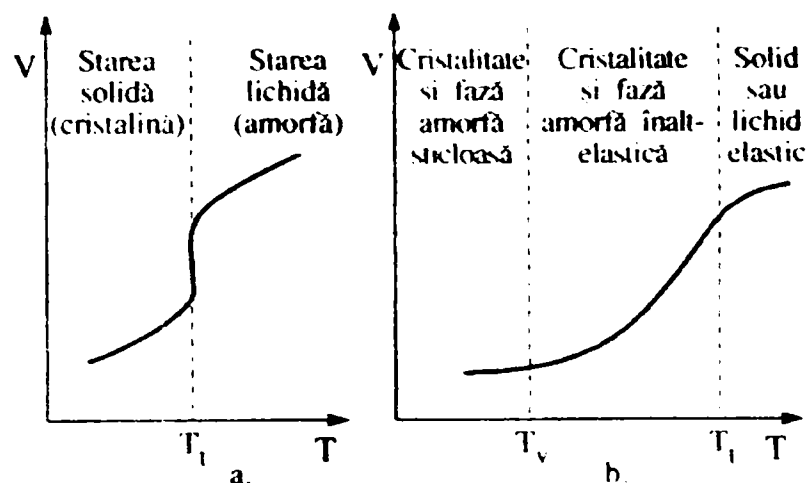


Fig.1.3. Dependenta de temperatură a volumului specific al unui polimer:

a - cristalin; b - semicristalin.[99]

Temperaturile caracteristice stărilor fizice ale unui polimer amorf se prezintă în fig.1.4.

Prelucrarea materialelor plastice este dependentă de starea lor fizică, astfel încât un anumit procedeu de prelucrare poate fi aplicat numai într-un anumit interval de temperatură.

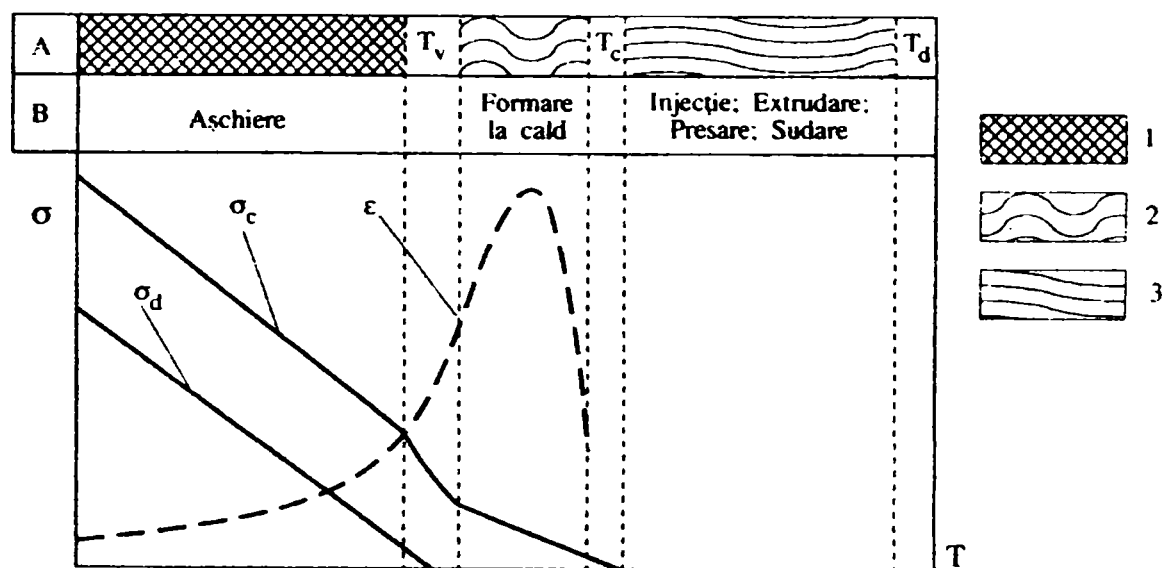


Fig.1.4. Temperaturile caracteristice stărilor fizice ale unui polimer[99]

A - dependența stării fizice a polimerilor amorfi de temperatură; B - procedee de prelucrare;.

1 - faza solidă. (sticloasă); 2 - faza termoelastice. înalt-elastică.); 3 - faza termoplastice.;

(σ_c - limita de curgere; (σ_d - rezistența de durată; ϵ - alungirea specifică

1.3. Proprietăți fizice

Prelucrarea materialelor plastice prin injectare impune cunoașterea caracteristicilor lor fizice în legătură cu proprietățile implicate în procesul de prelucrare: schimbare de stare, deformare, curgere. Utilizarea materialelor plastice în schimb, necesită cunoașterea altor caracteristici fizice la injectare: rezistența mecanică, comportarea în câmp electric, magnetic sau termic, etc. Cunoașterea proprietăților fizice ale materialelor plastice prelucrate prin injectare este necesară deoarece regimul de lucru, forma și dimensiunile organelor active ale mașinii depind de valorile caracteristicilor fizice.

În mașina de injectat materialul trece din starea solidă în starea de topitură. Valorile parametrilor de lucru ai unei mașini de injectat (temperaturi, presiuni, viteze, etc.) depind de materialul prelucrat caracterizat de proprietățile sale fizice. Din aceste motive este necesară cunoașterea proprietăților fizice (termice, reologice, tribologice) ale materialelor plastice în stare solidă, granulară sau pulverulentă, în stare de topitură, precum și în stare tranzitorie dintre granule sau pulbere și starea de topitură. [35]

1.3.1. Proprietăți fizice ale materialelor termoplastice granulare sau pulverulente (medii discontinue)

Proprietățile fizice ale ansamblului de particule depind de volumul golurilor.

Fracțiunea de goluri sau porozitatea f_g într-un strat staționar, este definită ca raport dintre volumul golurilor V_g și volumul total V al stratului granular sau pulverulent.

Fracția de goluri (f_g) – se calculează cu relația:

$$f_g = \frac{V_g}{V} \quad (1.1)$$

unde: V_g - volumul golurilor,

V - lotul total.

Raportul de compresiune:

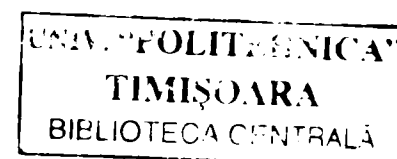
$$F = \frac{\rho_{(T,p)}}{\rho_v} \quad (1.2)$$

unde: $\rho_{(T,p)}$ - densitatea finală la temperatura T și presiunea p [100].

Distribuția dimensiunilor granulelor influențează parametrii regimului termo-mecanic la prelucrarea prin injectare, putând determina fluctuații de presiune și debit.

Coefficientul de frecare externă: frecarea între granulele sau pulberea de material

245.019



plastic și suprafețele metalice are importanță în practică, deoarece valoarea coeficientului de frecare influențează debitul mașinii de injectare și determină valoarea energiei disipate prin frecare externă.

Valoarea coeficientului de frecare depinde de presiune, viteza relativă, temperatura, rugozitatea suprafețelor în contact, prezența sau absența lubrifiantului pe suprafețele de contact. În general, coeficientul de frecare externă, atât pentru pulberi cât și pentru granule, se micșorează cu presiunea și este practic independent de viteza relativă în raport cu suprafața metalică.

Coeficientul de frecare crește odată cu creșterea adâncimii asperităților suprafeței metalice și cu numărul microcanalelor de pe suprafața granulelor. Frecarea externă a materialelor plastice determină acumularea de sarcină electrostatică. De acest fenomen trebuie să se țină seama la transportul prin conducte al granulelor sau a pulberii de material plastic.

Comportarea reologică: este important ca materialele pulverulente sau granulare care alimentează mașinile de injectare să aibă proprietăți de curgere corespunzătoare, mai ales în cazul alimentării automate a mașinilor .

Din punct de vedere practic ne interesează curgerea din buncăre (pâlnii de alimentare). Au fost determinate și verificate experimental relații pentru profilul vitezelor la curgerea particulelor, precum și debitul curgerii particulelor prin orificii circulare sau dreptunghiulare.

Caracterizarea capacității de curgere a unor medii necoezive se face cu ajutorul duratei de curgere dintr-un buncăr (pâlnie) cu diametrul D . Timpul de curgere reprezintă durata în care o cantitate de material granular sau pulverulent curge dintr-un buncăr de dimensiuni date.

Procesul de prelucrare în mașina de injectare depinde și de procesul termomecanic din zona în care materialul este discontinuu (necoeziv și apoi coeziv). Acest lucru a impus determinarea coeficientului conductivității termice λ_q . S-a constatat că coeficientul conductivității termice λ_q crește proporțional cu mărimea densității în vrac datorită micșorării fracției de goluri.

1.3.2. Proprietăți fizice ale materialelor termoplastice (medii continue)

1.3.2.1. Proprietăți mecanice

Materialele termoplastice sunt materiale vâscoelastice, ele prezentând fenomenul de fluaj, chiar la temperatura mediului ambiant.

Fluajul sau curgerea lentă este fenomenul de variație a eforturilor unitare și a deformațiilor sub efectul sarcinilor aplicate. Din acest motiv caracteristicile mecanice

determinate în încercări de scurtă durată nu sunt concludente pentru calculul pieselor injectate.

Pentru a caracteriza din punct de vedere al rezistenței mecanice un material termoplastic trebuie să se țină seama de efectul concentrației diferitelor materiale din compoziția sa, de efectul unor factori de mediu (temperatură, umiditate, raze ultraviolete, etc.), precum și de efectul trecerii timpului asupra valorii caracteristicilor mecanice.

1.3.2.1.1. Solicitarea de scurtă durată

În încercările de scurtă durată se urmărește determinarea dependenței dintre efortul unitar aplicat (σ sau τ) și deformația specifică (ε sau γ) precum și stabilirea caracteristicilor ruperii (σ_r , ε_r , caracterul ruperii). Durata încercării este corelată cu viteza de variație a sarcinii aplicate sau cu viteza de deformare.

Modulul de elasticitate exprimă rigiditatea materialului. La același efort unitar materialul mai rigid se deformează mai puțin și are un modul de elasticitate mai mare. Se definesc noțiunile:

- modul de elasticitate la tracțiune efectiv

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (1.3)$$

care se determină măsurând panta tangentei la curba caracteristică (fig.1 .4):

- modulul de elasticitate transversal pentru solicitarea la răsucire

$$G = \frac{d\tau}{d\gamma} \quad (1.4)$$

Modulul de elasticitate transversal pentru o piesă se poate calcula plecând de la modulul de elasticitate E

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (1.5)$$

unde μ este coeficientul lui Poisson ($\mu = 0.33$ pentru materiale termoplastice rigide) [114,99].

Masa moleculară precum și gradul de orientare al polimerului influențează valoarea caracteristicilor mecanice. La creșterea masei moleculare a materialului termoplastic crește rezistența sa la rupere.

Ruperea materialelor termoplastice poate avea caracter fragil, vâscoelastic sau vâscos. Caracterul ruperii iese în evidență pe diagrama σ - ε și depinde de viteza încărcării (fig.1.5). Un material care la viteze mici de încărcare se rupe vâscos, la viteze mari de încărcare se poate

rupe vâscoelastic sau fragil. La termoplaste se întâlnește în general ruperea vâscoasă caracterizată printr-o lungire pronunțată (etirare) a piesei înainte de rupere. Valorile caracteristicilor mecanice ale unui material termoplastic depind și de natura și concentrația materialelor auxiliare, precum și de orientarea macromoleculilor. Astfel, pentru piesele obținute prin injectare rezistența la rupere pe direcția curgerii este substanțial mai mare decât pe direcția perpendiculară la direcția de curgere.

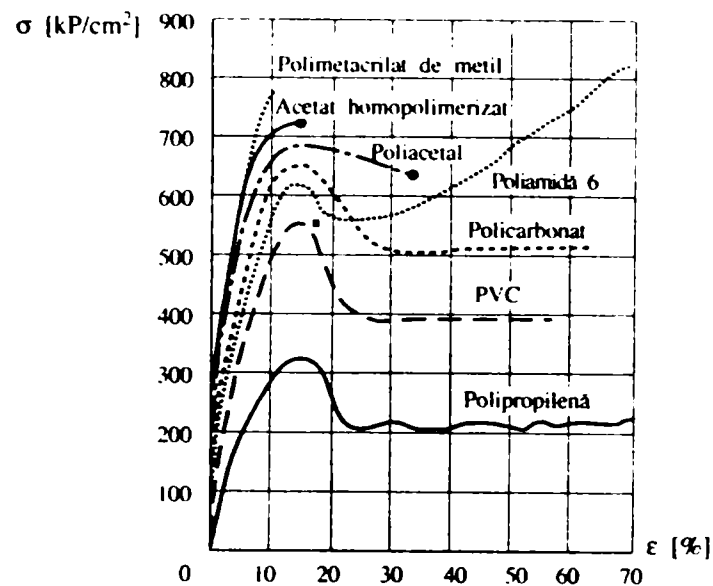


Fig.1.5. Diagrama σ - ϵ pentru materialele cele mai des utilizate.[99]

1.3.2.1.2. Solicitarea de lungă durată

Cu trecerea timpului, pentru o piesă injectată, valorile caracteristicilor mecanice scad și cresc deformațiile. Efortul unitar la care se produce ruperea se micșorează cu trecerea timpului (fig. 1.6).

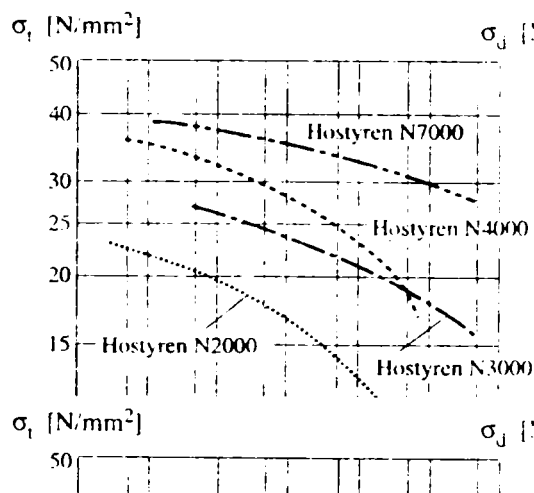


Fig.1.6. Rezistența la fluijaj la solicitare permanentă pentru polistiren, la diferite temperaturi. [99]

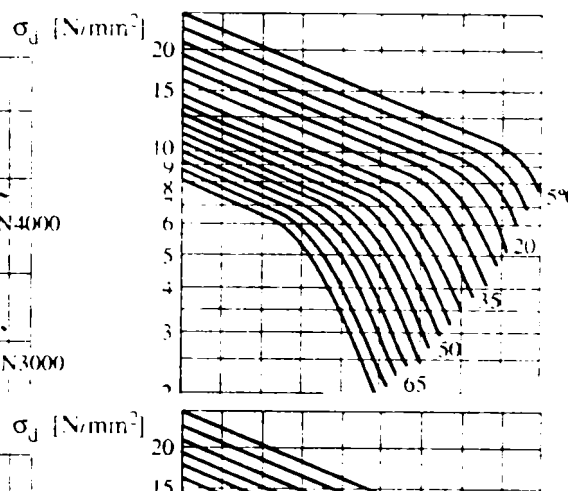


Fig.1.7. Variația în timp a rezistenței de durată a polietilenei de înaltă densitate la diferite temperaturi. [99]

Variația în timp a deformației specifice la temperatura și sarcină constantă depinde de natura polimerului. După o anumită durată, deformația crește accelerat într-un interval scurt de timp, momentul începerii acestui proces fiind de foarte mare importanță la utilizarea piesei injectate. Pentru proiectare se utilizează valoarea rezistențelor de durată σ_d în funcție de timp, la diferite temperaturi pentru fiecare material plastic. Durabilitatea sau durata până la rupere a unui material plastic depinde de temperatura și de efortul unitar aplicat (fig.1.7.). Durata până la rupere este influențată de efecte corozive și în general de mediul în care se află piesa injectată.

1.3.2.1.3. Influența regimului de prelucrare asupra caracteristicilor mecanice

Rezistența mecanică a pieselor injectate din materiale termoplastice depinde de parametrii regimului de prelucrare. Presiunea și temperatura topiturii, viteza de prelucrare, viteza de răcire a piesei injectate determină starea de eforturi unitare permanente. Alegerea unui regim de prelucrare optim determină în piesele injectate eforturi unitare minime. Tratamentul termic aplicat pieselor injectate duce la micșorarea stării de tensiuni interne și corespunzător la mărirea viabilității ei.

În cazul obținerii pieselor cu configurații complicate prin injectare, regimul de prelucrare poate fi modificat în limite strânse. Din acest motiv reducerea la minim a eforturilor unitare remanente nu poate fi realizată numai prin modificarea regimului de prelucrare ci și prin tratamentul termic al pieselor obținute.

Efectul parametrilor regimului de prelucrare depinde de natura polimerului, masa moleculară, gradul de cristalinitate, grosimea pereților, numărul de cuiburi etc.

1.3.2.2. Proprietăți tribologice

Prelucrarea prin injectare a materialelor termoplastice este influențată foarte mult de comportarea tribologică, acest fenomen se studiază în combinațiile polimer-metal și polimer-polimer.

Proprietățile tribologice ale materialelor termoplastice depind de natura polimerului, de natura și cantitatea componentelor recepturii, de rugozitatea pieselor în contact, de natura suprafeței de contact, de presiune, de temperatura și de viteza relativă a pieselor. La fel ca și pentru metal și în cazul maselor plastice există următoarele stadii de frecare: frecarea uscată, frecarea mixtă și frecarea fluidă.

Coeficientul de frecare pentru diferite materiale plastice în cazul frecării uscate și mixte este prezentat în tab.1.1.

Tab. 1.1. Coeficientul de frecare pentru diferite materiale plastice. [65,99]

<i>Compusul</i>	<i>Densitate</i> [g/cm ²]	<i>Duritate</i> [rockwell]	<i>Coeficient de frecare μ</i>	
			<i>uscat</i>	<i>umed</i>
Acetat de celuloză	1,13	72	0,17-0,32	0,07-0,14
Poliamidă 6.6.	1,14	84	0,15-0,34	0,09-0,15
Polietilenă	1,90	35	0,12-0,80	0,04-0,09
Polimetacrilat de metil	1,15	90	0,15-0,47	0,10-0,20
Polistiren	1,02	80	0,12-0,46	0,06-0,12
Relon	2,14	10,5	0,12-0,19	0,04-0,06
Teflon Mo S ₂ (1:1)	2,10	25	0,04-0,30	0,04-0,05
Teflon - grafit (1:1)	2,88	42	0,12-0,19	0,05-0,07
Teflon - asbest (3:1)	2,11	60,5	0,14-0,20	0,04-0,06

Se constată ca forța de frecare pentru materiale plastice se compune din două componente

$$F_f = F_a + F_d, \quad (1.6.)$$

în care:

- F_a -forța necesară ruperii micilor joncțiuni determinate de adeziunea celor două suprafețe aflate în contact;

- F_d -forța necesară deformării (sau deplasării materialului) ca urmare a întrepătrunderii neregularităților celor două suprafețe aflate în contact [43,99].

Adaosul unor lubrifianți micșorează atât frecarea interioară a polimerului cât și frecarea pe suprafețe metalice. Lubrifianții formează un film între polimer și suprafața metalică, evitând lipirea materialului pe această suprafață. In cazul unei polietilene, de exemplu, prin ungere cu apă, coeficientul de frecare devine de două ori mai mic decât în cazul frecării uscate și se reduce aproape la zero în cazul ungerii cu emulsie (fig.1.8).

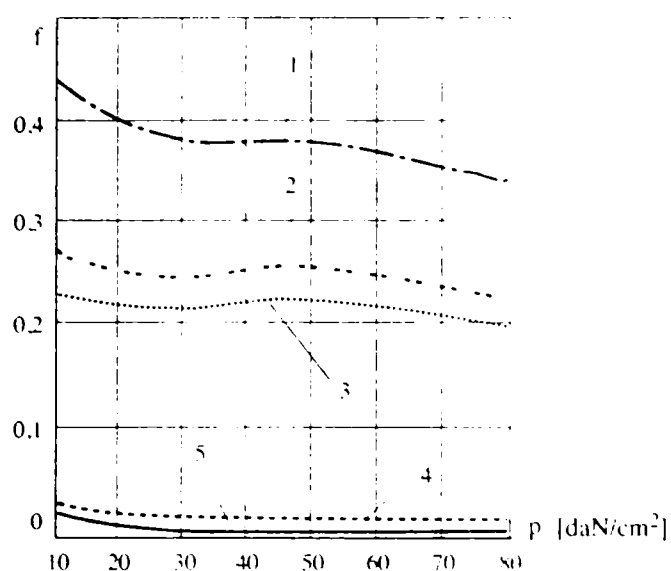


Fig.1.8. Coeficientul de frecare a unei polietilene de oțel, la diferite viteze:
 1- frecare uscată la $v= 0,0136m/s$;
 2- ungere cu apă la $v= 0,0136m/s$;
 3- ungere cu apă la $v= 0,136m/s$;
 4- ungere cu emulsie de ulei la $v=0,0136m/s$;
 5- ungere cu emulsie de ulei la $v=0,136m/s$: [99]

1.3.2.3. Proprietăți termodinamice

O caracteristică tipică și fundamentală a polimerilor termoplastici este tranziția între faze care are loc în funcție de temperatură. Am analizat aceste faze și temperaturile de tranziție iar în continuare ne ocupăm de proprietăți termodinamice dependente de temperatură și presiune, a căror cunoaștere interesează direct prelucrătorul, parametrii de lucru ai utilajului depinzând de aceste valori.

Variația volumului specific densitate - temperatură

Intre volumul specific și densitatea intrinsecă a materialului este o relație de proporționalitate inversă.

$$V = \frac{l}{\rho} \quad (1.7)$$

Pentru prelucrător o importanță deosebită o are volumul specific relativ V_r , definit ca raport între volumul specific la o anumită temperatură și valoarea sa la 20°C.

Volumul specific relativ (V_r):

$$V_r = \frac{V_{(T)}}{V_{(20^\circ C)}} \quad (1.8)$$

Volumul specific variază funcție de temperatură și presiune, aceasta variație fiind reprezentate in fig. 1.7 pentru materiale amorfe, și fig. 1.8 pentru materiale semicristaline [99,65].

In ambele situații se observă că avem o creștere a volumului specific cu creșterea

temperaturii și o descreștere cu creșterea presiunii.

În fig. 1.9 se prezintă etapele de transformare a unui polimer amorf în timpul procesului de injectare cu reliefarea variației volumului specific în funcție de cei doi parametri.

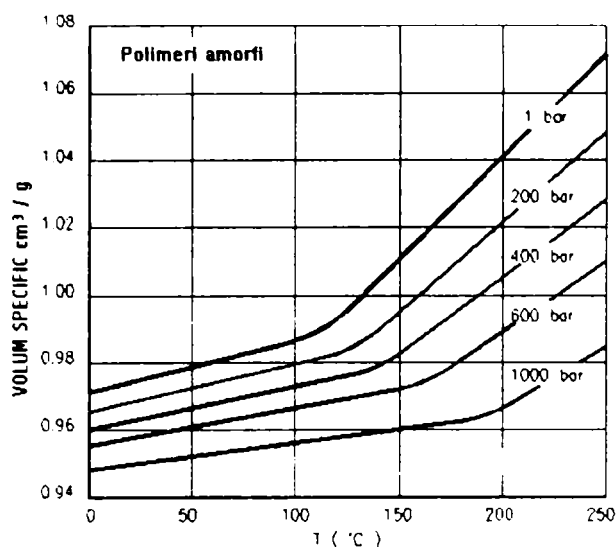


Fig. 1.7. Variația volumului specific în funcție de temperatură și presiune pentru materiale amorse. [54,99]

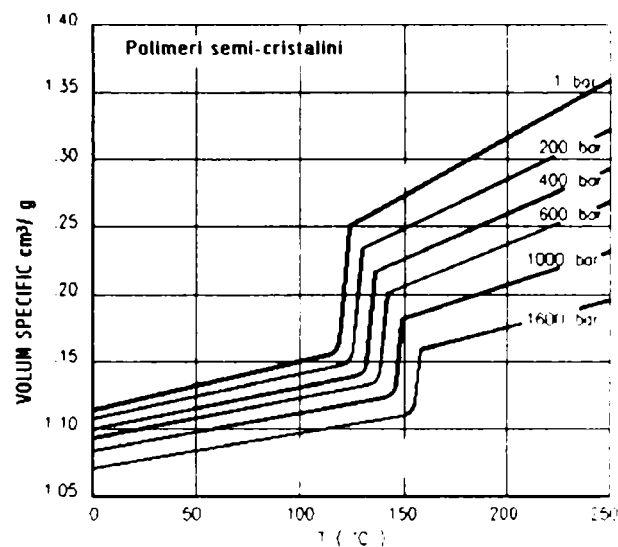


Fig. 1.8. Variația volumului specific în funcție de temperatură și presiune pentru materiale semicristaline. [54,99]

Căldura specifică, este definită ca și cantitatea de energie calorică necesară unei cantități de masă dintr-un corp pentru a-și modifica temperatura cu un grad.

$$c = \frac{dQ}{dT} \quad (1.9)$$

unde: Q- cantitatea de curgere calorică pe unitate de masă

Entalpia (H): crește direct proporțional cu temperatura și căldura.

$$H = U + pV \quad (1.10)$$

unde: U- energia internă

p- presiunea

V- volumul specific.

$$c = \frac{dQ}{dT} \quad (1.11)$$

Pentru polimerii cristalini, la temperatura de schimbare de stare căldura specifică are un salt brusc, determinat de ruperea legăturilor cristaline, în timp ce la polimerii amorfi nu se înregistrează salturi bruște în intervalul de schimbare de stare.

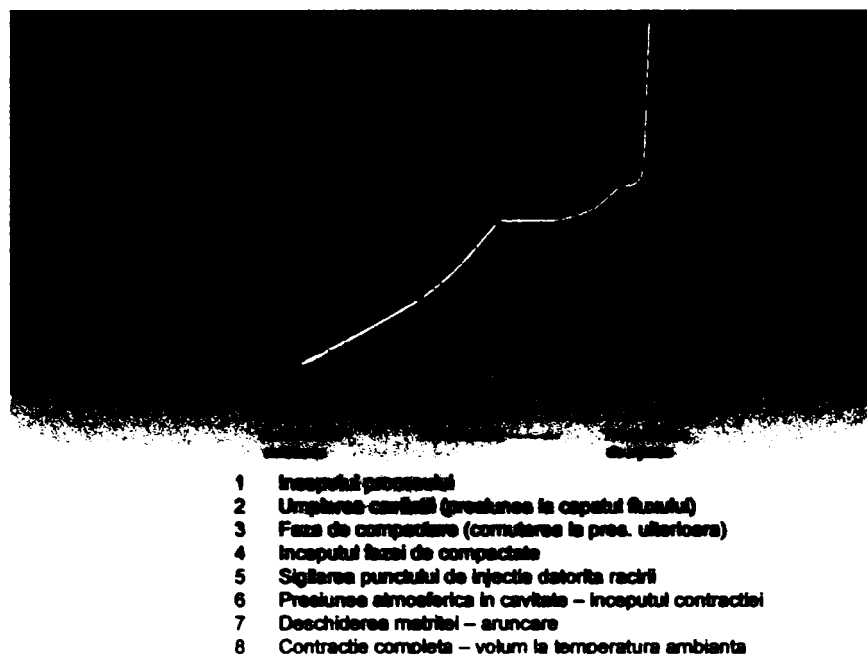


Fig. 1.9. Etapele de transformare a unui polimer amorf.

Cunoașterea modului de variație al căldurii specifice cu temperatura pentru fiecare polimer în parte prezintă o importanță pentru prelucrător în alegerea regimului corect de lucru al utilajului.

Astfel materialele amorfe, cu călduri specifice fără salturi la schimbarea de stare, sursa internă de căldură (frecările) duc la supraîncălzirea și la degradarea termică a materialului, în timp ce la polimerii semicristalini tocmai această sursă generează căldura necesară tranziției marcată de saltul mare al căldurii specifice.

Conductivitatea termică, este capacitatea materialelor de a conduce căldura.

Difuzivitatea termică (α)[43]:

$$\alpha = \frac{\lambda}{P_c} \quad (1.12)$$

Este de menționat faptul că adaosul de plastifianți micșorează difuzivitatea termică.

Coeficientul de dilatare liniară depinde și de natura și proporția materialului termoplastic ranforsat, precum și de direcția de orientare a fluxurilor de curgere

Conductivitatea redusă a materialelor termoplastice permite utilizarea lor ca izolatori termici. Ea se îmbunătățește prin compoundarea acestora cu materiale bune conducătoare de căldură: oxizi metalici, pulberi metalice etc.

Injecția materialelor termoplastice presupune: curgere, transfer termic și cunoașterea dependenței presiune-temperatură-volum pentru materialul termoplastic prelucrat.

1.3.2.4. Proprietăți reologice

Reologia studiază fenomenul de curgere a corpurilor sub acțiunea unor forțe și cu răspunsul corpurilor ca urmare a aplicării forțelor respective. O forță sau un sistem de forțe aplicat unui corp conduc la mișcarea acestuia, mișcare care poate consta în deformări și deplasări.

Un corp este deformat atunci când sub acțiunea solicitărilor își modifică forma sau volumul. Deformarea solidelor are loc până la atingerea echilibrului între forțele externe și cele interne. După îndepărtarea forțelor deformația se poate recupera, aceasta proprietate numindu-se elasticitate.

În cazul lichidelor, prin aplicarea unei forțe neomogene și anizotrope nu se ajunge la o deformare de echilibru, gradul de deformare schimbându-se continuu în timp. Deformația a cărei valoare crește continuu și nu se mai recuperează după îndepărtarea forței se numește curgere. Fluidele opun rezistențe mici la deformare, în timpul curgerii iau naștere forțe de frecare internă care diminuează viteza de deformare. La acțiunea unei forțe viteza de deformare crește până se stabilește echilibrul cu forța de frecare, după care viteza de deformare rămâne constantă.

Elasticitatea este o proprietate specifică corpurilor solide, iar vâscozitatea este o proprietate a corpurilor fluide. Multe topituri de polimeri curg sub acțiunea unei solicitări, întrucât posedă vâscozitate, iar după îndepărtarea solicitării o mică parte din deformație se recuperează posedând și atributul unui solid, elasticitate. Toate corpurile la care componenta elastică și componenta vâscoasă, se manifestă simultan se numește vâscoelastice sau elastovâscoase.

Un corp supus la o solicitare continuu crescătoare poate să manifeste proprietățile de elasticitate și vâscozitate succesiv, caz în care corpul se numește plastic. Sub acțiunea unei forțe corpul plastic va curge ca un fluid dacă forța depășește o valoare critică. Toate corpurile plastice la solicitări mici, sunt elastice sau rigide.

Corpuri cu comportare ideală - Cele mai simple corpuri studiate de reologie sunt corpurile care posedă o singură proprietate numite corpuri cu comportare ideală, corpuri cu proprietăți unitare sau corpuri reologice particulare:

- studiul lui Hooke, perfect clasic;
- fluidul lui Newton, pur vâscos;
- plasticul lui St.Venant, perfect plastic.

1.4. Tehnologia injectării materialelor termoplastice

1.4.1. Principiul injectării

Procesul de injectare este un fenomen ciclic, fiecare ciclu fiind format din mai multe operații. Obținerea unei piese injectate presupune următoarele operații:

- alimentarea materialului (dozarea);
- încălzirea și topirea materialului în cilindrul mașinii;
- închiderea matriței;
- introducerea materialului topit sub presiune în matriță;
- solidificarea și răcirea materialului din matriță;
- deschiderea matriței;
- eliminarea piesei injectate din matriță.

1.4.2. Trepte de proces

Injectarea materialelor plastice este un proces ciclic care cuprinde operații care nu sunt perfect delimitate. Astfel, plastifierea termică a polimerului începe înaintea deschiderii matriței și evacuării produsului.

În figura 1.10. este reprezentată grafic mișcarea melcului și a matriței în cursul procesului de injectare sub formă de diagramă.

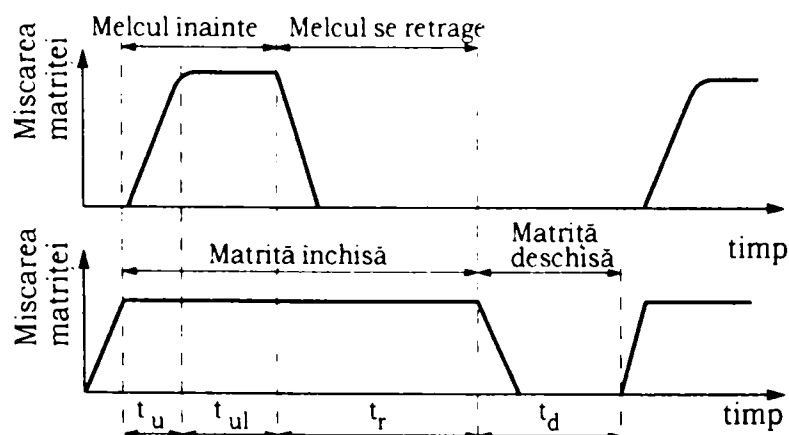


Fig.1.10. Diagrama reprezentând deplasarea melcului și a matriței în procesul de injectare: t_u – timp de umplere matriță; t_{ul} - timp de presiune ulterioară; t_r - timp de răcire; t_d -timp de demulare.[100]

Intregul proces de injectare poate fi cuprins în următoarele trepte de proces :

- compactizarea;
- umplerea matriței;
- compactizarea;
- răcirea și demularea.

1.4.3. Condiții de formare

Principalii factori care determină procesul de formare a materialelor termoplastice sunt:

-proprietățile chimice, fizice și de curgere ale materialului termoplastic în condițiile specifice procesului de injectare;

- regimul temperaturilor;
- regimul presiunilor;
- durata necesară formării.

Regimul temperaturilor. Topirea materialului termoplastic se face prin transmiterea căldurii de la peretele cilindrului la material sau prin transformarea prin fricțiune a energiei mecanice în energie termică. Cu cât temperatura materialului termoplastic este mai ridicată cu atât acesta este mai fluid, matrița se umple mai ușor, iar timpul de injectare se reduce.

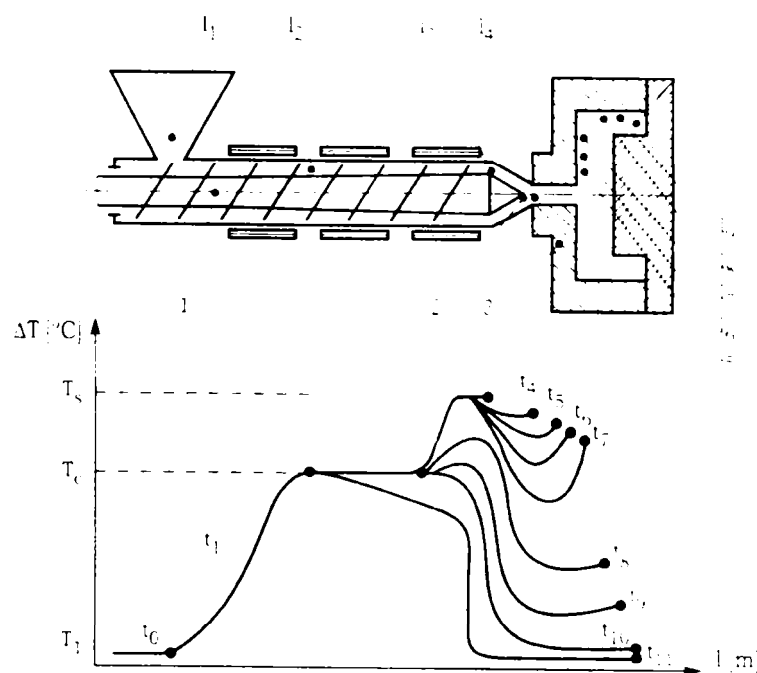


Fig. 1.11. Temperaturile locale a le materialului topit pe parcursul injectării.

T_c - temperatura de curgere, T_s -temperatura de solidificare. [74,99]

Măsurând temperaturile locale în mai multe puncte, din interiorul cilindrului de injectare și a matriței în timpul unui ciclu, se poate reda sub forma unui grafic dinamica temperaturii materialului de-a lungul cilindrului și a matriței (fig. 1.11.)

Procesul de injectare este reprezentat în fig.1.12. Presiunea exercitată de melc transportă materialul plastic topit din camera cilindrului mașinii, prin duză și canalele matriței, până în matriță pentru umplerea cavității acesteia.

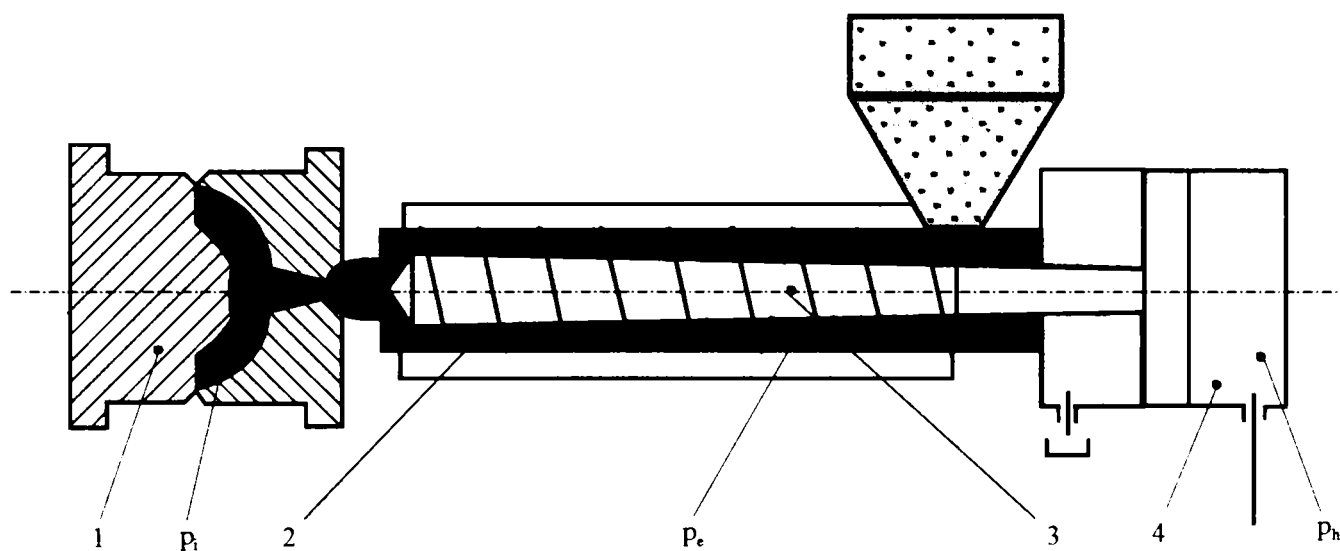


Fig. 1.12. Schema simplificată a injectării pentru punerea în evidență a presiunii.
1- matriță; 2- cilindrul, 3- melc; 4- cilindrul hidraulic; p_i -presiune interioară ; p_e -
presiune exterioară; ; p_h -presiune hidraulică. .[74]

Se definesc următoarele noțiuni:

- *presiunea exterioară* P_e care reprezintă presiunea exercitată asupra materialului plastic în cilindrul mașinii de injectat;

- *presiunea interioară* P_i care reprezintă presiunea din cavitatea matriței.

- *presiunea ulterioară* P_{ul} care reprezintă presiunea exercitată de melc asupra materialului din cavitatea matriței. Această presiune compensează contracția rezultată în urma topirii materialului;

- *presiunea de sigilare* P_s definită ca presiunea exercitată asupra materialului plastic în cavitatea matriței în momentul solidificării culeei (corespunzător punctului de sigilare);

- *presiunea interioară remanentă* P_r care reprezintă presiunea din piesa injectată în momentul începerii deschiderii matriței.

După sigilare, materialul se contractă datorită răcirii și în consecință presiunea scade, fără însă a atinge o valoare egală cu zero.

2. MATRIȚE DE INJECTAT UTILIZATE PRELUCRAREA MATERIALELOR TERMOPLASTICE

2.1. Generalități

Procesul de injectare a materialelor plastice este condiționat în principal de trei factori: caracteristicile mașinii de injectat, caracteristicile materialului plastic și caracteristicile matriței de injectat.

Proiectarea și executarea corectă a matrițelor de injectat condiționează realizarea unor randamente ridicate la prelucrarea prin injectare. Varietatea deosebit de mare a pieselor injectate din materiale plastice a condus la elaborarea unor soluții constructive și tehnologice specifice, atât în domeniul proiectării, cât și în cel al execuției matrițelor de injectat [95].

Matrițele pentru injectat materiale termoplastice sunt în principiu din două părți principale : semimatrița din partea duzei de injectare și semimatrița din partea aruncării. Matrița este fixată pe platourile de prindere ale mașinii de injectat.

2.2. Clasificarea matrițelor

În funcție de forma geometrică a piesei, de natura și caracteristicile materialului plastic, de tipul mașinii de, etc. există o mare varietate constructivă de matrițe de injectat.

Datorită formelor foarte diversificate ale pieselor injectate, a seriilor de fabricație largi și a sistemelor constructive dezvoltate pentru injectare, clasificarea matrițelor se face după mai multe criterii [101].

a). După numărul de cuiburi :

- matrițe cu un singur cuib;
- matrițe cu două cuiburi;
- matrițe cu mai multe cuiburi.

b). După sistemul de injectare :

- cu injectare directă prin culee;
- cu injectare punctiformă;
- cu injectare cu canale de distribuție;
- cu injectare peliculară sau film;
- cu injectare tip umbrelă;

- cu injectare inelară;
- cu injectare cu canal tunel;
- cu injectare cu canale izolate;
- cu injectare cu canale încălzite.

c). După modalitatea de acționare a sistemului de aruncare :

- cu aruncare mecanică;
- cu aruncare pneumatică;
- cu aruncare hidraulică.

d). După numărul planelor de separație, matrițele se clasifică astfel:

- cu un singur plan de separație;
- cu două plane de separație;
- cu mai multe plane de separație.

e). După modalitatea constructivă de realizare a matriței în funcție de forma piesei :

- simple;
- cu bacuri;
- cu deșurubare;
- cu mai multe planuri de separație.

Matrițele se mai pot clasifica și după alte criterii care prezintă o importanță mai mică cum ar fi (tipul de aruncătoare, sistemul de temperare, forma piesei injectate).

2.3. Materiale utilizate la construcția matrițelor.

Matrițele de injectat materiale termoplastice pot fi confecționate din mai multe tipuri de materiale, cele mai des utilizate sunt: oțelurile, aliajele neferoase și materialele nemetalice.

La serii de fabricație mari, de la 4000 până la câteva milioane de bucăți, se utilizează în general oțelul.

2.3.1. Oțelurile

Oțelurile pentru construcția matrițelor de injectat trebuie să îndeplinească, din punct de vedere al fabricației, următoarele condiții: prelucrabilitate bună, calitate bună a suprafeței, tratamente termice simple, deformații cât mai reduse, posibilități de deformare la rece (în cazuri speciale). Oțelurile folosite la fabricarea matrițelor pot fi împărțite în următoarele grupe

(tab.2.1):

- oțeluri de uz general;
- oțeluri de cementare;
- oțeluri de nitrurare;
- oțeluri pentru călire;
- oțeluri de îmbunătățire;
- oțeluri anticorozive.

2.3.1.1 Oțeluri de uz general.

Ele pot fi utilizate în condiții bune pentru confecționarea diferitelor plăci ale matrițelor care nu vin în contact cu materialul plastic, cum ar fi: placa de prindere, placa intermediară, placa distanțieră. Pentru a asigura rezistența necesară la solicitarea prin compresiune de regulă se utilizează marca de oțel OL 60, pentru matrițele mai mici, cu solicitări mai reduse, pot fi utilizate și mărcile OL 42 și OL 50, aceste oțeluri se mai pot fi utilizate pentru confecționarea unor piese ca: șuruburi de fixare, suporti, prelungitoare, dopuri filetate etc.[82,59]

2.3.1.2. Oțeluri pentru cementare.

Aceste oțeluri au conținut redus de carbon (0,07...0,18%). Prin carburarea suprafeței exterioare, conținutul de carbon crește la 0,8...0,9%, adâncimea stratului carburat fiind cuprinsă între 0,5...1,2 mm. După călire stratul exterior devine foarte dur (58...62 HRC), având rezistența mare la uzură, păstrându-și în același timp tenacitatea miezului.

Datorită faptului că matrițele de injectat lucrează în condiții grele de exploatare vor fi alese acele oțeluri de cementare care pe lângă o suprafață dură și rezistență la uzură în urma călirii, asigură deformabilitate minimă și o rezistență corespunzătoare a miezului chiar și pentru matrițe de dimensiuni mari. În această categorie se utilizează, atât oțelurile carbon de calitate pentru cementare, cât și oțelurile aliate pentru cementare. Pentru confecționarea coloanelor de ghidare, a bușelor de ghidare etc, se recomandă oțelul carbon de calitate OLC15[59].

Pentru cuiburile matriței, poansoane și alte piese ale matriței supuse la solicitări mari se recomandă oțeluri aliate pentru cementare.

Pentru aceasta se execută un tratament termic de îmbunătățire, a structurii miezului, respectiv o dublă călire. Oțelurile recomandate pentru acest lucru sunt: 18MnCr10, 15CrNi15, 21MoMnCr12, 20MoNi35, 18MoCrNi13; 13CrNi30, Toleranțele mici indicate pentru reperetele injectate impun în unele cazuri oțeluri care în urma tratamentului termic au o deformare minimă, cum ar fi: 21MoCr12, 28TiMoCr12, 16CrNiW10, Aceste oțeluri fiind cu granulație mai pot fi supuse tratamentelor termice simple după cementare și sunt indicate pentru piese greu solicitate.

2.3.1.5. Oțeluri de îmbunătățire

Oțelurile de îmbunătățire recomandate pot fi oțelurile carbon de calitate: OLC45, OLC55, OLC60.

Oțelurile aliate pentru îmbunătățire pot fi: 41MoCr1A, 50VCr11, etc. Oțelurile 41MoCr11 se utilizează pentru piesele, puternic solicitate, cu secțiune mare de îmbunătățire. Prin călire și revenire se obțin 270 - 320HB. Oțelul 50VCr11 se recomandă pentru secțiuni medii sub 50 mm. După îmbunătățire se obțin 300 - 400HB.[82,59]

2.3.2. Materiale speciale

2.3.2.1 Metale și aliaje neferoase

Când se impun unele condiții deosebite legate de coroziune și conductibilitate termică se folosesc metale și aliaje neferoase.

Cuprul și aliajele cuprului Se recomandă pentru construcția de duze punctiforme, atât la matrițele de injectat cu antecameră, cât și la matrițele cu canale încălzite, se mai folosește la executarea unor pastile greu de realizat din oțel și care nu pot fi răcite în bune condiții, se prelucrează ușor. Alama se folosește, de asemenea, la confecționarea miezurilor pentru răcirea intensă a poansoanelor.

Bronzurile sunt aliaje ale cuprului cu staniul. Ele se caracterizează printr-o bună rezistență la coroziune în aer și apă, o rezistență ridicată la uzură și durificare importantă prin deformare la rece. Bronzurile cu beriliu se folosesc la confecționarea torpedourilor, duzelor deschise pentru matrițe cu canale încălzite și la confecționarea poansoanelor răcite special.

Aluminiul și aliaje de aluminiu. În construcția matrițelor de injectat se folosesc aliaje ale aluminiului cu zinc, cupru, magneziu și crom, elemente care îmbunătățesc considerabil calitățile de rezistență la tracțiune și duritate.

Aliaje de aluminiu se utilizează din ce în ce mai mult la confecționarea cuiburilor pentru matrițe, precum și la execuția unor plăci de aruncare expuse la accidente prin închiderea bacurilor.

Unele aliaje speciale ale aluminiului cu rezistență ridicată se folosesc și la execuția matrițe cu cuiburi foarte complicate.

Cel mai recomandat aliaj de aluminiu pentru matrițe de injectat este AlZrMgCu0,5.

Aliaje antifricțiune. Aliajele antifricțiune au un punct de topire relativ scăzut (220...300°C) și ca atare pot fi ușor turnate. Două grupe de aliaje antifricțiune sunt mai răspândite: aliaje antifricțiune pe bază de Sn (80...90% Sn) și aliaje antifricțiune pe bază de Pb (75...80% Pb). Ele se folosesc în cazul unor poansoane rotitoare de mari dimensiuni.

Tab. 2.1. Oțeluri recomandate pentru execuția elementelor constructive ale matrițelor[100].

Denumirea materialului	Denumirea elementului matriței
OL60, OLC45	Placă de prindere, placă intermediară, placă distanțieră.
OLC45, OLC55, 50 Vcr11,41 Mo Cr 11.	Placă port poanson, suport pentru pastile, placă aruncătoare, placă portaruncătoare, inele de centrare.
200Cr120, 90V Mn 18, 97MnCrW14, OLC15, OSC8, OSC10	Părțile active în contact direct cu materialul plastic (placa de formare, poanson, pastilă, bac)
20Cr130, 40Cr130	Părțile active pentru injectarea materialelor plastice cu acțiune corozivă
33MoCr11	Părțile active care trebuie să aibă deformare minimă la tratamente termice
OLC15, 15Cr08, 18MnCr10	Coloană de ghidare, coloană înclinată, camă cârlig
OSC8, OSC10	Duză, bucsă de ghidare, bucsă de conducere, bucsă centrală
OLC45, OLC55 50Vcr11	Tijă de aruncare, tijă filetată, placă tampon, tijă tampon
97 Mn CrW14 WCrNi40	Știft de aruncare, extractor pentru culee, știft de centrare, știft tampon, știft readucător

2.4. Utilizarea sistemelor CAD, CAE, CAM pentru piese injectate și matrițe.

Producătorii de matrițe și de piese injectate dispun astăzi de o mare varietate de sisteme CAE/CAM [6,38] Furnizorii acestor sisteme le descriu ca elemente ale strategiei C/M.

Sistemele CAE/CAM cuprind mai multe module:

- sistemul CAD-3D pentru concepția pieselor și generarea geometriilor prin metoda elementelor finite FEM;
- programe CAE care pot fi utilizate pentru simularea cu calculatorul, de exemplu, a contracțiilor și deformațiilor utilizând sistemul FEM;
- sistemul CAD-2D pentru desen (în general asociate cu programele logice standard pentru fabricarea pieselor și matrițelor);
- module pentru simularea procesului de umplere a unei matrițe de injectat;
- anteprosesarea și postprocesarea pentru a genera împletirea FEM și reprezentarea grafică a rezultatelor;
- procesoare pentru control și producție a mașinilor CNC inclusiv cu 5 axe.

Pe de o parte, concepția (definirea formei și dimensiunilor piesei), construcția matriței (simularea umplerii, concepția termică și mecanică) și fabricația (programarea mașinilor NC) nu sunt încă unicate, ceea ce permite utilizarea independentă a părților distincte ale ansamblului programat.

Pe de altă parte, diferenții componenți ai ansamblului, ai programului, nu sunt în general la nivelul de dezvoltare impus. Utilizatorii care doresc un sistem CAE/CAM complet trebuie să combine modulele diferite ale acestui ansamblu.

2.4.1. Sisteme CAE pentru piesa injectată

În cazul pieselor injectate se impune problema integrării soluțiilor propuse de sistemele CAD, CAE și CAM. Acest sistem integrat presupune o accesibilitate bună la sistemele CAD precum și realizarea pieselor injectate și a matrițelor, tratate din punct de vedere termic, mecanic și reologic[6,27]. Analiza aprofundată a piesei injectate face obiectul a diferite sisteme de calcul care determină soluții cu rezultate foarte bune în practică.

2.4.1.1. Obiectivele sistemului

Din punct de vedere al evoluției pieselor injectate din material termoplastice se pun următoarele probleme: *scurtarea timpilor* de desfășurare, *scăderea costurilor*, *creșterea calității produselor*.

Scurtarea timpilor de desfășurare. Timpul necesar pentru realizarea unei matrițe-prototip întârzie producția de serie, însă se remarcă reducerea numărului modificărilor necesare pentru matrița de serie. Se creează astfel timp pentru modificări care nu erau până acum posibile, micșorându-se pericolul rebuturilor calitative.

Scăderea costurilor. Proprietățile pieselor din material termoplastice sunt influențate în mare măsură de procesul de fabricație, încă din faza de prototip se impun cerințe deosebite din punct de vedere al matriței. Acest lucru este valabil în special pentru procedeul de injectare, unde încă din această fază trebuie realizate matrițe apropiate de serie. Costurile unor asemenea matrițe-prototip sunt cu mult mai mari decât a modelelor pentru piesele din tablă.

Experiențele din domeniul matrițelor de injectat au arătat că în special la piesele mari și piesele critice din punct de vedere al curgerii utilizarea programelor reologice, termice și mecanice duce la reducerea costurilor.

Creșterea calității produselor. Cu ajutorul unor software se pot obține, referitor la piesa injectată, nu numai indicații privind comportamentul global, ci și antecalculații ale diferitelor caracteristici cum ar fi distribuția de tensiuni sau temperaturi în fiecare punct. Abaterile de la cerințe, spre exemplu de la distribuția omogenă a temperaturii în piesă în timpul răcirii în matriță, pot fi recunoscute la interpretarea rezultatelor de calcul. Prin schimbarea condițiilor limită, pe baza simulării numerice, pot fi împiedicate sau cel puțin minimalizate efectele care la piesa reală ar putea conduce la locuri slabe, ireversibile.

Un concept CAE pentru realizarea pe bază de calcul a unei piese injectate presupune luarea în considerare, conform figurii 2.1, a unor informații exterioare. Prin pregătirea secțiunilor software și hardware trebuie să fie posibilă prelucrarea datelor geometrice provenite din sistemul CAD și din coordonatele modelului. Dacă nu se pot obține aceste informații în timpul desfășurării procesului trebuie generate informații geometrice noi. Este necesară pregătirea unor module de calcul precum și date pentru generarea unor programe de calcul. Prin returnarea rezultatului de calcul sistemului CAD se poate realiza optimizarea construcției piesei prin buclă teoretică [27,93].

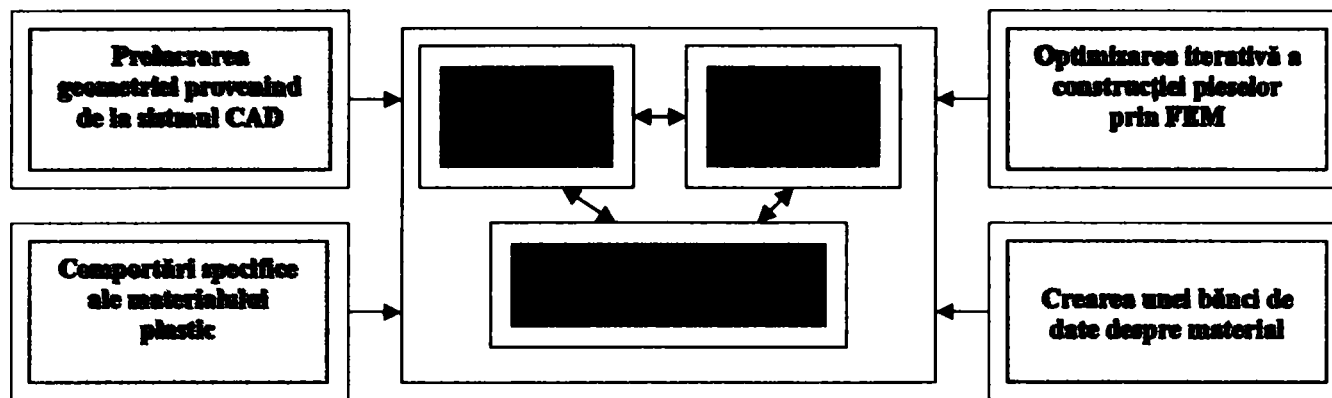


Fig. 2.1. Obiectivele unui concept CAE la realizarea unei piese[46,96].

2.4.2. Sisteme CAE în concepția matriței

Utilizarea sistemului CAE urmărește în principal reducerea costurilor în cazul fabricării pieselor obținute prin injectare. Pe lângă utilizarea sistemului CAE/CAD la conceperea pieselor injectate, acesta este folosit în aceeași măsură la conceperea matrițelor de injectat [38,94].

Obiectivele principale ale sistemului CAE este generarea și interpretarea datelor, pentru a soluționa problema dimensionării unei matrițe de injectat cu ajutorul calculatorului, se apelează la diferite sisteme de calcul (Cadmould, Moldflow, TM Concept, Procop etc.).

Fazele de construcție ale unei matrițe sunt prezentate în figura 2.2. Matrițele sunt concepute după criteriul parametrilor ideali de prelucrare în faza de umplere și în cea a procesului de injectare. Din punct de vedere al dimensionării, concepția matriței se împarte în trei grupe: concepția reologică, termică și concepția mecanică.

Concepția reologică. Pornind de la imaginea umplerii, o simulare a comportamentului frontului de umplere, se pot calcula necesarul de presiune de injectare, evoluția temperaturii materialului pe parcursul de curgere, viteza de forfecare și tensiunile care iau naștere cu această ocazie. Valorile sunt calculate și funcție de timp și de loc. Modificări ale temperaturii și ale tensiunilor de forfecare se pot recunoaște clar și pot fi modificate prin variația condițiilor de prelucrare: timp de umplere, temperatura materialului și temperatura peretelui matriței. Prin aceasta, comportamentul în producție a unei matrițe poate fi recunoscut încă din faza de prelucrare.

Cele mai renumite firme de programe de calcul reologic sunt Moldflow, Cadmould, Moldfill etc.

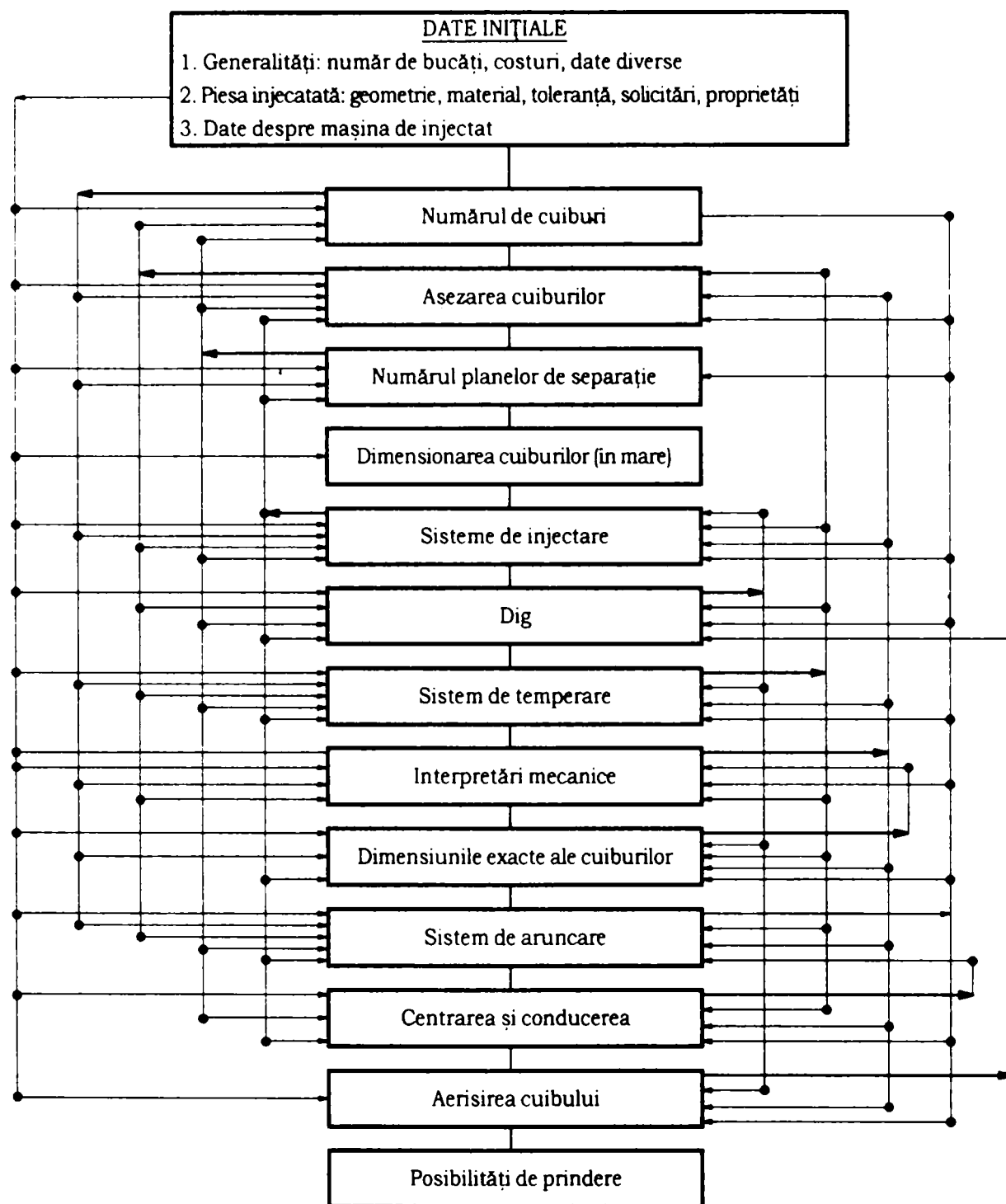


Fig. 2.2. Schema logică de concepție a unei matrițe de injectat [101].

Programul de calcul reologic (Moldflow, Cadmould) presupune următoarele:

- calculul drumurilor maxime de curgere;
- calculul diametrelor optime ale canalelor de curgere (matrițe cu cuiburi multiple combinate cu sisteme cu canale încălzite);
- calculul complet prin sistem FEM - 3D al sistemului de injectare.

Procesul de umplere complet al matriței este tratat de către calculator prin metoda elementelor finite.

Pentru introducerea geometriei și reprezentarea rezultatelor se necesită un program de intrare-ieșire (CATIA).

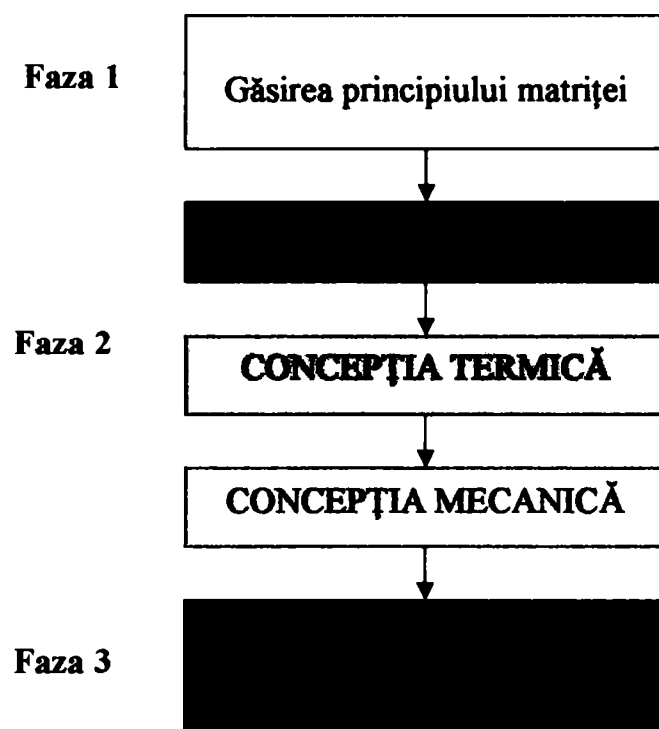


Fig. 2.3. Fazele construcției unei matrițe de injectat.

Concepția termică. Următorul pas important în concepția matriței de injectare este calculul proceselor termice din matriță.

Firmele care oferă programe specializate pentru concepția termică a matriței sunt (C-Cool, I-Deas-Mold Cooling etc.).

Sistemul de temperare al matriței are o influență determinantă asupra duratei ciclului de injectare și implicit a costurilor piesei injectate.

Programele de calcul pentru concepția termică a matriței calculează schimbul de căldură a matriței cu mediul, influența izolațiilor matriței, debitul mediului de răcire, poziția și diametrul canalelor de temperare, pierderea de presiune în sistemul de temperare precum și timpul necesar de răcire.

La concepția termică a matriței se respectă următorii pași de calcul:

- calculul timpului de răcire;
- bilanțul termic al matriței;
- debitul mediu de temperare;
- diametrele canalelor de temperare;
- calculul pierderii de presiune în circuitul de temperare.

Concepția mecanică. A treia componentă de baza a unei proiectări de succes a matriței

cu ajutorul calculatorului este dimensionarea mecanică.

Matrițele de injectat sunt supuse forțelor exercitate de materialul plastic din cuib și forței de închidere a mașinii. Sub acțiunea acestor forțe, matrița se deformează. Calculele făcute matriței de injectat se ivesc la optimizarea dimensională. Dimensionarea mecanică are la bază mai multe programe de calcul cu elemente finite (Antras, Ansys etc.).

Pentru calculul deformării matriței de injectare (soluția statică) a problemei există următoarele variante:

- programul de calcul 2D;
- programul de calcul 3D;
- măsurători în matriță.

Se urmărește pe de o parte evitarea unor costuri prea ridicate prin supradimensionare, iar pe de altă parte evitarea unor costuri ulterioare datorate unor zone slabe.

Programele Cadmould pentru concepție mecanică efectuează calcule pentru:

- deformarea matriței, dacă se dau sarcinile și dimensiunile;
- dimensiunile necesare ale unor elemente de matriță, dacă se indică sarcinile și deformarea admisă;
- deformarea întregii matrițe, dacă se indică sarcinile și dimensiunile printr-un procedeu de suprapunere;
- deformarea admisă a unor repere ale matriței, în ansamblul matriței, dacă se indică deformarea totală admisă.

Programele pentru concepția mecanică a matriței execută calcule de rezistență după o metodă analitică simplificată. La concepția unei matrițe se pot folosi diferite sisteme de calcul.

Pentru simularea procesului de umplere trebuie transmis programului de calcul și forma reperului prezentată ca o rețea geometrică de intrare. Pentru aceasta se execută un model 3D a reperului și la nevoie a rețelei de injectare în sistemul CAD-CATIA. Cu ajutorul unui generator semiautomat de rețele se produce rețeaua de elemente și se introduce într-o rețea geometrică.

La începutul calculului se introduc elementele de programare tehnologică ca: parametri de proces, materia primă, grosimea de perete programată și tipul de dig. Ca urmare a sistemului de calcul Cadmould-Mefisto se obține fișierul unei imagini de umplere, fișierul temperaturii și fișierul tensiunilor de forfecare. Pentru o mai bună reprezentare, printr-un postprocesor, rezultatele se pot prezenta ca imagini tridimensionale în modelul geometric al

piesei injectate putând fi manipulate ca modele normale CAD.

După aprecierea tehnologului de proces se încep variantele de optimizare prin care se înțelege variația parametrilor de proces și modificarea grosimii sau formei piesei injectate. La fiecare modificare a datelor introduse se pornește un nou program de calcul și se procedează cu rezultatele ca mai sus, procedeul se repetă până la obținerea gradului de optimizare dorit. Criteriile după care se face optimizarea sunt: poziția și natura linilor de sudură, incluziunile de aer, modificări nepermise ale temperaturii masei sau evoluției de presiune pe parcursul de curgere, precum și vitezei de forfecare sau tensiunii de forfecare neadmise.

Ca rezultat al calculului se obțin parametrii de proces calculați, o piesă injectată optimizată din punct de vedere al procesului tehnologic și cu loc de injectare optimizat din punct de vedere al poziției și formei.

Cu ajutorul unor programe suplimentare se pot calcula:

- volumul și greutatea piesei optimizate;
- forța necesară de închidere mecanică a mașinii;
- dimensionarea elementelor mecanice ale matriței dacă se introduc sarcinile și deformarea admisă.

2.4.3. Sisteme CAD/CAM la realizarea matriței

Sistemul de proiectare asistată de calculator și fabricația asistată de calculator CAD / CAM în domeniul matrițelor de injectat s-a dezvoltat foarte mult în ultimii ani de mai multe firme (Moldflow Corporation, ProEngineer, Catia, C-mold, Matra, Delcam etc [6, 96, 100]).

Folosirea sistemului CAD / CAM asigură următoarele avantaje:

- la dezvoltarea piesei de la idee la construcție trebuie să se economisească timp;
- prin sistemul CAE se obțin piese injectate și matrițe optime, astfel încât, calitatea produsului crește.

Sistemele CAD / CAM au evoluat ajungându-se astăzi la sisteme integrate (fig.2.4.). Un astfel de sistem integrat este multimodular, care se bazează pe sisteme numerice de calcul NC, legătura între construcția matriței, programarea fabricației și fabricația cu NC pe mașini moderne de prelucrat matrițe.

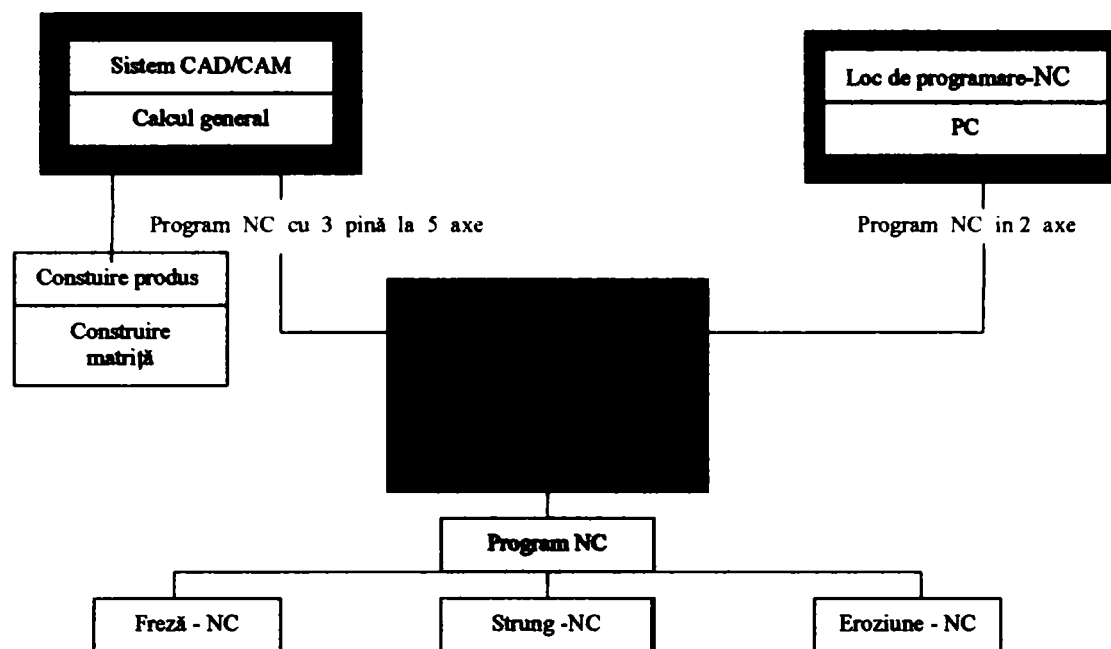


Fig.2.4. Sistemele integrate CAD / CAM pentru realizarea unei matrijă[27,46].

Utilizarea elementelor normalizate în construcția unor matrijă prin sistem CAD a fost posibilă ca urmare a preocupării firmelor producătoare de a prezenta norme cât mai complete de elemente de matrijă.

Firmele Hasco, DME și Strack sunt singurii fabricanți a căror cataloage propun norme de matrijă sub forma de programe compatibile cu o serie de sisteme CAD diferite.

Programul logic al firmei Strack este caracterizat printr-un timp de acces scurt deși baza de date conține aproximativ 20.000 matrijă complete și aproximativ 30.000 de piese distincte [95]. O caracteristică, specifică a acestui program este faptul că permite accesul la ansamble complete de matrijă. De exemplu, dacă utilizatorul schimbă grosimea plăcii, programul schimbă automat piesele și accesoriile care se utilizează. Aceasta se aplică de asemenea când diferite grosimi de plăci cuprinse în catalog, sunt specificate de operator

Norma Hasco folosește deja a patra versiune de programe catal de norme. Cu acest sistem funcționarea desenului este simplificată și prezentată interactiv direct, plecând de la sistemul CAD folosit.

Alte norme produse de diferite firme sunt astăzi compatibile numai parțial cu diferite sisteme de proiectare (CATIA, Meduza, Procad etc.).

Unele firme propun elemente normalizate în domeniul sistemelor de injectare cu canale încălzite.

2.4.4. Fabricarea matriței cu ajutorul calculatorului

Sistemul CAM include toate activitățile legate de executarea și supravegherea procesului de fabricație a matriței de injectat.

Sistemul CAM în fabricația de matrițe se referă la:

- automatizarea fabricației;
- controlul fabricației;
- manevrarea și deplasarea sculelor și materialelor;
- supravegherea fabricației.

Construcția cu ajutorul calculatorului. Dorința mare de simplificare și flexibilitate în domeniul construcției de matrițe necesită prelucrarea de proceduri standard și rutine automate în sistemul CAD [38] .

Proiectarea și prelucrarea suprafețelor neregulate de matriță sunt greu de realizat fără intervenția calculatorului. Prin folosirea unor software moderne construcția tridimensională a devenit accesibilă. Produse speciale complexe pot fi privite din unghiul dorit, rotite, reflectate și secționate în plus apar numeroase facilități de construcție, de exemplu: legarea suprafețelor prin punți tangențiale, obținerea suprafețelor prin funcții matematice, rotunjiri cu rază constantă sau variabilă. Printr-o definire geometrică exactă proiectantul își face o imagine clară asupra construcției matriței încă din faza de început.

Programatorul NC trebuie să definească fiecare pas de lucru și să stabilească prelucrarea eficientă a geometriei, făcând legătura dintre tehnica de fabricație practica și programarea NC.

Pentru a nu se renunța la valorile practicate proprii, majoritatea modulelor CAM permit înființarea unui fișier propriu de date tehnologice. Unele sisteme oferă facilități pentru cicluri automate, de exemplu: strunjirea de degroșare sau optimizarea sculei și a cursei sculei. Simulările grafice oferă posibilitatea controlului drumurilor parcurse și a coliziunilor .

Sisteme de programare NC. Alături de sistemele integrate CAD / CAM există o serie de sisteme de programare NC de sine stătătoare. Ele permit atât obținerea noilor geometrii de piese, cât și prelucrarea datelor geometrice din sistemele CAD, pentru utilizări simple, aceste sisteme pot genera, în dialog sprijinit grafic, un program de prelucrare NC.

Pentru obținerea conturului și generarea de programe NC se folosesc blocurile funcționale tipizate CIM ale firmei Hahn & Kolb. Stilizarea, proiectarea și ingineria cu ajutorul calculatorului, precum și sistemul de fabricație asistată cu calculatorul se pot interconecta în procesul de realizare a matriței (fig.2.5.)

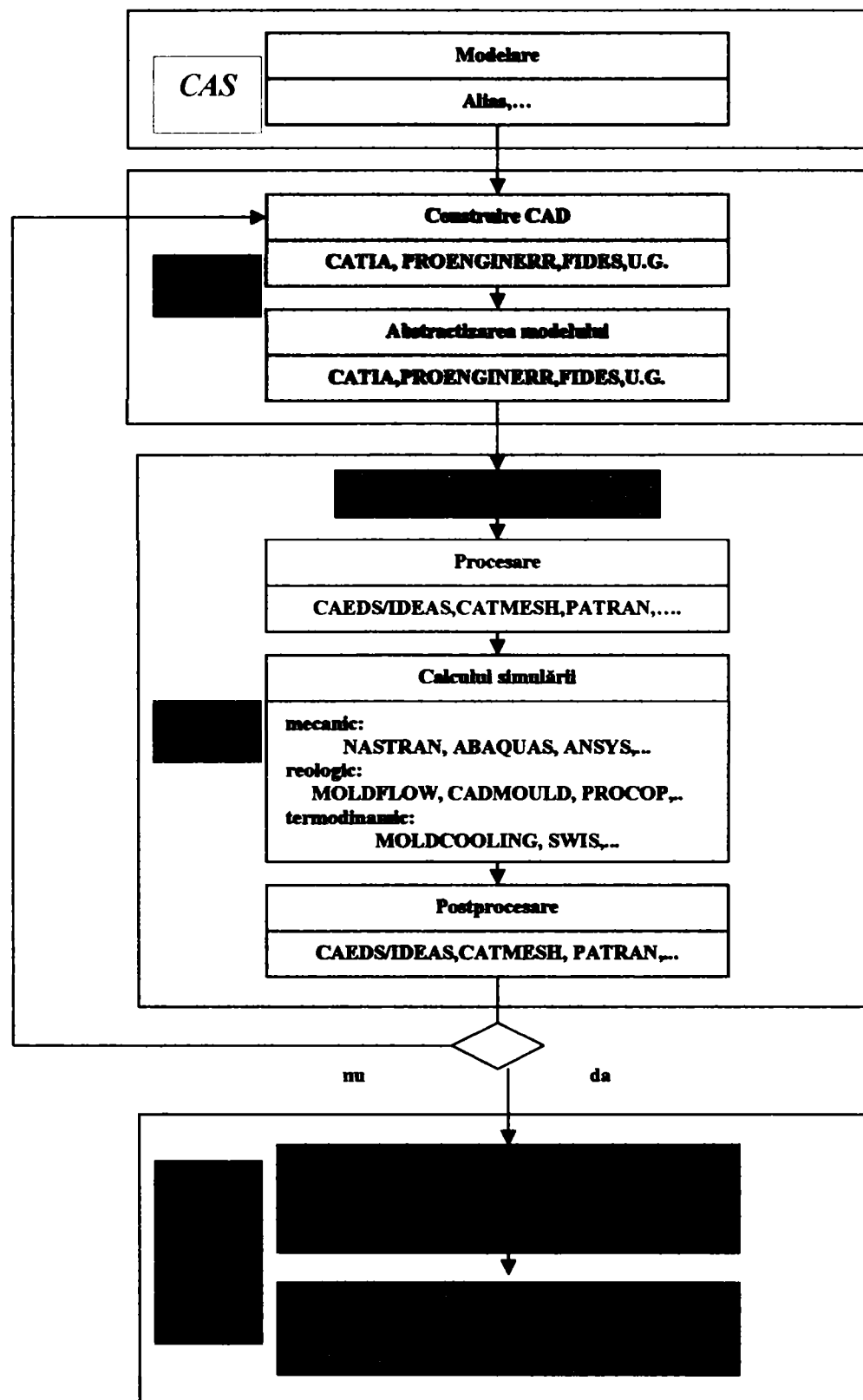


Fig.2.5. Grade de interconectare a conducerii cu calculatorul a procesului ingineriei în domeniul injectării[46,100].

2.4.5. Principii privind dimensionarea răcirii matrițelor de injectat

Unii proiectanți determină prin calcul lungimea și diametrul necesar a canalelor de răcire, alții consideră că dimensiunile canalelor de răcire sunt în funcție de construcția matriței astfel ca ele vor rezulta automat odata cu construirea matriței.

Ca și obiect al dimensionării consideră determinarea temperaturii medii, a diferenței dintre temperatura finală și inițială și a debitului fluidului de răcire. În practică s-a adeverit că metoda cea din urmă este cea corectă, și din acest motiv servește ca și bază la metoda de dimensionare enumerată aici.

Tab.2.2. Prezentarea simbolurilor și unităților de măsură pentru efectuarea calculului de răcire la matrițe de unjectat [48,72].

Simbol	Unitatea de măsură	Explicația simbolului
a	m	Lungimea segmentilor rectilinii a canalului de răcire
b	m	Diametrul canalului de răcire =D
A	m	Dimensiunea cavității cuibului în direcția canalelor de răcire
B	m	Dimensiunea cavității matriței în direcția perpendiculară pe direcția canalelor de răcire
A_a	m^2	Aria suprafeței de prindere a matriței
A_k	m^2	Aria suprafeței ale canalelor de răcire ($\pi d L$)
A_s	m^2	Aria laterală a matriței
C_s	$W / m^2 \cdot ^\circ C^4$	Coeficientul de emisie a corpului negru =5.77
C_{TM}	$W \cdot s / hg \cdot ^\circ C$	Căldura specifică al agentului de răcire
D	M	Diametrul canalului de răcire =b
E	J/Kg	Entalpia materialului plastic
E_M	J/Kg	Entalpia materialului plastic la temperatura de injecție
E_E	J/Kg	Entalpia materialului plastic la temperatura aruncării din matriță.
ΔE	J/Kg	$E_M - E_E$

F	m^2	arie
g_1	g/cicl	Masa de material plastic la un ciclu de injectare
G_h	m^3/s : l/ min	Debitul agentului de răcire
G_a	Kg/h	Masa materialului plastic injectat într-o ora
g_i	%	Raport grosimetric: apă / etilenglicol
H	m	Lungimea matriței
L	m	Lungimea totală a canalelor de răcire = Σa
L_w	m	Distanța medie a canalelor de răcire de la cuibul matriței.
m	-	Numărul circuitelor de răcire independente
M	m	Înălțimea matriței
n	-	Numărul canalelor de răcire din partea fixă și cea în mișcare a matriței
N	-	Numărul canalelor de răcire din partea de matriță
N_u	-	Nr. Nusselt
Q_K	W	Cantitatea de căldură disipată prin convecție
$Q_{cssz} = Q_{tot}$	W	Cantitatea totală de căldură, care trebuie să fie eliminată din sistem
Q_S	W	Cantitatea de căldură pierdută prin radiație
Q_{TM}	W	Cantitatea de căldură de eliminat cu agentul de răcire
\dot{Q}_{TM}	W	$\frac{Q_{TM}}{m}$
Q_t	W	Cantitatea de căldură disipată în mediul înconjurător prin convecție + radiație + conducție
Q_v	W	Cantitatea de căldură disipată prin conducție
r_i	%	Raport volumetric apă/etilenglicol
R_w	$^{\circ}C/W$	Rezistența termică a corpului matriței
S	m	Grosimea plăcii
S_z	m	Lățimea matriței

t_{cicl}	s	Durata unui ciclu
T_1	$^{\circ}C$	Scăderea de temperatură datorată rezistenței termice a corpului matriței
T_2	$^{\circ}C$	Diferența de temperatură între peretele canalului de răcire și agentului termic
T_F	$^{\circ}C$	Temperatura permisă la care se poate arunca piesa din matriță
T_F	$^{\circ}C$	Temperatura pieselor de mașina care sunt în contact cu placa de fixare a matriței
T_M	$^{\circ}C$	Temperatura materialului injectat
T_{max}	$^{\circ}C$	Temperatura cuibului în timpul injectării
T_{min}	$^{\circ}C$	Temperatura cuibului în momentul închiderii matriței
T	$^{\circ}C$	Temperatura medie a agentului de răcire
T_u	$^{\circ}C$	Temperatura ambiantă
T_w	$^{\circ}C$	Temperatura medie a matriței
ΔT	$^{\circ}C$	Încălzirea agentului termic în matriță = $T_{ies} - T_{int r}$
v_{TM}	m/s	Viteza de circulație a agentului de răcire
α_k	$W/m^2^{\circ}C$	Coeficientul de transfer termic la convenție ≈ 8
β	$W/m^2^{\circ}C$	Coeficientul practice de conducție termică la suprafața de îmbinare a doua plăci metalice nepolizate
ε	-	Coeficient de emisie = 0.25
λ	$W/m^2^{\circ}C$	Coeficient de conducție termică

Date pentru rezolvarea dimensiunii

- natura materialului plastic utilizat
- conținutul de etilenglicol (%) al apei de răcire (100% = e)
- calitatea materialului matriței (oțel aliat, nealiat, etc.)
- g1 -Tw -M -A
- t_{ind} -Tv -m -B
- T_M -H -n -b= D

2.4.5.1. Determinarea cantității de căldură care trebuie să fie eliminată în vasul răcirii

$$\text{formulele: } Q_{\text{cscz}} = \Delta E \cdot G_a \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

$$Q_{TM} = Q_{\text{cscz}} - Q_{t'} \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

$$Q_{t'} = Q_k + Q_v + Q_s \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

$$Q_k = A_s \cdot \alpha_k \cdot (T_w - T_{t'}) \quad [\text{W}] \quad (2.4)$$

$$\alpha_k \cong 8 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}]$$

$$A_s = 2 \cdot M \cdot (H + S_z) \quad [\text{m}^2] \quad (2.5)$$

$$Q_v = A_u \cdot \beta \cdot (T_w - T_f) \quad [\text{W}] \quad (2.6)$$

β =oțel aliat =84

oțel nealiat=98

bronz beriliu=116

formulele:

$$A_u = 2 \cdot H \cdot S_z \quad [\text{m}^2] \quad (2.7)$$

$$T_f \cong T_{t'} \quad [^\circ \text{C}] \quad (2.8)$$

$$Q_s = A_s \cdot \varepsilon \cdot C_s \left[\left(\frac{T_w + 273}{100} \right) - \left(\frac{T_{t'} + 273}{100} \right)^4 \right] \quad [\text{W}] \quad (2.9)$$

$$\varepsilon = 0.25 \quad C_s = 5.77 \quad [\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}^4]$$

$$\Delta E = E_M - E_F [\text{kJ} / \text{kg} = \text{W} \cdot \text{s} / \text{g}] \quad (2.10)$$

$$G_a = \frac{q_1 \cdot 3600}{t_{\text{cicl}}} \quad [\text{kg/h}] \quad (2.11)$$

2.4.5.2. Determinarea temperaturii medii și încălzirii fluidului de răcire

$$T = T_w - T_1 - T_2 \quad [^\circ \text{C}] \quad (2.12)$$

$$T_w = \frac{(T_{\text{max}} + T_{\text{min}})}{2} \quad [^\circ \text{C}] \quad (2.13)$$

$$T_1 = \frac{Q_{TM} \cdot L_w}{\lambda_{\text{acel}}} \cdot \left[\frac{\ln\left(\frac{A \cdot b}{a \cdot B}\right)}{A \cdot b - a \cdot B} \right] \quad [^\circ \text{C}] \quad (2.14)$$

Date orientative pentru T_M și T_w se regăsesc în tabelul 2[48].

$$\lambda_{\text{otel}} = \text{oțel carbon nealiat} = 52 \quad [W / m \cdot ^\circ C]$$

$$\lambda_{\text{otel}} = \text{oțel aliat} = 30 \quad [W / m \cdot ^\circ C]$$

formulele:

$$Q_{TM} = \frac{Q_{TM}}{m} \quad [W] \quad (2.15)$$

$$B = n \cdot D \quad [m] \quad (2.16)$$

$$T_2 = \frac{Q_{TM}}{A_k \cdot \alpha} \quad [^\circ C] \quad (2.17)$$

$$A_k = D \cdot \pi \cdot n \cdot a \quad [m^2] \quad (2.18)$$

$$\alpha = \frac{N_u \cdot \lambda_{TM}}{D} \quad [W / m^2 \cdot ^\circ C] \quad (2.19)$$

$$Ha Re \geq 2320$$

$$N_u = 0.037 \cdot (Re^{0.75} - 180) \cdot Pr^{0.42} \cdot [1 + (\frac{D}{L})^{0.67}] \quad (2.20)$$

$$Ha Re < 2320$$

$$N_u = \sqrt[3]{3.63^3 + 1.61^3 \cdot Re \cdot Pr \cdot (\frac{D}{L})} \quad (2.21)$$

$$Re = \frac{v_{TM} \cdot D}{\nu_{TM}} \quad (2.22)$$

$$Pr = \frac{v_{TM} \cdot Q_{TM} \cdot C_{TM}}{\lambda_{TM}} \quad (2.23)$$

$$v_{TM} = \sum r_i \cdot v_i [m^2 / s] \quad (24)$$

$$Q_{TM} = \sum r_i \cdot Q_i [kg / m^3] \quad (25)$$

$$C_{TM} = \sum g_i \cdot c_i [W \cdot s / kg \cdot ^\circ C] \quad (26)$$

$$\lambda_{TM} = \sum g_i \cdot \lambda_i [W / m \cdot ^\circ C] \quad (27)$$

$$v_{apa} = 1.516 \cdot 10^{-7} + 1.842 \cdot 10^{-5} \cdot (\frac{1}{T}) - 1.678 \cdot 10^{-5} \cdot (\frac{1}{T^2}) \quad (2.24)$$

$$v_{glcol} = -2.44 \cdot 10^{-6} + 4.537 \cdot 10^{-4} \cdot (\frac{1}{T}) - 4.033 \cdot 10^{-4} \cdot (\frac{1}{T^2}) \quad (2.25)$$

Formulele (2.24) și (2.25) sunt valabile dacă $T > 1$

formulele:

$$\lambda_{apa} = 0.554 + 0.00217 \cdot T - 9.111 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \quad (2.26)$$

$$\lambda_{glicol} = 0.304 - 0.00075 \cdot T \quad (2.27)$$

$$Q_{apa} = 1000.2 - 0.05957 \cdot T - 0.003643 \cdot T^2 \quad (2.28)$$

$$Q_{glicol} = 1129 - 0.2725 \cdot T - 0.00687 \cdot T^2 \quad (2.29)$$

$$C_{apa} = 4214.9 - 1.392 \cdot T + 0.0144 \cdot T^2 \quad (2.30)$$

$$C_{glicol} = 2249.75 + 4.0375 \cdot T + 0.008125 \cdot T^2 \quad (2.31)$$

$$\Delta T_{IM} = (T_{ki} - T_{be}) = \frac{4 \cdot Q_{IM}}{v_{IM} \cdot D^2 \cdot \pi \cdot c_{IM} \cdot Q_{IM}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.32)$$

$$G_h = \frac{60000 \cdot Q_{IM}}{c_{IM} \cdot Q_{IM} \cdot (T_{ki} - T_{be})} \quad [\text{l/s}] \quad (2.33)$$

$$G_h = m \cdot G_h \quad [\text{l/s}] \quad (2.34)$$

$$v_{IM} = \frac{G_h}{15000 \cdot D^2 \cdot \pi} \quad [\text{m/s}] \quad (2.35)$$

2.4.5.3. Determinarea debitului fluidului de răcire

T_{hi} = temperatura de ieșire a fluidului de răcire :

T_{be} = temperatura de intrare a fluidului de răcire ,se va obtine folosind formulele (2.33, 2.34, 2.35).

2.4.5.3.1. Efectuarea dimensionării

Cunoscându-se datele necesare pentru dimensionarea rețelei de răcire, este necesar să se prevadă numărul Raynolds cu formula (2.22). Din moment ce D și v_{TM} sunt date sau pot fi considerate mărimi cunoscute în prealabil v_{TM} trebuie să fie determinat în așa fel încât $Re = 4000 - 8000$. Valoarea lui v_{TM} este de $0.3 - 0.8$ m/s , în funcție de presiunea de la rețea.

Chiar și pentru determinarea lui v_{TM} este necesară prevederea unei valori T_M , astfel ca v_{TM} , δ_{TM} , C_{TM} și λ să aibe valori determinabile cu ajutorul formulelor (2.28....2.29). După terminarea calculului din formula (2.12) rezultă pentru T_o “valoare calculata”. Dacă aceasta valoare calculata diferă cu $\pm 30\%$ de cea prevăzuta, atunci calculele se repetă cu un T_M modificat. Dacă T_M prevăzut se dovedeste corespunzător, proiectantul trebuie să se convingă

dacă întreprinderea are vreun sistem de răcire capabil să furnizeze apa de răcire de temperatura T cu debitul de G_h . Este de dorit de $\Delta T_1 = T_{ics} - T_{intr} = 1 \dots 6 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Observație

Pentru efectuarea rapidă și precisă a calculelor se utilizează un program de calcul specializat care permite determinarea corectă a tuturor calculelor necesare după introducerea datelor inițiale. Cu ajutorul acestui sistem de calcul se pot elabora mai multe variante, obținându-se în final varianta optimă. În continuare se prezintă un exemplu de calcul cu datele prezentate mai jos:

Exemplu

Se dimensionează răcirea matriței proiectate care este prezentată în capitolul 5, materialul ales pentru studiu este polistirenul.

Datele inițiale sunt următoarele:

- materialul plastic de prelucrat: polistiren (PS)
- în apa de răcire nu este amestecat etilglicol.
- materialul părții active ale matriței: oțel nealiat.
- $g_1 = 28,4\text{g}$
- $t_{ciclu} = 20\text{s}$
- $T_M = 212^\circ\text{C}$
- $T_E = 53^\circ\text{C}$
- $T_W = 41^\circ\text{C}$
- $T_U = 20^\circ\text{C}$
- $H = 0,246\text{m}$
- $S_z = 0,114\text{m}$
- $M = 0,052 + 0,052 = 0,104\text{m}$
- $m = 2$
- $n = 4$
- $a = 0,246\text{m}$
- $A = 0,150\text{m}$
- $B = 0,090\text{m}$
- $b = D = 0,008\text{m}$
- $L_w = 0,022\text{m}$.

Prima aproximare va fi $T_{preliminar} = 35^\circ\text{C}$.

2.4.5.4. Stabilirea cantității de căldură evacuată la răcire

Conform formulei (2.24) se va obține:

$$v_{\text{apă}} = 1,516 \cdot 10^{-7} + 1,842 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{1}{35}\right) - 1,678 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{3}{35^2}\right) = 6,6418776 \cdot 10^{-7} \text{ [m}^2/\text{s]}$$

Din formula (2.26) se va obține :

$$\lambda_{\text{apă}} = 0,554 + 0,00217 \cdot 35 - 9,111 \cdot 10^{-6} \cdot 35^2 = 6,1878903 \cdot 10^{-1} \text{ [W/m} \cdot \text{°C]}$$

Din formula (2.28) rezultă:

$$\rho_{\text{apă}} = 1000,2 - 0,05957 \cdot 35 - 0,003643 \cdot 35^2 = 993,652375 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Din formula (2.30) se va obține:

$$C_{\text{apă}} = 4214,9 - 1,392 \cdot 35 + 0,0144 \cdot 35^2 = 4283,82 \text{ [W} \cdot \text{s/kg} \cdot \text{°C]}$$

Cu presupunerea că $Re = 8000$, din formula (2.18) rezulta:

$$8000 = \frac{V_{TM} \cdot 0,008}{6,6418776 \cdot 10^{-7}} \text{ din care } V_{TM} = 6,641\ 877\ 6 \cdot 10^{-1} \text{ [m/s] valoare acceptabilă}$$

Entalpiile citite din curba PS sunt :

$$E_{212}^{\text{°C}} = 340 \text{ (extrapolat) [kJ/kg]}$$

$$E_{53}^{\text{°C}} = 44$$

$$\Delta E = 296 \text{ [kJ/kg]} = 296 \text{ [w} \cdot \text{s/g]}$$

Din formula (2.7) rezulta:

$$G_a = \frac{28,4}{20} = 1,42 \text{ [g/s]} = 1,42 \cdot 3600 = 5,112 \text{ [kg/h]}$$

Din formula (2.1) rezulta:

$$Q_{\text{total}} = 296 \cdot 1,42 = 420,32 \text{ [w]}$$

Din formula (2.5) rezulta:

$$A_s = 2 \cdot (0,246 + 0,114) \cdot 0,104 = 0,07488 \text{ [m}^2\text{]}$$

Din formula (2.4) rezulta:

$$Q_k = 0,07488 \cdot 8 \cdot (41-20) = 12,579\ 84 \text{ [w]}$$

$$A_a = 2 \cdot 0,246 \cdot 0,114 = 0,056\ 088 \text{ [m}^2\text{]}$$

Din formula (2.6) rezultă:

$$Q_v = 0,056088 \cdot 84 \cdot (41-20) = 98,939\ 23 \text{ [w]}$$

Din formula (2.2) rezultă:

$$Q_s = 0,074\ 88 \times 0,25 \times 5,77 \times \left[\left(\frac{41 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] = 2,539\ 548 \text{ [w]}$$

Din formula (2.3) rezultă:

$$Q_u = 12,579\ 84 + 98,939\ 23 + 2,539\ 548 = 114,058618\ [\text{w}]$$

din formula (2.2) rezultă:

$$Q_{TM} = 420,32 - 114,058\ 618 = 306,261\ 382\ [\text{w}]$$

2.4.5.5. Determinarea temperaturii medii și încălzirii lichidului de răcire

$m = 2$. rezultă din formula :(2.15)

$$Q'_{TM} = 153,13069\ [\text{w}]$$

$n = 4$.rezulta din formula :(2.16)

$$B = 4 \cdot 0,008 = 0,032\ [\text{m}]$$

Conform formulei (2.23)se va obține:

$$P_r = \frac{6,6418776 \cdot 10^{-7} \cdot 993,652375 \cdot 4183,82}{6,1878903 \cdot 10^{-1}} = 4,462\ 268\ 8$$

Conform formulei (2.20)se obține :

$$N\mu = 0,037 \times (8000^{0,75} - 180) \times 4,462\ 268\ 8^{0,42} \times \left[1 + \left(\frac{0,008}{4 \cdot 0,246} \right)^{0,67} \right] = 48,013\ 949$$

pe baza formulei (2.19) rezultă:

$$\alpha = \frac{48,013949 \cdot 6,1878909 \cdot 10^{-1}}{0,008} = 3713,8131\ [\text{w/m}^2 \cdot \text{°C}]$$

din formula (2.17) rezultă:

$$T_2 = \frac{153,13069}{3713,831 \cdot 0,008 \cdot \lambda \cdot 4 \cdot 0,216} = 1,667\ 274\ 95\ [\text{°C}]$$

Din formula (2.14) va rezulta:

$$T_1 = \frac{153,13069 \cdot 0,022}{52} - \left[\frac{\ln\left(\frac{0,15 \cdot 0,032}{0,246 \cdot 0,09}\right)}{0,15 \cdot 0,032 - 0,246 \cdot 0,09} \right] = 5,7118216\ [\text{°C}]$$

$$T = 41 - 5,7118216 - 1,66727495 = 33,62090341\ [\text{°C}]$$

Conform presupunerii facute că $T = 35\text{°C}$, diferența este de $- 1,379\ \text{°C}$, deci evaluare corectă.

3. STUDIU PRIVIND OPTIMIZAREA TEMPERATURII MATRIȚELOR DE INJECTAT DIN OȚEL

3.1. Introducere

Modul de temperare a unei matrițe de injectat are o influență foarte mare asupra calității produsului indiferent de forma, mărimea și materialul din care este confecționat.

Controlarea procesului de injectare a materialelor termoplastice presupune, pe lângă cunoașterea proprietăților materialelor și influența reciprocă a unor parametrii. Unul dintre cei mai importanți factori care influențează procesul de injectare este temperatura matriței.

Temperatura matriței, în general, trebuie să urmărească două criterii principale:

- calitatea piesei injectate atât din punct de vedere dimensional cât și din punct de vedere al calității suprafețelor, condiții care sunt influențate direct de uniformitatea temperaturii pe întreaga suprafață a matriței, precum și mărimea temperaturii ei,
- timpul unui ciclu de injectare cât mai mic încercându-se evacuarea cât mai rapidă a căldurii din matriță.

Proiectarea sistemului de răcire a matrițelor de injectat nu este tratat întodeauna cu o importanță deosebită, atât în ceea ce privește dimensionarea cât și forma lui. Un sistem de răcire nepotrivit poate să ducă la stări de tensiune care nu sunt evidențiate uneori la piesele foarte mici, dar în cazul pieselor mari problemele se intensifică foarte mult datorită proiectării și uneori execuției, ducând atât la scăderea productivității cât și a calității produselor injectate.

În continuare va fi studiat procesul de răcire rezultând ecuații cu care se poate dimensiona un sistem de răcire. Dimensionarea sistemului de răcire este fără îndoială o temă complexă astfel încât și în literatura de specialitate, la anumite întrebări cu greu se pot da răspunsuri mulțumitoare. Ecuațiile tehnice ale căldurii sunt cunoscute, soluțiile lor fiind date de computere sau de tabele tehnice de calcul, cu toate acestea soluția potrivită, uneori este foarte greu de găsit. Pereții cuibului matriței se încălzesc într-un ritm asemănător injectării masei de material topit, prin aceasta apare o diferență de temperatură mai mare între matriță și apa de răcire, cu o influență de răcire mai intensă. La deschiderea matriței și aruncarea piesei injectate cuibul matriței se răcește în primul rând de la mediul înconjurător, temperatura suprafeței cuibului matriței schimbându-se în timpul unui ciclu.

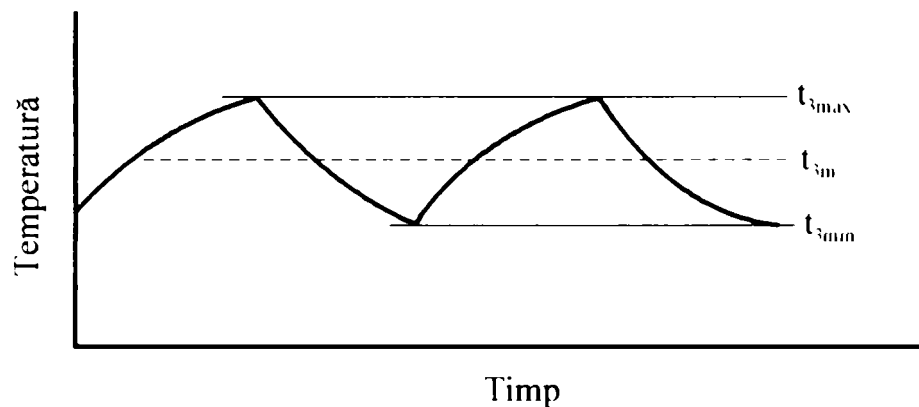


Fig.3.1. Reprezentarea temperaturii cuibului pe parcursul unui ciclu de injecție.[73]

3.2. Calculul sistemului de răcire a matrițelor de injectat

Cantitatea de căldură transportată

Pentru cantitatea totală de energie Q se dă:

$$Q = n \cdot \Delta_i \cdot G \text{ [Kj /h]} \quad (3.1)$$

n = numărul de injecții [l/h]

Δ_i = diferența de entalpie a materialului plastic la intrarea în matriță (t_{1max}) și la sfârșitul răcirii (t_{1min}) în kj/Kg

G = greutatea unei injecții inclusiv rețeaua în kg [73.105].

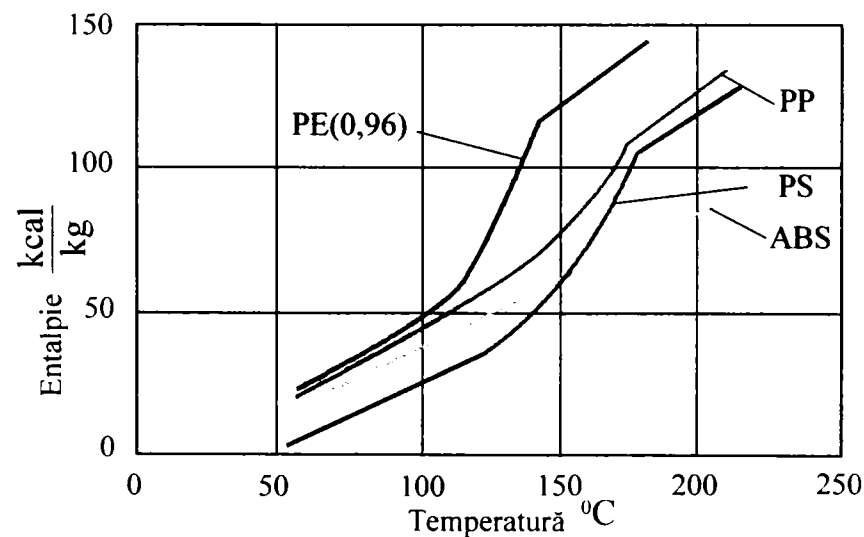


Fig. 3.2. Entalpia unor materiale plastice analizate în funcție de temperatură [56,73].

Pentru unele materiale plastice Δ_i se ia din fig.3.3. în rest se dă aproximativ:

$$\Delta_i = c_p(t_{1max} - t_{1min}) \quad (3.2)$$

c_p = căldura specifică

De la matriță căldura este dusă în mod natural prin convecție.

Transmisia căldurii prin radiație este mică ca ordin de mărime și se poate regla.

Prin convecție se transmite mediului cantitatea de căldură Q_1

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot F(t_{2m} - t_0) \quad (3.3)$$

α_1 = coeficient de transmitere a căldurii în $\text{Kj/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$

F = suprafața matriței în m^2

t_{2m} = temperatura medie a matriței în $^\circ\text{C}$

t_0 = temperatura aerului mediului ambiant în $^\circ\text{C}$

Pentru α_1 se dă în (3.3) următoarea ecuație:

$$\alpha_1 = A_3 \cdot \Delta t^{\frac{1}{3}} \quad (3.4)$$

Valorile lui A_3 se dau tabelar având la bază rezultate din experiență cu ajutorul calcului prin regresiune rezultă $0^\circ\text{C} < t_{2m} < 300^\circ\text{C}$.

$$A_3 = \left(0,25 + \frac{360}{t_{2m} + 300} \right) \cdot 4,1868 \quad (3.5)$$

$$\text{Prin aceasta: } Q_1 = \left(0,25 + \frac{360}{t_{2m} + 300} \right) \cdot 4,1868 \cdot F(t_{2m} - t_0)^{\frac{4}{3}} \quad (3.3a)$$

Cantitatea de căldură astfel definită este valabilă pentru un plan vertical la suprafața peretelui, valoarea referindu-se după aceea la α_1 . La cele orizontale deasupra suprafețelor ajustate ia naștere o abatere de +30%, la orizontale suprafețele ajustate -30% [73,75].

3.2.1 Temperatura medie a peretelui cuibului matriței

În cuibul matriței materialul plastic se răcește la contactul cu peretele rece al matriței care se încălzește simultan, cantitatea de căldură rămasă $Q_2 = Q - Q_1$ care este temperatura din matriță [73].

$$Q_2 = \alpha_2 f (t_{1m} - t_{3m}) \tau \quad [\text{kJ/h}] \quad (3.6)$$

$$\text{cu } (t_{1m} - t_{3m}) = Q_2 / \alpha_2 f \tau \quad \text{dat} \quad (3.7)$$

unde f -suprafața piesei injectată în m^2 ,

τ -reprezintă raportul timp de injectare pe timpul de presiune ulterioară pe timpul total de ciclu,

α_2 -coeficientul de transfer de căldură între materialul plastic și matriță=1549 $\text{Kj/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$.

Se cunoaște că la transferul de căldură între două medii, dintre care unul cedează, celălalt primește, în locul temperaturii medii se utilizează o valoare medie logaritmică a temperaturii.

$$(t_{1m} - t_{3m}) = \frac{0.4343[(t_{1\max} - t_{3\min}) - (t_{1\min} - t_{3\max})]}{\lg\left(\frac{t_{1\max} - t_{3\min}}{t_{1\min} - t_{3\max}}\right)} \quad (3.8)$$

În ecuația (3.8) $t_{1\max}$ rezultă din proces tot astfel se poate considera o temperatură medie optimă t_{3m} a cuibului matriței și deviația de temperatură la peretele cuibului t_{3a} , de exemplu $\pm 10^\circ\text{C}$.

Trebuie calculate în continuare $t_{3\min}$ și $t_{3\max}$

$$t_{3\min} = t_{3m} - t_{3a} \quad (3.9)$$

$$t_{3\max} = t_{3m} + t_{3a} \quad (3.10)$$

În continuare se calculează diferența $t_{1\max} - t_{3\min}$ și apoi diferența

$t_{1m} - t_{3m} = Q_2/\alpha_2 f \tau$. Din cele două valori rezultă ca și punct de intersecție diferența $t_{1\min} - t_{3\max}$. Dacă de aici rezultă o valoare prea mare pentru temperatura piesei injectate $t_{1\min}$ (peste temperatura de demulare) calculul trebuie reluat.

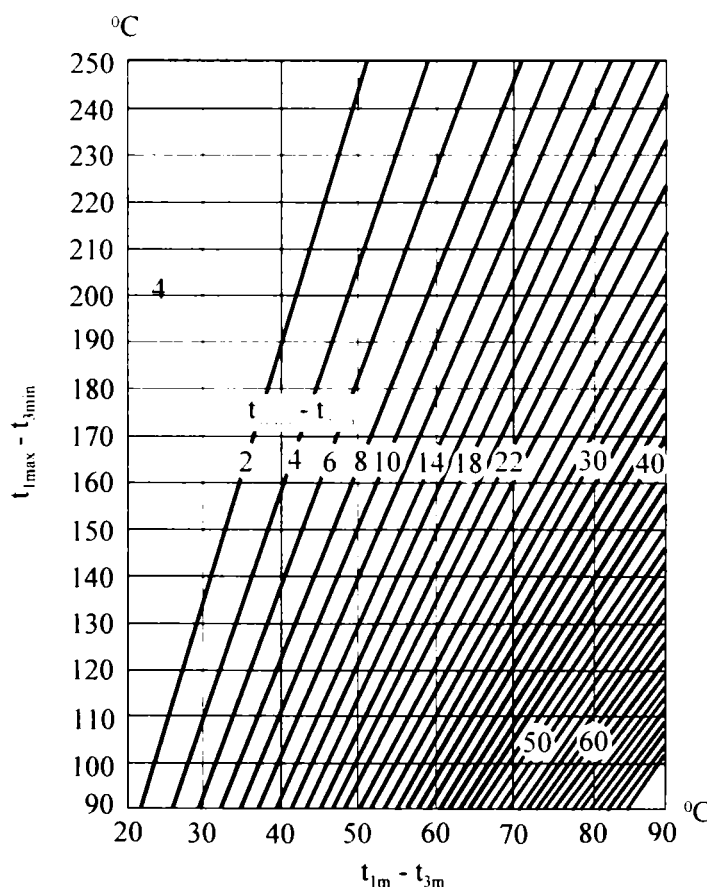


Fig.3.3. Diagramă pentru stabilirea diferenței de temperatură $t_{1\min} - t_{3\max}$ [73,75,99]

3.2.2 Rezistența la căldură a corpului matriței

Cantitatea de căldură care trebuie extrasă din piesa injectată e condusă din peretele cuibului matriței prin conducta caldă din corpul matriței în apa de răcire care curge în orificiile de răcire.

Cantitățile de căldură cuprinse între plane paralele pot fi stabilite cu formula Fourier după cum urmează:

$$Q = \frac{1}{\delta} \cdot \phi \cdot \Delta t \text{ [kJ/h]} \quad (3.11)$$

Această relație poate fi scrisă și sub forma:

$$Q = \frac{\delta}{l \cdot \phi} = \Delta t = t_{3m} - t_{4m} \quad (3.11a)$$

δ = grosimea de perete dintre cavitatea matriței și alezajul de răcire în m,

l = lungimea alezajului de răcire în m,

Φ = secțiunea suprafeței conducătoare de căldură dintre cavitatea matriței și orificiul de răcire în m^2 ,

t_{4m} = temperatura peretelui orificiului de răcire în $^{\circ}C$ [73].

Valoarea $\frac{\delta}{l \cdot \phi}$ o numim rezistență la căldură. ea se simbolizează de obicei în

literatură cu R_v . Relația (3.11) este valabilă doar pentru cazul planelor paralele, unde secțiunile de intrare și ieșire au același conținut de suprafață. Nu este cazul matrițelor de injectat. Aici avem pe de o parte suprafața caldă a matriței și pe de altă parte suprafața rece a orificiului de răcire, astfel încât e necesară stabilirea cât mai apropiată a valorii Φ .

Să presupunem că secțiunea de transfer de căldură e limitată prin plane și dimensiunile sale cresc proporțional cu depărtarea de sursă. Această presupunere e doar parțial valabilă, deoarece și în afara limitelor e condusă căldura. Corespunzător principiului rezistenței minime se poate totuși presupune că cea mai mare parte a căldurii pornește în linie dreaptă conform considerațiilor de mai sus astfel se poate neglija căldura disipată în afara acestei secțiuni. Dacă Φ este funcție de depărtarea x , atunci avem:

$$dR_v = \frac{1}{\delta} \cdot \frac{d \cdot \chi}{\phi(x)} \quad (3.12)$$

$$\text{respectiv } R_v = \frac{1}{\lambda} \int_0^l \frac{d\chi}{\phi(\chi)} \quad (3.12.a)$$

λ = coeficient de conducție ($\lambda = 176 \text{ KJ/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$)

L = distanța orificiului de răcire față de cuibul matriței în m

Secțiunea cea mai mică are dimensiunile a și b (fig.3.5), secțiunea cea mai mare dimensiunile A și B

Pentru poziția χ se poate scrie :

$$\Phi(\chi) = zy \quad (3.13)$$

Dacă $\tau\phi = M$ și $\tau\Psi = m$ rezultă:

$$z = a + M\chi \quad (3.14)$$

$$y = b + m\chi \quad (3.15)$$

$$\Phi(\chi) = (a + M\chi)(b + m\chi) \quad (3.16)$$

$$R_v = \frac{1}{\lambda} \int_0^L \frac{d\chi}{(a + M\chi)(b + m\chi)} \quad (3.12b)$$

După integrare se obține:

$$R_v = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{Mb - ma} \right) \ln \left(\frac{\frac{Ml + a}{mL + b}}{\frac{a}{b}} \right) \quad (3.17)$$

$$R_v = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{2.3L}{(A - a)b - (B - b)a} \right) \lg \left(\frac{A}{a} \right) \left(\frac{b}{B} \right)$$

$$\text{Pentru } \frac{A}{B} = \frac{a}{b} \Rightarrow \frac{0}{0}, \text{ pentru acest caz } \Rightarrow R_v = \frac{1}{\lambda} \frac{2.3L}{aB} \quad (3.17b)$$

Pentru miezuri și elemente similare cu pereți groși răciți interior are loc relația:

$$R_v = \frac{2.3}{2\pi\lambda l_{miez}} \lg \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \quad (3.17c)$$

unde l_{miez} - lungimea miezului în m,

d_1 = diametrul interior al miezului în m,

d_2 = diametrul exterior al miezului în m

Deoarece matrițele de injectat au adesea mai multe cuiburi și orificii de răcire, rezistențele la căldură între diferitele cuiburi și orificiile de răcire sunt diferite. Rezistența

$$\text{totală la căldură sub forma: } \frac{1}{R_v} = \sum \frac{1}{R_{v_i}} \quad (3.18)$$

Cu ajutorul lui R se poate formula condiția de obținere a cantității de căldură dorite în orificiul de răcire [73].

$$Q_2 R_v = t_{3m} - t_{4m} \quad (3.19)$$

$$t_{4m} = t_{3m} - Q_2 Rv \quad (3.19a)$$

În orificiul de răcire căldura este preluată prin convecție de la mediul de răcire, obeste vorba aici de o curgere turbulentă.

$$R_e = \frac{\omega \cdot d}{\nu} \geq 2320 \quad [105] \quad (3.20)$$

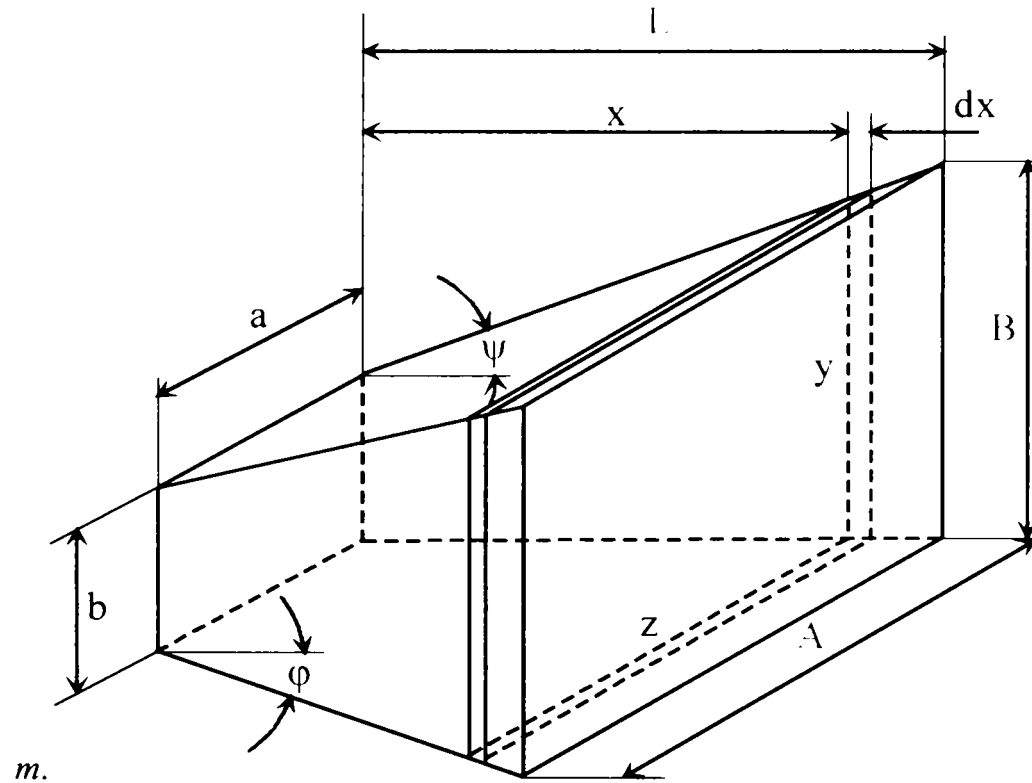


Fig. 3.4. Imagine ajutătoare pentru calculul rezistenței la căldură a corpului matriței.

3.2.3 Transferul de căldură dintre orificiul de răcire și apa de răcire

Trebuie îndeplinită relația (3.20) unde: R_e = numărul lui Reynolds, ω = viteza de curgere a mediului de răcire în m/s, d = cu diametrul orificiului de răcire în m, ν = vâscozitatea cinematică în m^2/s . Valorile de vâscozitate sunt date în fig.3.5.

În intervalul de cifre Reynolds dintre 2320 și 6000 are loc o stare de tranziție din care curgerea nu e sigur turbulentă. Pentru siguranță se prevăd cifre R_e între 3000 și 6000

$$\omega d = (3000 - 6000) \quad (3.21)$$

Cantitatea de căldură evacuată pe oră este:

$Q_2 = Q - Q_1$ unde

$$Q_2 = \gamma \frac{d^2 \pi}{4} 3600 w (t_{5\text{iesire}} - t_{5\text{intrare}}) [\text{kJ/h}] \quad (3.22)$$

t_2 = temperatura apei de răcire,

c = căldura specifică în $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$. Pentru apă $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ și $c = 4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

Dacă în relația (3.22) se introduce $w = (3000 - 6000) \text{ v/d} \Rightarrow$

$$d = \frac{Q_2}{(9 - 17) \cdot (t_{5\text{iesire}} - t_{5\text{int}}) 10^9} \text{ m} \quad (3.23)$$

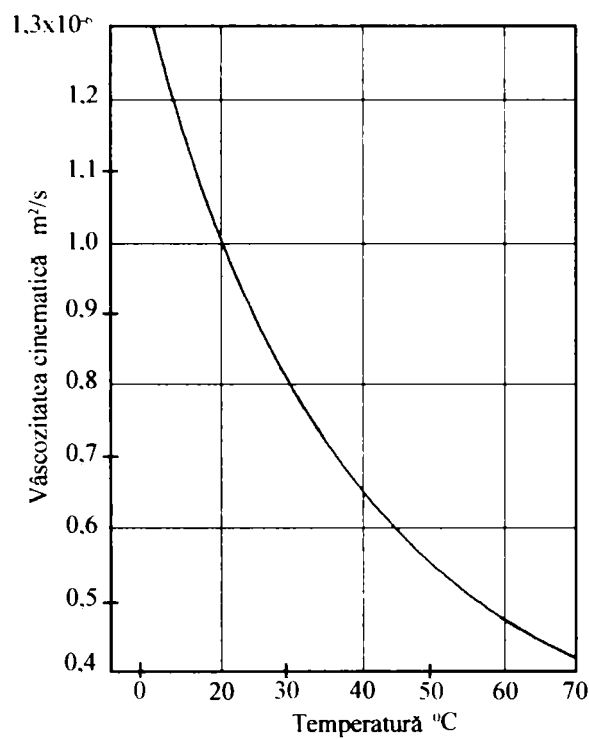


Fig.3.5. Vâscozitatea cinematică a apei.[73]

Valorile uzuale în practică pentru d sunt 0,008 și 0,025, iar pentru ω 0,5 și 5 m/s. Cantitatea de apă care curge prin secțiunea orificiului de răcire se calculează cu:

$$S = d^2 \pi w / 4 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3.24)$$

$$\text{respectiv } S = 2830 d^2 w \text{ m}^3/\text{h} \quad (3.25)$$

În practică se stabilește viteza de curgere din căderea de presiune în sistemul de răcire

$$w = \sqrt{\Delta p \frac{d}{l}} \quad (3.26)$$

cu Δp = diferența de presiune între intrarea și ieșirea apei de răcire și l = lungimea totală a tuturor orificiilor de răcire (inclusiv armături, coturi etc.).

Temperatura de intrare a apei de răcire e condiționată: la utilizarea de apă proaspătă t_2 (intrare) nu scade sub 20°C , în cazul apei recirculate nu scade sub $25 - 28^\circ\text{C}$.

Pentru transferul de căldură prin convecție avem:

$$Q_2 = \alpha_3 \Phi (t_{4m} - t_{5m}) \quad (3.27)$$

α_3 = coeficientul de transfer de căldură dintre matriță și apa de răcire în $\text{kJ/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$,

φ = suprafața orificiului de răcire în m^2 ,

t_{5m} = temperatura medie a apei de răcire în $^\circ\text{C}$. α_3 este funcție de viteza de curgere w și diametrul d al orificiului de răcire

$$\alpha_3 \approx 1755(1 + 0.015t_{5m})(w^{0.87}/d^{0.13}) [104,105] \quad (3.28)$$

Propriuzis în relația (3. 28) trebuie considerată valoarea medie logaritmică a lui t_5 și anume 0,015 din aceasta. Valorile pentru $d^{0.13}$ și $w^{0.87}$ pot fi luate din fig.3.6 și 3.7.

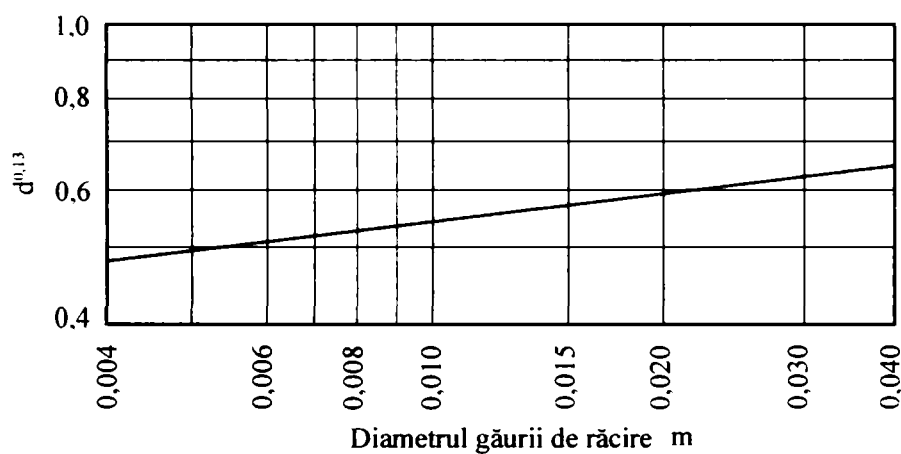


Fig.3.6 Diagrama pentru stabilirea valorii $d^{0.13}$ [73]

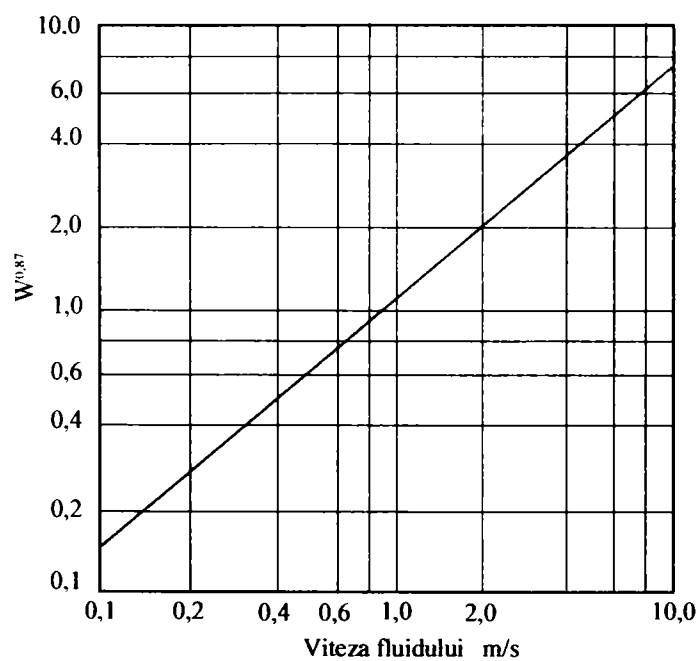


Fig.3.7. Diagrama pentru stabilirea valorii $w^{0.87}$ [73]

La valorile uzuale în practică pentru d și ω se poate considera $d^{0.13}$ aproximativ 0.55 și $\omega^{0.87}$ aproximativ ω astfel încât relația (3.28) să se simplifice la

$$\alpha_3 \approx 1755(1+0.015t_{5m})w/0.55 \quad (3.28a)$$

Suprafața φ a orificiilor este:

$$\sum \varphi = d\pi l \quad (3.29)$$

cu l = lungimea totală a orificiilor de răcire în m ținând cont că

$$Q_2 = 1755(1+0.015t_{5m})w/0.55 d\pi l(t_{4m}-t_{5m}) \quad (3.27a)$$

respectiv cu relația (3.25) rezultă pentru lungimea totală a orificiilor de răcire

$$l = \frac{Q_2 d}{3.53S(1+0.015t_{5m})(t_{4m}-t_{5m})} \quad (3.30)$$

3.3. Determinarea ecuației generale de bilanț termic în matriță

Temperatura matriței (fig.3.8), este factorul hotărâtor pentru viteza de răcire și proprietățile reperului injectat, ea se stabilește în funcție de schimbul de căldură care are loc în matriță:

- între materialul termoplast ic injectat în matriță și materialul matriței Q ;
- între matrița și mediul de temperare Q_T ;
- între matrița și mediul
- înconjurător (platourile mașinii de aer) Q_E .

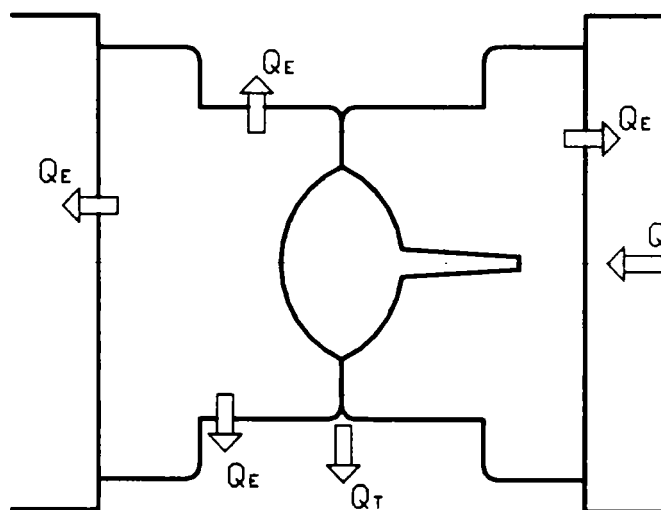


Fig. 3.8. Schimbul de căldură ce are loc în cazul unei matrițe de injectat [74,100].

Dacă considerăm fluxurile termice care pătrund în matriță ca pozitive, iar fluxurile termice care ies din matriță ca negative, atunci putem scrie ecuația de bilanț termic:

$$Q = -Q_T - Q_E, [74,100]. \quad (3.31.)$$

rezultând ecuația : $Q + Q_F + Q_T = 0$.

(3.32.)

Ecuația exprimă faptul că volumul de căldură care este preluat de matriță este identic cu de volumul de căldură cedat de matriță, în momentul în care temperatura matriței este constantă în timp.

În funcție de temperatura matriței necesară unui anumit material termoplastic există trei cazuri distincte care sunt prezentate în tabel. 3.1.

De asemenea există posibilitatea determinării aprofundate a fiecărui termen al ecuației de bilanț termic .

3.3.1. Transferul de căldură între materialul plastic și matriță

Materialul plastic injectat în cuibul matriței cedează în cursul unui ciclu de injectare. corpului matriței, cantitatea de căldură Q , care se calculează cu relația:

$$Q = m(i_2 - i_1), \quad (3.33)$$

unde :

- m - masa piesei injectate, inclusiv rețeaua [Kg];
- i_1 - entalpia materialului plastic la demulare [Kj/Kg].
- i_2 - entalpia materialului plastic la intrarea în matriță [Kj/Kg];

Entalpia materialului plastic se calculează cu relația :

$$D_i = i_2 - i_1 = c_p(T_{Mp} - T_D), \quad (3.34)$$

unde :

- c_p – căldura specifică a materialului plastic ;
- T_{Mp} – temperatura materialului în cuib;
- T_D – temperatura de demulare [5,74].

În tabelul 3.2. sunt prezentate căldurile specifice pentru diferite materiale, iar entalpia se reprezintă în *fig.3.2.*

Conducția în matriță. Cantitatea de căldură evacuată de piesă este preluată prin conducție de către matriță și transportată la mediul de temperare. Se consideră fenomenul de transfer conductiv staționar într-un perete plan omogen.

Cantitatea de căldură Q se determină cu relația

$$Q = \frac{\lambda_M}{\delta} S(T_{pc} - T_{pT}) \quad \text{unde:} \quad (3.35)$$

- λ_M - conductibilitatea termică a matriței [W/mK];

- δ - distanța canalului de temperare față de suprafața matriței [m];
- S – suprafața transversală activă a matriței [m²];
- T_{pc} - temperatura medie la peretele cavității [°K];
- T_{pT} - temperatura medie la peretele canalului de temperare [°K].

Tab.3.1. Cazuri de temperare la o matriță de injectat[73,74].

Nr.c az	Domeniul temperaturii matriței T_M	Tipul transferului termic	Mediul de temperare
1	$T_M = 75 \dots 100^\circ\text{C}$	$Q > 0$ $Q_E > 0$ $Q_T > 0$	Apa sau ulei de la un aparat de temperare. $T_T = 80 \dots 120^\circ\text{C}$
2	$T_M = 25 \dots 75^\circ\text{C}$	$Q > 0$ $Q_E < 0$ $Q_T < 0$	Apa da la un aparat de temperare. $T_T = 40 \dots 80^\circ\text{C}$
3	$T_M < 25^\circ\text{C}$	$Q > 0$ $Q_E > 0$ $Q_T < 0$	Apa da la un aparat de temperare. $T_T = -5 \dots +10^\circ\text{C}$

Un rol foarte important la transferul termic conductiv din matriță îl are conductibilitatea termică a materialului matriței. În tabelul 3.3 se prezintă conductivitatea termică pentru câteva materiale.

Tab.3.2. Călduri specifice și cantități de căldură eliberate pentru materialele plastice[73,100].

Material	Căldura specifică [kcal/kg ⁰ C]	Cantitatea de căldură eliberată [kcal/kg]
Polipropilenă	0,71	37
PS	0,72	42
ABS	0,56	40
PEID	0,72	38

3.3.2. Transferul de căldură în interiorul matriței

În urma studiului efectuat se constată faptul că transferul termic în interiorul matriței se realizează în două moduri:

- prin radiație, în aer.
- prin convecție, către platourile de prindere ale mașinii;

Cantitatea de căldură Q_E dintre matriță și mediul înconjurător (platourile mașinii și aer) se determină cu relația: $Q_E = Q_R + Q_c$ (3.6)

unde:

- Q_R – pierderi de căldură prin radiație.
- Q_c – pierderi de căldură prin convecție;

Datorită faptului că pierderile de căldură prin convecție sunt foarte mici chiar și în cazul când temperatura matriței este ridicată ($T_M = 100 \dots 140 \text{ } ^\circ\text{C}$), ele nu se iau în considerare, $Q_c = 0$.

Relația (3.36) devine

$$Q_E = Q_R. \quad (3.37)$$

Transferul termic prin radiație de la matriță spre exterior se calculează cu relația:

$$Q_R = S_M e C_0 \left(\frac{T_{Ms}}{100} \right)^4 \quad (3.38)$$

unde:

- S_M – suprafața liberă a matriței în contact cu aerul înconjurător [m^2];
- e – coeficientul de emisie [m^2];
- C_0 – constanta lui Stefan-Boltzman [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$];
- T_{Ms} – temperatura la suprafața unei matrițe [$^\circ\text{K}$].

Relația (3.38) nu ia în considerare reflexia căldurii corpurilor din vecinătate, precum și emisia căldurii prin radiație pe suprafețele planului de deschidere al matriței.

Studiile teoretice și practice efectuate m-au făcut să cred că pierderile de căldură în exteriorul matriței pot fi îmbunătățite aplicându-se unele metode cum ar fi:

- utilizarea unor plăci izolatoare între matrițe și platourile de prindere ale mașinii.
- folosirea unor matrițe cu suprafețe foarte bine lustruite;
- temperarea platourilor unde este strict necesar.

3.3.3. Transferul de căldură între matriță și mediul de temperare.

Transferul termic de la matriță (mediul solid) la mediul de temperare (mediul lichid) se face prin convecție și se poate exprima prin relația

$$Q = S_T a_T (T_{pT} - T_T), \quad (3.39)$$

unde:

- S_T – suprafața activă a canalelor de temperare [m^2];
- a_T – coeficientul de transfer de căldură al mediului de temperare [W/m^2K];
- T_{pT} – temperatura la perete a canalului de temperare [$^{\circ}K$];
- T_T – temperatura mediului de temperare [$^{\circ}K$] [73,105];

Randamentul unui sistem de temperare este determinat de regimul de curgere prin canale a mediului de temperare.

In cazul curgerii laminare ($R_e < 2500$), coeficientul de transfer de căldură se calculează cu relația:

$$\alpha_T = \frac{\lambda}{d_c} \left[3,65 + \frac{0,0668 \cdot p_e \frac{d_c}{L_c}}{1 + 0,045 \left(p_e \frac{d_c}{L_c} \right)^{2/3}} \right], \quad (3.40)$$

unde:

- d_c – diametrul canalului de temperare [m];
- L_c – lungimea canalului de temperare [m];

Criteriul lui Peclet se calculează cu relația

$$P_e = R_e P_r \quad (3.41)$$

unde:

- R_e – numărul lui Reynolds;
- P_r – numărul lui Prandl.

Pentru criteriul lui Peclet avem relata:

$$P_e = \frac{w_T \cdot d_c \cdot c_p \cdot \rho_T}{\lambda_T} \quad (3.42)$$

unde:

- w_T - viteza medie de temperare [m/s];
- c_p – căldura specifică a mediului de temperare [kJ/kgK];
- ρ_T - densitatea mediului de temperare [kg/m^3];

- a_T – conductibilitatea termică a mediului de temperare [W/mK] [74,105].

Pentru curgere turbulentă ($Re > 3500$), coeficientul de transfer de căldură se calculează cu relația:

$$\alpha_T = 0.04(P_e)^{0.75} \frac{\lambda_T}{d_c} \quad (3.43)$$

Prin calculul numărului lui Reynolds se poate stabili natura regimului de curgere:

$$R_e = \frac{w_T d_c}{\nu_T}; \quad (3.44)$$

unde: ν_T este vâscozitatea cinematică a mediului de temperare.

În relația (3.44) se evidențiază faptul că, coeficientul de transfer de căldură la curgerea laminară scade cu creșterea lungimii canalelor de temperare. Din acest motiv canalele de temperare sunt amplasate în direcția de curgere a materialului.

3.4. Determinarea timpului de răcire în matriță

3.4.1 Determinarea timpului de răcire folosind monograme

Reducerea timpului de răcire duce automat la reducerea timpului total a unui ciclu de injectare. Există posibilitatea reducerii teoretice a timpului de răcire, analizând transferul termic al unei piese injectate în formă de placă .

Astfel se obțin relațiile:

$$t_r = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{4}{\pi} \frac{T_0 - T_M}{T_P - T_M} \right) \quad (3.45)$$

$$t_r = \frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{8}{\pi^2} \frac{T_0 - T_M}{T_A - T_M} \right); \quad (3.46)$$

unde:

- a – difuzivitatea termică [m^2/s];
- s – grosimea plăcii din material plastic [m];
- T_0 – temperatura inițială de prelucrare a materialului plastic [$^{\circ}K$];
- T_M – temperatura medie a matriței [$^{\circ}K$];
- T_P – temperatura maximă în mijlocul piesei injectate la aruncare [$^{\circ}K$];
- T_A – temperatura medie la aruncarea din matriță a piesei injectate [$^{\circ}K$].

Difuzivitatea termică are expresia

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho}; \quad (3.47)$$

unde:

- a – coeficient de conductivitate termică [W/m K];
- c_p – căldura specifică la presiune constantă [J/kgK];
- ρ – densitatea [kg/m³].

Pentru diferite tipuri de forme de injectare în domeniul $4 \leq \frac{T_0 - T_M}{T_p - T_M} \leq 100$ valorile

timpului de răcire pot fi urmărite în tab.3.4. [76,99].

Valorile coeficientului de difuzivitate termică pentru diferite materiale termoplastice se găsesc în tab.3.3.

Tab.3.3 Coeficientul de difuzivitate termică pentru diferite materiale termoplastice[74,100].

<i>Material termoplastic</i>	<i>Coeficient de difuzivitate termică [cm²/s]</i>
Polipropilenă (PP)	$7.6 \cdot 10^{-4}$
Polistiren	$7.3 \cdot 10^{-4}$
Polietilena de înaltă densitate	$7.7 \cdot 10^{-4}$
Policlorură de vinil	$7.8 \cdot 10^{-4}$

Pentru determinarea timpului de răcire se folosește tot relația (3.45). Se determină nomograma pentru determinarea timpului de răcire la diferite materiale termoplastice, în funcție de grosimea de perete a piesei injectate (fig.3.9).

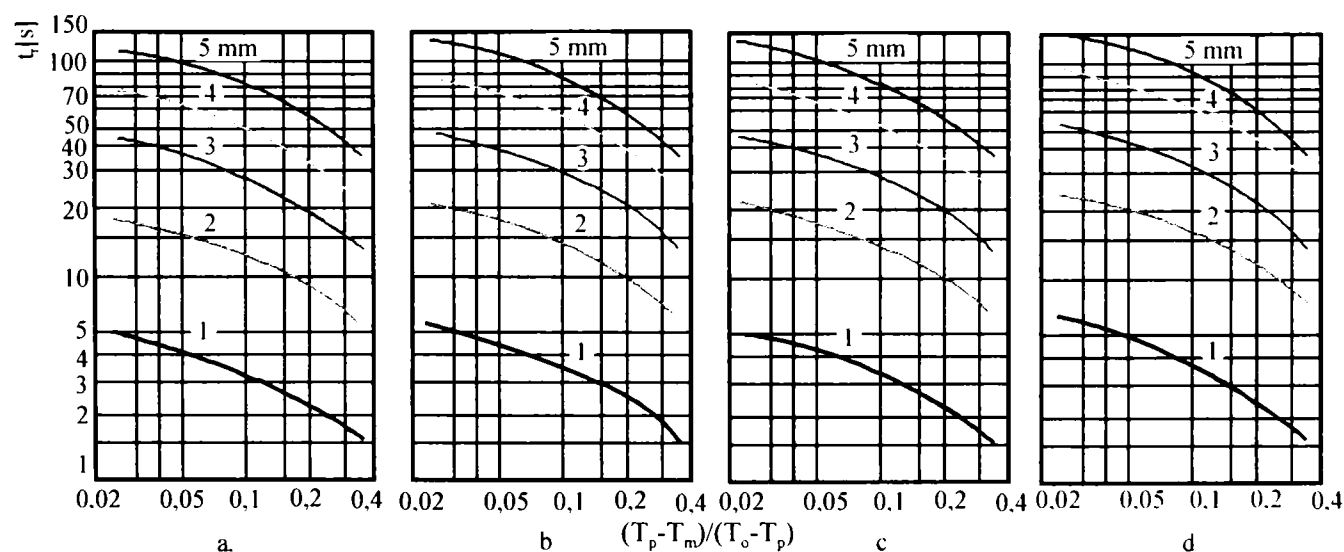


Fig.3.9. Nomograme pentru determinarea timpului de răcire la materialele studiate.
a – polistiren; b – polietilenă de înaltă densitate; c – polipropilenă; d – poliamidă.

Pentru determinarea timpului de răcire se procedează în felul următor:

-se determină raportul $(T_P - T_M)/(T_0 - T_M)$

unde:

- T_P – temperatura maximă în mijlocul piesei injectate la aruncare [$^{\circ}\text{K}$];

- T_M – temperatura medie a peretelui matriței [$^{\circ}\text{K}$];

- T_0 – temperatura inițială de prelucrare a materialului plastic [$^{\circ}\text{K}$];

-cunoscând raportul $(T_P - T_M)/(T_0 - T_M)$ și grosimea de perete a piesei injectate , se calculează timpul de răcire din diagramele din fig.3.9[76].

3.4.2. Determinarea timpului de răcire prin calcul

La materialele termoplastice cu grosimi $s < 5$ mm, se găsește în [20] următoarea relație:

$$t_r = \frac{As^2}{4a} \quad (3.48)$$

unde:

- A – coeficient ;

- s – grosimea peretelui piesei injectate [c];

- a – coeficient de difuzivitate termica [cm^2/s].

Coeficientul A se determină în funcție de raportul $(T_P - T_M)/(T_0 - T_M)$ în tab.3.4 [76,74].

Tab.3.4. Determinarea valorii coeficientului A

$(T_P - T_M)/(T_0 - T_M)$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
A	1,00	0,95	0,78	0,61	0,50	0,39	0,30

Tab. 3.5. Timpul de răcire pentru diferite forme geometrice injectate.

Forma	Dimensiuni	Timpul de răcire t_r	t_r/t_p placa	Eroare relativa [%]		Eroare relativa $=0 (T_0 - T_M)/(T_P - T_M)$
				4	100	
Placă	Grosime s	$\frac{s^2}{\pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{4 T_0 - T_M}{\pi T_P - T_M} \right)$	1	-	-	-
Cilindru	Diametru d Lungime	$\frac{d^2}{23,14 \cdot a} \ln \left(\frac{1,599 T_0 - T_M}{T_P - T_M} \right)$	$0,465 \cdot \left(\frac{d^2}{s} \right)^2$	+3,7	-4,6	10
Con	Diametru d	$\frac{d^2}{4\pi^2 \cdot a} \ln \left(2 \frac{T_0 - T_M}{T_P - T_M} \right)$	$0,250 \cdot \left(\frac{d^2}{s} \right)^2$	+7,6	-8,4	9
Paralelipipe d	Lățimea l înălțime h lungime L	$\frac{1}{\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{h^2} \right) \pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{16 T_0 - T_M}{\pi^2 T_P - T_M} \right)$	$\frac{1,10}{1 + \left(\frac{l}{s} \right)^2}$	+4,6	-4,6	10
Cilindru	Diametru d lungime	$\frac{1}{\left(\frac{23,14}{d^2} + \frac{\pi^2}{L^2} \right) \pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{6,396 T_0 - T_M}{\pi T_P - T_M} \right)$	$\frac{1,20}{23,14 \left(\frac{s}{d} \right)^2 + \left(\frac{s}{L} \right)^2}$	+7,5	-8,3	9
Paralelipipe d	Lățimea l înălțime h lungime L	$\frac{1}{\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{h^2} + \frac{1}{L^2} \right) \pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{16 T_0 - T_M}{\pi^2 T_P - T_M} \right)$	$\frac{1,20}{\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{h^2} + \frac{1}{L^2} \right) s^2}$	+8,3	-8,3	9
Cub	Latura h	$\frac{h^2}{3\pi^2 \cdot a} \ln \left(\frac{64 T_0 - T_M}{\pi^3 T_P - T_M} \right)$	$0,40 \cdot \left(\frac{h^2}{s} \right)^2$	+8,3	-8,3	9

3.4.3 Determinarea ecuației timpului de răcire

Se determină pe cale teoretică relația timpului de răcire în cazul unei piese injectate plane, de asemenea se prezintă relațiile teoretice pentru determinarea timpului de răcire în cazul unor piese injectate de diferite forme geometrice, precum și o nomogramă pentru determinarea timpului de răcire a unei piese injectate de formă plană .

Productivitatea unei mașini de injectat depinde de durata ciclului de injecție. În general simplificând ciclul de injecție, timpul de injecție total este:

$$t_i = t_u + t_r + t_m \quad (3.49)$$

unde: t_u – timp de umplere a matriței

t_r – timp de răcire

t_m – timpi morți (pauza și timpii de închidere și deschidere a matriței) [73].

În cele ce urmează, prin introducerea unor ipoteze simplificatoare, se determină relațiile teoretice pentru determinarea timpului de răcire. Pe această bază, se oferă posibilitatea determinării practice a timpului de răcire în cazul unei piese injectate.

Analizând relația (3.49), se observă că durată ciclului de injecție (t_i) depinde direct de durata timpului de răcire (t_r). Determinarea pe cale teoretică a t_r se face considerând materialul plastic, care curge în cavitatea matriței (fig. 3.10).

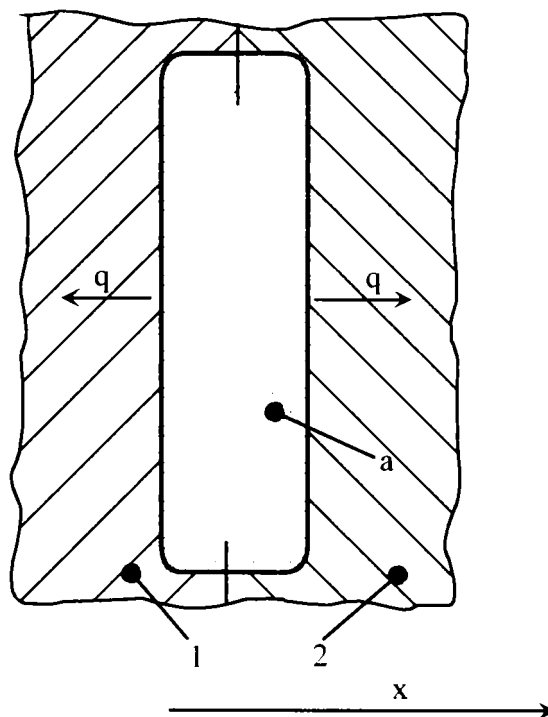


Fig.3.10. Transferul termic în cazul unei piese injectate în matriță:
1,2-plăci de formare; a- piesă injectată; q-flux termic unitar pe direcția x[76].

Se introduc următoarele ipoteze simplificatoare:

- materialul plastic se consideră ca o placă plană cu grosime constantă, răcită pe ambele părți (fețe)
- se neglijează efectele marginale;
- se neglijează anizotropia proprietăților datorită orientării macromoleculilor;
- se neglijează dependența coeficientului de difuzivitate termică de temperatură ;
- transferul de căldură se consideră în exclusivitate conductiv.

Ecuția generală a conducerii în coordonate rectangulare este [3,5]:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left(\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right) \pm \frac{q_v}{c_p} \quad (3.50)$$

unde:

λ – coeficientul de conductivitate termică, W/mK;

c_p – căldura specifică la presiune constantă, J/kg · K

ρ – densitatea Kg/m³

q_v – cantitatea de căldură la unitatea de volum, W/m³

T – temperatura, K

t – timpul, s.

Se notează:

$$\frac{\lambda}{c_p \rho} = a \left[\frac{m^2}{s} \right], \text{ care se numește difuzivitate termică.}$$

Analizând transferul termic conductiv, în cazul plăcii din material plastic, între pereții răciți ai matriței (fig.3.10), forma generală a ecuației (3.50) se simplifică, considerând că:

- transferul este în regim tranzitoriu (în intervalul de timp d_t poziția izotermelor se modifică temporal și spațial):

$$\frac{\delta T}{\delta t} \neq 0$$

- nu există sursă interioară de căldură, $q_v = 0$;
- transferul de căldură se face perpendicular pe suprafața plăcii (transfer unidirecțional în sensul axei x). Deci:

$$q_y = 0, q_z = 0$$

unde: q_y – flux termic unitar după direcția y;

q_z – flux termic unitar după direcția z;

Datorită faptului că fluxurile termice după direcțiile y și z sunt nule, rezultă:

$$\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} = \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} = 0$$

Ținând cont de simplificările propuse, ecuația (3.51) devine:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = a \frac{\delta^2 T}{\delta x^2} \quad (3.51)$$

care reprezintă ecuația conducției unidirecționale în regim tranzitoriu fără surse interioare de căldură.

Se admite că soluțiile ecuației (3.51) sunt date în expresia [3]:

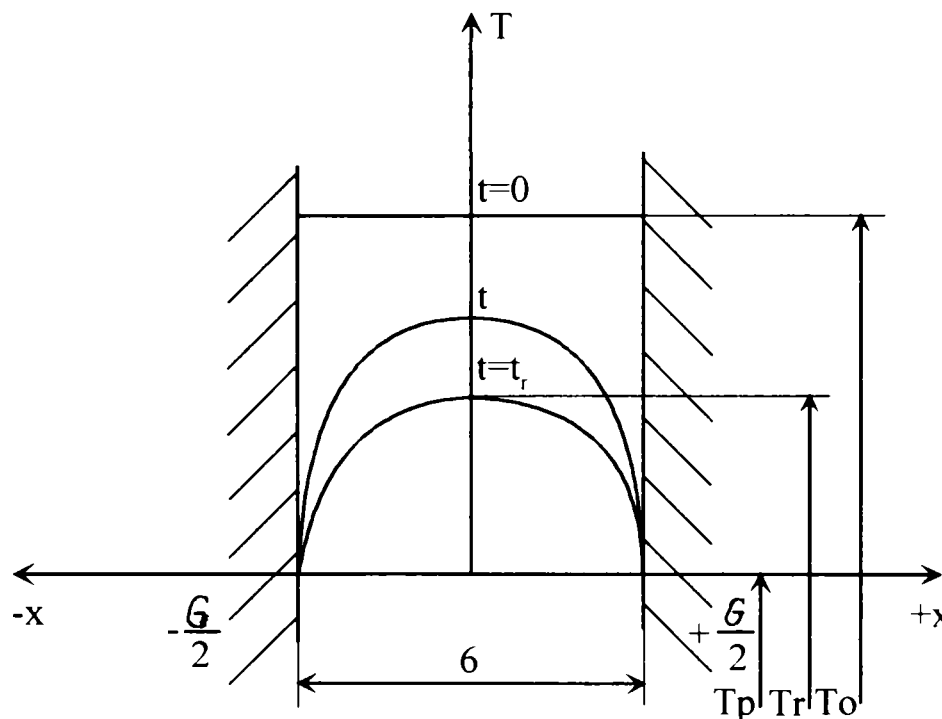
$$T = A + Bx + Ce^{-am^2 t} \cos mx \quad (3.52)$$

unde:

A, B, C, m sunt constante de integrare;

x – poziția punctului de temperatură după trecerea intervalului de timp t de la începutul răcirii.

Pentru rezolvarea acestor ecuații sunt necesare condițiile limită care precizează criteriile de contur al corpului (forma și dimensiunile lui).



*Fig.3.11. Răcirea materialului plastic în matriță:
G-grosimea piesei injectate; T_0 -temperatura materialului plastic la $t = 0$; T_p - temperatura pereților matriței; T_r - temperatura de răcire.[74,76]*

Se consideră placa de material cu planul median corespunzător coordonatei $x = 0$ (fig.3.11). Notând grosimea plăcii cu G , planul median corespunde coordonatei $x = 0$, iar suprafețele laterale absciselor: $x = \pm \frac{G}{2}$

Se consideră că placa din material plastic omogen, cu temperatura inițială T_0 , este introdusă brusc, la momentul $t = 0$, într-un mediu de răcire cu temperatura T_p (temperatura pereților matriței).

Pentru $T = T_p$ și $x = \pm \frac{G}{2}$ ecuați (3.52) devine:

$$x = \frac{G}{2} \cdot T_p = A + B \cdot \frac{G}{2} + Ce^{-am^2t} \cos\left(m \frac{G}{2}\right) \quad (3.53)$$

$$x = -\frac{G}{2} \cdot T_p = A - B \cdot \frac{G}{2} + Ce^{-am^2t} \cos\left(m \frac{G}{2}\right) \quad (3.54)$$

Deoarece temperatura fețelor exterioare T_p la $x = \pm \frac{G}{2}$ este constantă în timp, rezultă că ecuațiile (3.53) și (3.54) nu trebuie să depindă de timp și, deci trebuie îndeplinită condiția:

$$\cos\left(\pm m \frac{G}{2}\right) = 0 \quad (3.55)$$

Cu relația (3.55), ecuațiile (3.53) și (3.54) devin:

$$T_p = A + B \cdot \frac{G}{2} \quad A = T_p \quad (3.56)$$

$$T_p = A - B \cdot \frac{G}{2} \quad B = 0 \quad (3.57)$$

Punând condiția (3.55) se obține:

$$m \frac{G}{2} = \frac{(2n-1)\pi}{2} \quad \text{și deci:}$$

$$m = \frac{(2n-1)\pi}{G} \quad (3.58)$$

Introducând în ecuația (3.53) valorile pentru A , B și m , rezultă temperatura la distanța x de centrul piesei:

$$T = T_p + C_e \frac{(2n-1)^2 \pi^2 at}{G^2} \cos \frac{(2n-1)\pi x}{G} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (3.59)$$

Soluțiile ecuației (3.59) se obțin pentru $1 \leq n \leq \infty$. La $t = 0$, ecuația (3.59) devine:

$$T = T_p + C \cos \frac{(2n-1)\pi x}{G} \quad (3.60)$$

Dezvoltând în serie expresia temperaturii (3.60) se obține:

$$T = T_p + \sum_{n=1}^{n=\infty} C_n \cdot \cos \frac{(2n-1)\pi x}{G}$$

unde:

$$C_n = \frac{\int_{-8/2}^{8/2} \cos \frac{(2n-1)\pi x}{G} dx}{\int_{-8/2}^{8/2} \cos^2 \frac{(2n-1)\pi x}{G} dx} (T_0 - T_p) \quad [3]$$

Efectuând integralele se obține:

$$C_n = \frac{4}{(2n-1)\pi} (T_0 - T_p) \quad (3.61)$$

Dezvoltând în serie expresia temperaturii (3.59) se obține:

$$T = T_p + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{(2n-1)\pi} (T_0 - T_p) e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 at}{G^2}} \cdot \cos \frac{(2n-1)\pi x}{G}$$

rezultă

$$\frac{T - T_p}{T_0 - T_p} = \left[\frac{4}{\pi} e^{-\frac{\pi^2 at}{G^2}} \cos \frac{\pi x}{G} - \frac{1}{3} e^{-\frac{9\pi^2 at}{G^2}} \cdot \cos \frac{3\pi x}{G} + \frac{1}{5} e^{-\frac{25\pi^2 at}{G^2}} \cos \frac{5\pi x}{G} - \frac{1}{7} e^{-\frac{49\pi^2 at}{G^2}} \cdot \cos \left(\frac{7\pi x}{G} \right) \right] \quad (3.62)$$

Pentru determinarea timpului de răcire este necesar ca din ecuația (3.62) să se determine variabila T. Acest lucru este posibil dacă se neglijează toți termenii seriei în afară de primul și va rezulta:

$$\frac{T - T_p}{T_0 - T_p} = \frac{4}{\pi} e^{-\frac{\pi^2 at}{G^2}} \cos \frac{\pi x}{G} \quad (3.63)$$

Timpul de răcire ($t = t_r$) se află din ecuația (3.63), punând condițiile ca temperatura plăcii din material plastic la $x = 0$ să fie $T = T_r$ (temperatura maximă din piesa injectată):

$$t_r = \frac{G^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{(T_0 - T_p) \cdot 4}{(T_r - T_p) \cdot \pi} \right) \quad (3.64)$$

Pentru diferite tipuri de forme de injecție în domeniul $4 \leq \frac{(T_0 - T_p)}{(T_r - T_p)} \leq 100$, valorile

timpului de răcire t_r pot fi urmărite în tabelul 3.5 [73,76].

Timpul de răcire pentru o piesă injectată în formă de placă se determină ușor folosind nomograma din fig.3.12 care se bazează pe formula (3.64).

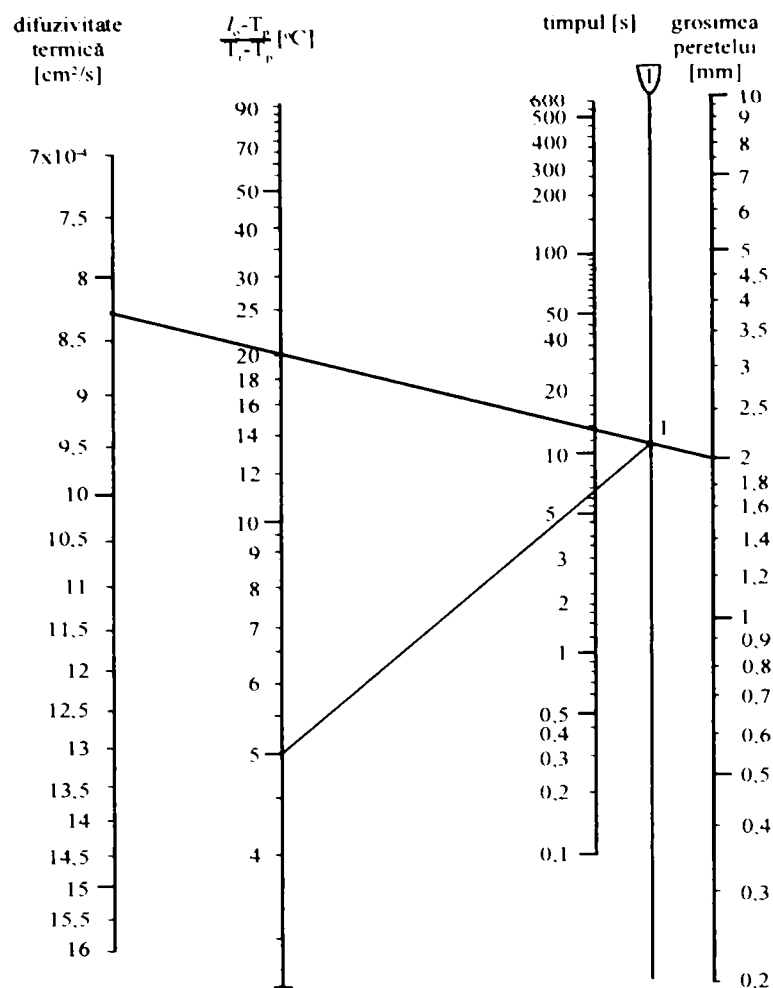


Fig.3.12. Nomogramă pentru determinarea timpului de răcire în cazul unei piese injectate plane [76,99]

3.4.4. Determinarea practică a timpului de răcire

Valorile coeficientului de difuzivitate termică pentru diferite materiale termoplastice se găsesc în tabelul [99].

Tabelul 3.6. reprezintă date despre tehnologia de injecție pentru câteva materiale termoplastice.

Tab. 3.6. Temperaturile de injecție și temperaturile matriței pentru materialele studiate[76].

<i>Denumirea materialului</i>	<i>Temperatura °C</i>	
	<i>de injecție</i>	<i>matriță</i>
Polipropilenă	180-300	0-60
Polietilenă de înaltă densitate	160-260	0-60
Polistiren standar	160-240	30-50
ABS	180-230	50-80

În continuare se va determina timpul de răcire la o piesă injectată din polistiren, în formă de placă cu grosimea de 2 mm .

Din tabelul 3.3, se poate analiza, coeficientul de difuzivitate termică pentru polistiren care este de $8.3 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$.

Tehnologia de prelucrare prin injecție a polistirenului oferă următoarele date:

- temperatura de injecție $T_0 = 230^\circ\text{C}$ (tabelul 3.6);
- temperatura peretelui matriței $T_p = 30^\circ\text{C}$ (tabelul 3.6);
- Temperatura piesei scoase din matriță (temperatura maximă în mijlocul piesei)

$t_r = 70^\circ\text{C}$.

Se calculează raportul:

$$\frac{T_0 - T_p}{T_r - T_p} = \frac{230 - 30}{70 - 30} = 5$$

Din nomogramă se obține $t_r = 6.5 \text{ s}$ [75,76]

Determinarea pe cale teoretică a unor relații care exprimă timpul de răcire în matriță a unei piese injectate din material termoplastic permite construcția unor nomograme. Folosirea nomogramelor oferă posibilitatea determinării rapide a timpului optim de răcire, contribuind semnificativ la o apreciere cât mai reală a ciclului de injecție efectuat de mașina de injecție.

3.5. Calculul de dimensionare a sistemului de temperare

Dimensionarea sistemului de temperare reprezintă uneori o problemă complexă pentru toți producătorii de matrițe, datorită calculelor care sunt necesare referitor la lungimea sau diametrul canalelor de răcire, temperaturile medii și debitele fluidelor de temperare.

3.5.1. Calculul lungimii canalelor de răcire

Se calculează cantitatea de căldură cedată de o piesă injectată matriței cu formula:

$$Q = \frac{3600}{t_T} m(i_2 - i_1); \quad (3.65)$$

- t_T – durata ciclului de injecție [s];

- m – masa piesei injectate [Kg];

- i_2 – entalpia materialului plastic la intrare în matriță [KJ/kg];
- i_1 – entalpia materialului plastic la demulare [KJ/kg]; [110]

Entalpiile pentru diferite materiale plastice și diferite temperaturi se scot din diagrama prezentată în fig.3.2.

Dacă considerăm că , cantitatea de căldură este evacuată în totalitate prin circuitul de temperare, ecuația se poate scrie în felul următor:

$$Q = Sk(T_2 - T_1) \quad [\text{W}] \quad (3.66)$$

unde:

- S – suprafața canalelor de temperare [m^2];
- k – coeficient global de schimb de căldură [$\text{kJ}/\text{m}^2\text{h}^0\text{C}$].
- T_2 – temperatura materialului la injectare [^0C];
- T_1 – temperatura mediului de temperare [^0C];

Coeficientul de transmisie se calculează cu relația : $\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}$; (3.67)

unde[105,112]:

- d – distanța dintre piesă și canalul de răcire [m];
- a – coeficientul de convecție a fluidului [$\text{kJ}/\text{mh}^0\text{C}$];
- l – coeficientul de conductibilitate termică a materialului matriței [$\text{kJ}/\text{mh}^0\text{C}$];

Coeficientul de conductivitate termică pentru diferite materiale se obține din tab.3.7.

Coeficientul de transmisie a circuitului de temperare se calculează cu formula:

$$\alpha = 19,37 + 0,27T_i V_T^{0,95} \quad [\text{kJ}/\text{mh}^0\text{C}]; \quad (3.68)$$

- T_i – temperatura de intrare în circuitul de temperare [^0C];
- V_T – debitul circuitului de temperare [$\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$];
- r – densitate lichidului de răcire [kg/m^3];

Debitul se calculează cu formula:

$$V_T = 10^{-4} w \rho \quad [\text{kg}/\text{m}^2\text{h}]; \quad (3.69)$$

Se folosește viteza de circulație a fluidului în canale $w \geq 2300\text{m} / \text{h}$.

Lungimea canalelor se calculează cu formula

$$l = Q \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{\lambda}}{\pi \cdot d_c (T_2 - T_1)} \quad [\text{m}]; \quad (3.70)$$

unde d_c este diametrul canalului de temperare ales [m].

3.5.2. Amplasarea sistemului de temperare

Pentru obținerea unor piese de precizie proiectantul de matrițe trebuie să acorde o atenție deosebită amplasării canalelor de temperare în raport cu piesa și între ele, în raport cu punctele de injectare în funcție de sensul de umplere al cuibului etc.

La proiectarea dimensionării și amplasării sistemului de temperare trebuie să se țină seama de următoarele principii:

- temperatura uniformă a întregii suprafețe a cuibului matriței;
- amplasarea canalelor în lungul drumului de curgere al materialului în matriță;
- numărul schimbărilor de direcție al circuitului de răcire să fie cât mai mic;

3.5.2.1. Exemple de temperare a suprafețelor

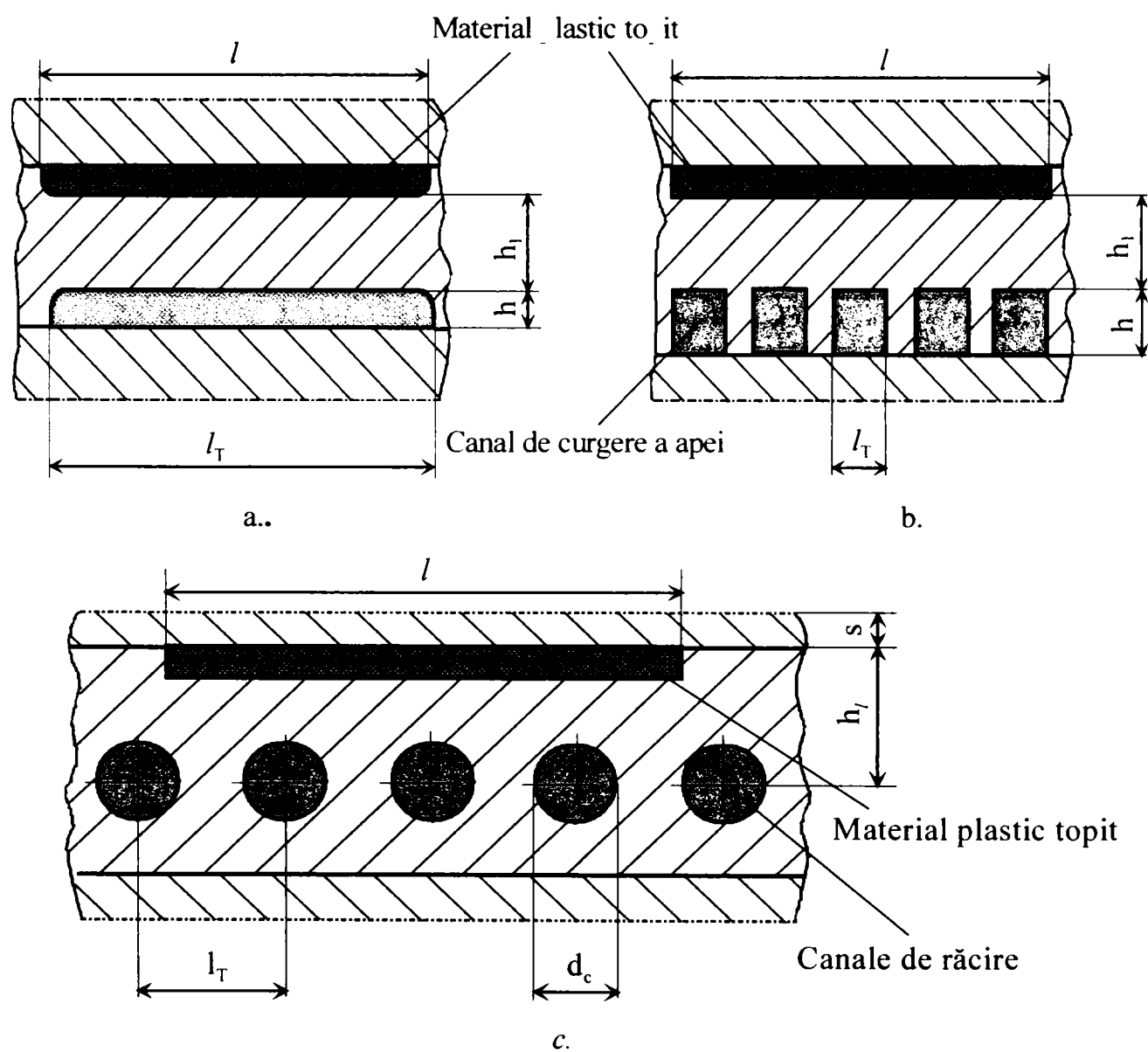


Fig.3.13. Metode de temperare a matrițelor. a – ideale din punct de vedere fizic; b – optimă din punct de vedere tehnic; c- canale de temperare circulare[74].

Temperarea cea mai bună din punct de vedere fizic ar fi dacă lățimea canalului de temperare ar fi egală cu lățimea piesei injectate (fig.3.13), dar din considerente de rigiditate, datorită presiunilor de injectare mari s-a înlocuit soluția tehnică optimă. În urma studiilor am ajuns la concluzia că, canalele de secțiune pătrată sunt cele mai optime.

Cu toate acestea în practică, soluția cea mai folosită datorită facilităților în execuție a canalelor, este aceea de temperare prin canale circulare executate prin găurire (fig.3.14.). Se recomandă în acest caz $h_1=(2...3)$, $d_{c,1}=\max 3d_c$.

În tab.3.7. sunt prezentate dimensiunile canalelor circulare, amplasarea lor în raport cu piesa injectată. Această amplasare ia în considerare, din punct de vedere al rigidității, nu numai găurile canalelor dar și practicarea altor orificii necesare matriței (duza de injectare, bucușă de ghidare etc.).

Tab.3.7. Stabilirea dimensiunilor la amplasarea canalelor de răcire[74,100].

<i>Grosime de perete [mm]</i>	<i>h_1 [mm]</i>	<i>l_T [mm]</i>	<i>d_c [mm]</i>
0...1	11,3...15,0	10...13	4,5...6,0
1...2	15...21	13...19	6,0...8,5
2...4	21...27	19...23	8,5...11
4...6	27...35	23,0...30,5	11...14
6...8	35...50	30,5...40,0	14...18

3.6. Experiențe de dimensionare a sistemelor de răcire

Practica a arătat că este oportună conceperea sistemului de răcire a unei matrițe din punct de vedere funcțional, al rapoartelor de spațiu, verificarea diametrelor, lungimilor și amplasării orificiilor de răcire. În cazurile simple este suficientă stabilirea cantității de apă de răcire necesară, a secțiunii orificiilor de răcire și a vitezei de curgere, pentru ca aceasta să fie turbulentă, a diferențelor de presiune corespunzătoare vitezei de curgere de unde rezultă diferența de temperatură a apei de răcire $t_{5ieșire} - t_{5intrare}$.

Diferența de presiune și diferența de temperatură trebuie controlate la probarea matriței, pentru a stabili cât mai exact funcționarea sistemului de răcire. Pentru matrițe mai complicate trebuie efectuat un calcul conform specificațiilor de mai sus. O anumită rezervă poate fi prevăzută, trebuie gândit totuși că un sistem de răcire supradimensionat este inoportun, atât din punct de vedere tehnic, cât și economic.

Factorul α_3 stabilit prin relația (3.28) servește doar pentru cazul transferului de căldură dintre apă și orificiu de răcire cu suprafață metalică.

În cazul depunerii unor straturi de oxizi transferul de căldură se înrăutățește în mare măsură. În acest caz este de recomandat să se folosească apa moale. Pentru a împiedica apariția coroziunii se impune fosfatarea orificiilor, α_3 servește numai pentru curgerea turbulentă. La curgerea laminară transferul de căldură este nefavorabil, de aceea trebuie considerat în toate cazurile curgerea turbulentă. O atenție deosebită trebuie acordată secțiunilor mărite de curgere. În aceste locuri trebuie asigurată viteza necesară prin ecrane de deviere sau alte măsuri.

În figurile de jos s-au proiectat câteva exemple concrete în care se observă randamentul de răcire care este influențat de mărimea secțiunii prin care circulă apa. În fig.3.16a, se prezintă o soluție de răcire cu barbotare, soluție care se presupune a fi greșită prin faptul că odată cu creșterea secțiunii viteza de răcire este mult scăzută, astfel încât efectul răcirii se înrăutățește. În fig.3.16b se montează un ecran de deviere (șicană), care împiedică creșterea secțiunii, metodă utilizată des în special la partea de poanson. iar în fig.3.17 se prezintă o soluție care influențează în mod evident viteza de curgere a apei, prin fixarea unui ghidaj filetat în miez.

3.6.1. Metode de răcire cu barbotare

Un barbotor constă dintr-o conductă localizată în interiorul unui alezaj efectuat în matriță prin care circulă apa. Barbotoarele sunt utilizate pentru răcirea cuiburilor lungi și subțiri (fig.3.14). O fantă inelară este zona sub formă de cameră toroidală dintre două cercuri concentrice (de ex. suprafața orificiului ID minus tubul OD). Există cel puțin două metode (prezentate mai jos) pentru dimensionarea relației optime între orificiul ID și tubul OD pentru a obține debitul de agent de răcire maxim. Prima formulă aproximează o suprafață egală între tubul ID și fanta circulară. A doua formulă este bazată pe diametrul hidraulic, dar rezultă suprafețe diferite. În cazul în care se utilizează suprafețe egale la barbotare mici, lățimea fantei inelare poate fi prea mică, ceea ce are ca rezultat scăderi de presiune mai mari și debite scăzute.

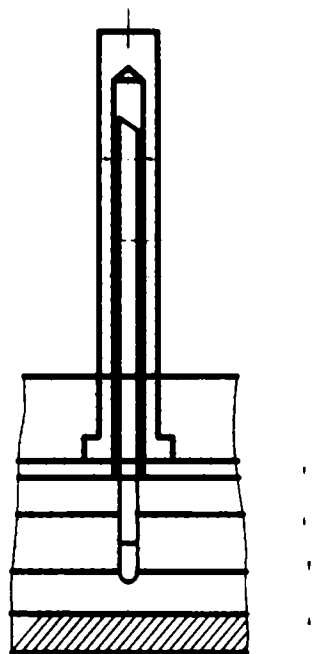


Fig.3.14. Prezentarea unui barbotor.

Dacă se utilizează metoda diametrului hidraulic, tubul ID poate fi restrictiv relativ la lățimea fantei inelare. Se recomandă de aceea să se construiască un tabel care să cuprindă mărimile obținute cu ambele formule; soluția optimă poate fi considerată de asemenea media ponderată a celor două metode.

$$\text{ORIFICIUL BARBOTOR} = (\text{TUB ID} + \text{PERETE TUB}) - 0.707^*$$

* aproximează în mod corespunzător suprafețele egale ale tubului ID și a fantei circulare;

$$\text{ORIFICIUL BARBOTOR} = (\text{TUB ID} + \text{TUB OD}) **$$

** este bazat pe egalitatea diametrului hidraulic tubID/fanta inelară; diametrul hidraulic al tubului ID este tubul ID, iar diametrul hidraulic al fantei inelare trebuie să fie calculat folosind formula pentru șicane (orificii nerotunde); formula aplicată fantei inelare se reduce la relația de mai sus.

Observații privind proiectarea barbotoarelor

Suportii (OD) au un diametru cuprins între 3,2mm și aproximativ 4mm, ei trebuie să fie răciți cu aer sau cu bară de cupru conducătoare de căldură cu baza în apă (aerul este mai recomandat în cazul cuiburilor cu terminație deschisă care pot fi glisate în timpul închiderii matriței. Circuitele barbotorului utilizate în cuiburi subțiri lungi ($\geq 0.188''\text{OD}$) trebuie să fie așezate în paralel pentru a se evita scăderea de presiune mare dacă sunt așezate în serie. Pentru barbotoarele în paralel, pasajul de retur al agentului de răcire este limitat de liniile bisectoare ale barbotorului la acest nivel; aceasta necesită diametru mai mare pentru returul agentului de răcire. Suprafața de alimentare a agentului de răcire trebuie să fie cel puțin egală

sau mai mare cu suma suprafețelor tubului ID. Este de preferat să fie mai mare pentru a permite scăderile de presiune.

3.6.2. Metode de răcire cu șicane

Șicanele sunt destinate în special pentru răcirea în serie, nu sunt recomandate pentru cuiburi mici. Scăderea de presiune în asemenea configurații are ca rezultat rate de curgere scăzute și creșterea mare a temperaturii în circuitul de răcire (șicanele sunt adesea soluția preferată pentru multe cuiburi mici, ca și pentru cele în paralel).

$$D_h = \frac{4 \cdot A}{P} \quad A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad P = \pi \cdot d \quad (3.71)$$

D_h = diametrul hidraulic echivalent

d = diametrul orificiului

A = aria orificiului nerotund

P = perimetrul orificiului nerotund

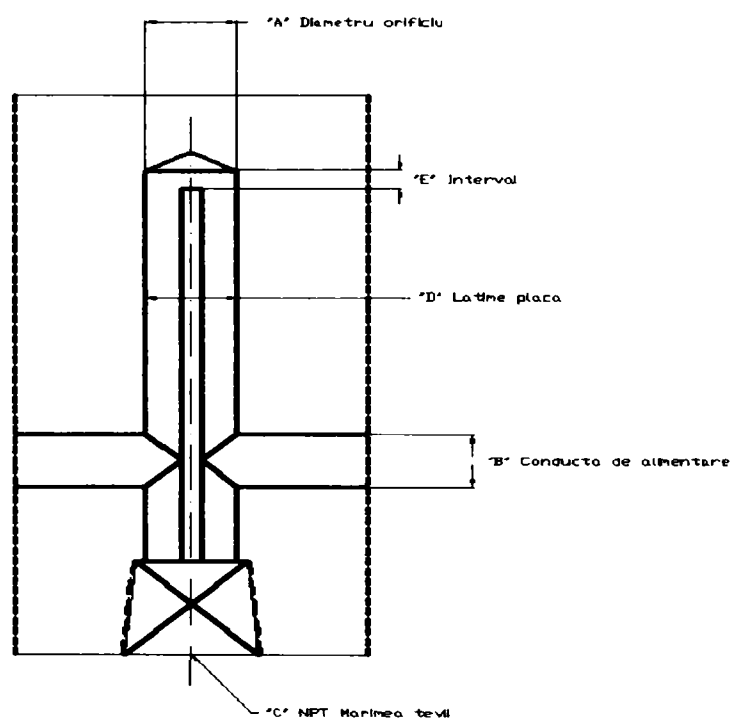


Fig.3.15. Prezentarea unei șicane.

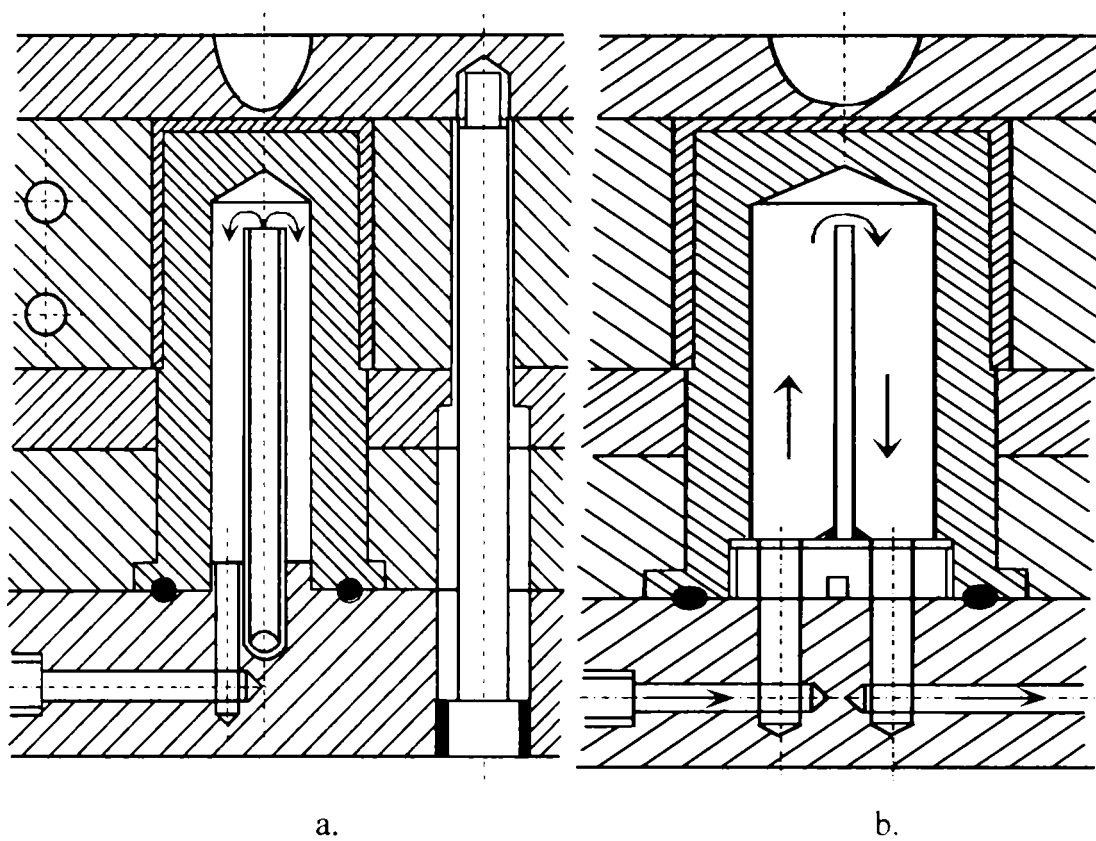


Fig.3.16. Răcirea miezului unei matrite.

a- efect de răcire slab datorită secțiunii mărite; b- efect de răcire îmbunătățit prin folosirea unui ecran de deviere (șicane).

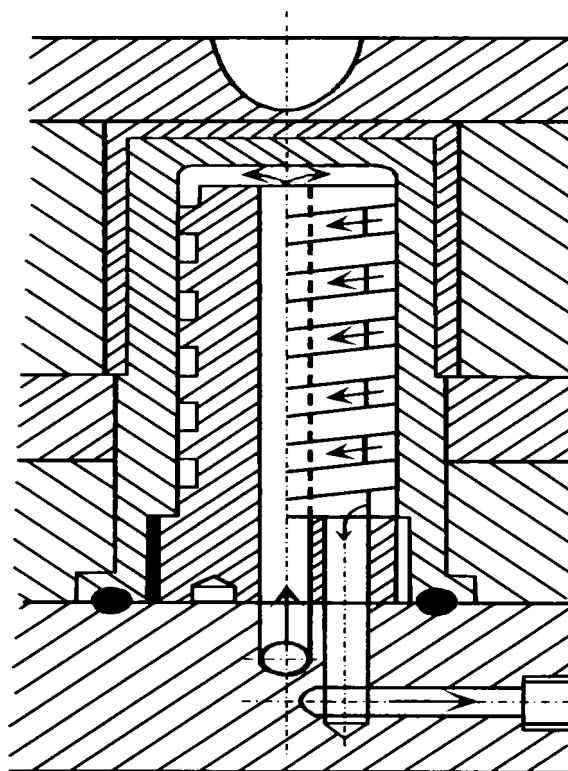


Fig. 3.17. Metodă constructivă pentru creșterea vitezei de curgere.

La amplasarea orificiilor de răcire trebuie să ne gândim la faptul că apa se încălzește în matriță înrăutățind transferul de căldură. La matrițe mari circuitele se vor amplasa astfel încât intrarea unuia să fie în apropierea ieșirii celuilalt (fig. 3.18)

Apa de răcire trebuie racordată în apropierea celor mai calde locuri din matriță, ceea ce înseamnă în apropierea canalului corpului, care adesea e răcit printr-un sistem propriu.

Inoportună este amplasarea orificiilor de răcire în apropierea suprafețelor prea reci, deoarece atunci într-adevăr efectul răcirii fiind mare dar este inegal.

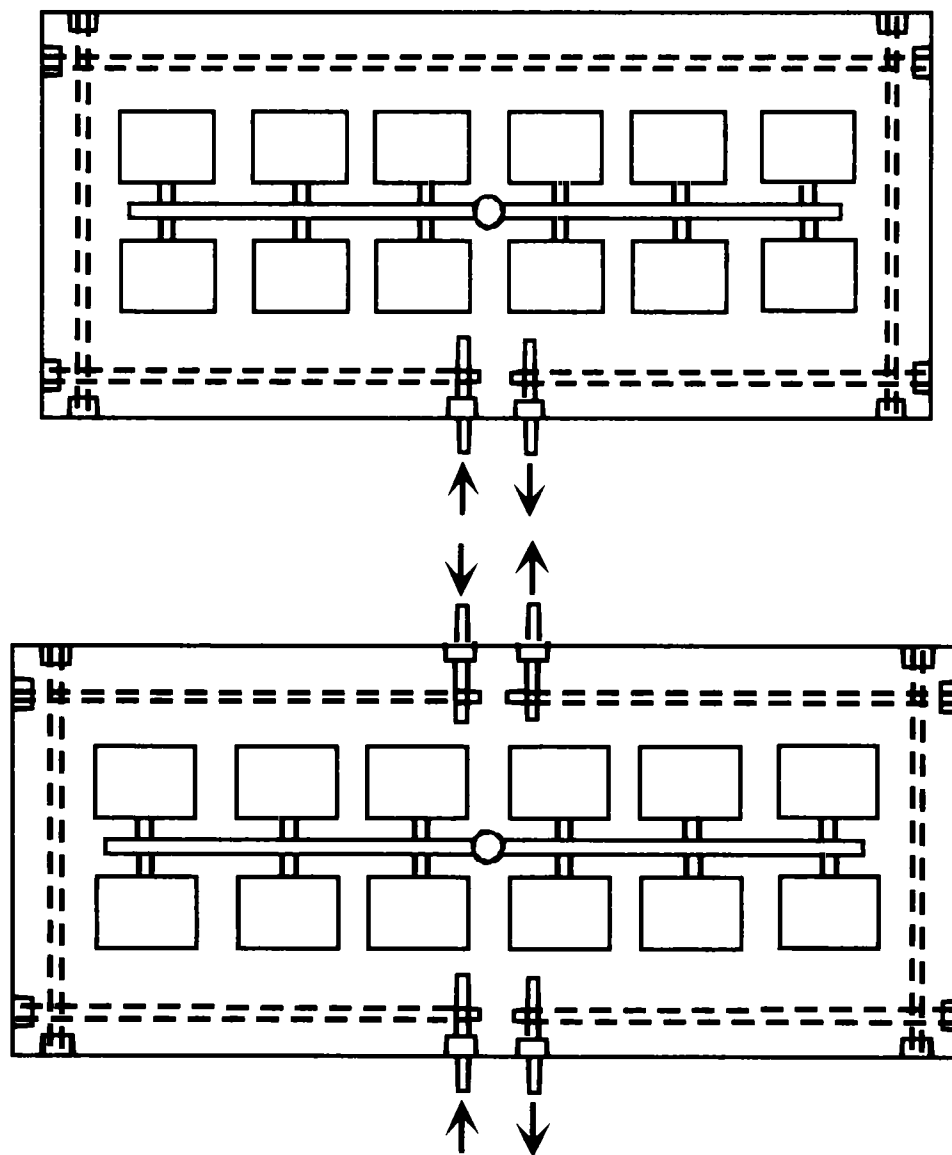


Fig.3. 18. Metode de amplasare a circuitelor de răcire.

3.7. Soluții constructive privind optimizarea temperaturii matrițelor de injectat.

Calitatea unui produs obținut prin injectare în matriță depinde de o serie de parametri, unul dintre cei mai importanți fiind condițiile de răcire în matriță.

Înainte de aruncarea din matriță, piesele injectate trebuie să se răcească pentru a fi complet rigide. Piesele sunt injectate din materiale plastice cu cicluri specifice, deci puncte de rigidizare diferite. De menționat, că și forma geometrică a pieselor injectate este diferită.

Ca urmare, precizarea unor sisteme de răcire optime cu valabilitate generală nu este posibilă. Se pot însă stabili principii generale, care trebuie respectate în realizarea practică a elementelor de răcire a matrițelor de injectat.

Porțiunea minimă a canalelor de răcire trebuie să fie de 20 – 30 mm², atât pentru asigurarea răcirii corespunzătoare, cât și pentru folosirea economică a pompei de recirculare, care trimite lichidul de răcire în circuit. Majorarea secțiunii canalelor de răcire peste 200 – 300 mm² nu este indicată, deoarece nu contribuie la îmbunătățirea răcirii matriței. Dimensiunile optime pentru găurile cu secțiune rotundă și pentru cele cu secțiune dreptunghiulară, precum și așezarea lor în raport unele față de altele și față de suprafața răcită sunt prezentate în figurile 3.19 și 3.20.

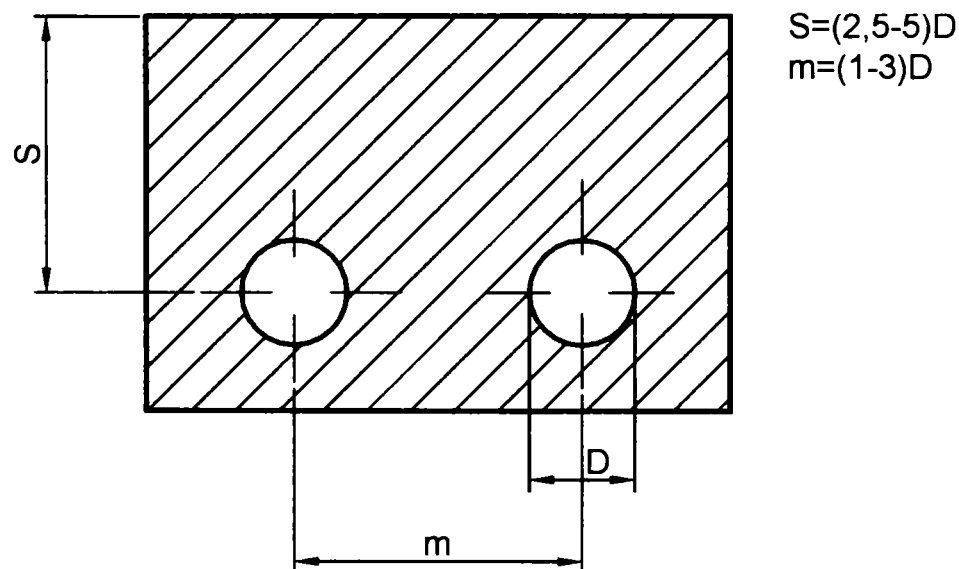


Fig.3.19. Reprezentarea dimensiunilor optime pentru găurile cu secțiune rotundă.

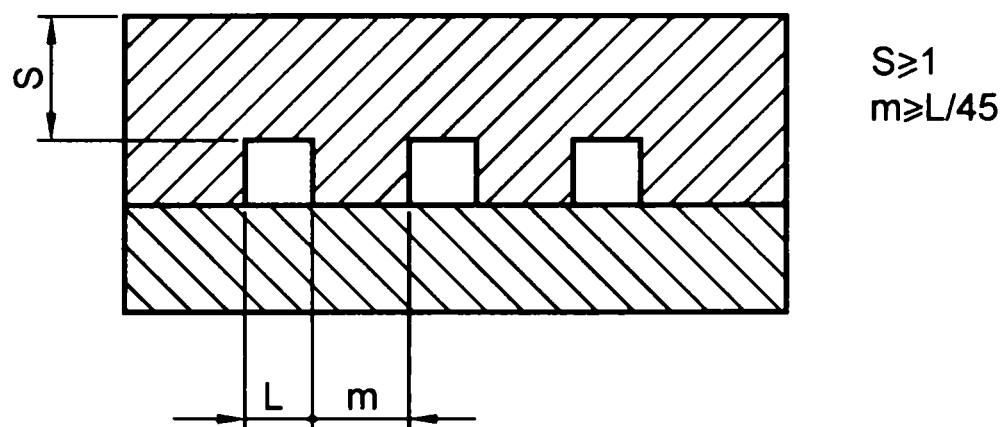


Fig. 3.20. Reprezentarea dimensiunilor optime pentru găurile cu secțiune dreptunghiulară.

Circuitul de răcire nu trebuie să aibă o lungime prea mare în interiorul matriței, pentru ca diferența de temperatură a lichidului de răcire între ieșire și intrare să nu depășească 3–5°C. De asemenea, pentru o mai bună curgere a lichidului, numărul conturilor și schimbărilor de direcție a circuitului de răcire trebuie să fie cât mai mic. În urma studiilor efectuate s-a dovedit că la așezarea găurilor de răcire în matriță trebuie să se țină seama și de transferul local de căldură.

Foarte importantă este răcirea uniformă a suprafețelor matriței. Acest fapt se realizează prin dispunerea judicioasă a canalelor de răcire practicate în matriță, pentru asigurarea circulației agentului de răcire (apa de obicei). Aici funcționează în principiu următoarea regulă:

La produse cu grosimea peretelui uniformă, găurile pentru canalele de răcire se practică urmând regulat conturul produsului. În situațiile în care grosimea peretelui produsului nu este uniformă, distanța de practicare a găurilor devine invers proporționate cu grosimea. În fig.3.21 se prezintă cele 2 situații prezentate mai sus.

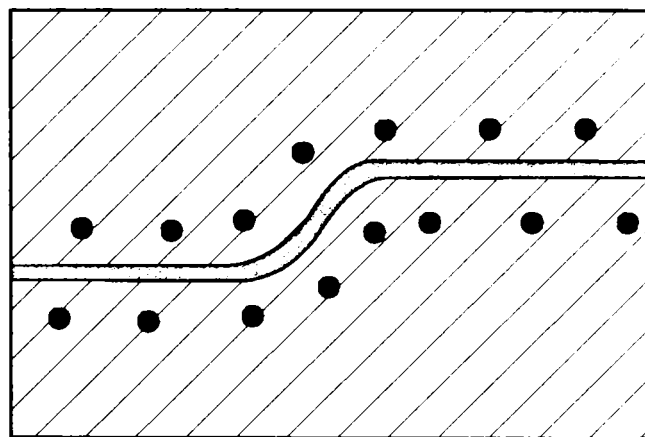


Fig.3.21. Dispunerea găurilor pentru canale de răcire la o piesă cu grosime uniformă

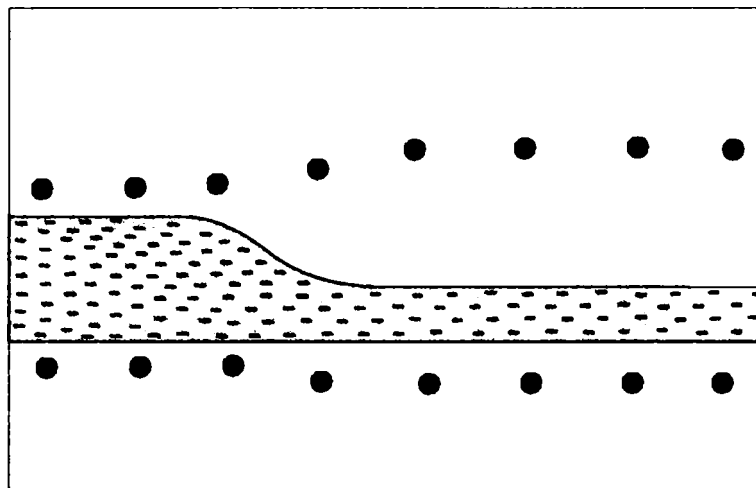


Fig.3.22. Dispunerea găurilor pentru canale de răcire la o piesă cu grosime variabilă.

Găurile pentru canalele de răcire trebuie să aibă în principiu un diametru de 2,5 ori mai mare decât grosimea peretelui produsului, dar nu mai puțin de 5 mm. Pentru distanța dintre găurile canalelor de răcire și pereții matriței se practică valori de 2,5 - 3 D (diametrul găurii). Pentru procese de injecție care dezvoltă presiuni mai mari de 500 bari se ia în calcul oțelurile care să asigure rigiditatea necesară.

Proiectarea fizică a canalelor de temperare este condiționată uneori de geometria cuiburilor matriței, a bacurilor și miezurilor, a planelor de separație și a aruncătoarelor matriței de injectat. Acest lucru împreună cu faptul că majoritatea pieselor injectate au variații mari ale grosimilor de perete, colțuri, bosaje, margini de rigidizare determină apariția de zone fierbinți pe suprafața pieselor injectate.

Pentru eliminarea acestora se recomandă:

1. apropierea canalului de temperare nervuri, cât mai aproape de zona fierbinte;
2. creșterea numărului de canale de temperare (fig.3.22.)

În varianta -1 (fig.3.22.) se observă mai multe izoterme (a) ceea ce ne indică variații mari ale temperaturii matriței și chiar puncte foarte calde (fierbinți) (b) care pot determina creșterea timpului de ciclu și post deformații ulterioare ale piesei injectate. Aceste dezavantaje au fost eliminate prin dispunerea optimă a circuitelor de temperare în varianta-2 unde avem o singură izotermă (a) și mai multe canale de temperare (b) de diferite dimensiuni și cu diferite poziționări.

Dacă se mărește distanța dintre canalele de temperare, temperatura la suprafața cuibului matriței va fi mai neuniformă și va crește în timpul injectării topiturii de material plastic.

Dacă din contra se micșorează prea mult distanța dintre canalele de temperare, căldura topiturii de material plastic injectat în cuibul matriței va fi îndepărtată prea rapid și ca urmare se va produce o variație prea mare a temperaturii fronturilor de curgere, ceea ce poate duce la probleme de calitate ale pieselor injectate.

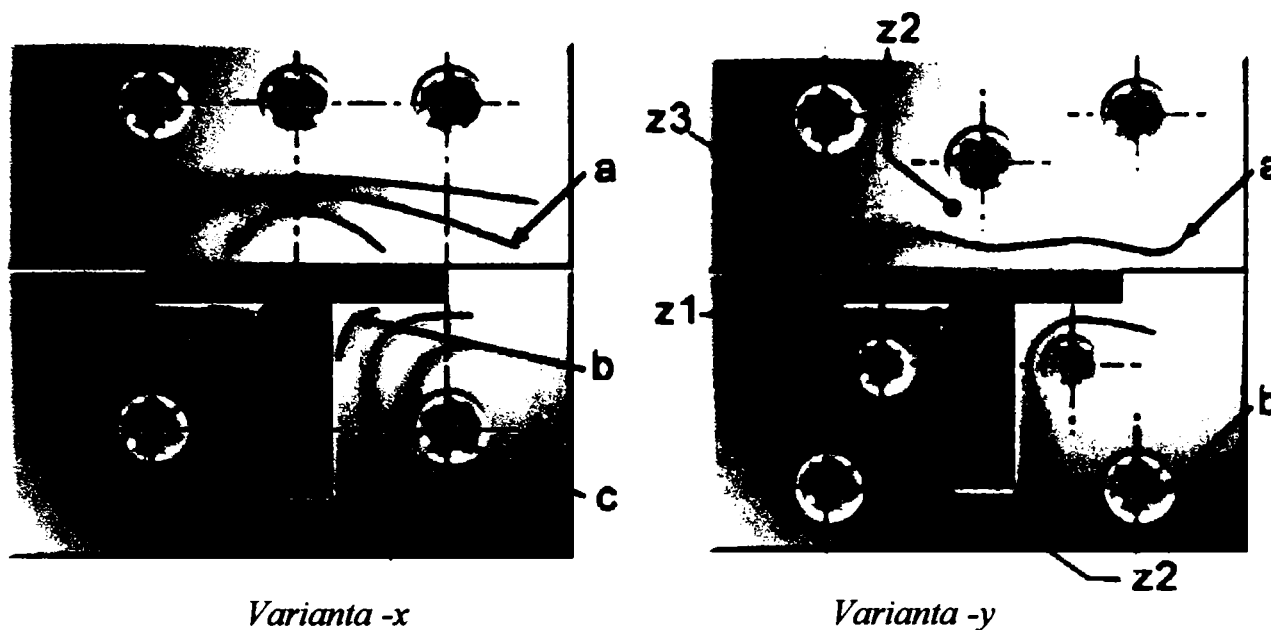


Fig.3.22. Variante de dispunere a circuitelor de temperare ale matrițelor de injectat:

x- varianta unei temperaturi neuniforme

y- varianta optimă a unei temperaturi uniforme

În cazul în care se utilizează circuite de temperare prea lungi sau conectate între ele prin furtune cu multe legături se poate determina:

1. creșterea rezistenței la curgere a agentului de temperare ceea ce duce la creșterea presiunii de pompare a aparatului de temperare;
2. creșterea excesivă a temperaturii de-a lungul circuitului de temperare, astfel că se poate ajunge la o diferență de temperatură mai mare de 3°C, între temperatura agentului la intrare în circuit și cea de ieșire.

De aceea se recomandă utilizarea de circuite cât mai scurte posibil și împărțirea circuitelor lungi în două sau mai multe circuite.

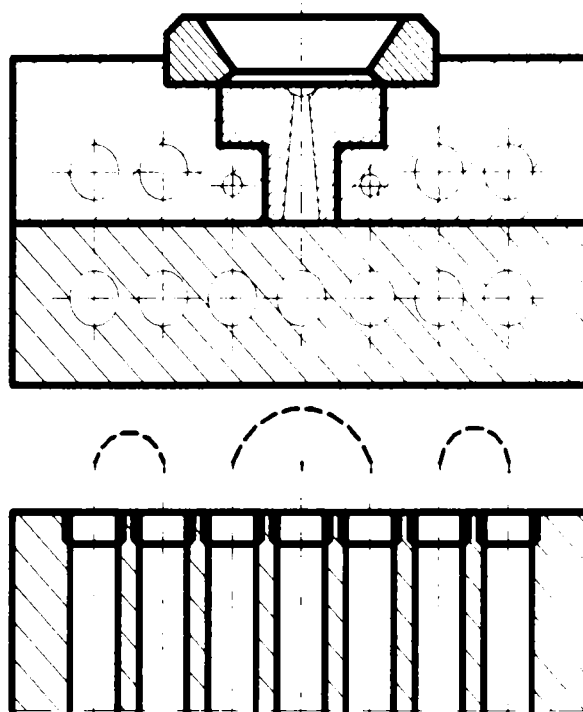


Fig .3.23. Circuit de răcire pentru curgeri de lichid în contra curent.

În zona canalelor de curgere și în special la dig, materialul plastic are o accelerație mare și temperatură ridicată, din acest motiv, aici și transferul de căldură este mai mare decât în alte zone, deci se cedează matriței mai multă căldură. Răcirea se realizează astfel, încât să fie intensă în zonele unde temperatura este mai ridicată.

Circuitul de răcire se împarte pe zone de temperatură cu curgeri de lichid în contra curent pentru a realiza o distribuție uniformă de temperatură (fig.3.23).

Această împărțire pe zone de temperatură prezintă și avantajul unui control termic cu ajutorul aparatelor de măsură și deci posibilitatea egalizării temperaturii de răcire.

La exploatarea matrițelor de injectare s-a dovedit că lucrând cu aceeași matriță și la aceeași parametri după un timp de folosire îndelungată, sau după o pauză mai mare nu se mai obține același randament de răcire, datorită depunerilor pe canalele de răcire. Pentru remedierea acestei situații se folosesc lichide de răcire tratate.

În timpul iernii temperatura matrițelor care se montează pe mașinile de injectat este mai scăzută. Din acest motiv se apelează la o preîncălzire, adică aducerea matriței la temperatura ideală de injectare, prin intermediul unui lichid de răcire recirculant de la matrițele de injectat în funcționare.

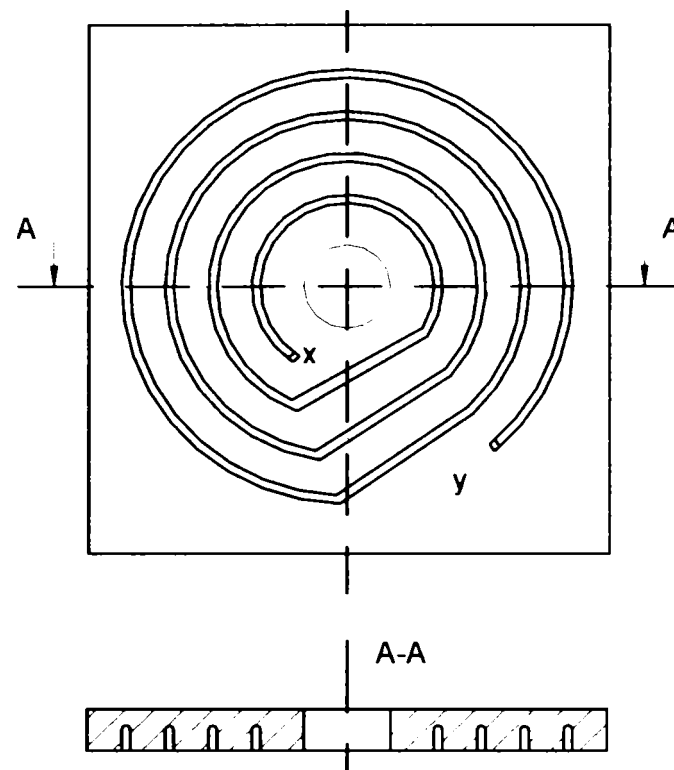


Fig.3.24. Reprezentarea unui sistem de răcire pentru piese circulare.

Realizarea practică a sistemelor de răcire depinde în cea mai mare măsură de forma geometrică a piesei de injectat (piese plane, piese cu pereți groși, piese mici în construcție multiplă, piese de rotație simetrice etc.).

La o piesă cu suprafață circulară simetrică (fig. 3.24), sistemul de răcire are formă spirală cu canale circulare racordate prin canale rectilinii. La acest sistem, lichidul de răcire intră în locul din fața punctului de injectare. Prin aceasta se urmărește ca la intrare lichidul de răcire să preia mai multă căldură.

O soluție îmbunătățită se obține prin combinarea acestor două sisteme de răcire în paralel cu curgere în contracurent. Acest sistem este mai costisitor, dar permite obținerea unor piese cu mare precizie dimensională (roți dințate de precizie).

Răcirea unor piese simetrice de dimensiuni mari se poate obține și prin intermediul unor canale rectilinii. În acest caz nu se realizează o repartizare uniformă a răcirii. Legătura între canale se face prin intermediul unor tuburi din cauciuc sau material plastic (fig 3.25).

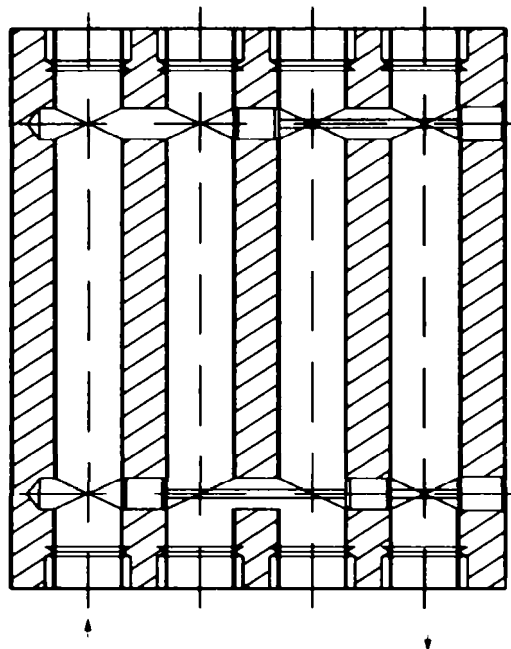


Fig. 3.25. Circuit de răcire cu tuburi de cauciuc sau material plastic.

Sistemul de răcire cel mai convenabil la piesele simetrice în colțuri, injectate din centru este cel în formă de spirală și în acest caz răcirea se poate face prin intermediul unor canale rectilinii.

Lichidul de răcire pătrunde în zona centrală de jos în sus și curge în două direcții (fig.3.26). O soluție asemănătoare este prezentată în (fig. 3.27) în care este schimbat locul de intrare a agentului de răcire.

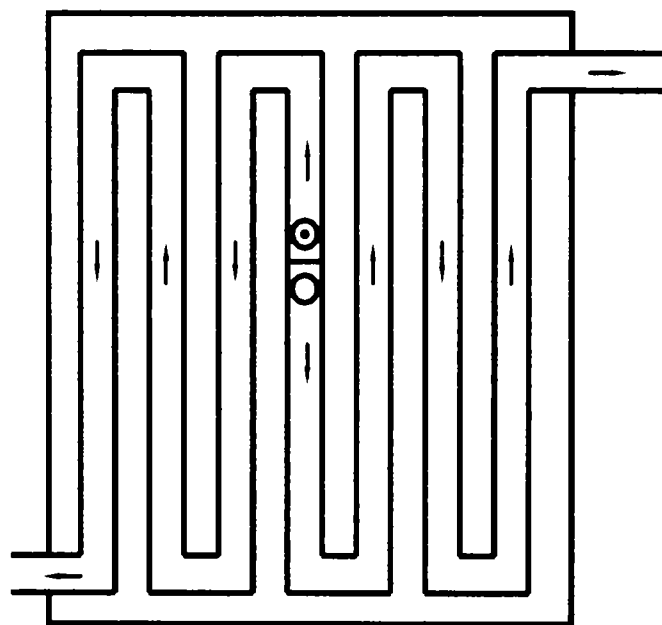


Fig. 3.26. Reprezentarea unui sistem de răcire optim pentru piesele simetrice în colțuri.

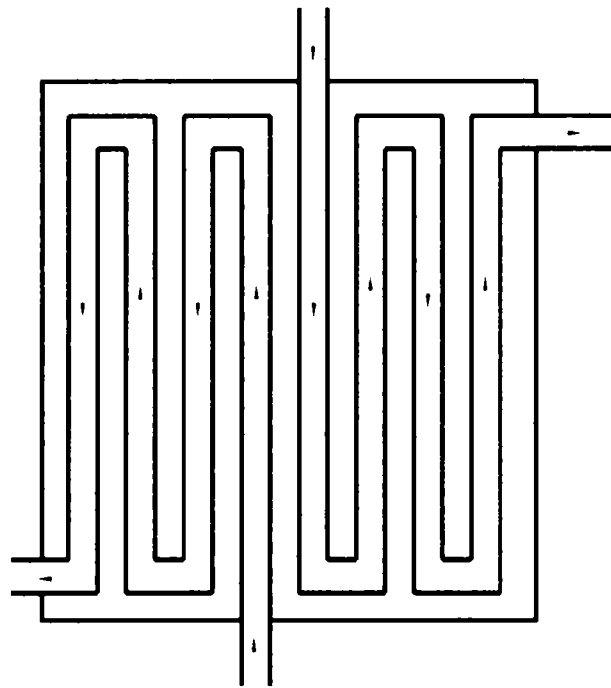


Fig .3.27. Reprezentarea unui sistem de răcire optim pentru piesele simetrice în colțuri, cu intrarea apei în centrul circuitului.

Răcirea pieselor simetrice în colțuri injectate din lateral se face prin intermediul unor canale rectilinii

Sensul de curgere a lichidului de răcire este stabilit prin intermediul unor dopuri din materiale rezistente la coroziune și temperaturi mari, (fig.3.28).

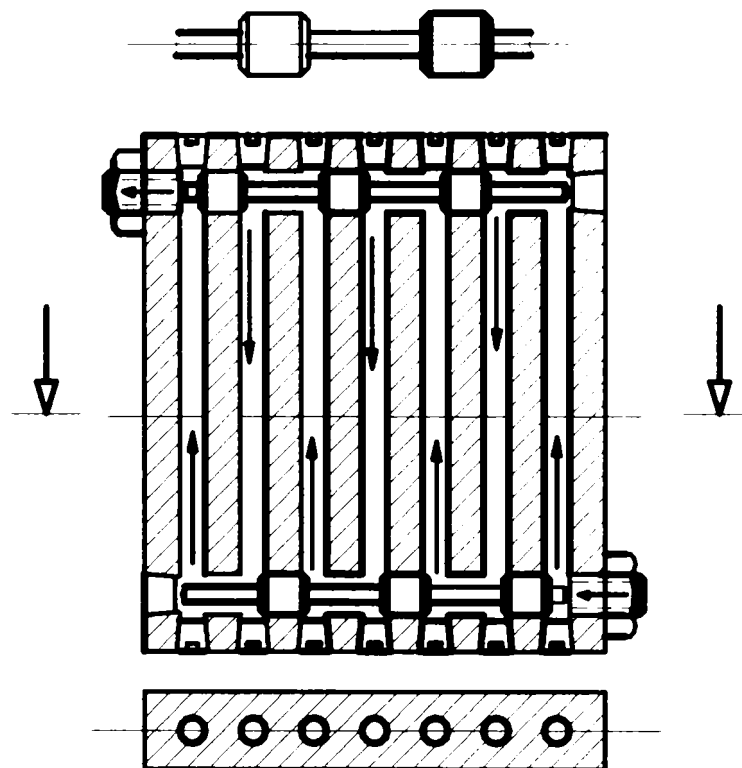


Fig. 3.28. Realizarea unui circuit de răcire liniar cu schimbarea direcției apei prin dopuri

Răcirea miezurilor unei matrițe cu mai multe cuiburi se realizează în general prin implementarea unui circuit de răcire în serie (figura 3.29) care constă în efecuirea unor găuri de diferite dimensiuni și introducerea unei plăcuțe numită șicană. Această metodă nu este eficientă pentru piesele pretențioase prin faptul că temperatura apei crește odată cu creșterea numărului de șicane ceea ce duce în final la obținerea unei temperaturi variabile în matriță.

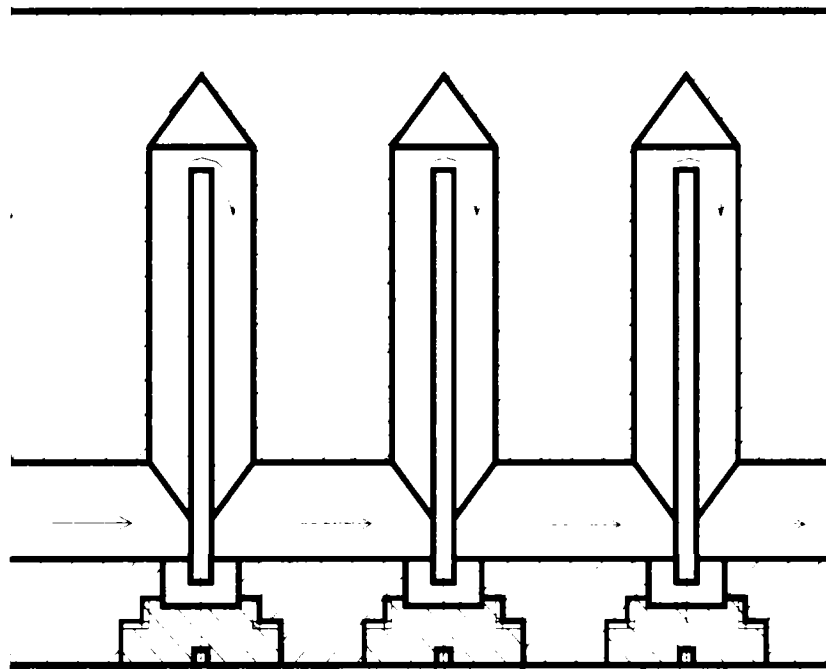


Fig.3.29. Prezentarea unui circuit de răcire în serie

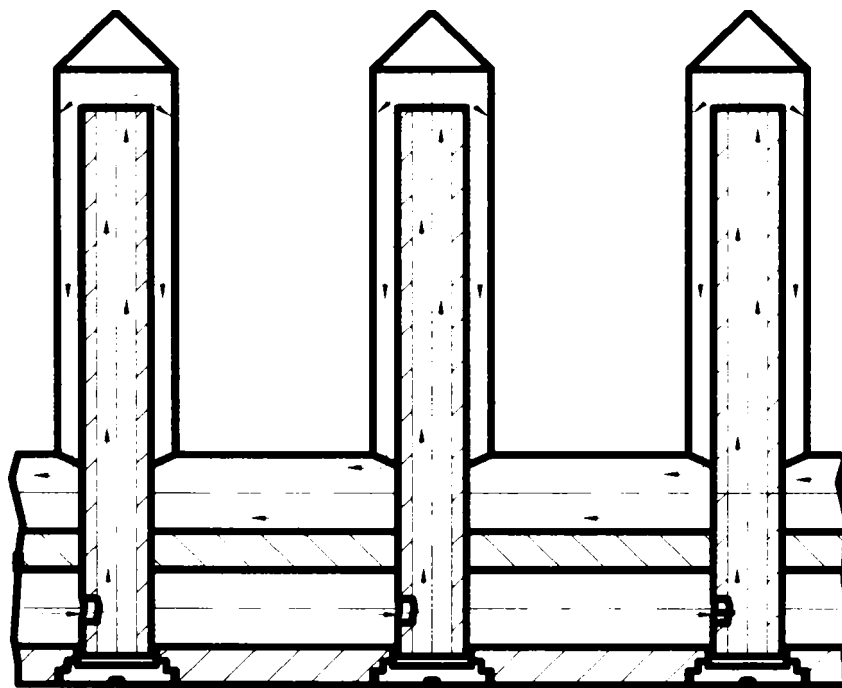


Fig. 3.30. Prezentarea unui circuit de răcire în paralel.

Pentru rezolvarea acestei probleme am proiectat și realizat un circuit de răcire în paralel (figura 3.30), care prezintă unele avantaje prin faptul că lichidul de răcire intră în fiecare miez cu aceeași temperatură, comparativ cu răcirea în serie la care lichidul de răcire din fiecare miez are temperatură diferită. La răcirea în paralel, fiind un singur canal colector există posibilitatea controlului temperaturii lichidului de răcire cu un singur aparat.

La sistemul de răcire în serie, înfundarea unui canal din miez, determină întreruperea întregului circuit, pe când la răcirea în paralel, acest lucru nu este posibil.

Pentru răcirea poansoanelor, lichidul de răcire trebuie să preia o mare cantitate de căldură. În figura 3.31 se prezintă o modalitate de răcire a poansoanelor, pentru matrițele cu un singur cuib, ce au poansoane de dimensiuni mari, de mare adâncime, răcirea trebuie să fie intensă. Aceasta se realizează în general printr-un miez spiralat care obligă lichidul de răcire să spele continuu pereții interiori ai poansonului, cu toate acestea există unele cazuri în care piesele de mare precizie cu pereți groși, se contractă în general mai mult, pentru aceste situații este necesară o răcire perfectă pe toate suprafețele, eliminându-se pe cât posibil deformațiile remanente.

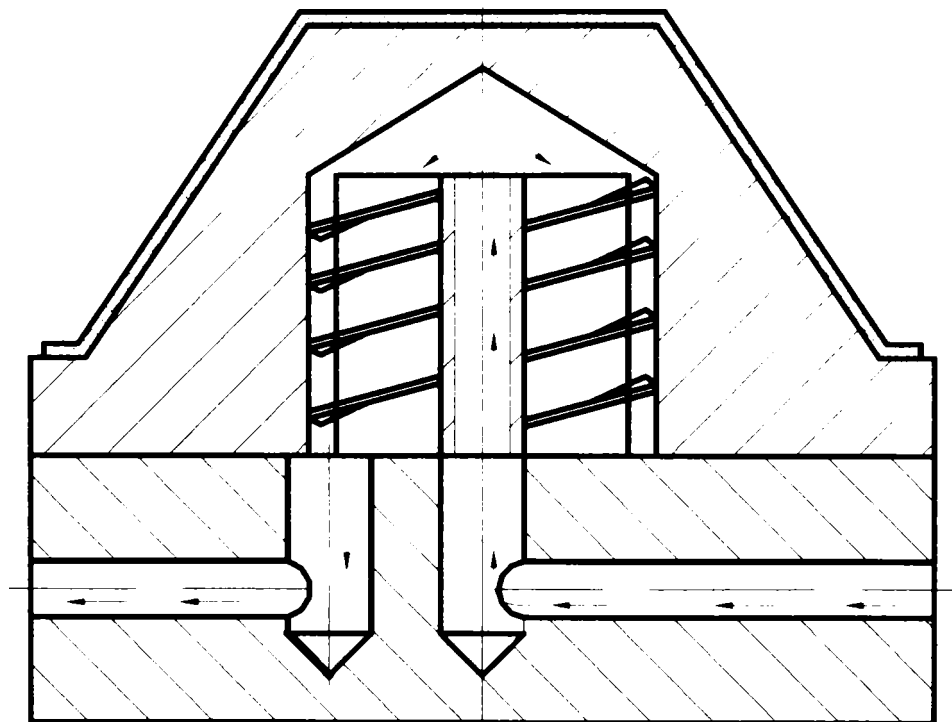


Fig. 3.31. Circuit de răcire cu miez spiralat.

Acest mod de răcire nu corespunde întodeauna acestor cerințe, fapt ce m-a determinat să concep un nou sistem de răcire cu mai multe circuite executate în plăci demontabile (fig. 3.32), această metodă permite răcirea uniformă pe toată suprafața piesei deoarece circuitele de răcire

sunt amplasate la distanță egală de suprafețele piesei, astfel încât deformările remanente din piesă se reduc aproape la zero. Etanșeitatea plăcilor se asigură cu inele "O" din cauciuc cu grosimi diferite în funcție de mărimea canalului, iar asamblarea se face cu ajutorul unor șuruburi special concepute pentru acest sistem.

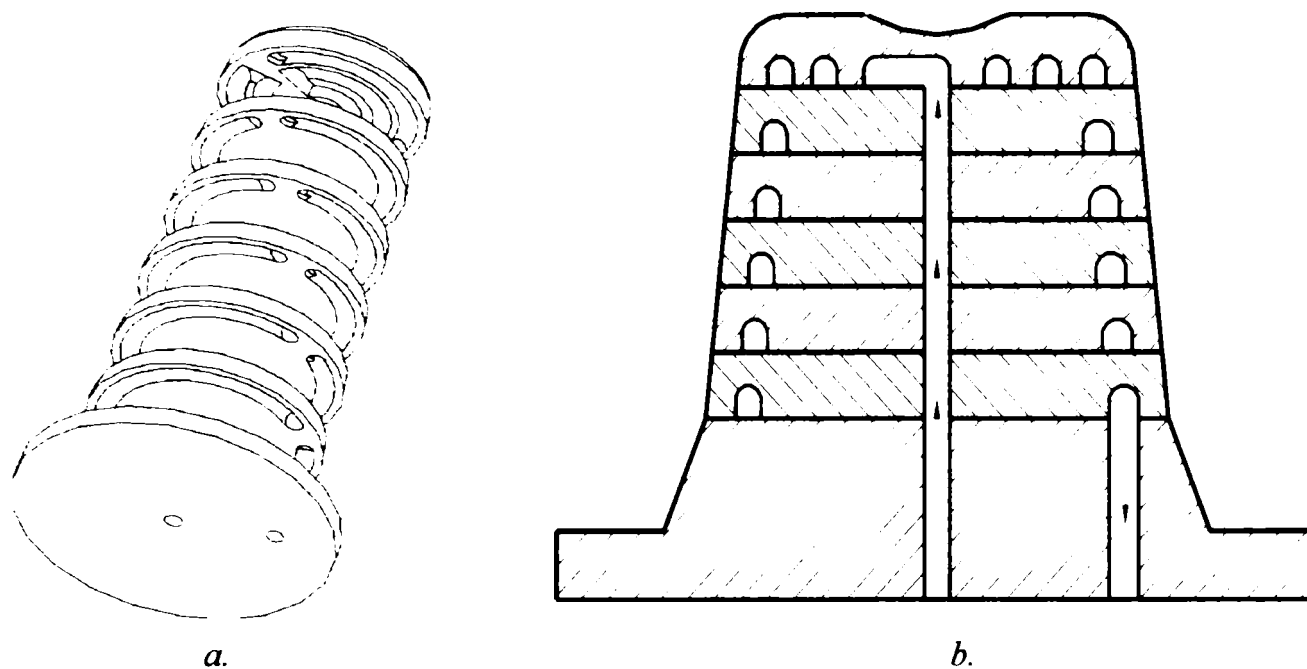


Fig. 3.32. Circuit de răcire cu plăci asamblate.

a- vedere de ansamblu; b- secțiune.

Pentru răcirea poansonelor de diferite dimensiuni, au apărut soluții noi de temperatură [72,95]. Aceste soluții se bazează pe principiul termosifonului.

Conceptul de superconductivitate izobar poate fi urmărit în fig.3.33. Într-un tub metalic 1, din cupru se găsește un alt tub metalic 2, de compoziție specială, cu structura capilară. În interiorul tubului 1 și între tubul 1 și 2 circulă un fluid, fluidul se găsește atât în stare lichidă cât și în stare de vapori. Lichidul preia căldură din exterior, este trecut prin tubul 2 în interior și se vaporizează. Se realizează un efect de pompa de la capătul A spre capătul B unde vaporii de fluid trec prin tubul 2 și se transformă în stare lichidă, cedând căldura mediului. Lichidul intră în circuit spre capătul A al tubului pentru preluarea căldurii din mediul exterior. În cazul acestui sistem transferul termic este foarte rapid și soluțiile constructive care folosesc acest sistem devin foarte eficiente.

Constructorii de astfel de sisteme oferă bare cilindrice cu diferite diametre și lungimi ($d=3-50$ mm; $L=50-500$ mm), [119,122]. Implementarea practică a acestui sistem poate fi urmărită în fig.3.34.

În concluzie, precizăm că soluțiile descrise reprezintă avantaje importante în ceea ce privește eficiența sistemului de temperare în cazul matrițelor de injectat materiale termoplastice. Acest fapt duce în final la obținerea unor produse de calitate care au un grad de deformare scăzut.

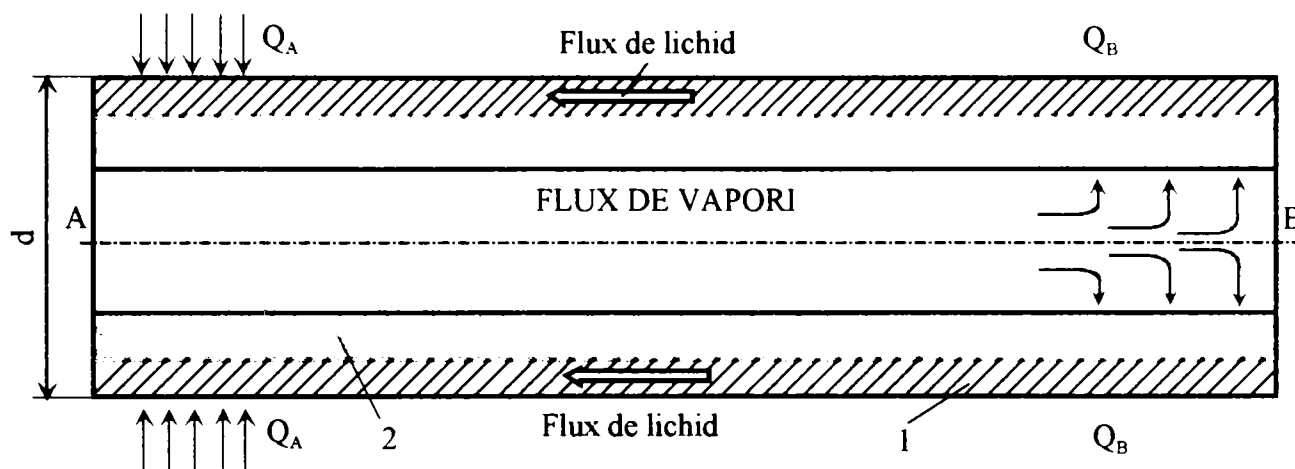


Fig.3.33. Răcirea prin sistemul izobar

A, B – capetele tubului; Q_A – căldura absorbită; Q_B – căldura cedată; 1 – tub exterior;
2 – tub interior.

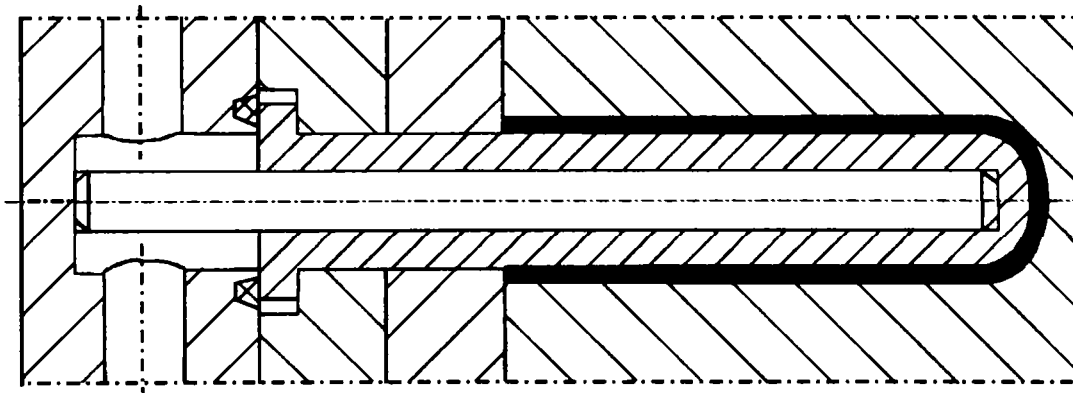


Fig.3.34. Soluții constructive pentru folosirea sistemului izobar:

a – temperarea unui poanson; b – temperarea unor pastile;

1 – tub izobar; 2 – poanson; 3 – pastilă.

4. CERCETĂRI TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE PRIVIND MODELAREA ȘI SIMULAREA SISTEMELOR DE TEMPERARE LA MATRITELE DE INJECTAT

4.1. Temperatura matriței parte componentă a procesului de injectare

Stăpânirea procesului de prelucrare prin injectare presupune pe lângă cunoașterea procedurilor de lucru, a structurii chimice, a proprietăților termoplastelor și influența reciprocă a factorilor individuali. De aceea este necesar ca problema reglării temperaturii matriței să fie rezolvată ținând cont de influența acestor factori individuali, care au un rol important în procesul de injectare. Din acest motiv se va explica pe scurt mersul întregului proces de injectare, pentru a ilustra cât mai evident rolul reglării temperaturii matriței.

Materialul sub formă de granule, datorită căldurii se topește sau mai bine zis se plastificază. La mașinile de injectare cu melc, încălzirea materialului se realizează prin încălzirea cilindrului și căldurii de frecare datorată rotației melcului, iar la mașinile cu piston numai prin încălzirea cilindrului. Materialul plastifiat ajunge apoi datorită injectării cu piston, respectiv melc-piston în sistemul de culee a matriței. Apoi, trebuie să învingă rezistența canalelor și rezistența drumului de curgere în matriță, care este cu atât mai mare cu cât grosimea de perete a piesei de injectare este mai mică. În timpul acestei prime faze a injectării, termoplastul cedează căldură mediului, adică începe procesul de răcire, metalul în apropierea sistemului de culee se încălzește.

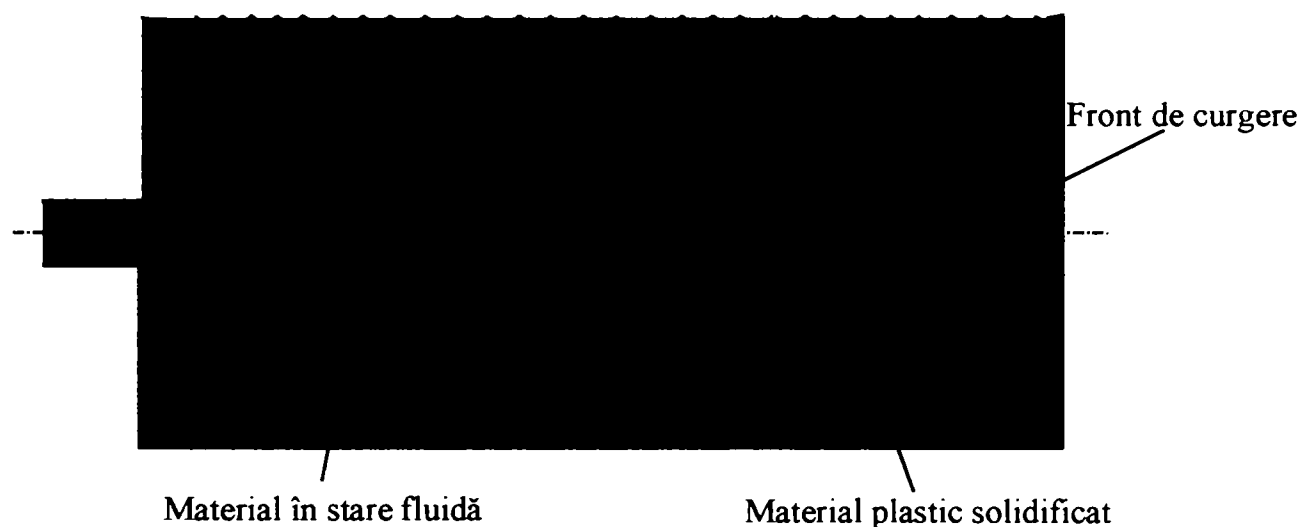
Cedarea de căldură poate fi așa de mare, încât în cazul unui drum de curgere lung a piesei, materialul mult răcit nu va umple complet cavitatea cuibului. Aceste fenomene sunt evidente, dacă ne gândim că la injectarea materialului în matriță, fiind vorba aici de un fluid newtonian, acesta ajunge imediat la peretele matriței și în zona de margine se întărește (fig. 4.1.).

Întrucât cu creșterea drumului de curgere, stratul solidificat de pe peretele interior al matriței crește, iar prin aceasta, canalul cu rezistența mai mică care servește pentru alimentarea materialului în direcția curgerii se micșorează, în vederea realizării unei umpluturi ireproșabile a matriței chiar și în cazul drumurilor de curgere lungi, această

particularitate a materialelor plastice la curgere trebuie luată în considerație prin diferite măsuri:

- prin mărirea presiunii și vitezei de injectare;
- prin mărirea temperaturii materialului plastic (schimbarea vâscozității);
- prin mărirea temperaturii matriței (schimbarea vâscozității).

Eficiența cea mai mare se obține prin mărirea presiunii și a vitezei de injectare. În cazul când toate reglajele mașinii sunt epuizate, îmbunătățirea curgerii materialului poate fi obținută prin mărirea temperaturii materialului, respectiv mărirea temperaturii matriței sau ambele concomitent.



*Fig. 4.1. Reprezentarea umplerii cavității matriței
x- traiectoria materialului plastic topit*

Temperaturile ridicate ale materialului însă au dezavantajul că prelungesc timpul de răcire, temperaturile mai ridicate ale matriței, în schimb prelungesc în mică măsură timpul de răcire, însă nici nu influențează comportarea la curgere a materialului. Trebuie deci, cântărit de la caz la caz, care dintre măsuri sunt mai importante. La presiuni și viteze de injectare prea mici, contracția apărută datorită răcirii nu pot fi contracarată prin presiune ulterioară în mod satisfăcător în așa fel ca pe lângă retușurile și locurile de împreunare ce apar, se mai prelungeste și timpul de răcire, și se înrăutățește trecerea căldurii de la material către matriță.

În afară de acestea, în cazul unei amplasări necorespunzătoare a orificiilor de răcire există pericolul, că datorită răcirii neuniforme a piesei injectate să apară tensiuni interne în piesă.

În această idee pare necesar să se coreleze timpul de răcire și timpul de plastifiere.

După ce cavitatea matriței s-a umplut și piesa s-a întărit, în cilindru se plastificază materialul nou, pregătit pentru următorul ciclu de injectare. Acest ciclu se încheie de multe ori fără ca temperatura de injectare să fie atinsă. Se tinde însă și acest lucru în multe cazuri când forma constructivă a piesei și răcirea este corectă fiind posibil ca la anumite piese timpul de răcire să fie mai scurt decât ciclul de plastifiere.

La piese cu pereți groși, însă din capul locului se pare că o asemenea scurtare a timpului de răcire este imposibilă. Tratând procesul de injectare în ansamblu, se poate vedea că, calitatea și economicitatea fabricării produselor din materiale plastice depind în principal de modul cum sunt învinse rezistențele la umplerea formei, cum se micșorează contracțiile și prin care se limitează tensiunile interne ce apar la întărirea materialului, iar timpii de răcire pot fi scurtați.

4.1.1. Procesul de răcire

Procesul de răcire propriuzis în matriță începe deja la ciclul de umplere. Materialul plastic injectat întâlnește direct suprafața cavității din partea de închidere, și se distribuie înaintând în direcția de curgere către suprafața matriței cedând căldură, sau de asemenea cedând căldură curgerii de-a lungul cavității de formare, fără a se izbi de vreo suprafață (cazul pieselor plane, cu injectare laterală, fără culee vizibilă).

Această fază a răcirii este foarte greu de observat, deoarece relațiile privind propagarea căldurii termoplastelor diferă de cea a fluidelor newtoniene. Cert este însă, că în acest interval de timp, se cedează o cantitate relativ mare de căldură către pereți matriței în zona culeei și în special către partea opusă culeei, deoarece prin această parte trece întreaga topitură termoplastică plasticizată.

Acest lucru are drept urmare încălzirea matriței în zona activă, în cazul când cantitatea de căldură nu este transportată prin posibilității de răcire adecvată.

După ce materialul plastic topit a umplut cavitatea de formare, începe faza a doua a răcirii.

Masa întărită deja pe suprafață, cedează cantitatea de căldură acumulată în interiorul piesei prin conducția termică, respectiv prin convecție și radiație, către suprafața matriței.

Conducția termică are loc în special acolo unde piesa datorită contracției se presează pe perețele matriței, strângerea pe un poanson, convecția și radiația apare acolo unde datorită

contractiei piesei se formează deja o oarecare distanță între suprafața piesei și a matriței, precum și în timpul deschiderii matriței până la aruncare piesei injectate.

Transportul de căldură în continuare are loc datorită trecerii căldurii de la metal la mediul de răcire, precum și către mediul înconjurător, special către partea de formare (cavitatea) matriței.

Recapitulând deci, la răcire se desfășoară următoarele procese:

1. Injectarea materialului și răcirea prin contactul cu pereții matriței.
 2. Răcirea piesei injectate după umplerea formei, cu temperaturi de ieșire diferite a părților piesei.
 3. Trecerea căldurii de la masă la suprafețele metalice.
- Datorită contractiei, între suprafața masei și a metalului apar deschizături care frânează trecerea căldurii.
4. Condiția termică înăuntrul metalului până la orificiile de răcire.
 5. Trecerea căldurii de la metal la mediul de răcire.
 - 6.a Transportul de căldură a mediului de răcire conform puterii instalațiilor de reglare automată a temperaturii.
 - 6.b Trecerea căldurii de la matriță către mediul înconjurător.

4.2. Metode de simulare cu calculatorul

Reprezentarea numerică în domeniul injectării maselor plastice se poate referi la piesa injectată, matrița, respectiv procedeul de fabricație.

Pornind de la model, piesa injectată trebuie transpusă constructiv, între matriță și piesa injectată se creează efecte puternice de inversare. De exemplu, dacă crește grosimea de perete a unei piese injectate, aceasta influențează direct timpul de răcire în matriță, respectiv durata ciclului de injectare, micșorarea grosimii de perete, în ideea optimizării timpului de răcire, poate duce la probleme de curgere în matriță. Reprezentarea numerică pentru piesa injectată poate fi: reologică, termică și mecanică.

Există mai multe sisteme de calcul, alături de sistemele FEM de înalt nivel (Ansys, Abaqus, Nastran etc.) care oferă modalități optime de calcul termic și mecanic, au fost create programe specializate pe probleme de mase plastice, care au obținut rezultate deosebite, sistemele CAD avansate (IBM, CDC, General Electric etc.) integrează astfel de programe într-un concept CAE.

Un astfel de sistem de calcul are mai multe cerințe, însă unele dintre ele nefiind rezolvate decât parțial (fig.4.2.).

Se cer două lucruri fundamentale de la un astfel de sistem de calcul:

- sistemul să fie deschis pentru dezvoltări viitoare;
- sistemele rezultate trebuie lărgite.

Posibilitățile și procedeele de calcul ale pieselor din material plastic la nivelul actual al tehnicii vor fi prezentate în continuare [17].

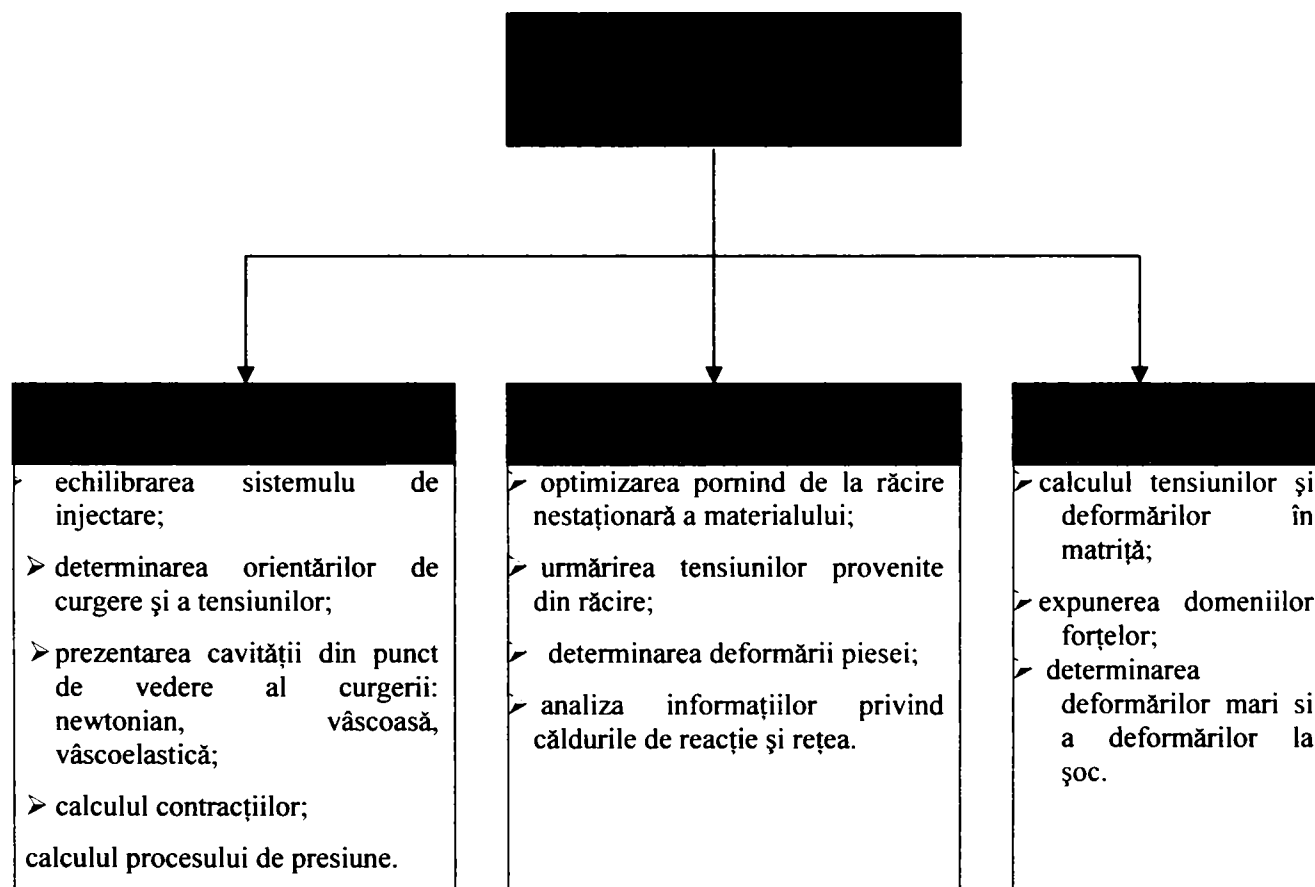


Fig. 4.2. Cerințe ale sistemului de calcul posibil în viitor.

Reprezentarea reologică. Modulele de program CAD pentru simularea umplerii matriței se pot explica în detaliu. În aceste module procesul de umplere este tratat de către calculator prin metoda elementelor finite FEM. Tratarea informatică este bazată pe două tipuri de programe: programe 2D și programe 3D. Programele 2D se bazează pe tratarea fluxului de curgere în două dimensiuni în relație cu grosimea peretelui.

Dacă geometria pentru simularea umplerii este creată cu module CAD ea nu poate fi utilizată direct, ci numai într-un mod simplificat plecând de la o geometrie pregătită anterior pentru crearea desenului și analiza mecanică a matriței. Pentru tratarea FEM, matrița trebuie să fie reprezentată în cochilie. Această cochilie este fața centrală (jumătatea grosimii peretelui

plecând de la suprafața piesei). După crearea rețelei de elemente finite, se atribuie o grosime de perete la cochilie element cu element.

Importanta putere informatică impusă prin tratarea FEM (perioada de tratare, capacitatea de memorizare) duce în mod egal la o simplificare a geometriei de baza ,care suportă tratamentul. Încă nu există un procedeu care să dezvolte această geometrie specială direct plecând de la CAD. Rețeaua de elemente finite poate în principiu să fie utilizată pentru conceperea pieselor injectate (calculul tensiunilor și contracțiilor) și pentru simularea umplerii matriței. Există totuși diferențe în structura rețelei necesare multiplelor puncte precise ale suprafeței rețelei, desăvârșirea rețelei trebuind efectuată în locurile critice ale piesei injectate. Se poate vedea deci că ideea utilizării în producție a datelor generate în prealabil prin CAD, nu este așa de simplă.

Programele 3D pot fi împărțite în două grupe. În prima grupă, procesul de umplere este înregistrat prin integrarea grosimii pereților (Cadmould 3D, Maestro, Moldflow 3D, MFL 4). În a doua grupă grosimea peretelui este divizată în straturi individuale și valorile punctate ale temperaturii, vitezei etc., sunt determinate pentru fiecare strat (Cadmould 3D, Maestro, Moldflow 3D MFLP, Mold Filling, Procop, TM Concept). Aceste programe pot de asemenea să înregistreze secțiunile transversale ale fluxului liber, care schimbându-se în timpul procesului de umplere în funcție de răcirea matriței și ca urmare a încălzirii amestecului rezultat din încălzirea prin fricțiune localizată și în funcție de timp. Etapa următoare la înregistrarea procesului complet a fluxului, este studiul fazei de menținere a presiunii (Cadmould 3D Mehold). Aici presiunea, temperaturile și vitezele, depind de timp și de gradul de eficacitate a menținerii presiunii, în așa fel încât secțiunile transversale libere și valorile de contracție sunt determinate în toate punctele piesei injectate. Se pot trage astfel concluzii calitative asupra punctelor de curgere și tendințelor de deformare a pieselor injectate.

4.3. Modelarea și optimizarea sistemului de temperare într-o matriță experimentală.

În acest capitolul se abordează procesul de injectare într-o matriță experimentală:

- se proiectează o piesă injectată ca urmare a unor necesități practice;
- se proiectează o matriță de injectat pentru piese injectate;
- se modelează și se optimizează cu ajutorul programului Moldflow injectarea în matriță pentru obținerea unor piese de calitate;
- se construiește matrița de injectat care față de analiza, teoretică cu ajutorul

calculatorului prezintă unele modificări determinate de tehnologia de execuție;

- se realizează un ansamblu experimental format din mașina de injectat, matriță, aparataj auxiliar necesar procesului și material termoplastice;
- se realizează injectarea pieselor pe ansamblul experimental;
- pentru analiza comparativă între programul Moldflow și experiment se reface analiza parametrilor importanți pentru matrița executată. Se compară rezultatele practice cu cele ale programului Moldflow.

Acest mod de abordare pentru obținerea unor piese de calitate oferă mai multe avantaje:

- la piese complexe, la serie de fabricație mare sau în cazul unor piese de precizie analiza cu calculatorul a procesului de injectare în matriță se justifică din punct de vedere al costului cu proiectarea;
- prin simularea procesului de curgere în matriță și prin analiza parametrilor sistemului calculatorul oferă tehnologului și proiectantului de piesă și matriță informații inițiale valoroase care fac ca experiența tehnologică să fie completată-astfel încât să fie eliminate erorile de proiectare și execuție la matriță;
- prin analiza complexă a temperaturilor poansonului și cuibului precum și a temperaturii piesei injectate calculatorul oferă indicii prețioase în proiectarea sistemului de temperare.
- analiza deformațiilor piesei injectate oferită de calculator sesizează calitatea piesei încă din faza de proiectare astfel încât să se poată aprecia dacă piesa va corespunde scopului pentru care este proiectată. Se elimină din start rateuri care pot fi deosebit de costisitoare în ceea ce privește matrița;
- prin analiza făcută de calculator se oferă tehnologului și proiectantului parametrii de injectare care nu pot fi atinși în practică astfel încât rezultatul este diferit de cel anticipat;
- calculatorul nu poate lua în considerare unii parametrii specifici experimentului sau practicii (starea suprafeței matriței, mediul ambiant etc. astfel încât experiența tehnologică poate anticipa rezultatul final în mod hotărâtor;

4.3.1 Piesa injectată

Pentru experiment s-a ales o piesă injectată din polipropilenă, Stamyln P83MF10, caracteristicile fizice ale acestui material sunt prezentate în anexa 1.

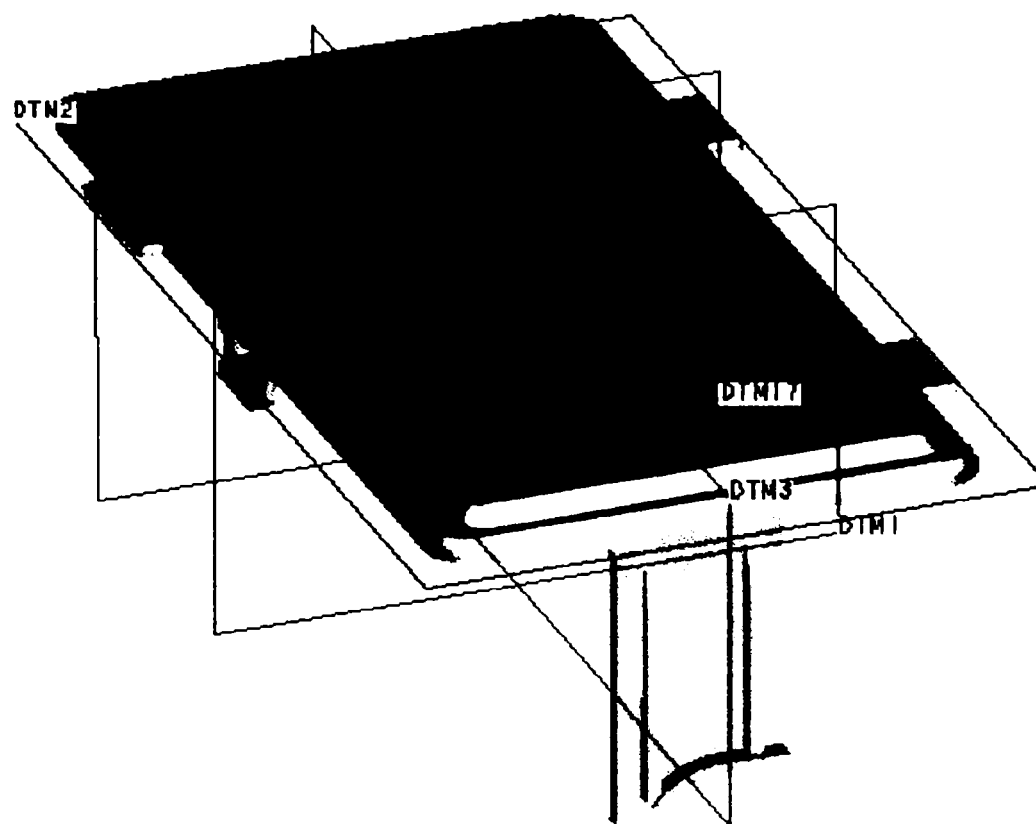


Fig.4.4. Reprezentarea piesei în 3D

4.3.2. Matrița de injectat

Pentru experiment s-a proiectat o matriță de injectat cu un singur cuib (fig.4.5). În vederea obținerii reperului stabilit, s-a folosit un sistem de injectare directă cu duză încălzită, pentru a se evita apariția urmelor de culee, obținându-se un aspect superior comparativ cu sistemul de injectare cu canale de distribuție .

Demularea piesei din matriță se face automat cu ajutorul tijelor de aruncare, la închiderea matriței sistemul de aruncare este adus în poziția inițială cu ajutorul tijelor readucătoare.

Sistemul de ghidare și centrare al matriței este unul clasic el fiind asigurat cu ajutorul a 4 coloane de ghidare, care sunt ghidate la rândul lor în 4 bucșe de ghidare.

Răcirea matriței se realizează cu ajutorul unor canale de răcire cu șicane care sunt proiectate atât pe partea fixă cât și pe cea mobilă, pentru a realiza o răcire cât mai eficientă pe ambele suprafețe ale piesei, în figurile 4.2. și 4.3 sunt prezentate două vederi în planul de separație al matriței proiectate, unde se evidențiază majoritatea componentelor principale.

În figura 4.5 și 4.6 se prezintă desenul în 3D a matriței de injectat analizate în două vederi.

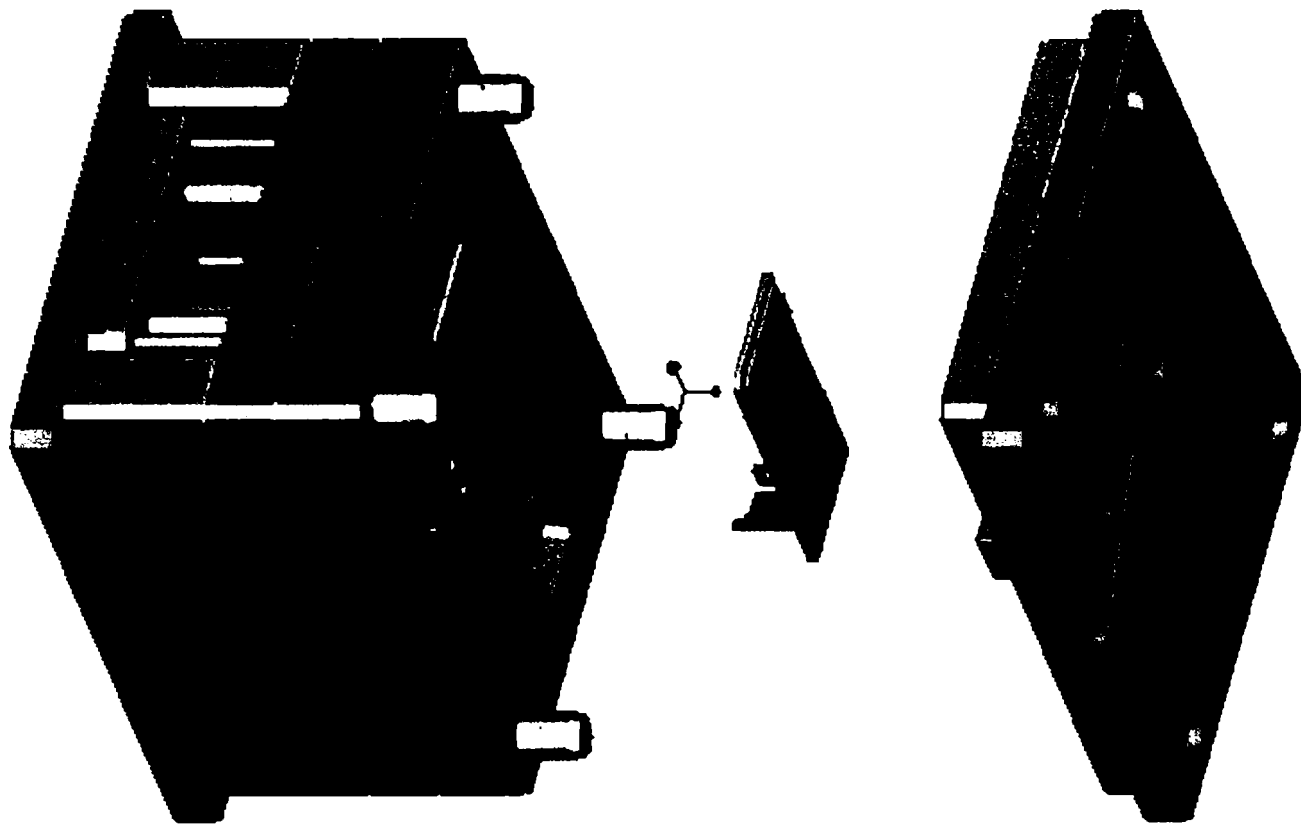


Fig.4.5. Matriță de injectat experimentală cu un cui, vedere parte mobilă.

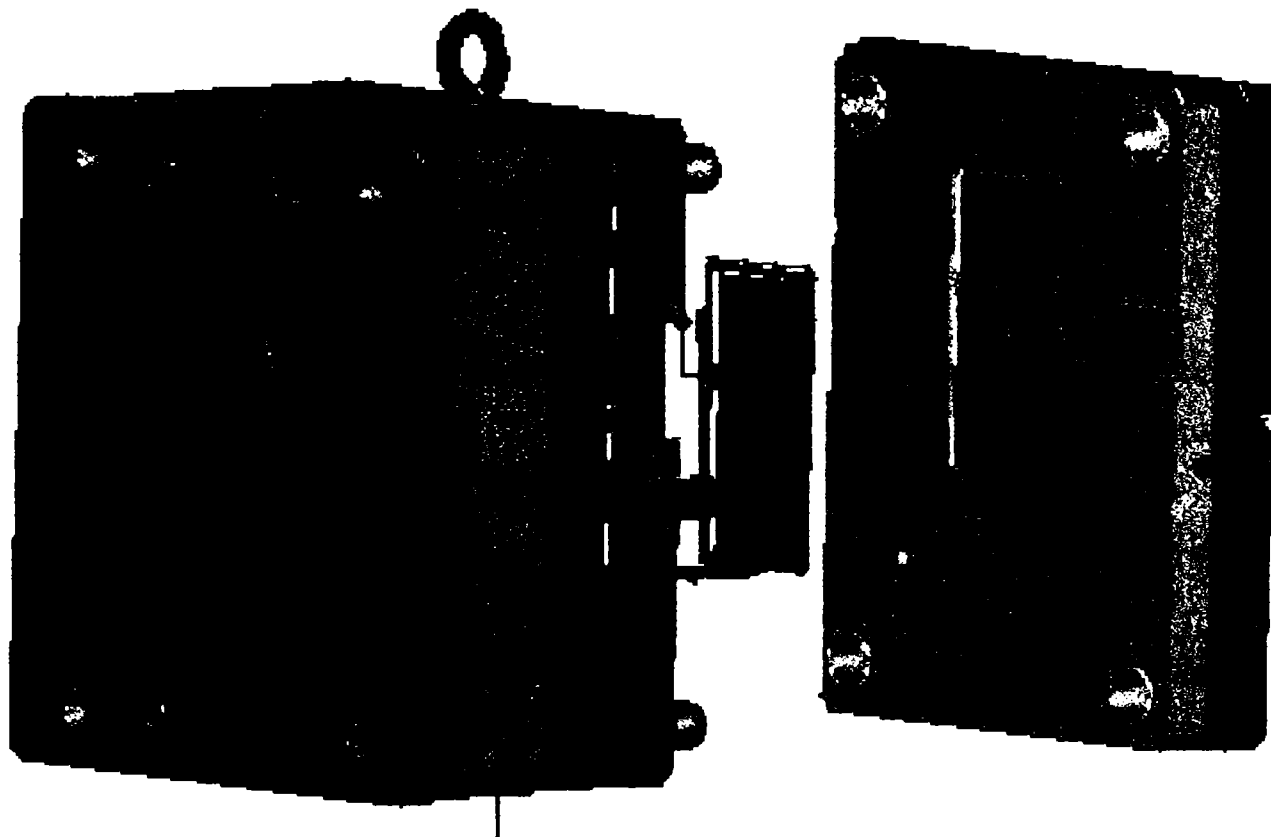


Fig.4.6. Matriță de injectat experimentală cu un cui vedere parte fixă.

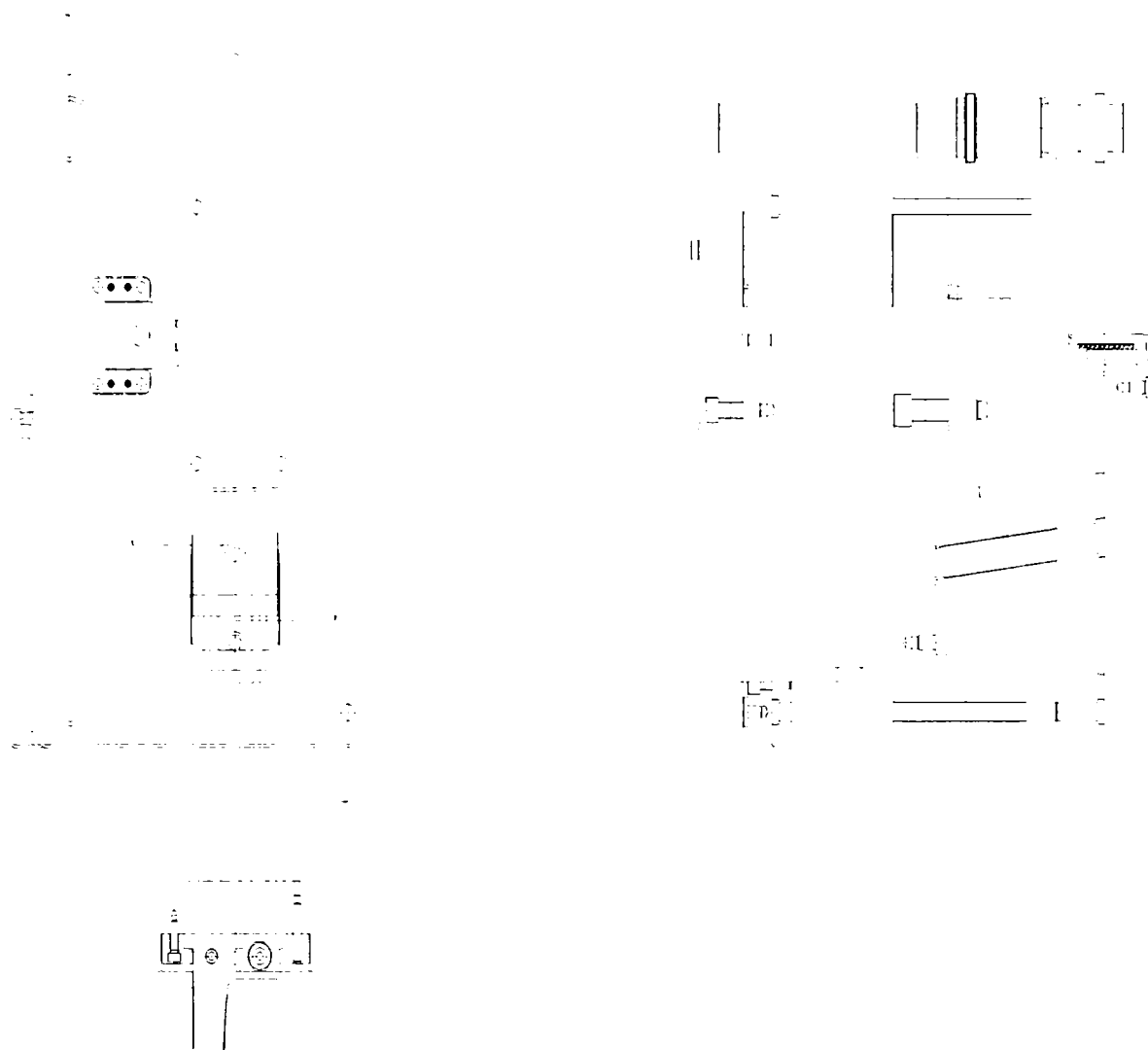


Fig.4.7. Matriță de injectat experimentală desen de execuție.

Simularea procesului de injectare în matriță se poate realiza folosind programe performante de diferite firme specializate. In acest caz am utilizat unul dintre cele mai performante programe de simulare a injectării în matriță, programul *Moldflow*.

Programul de analiză Moldflow folosește un model geometric „mesch” (plasă) care este creat în mod automat de program pe baza geometriei piesei de analizat.

Modelul piesei de analizat poate fi creat în orice program de simulare tridimensională pe calculator, model care este importat sub formă de suprafață IGES sau STL în programul de analiză MOLDFLOW.

„Meschul” conține elemente triunghiulare care au trei noduri, iar simularea curgerii se bazează pe calculul în fiecare nod. Numărul total de elemente ale nodului determină

acuratețea rezultatelor și durata analizei, mai multe elemente însemnând o precizie mai mare, dar și un timp de calcul mai lung. Fiecare nod al elementului finit al „mesch-ului” are asociat un volum de control, iar suma acestor volume dă volumul modelului.

Următorul pas este alegerea punctului de injectare. Programul poate stabili zonele optime pentru amplasarea punctului de injectare în situația în care este folosită opțiunea „best injection gate location”. Dacă nu, simularea se va face pentru o poziție oarecare aleasă de utilizator, după criteriile de construcție și funcționare a matriței, de aspect al piesei injectate, în funcție de amplasarea cuiburilor în situația matrițelor de injectat cu mai multe cuiburi .

În funcție de cerințele calitative impuse piesei de injectat se va alege materialul plastic din „Banca de materiale a programului”

Urmează alegerea materialului plastic din „Banca de materiale a programului” în funcție de cerințele calitative impuse piesei de injectat. Banca de materiale este actualizată în mod regulat, și furnizează toate datele necesare efectuării calculului, cum ar fi date referitoare la cristalinitatea materialului, familia de materiale din care face parte, ranforsări, indice de curgere, date ce privesc condițiile de procesare cum ar fi: temperatura maximă și minimă a topiturii (precum și temperatura sugerată), la fel și temperatura matriței, tensiunile maxime de forfecare precum și viteza maximă de forfecare.

De asemenea este dată conductivitatea materialului, căldura specifică, temperatura la care poate fi aruncată piesa din matriță și temperatura la care îngheță frontul de material.

Parametrii de injectare care urmează să fie introduși pot rezulta dintr-un calcul de optimizare a valorilor acestora sau pot fi introduse valori stabilite de utilizator. Trebuie să introduși valori pentru timpul de injectare, profilul de presiune și temperaturi, după care poate începe calculul de umplere , umplerea și menținerea, răcirea și calcul de tensiuni remanente.

În urma calculelor efectuate se obțin diagrame izovalorice care trebuie analizate și interpretate pentru a vedea dacă este sau nu necesară modificarea valorilor parametrilor introduși ca date inițiale în vederea obținerii de piese injectate de calitate.

Diagramele izovalorice oferă o imagine exactă a tuturor valorilor dorite cum ar fi:

- deformația piesei pe direcțiile x, y și z;
- temperatura apei de temperare a matriței;
- temperatură cuib matriță;
- temperatură poanson matriță;
- cauză contracție ;
- Deformațiile totale a piesei

- Diagrama variației de temperatură a piesei
- Rata de curgere a apei
- Presiunea apei pe circuit

Programul Moldflow utilizează o serie de principii care stau la baza proiectării sistemului de temperare și a umplerii matriței. În continuare se prezintă câteva dintre acestea:

- proiectarea rețelei, astfel încât digul să înghețe când s-a făcut umplerea și compactizarea adecvată. Nu apare astfel supracompactizarea, care cauzează tensiuni interne în piesă;

- temperatura frontului de curgere acceptă o variație de temperatură cuprinsă între 0 - 2°C față de temperatura de injectare. Ideal este ca temperatura frontului de curgere să fie constantă sau cu o variație de max. 2°C în plus datorită încălzirii prin forfecare sau în minus datorită răcirii în contact cu pereții cuibului matriței;

- timpul de răcire să fie cât mai uniform în toate nodurile piesei și cât mai mic.

Umplerea poate fi îmbunătățită prin schimbarea punctului de injectare, a grosimii peretelui în anumite zone ale piesei sau prin combinația acestora;

Analiza compactizării are loc după ce s-a realizat optimizarea umplerii și furnizează rezultate despre contracțiile volumice, care ajută în determinarea deformațiilor piesei, a retasurilor și contracțiilor.

Analiza compactizării ia în calcul atât compresibilitatea materialului plastic cât și contracția volumică.

Așa cum am amintit anterior am ales un sistem de injectare fără canale de distribuție el este prezentat în fig 4.8 Cu ajutorul programului se realizează în mod automat mai multe diagrame prin care se face analiza procesului.

Datele inițiale alese de experimentator:

- materialul termoplast: Stanyl P 83MF10;
- punctul de injectare este în centrul piesei.

Calculatorul alege datele procesului: $T_{matrița} = 40^{\circ}\text{C}$; $T_{topitura} = 225^{\circ}\text{C}$, debitul de transport, presiunea de umplere.

4.4. Analiza circuitelor de temperare a matriței cu sistemul de temperare inițial.

Pentru efectuarea unei analize complete este necesar modelarea tuturor circuitelor de temperare a matriței pe întreaga suprafață. După modelarea tuturor suprafețelor este necesară transformarea lor în rețele de elemente triunghiulare (mesh-uri) în nodurile cărora se vor face toate calculele analizei.

Etaple necesare pentru pregătirea simulării procesului de răcire al piesei în cuibul matriței sunt absolut necesare a fi respectate și parcurse în ordinea dată pentru a se putea demara calculul simulării răcirii. Aceste etape sunt:

1. Realizarea și optimizarea mesh-ului piesei injectate pentru care se dorește să se realizeze analiza răcirii
2. Definierea ordinii de calcul ale proceselor și anume în general se utilizează ordinea următoare:
 - a. Analiza umplerii
 - b. Analiza compactizării
 - c. Analiza răcirii
 - d. Analiza post-deformațiilor
3. Selectarea materialului plastic din care urmează a fi injectată piesa din baza de date a programului sau din baza de date proprie
4. Modelarea mesh-ului plăcilor active ale matriței care ajung în contact cu topitura de material plastic și prin care s-au executat circuitele de temperare
5. Alegerea materialului de execuție al plăcilor active ale matriței
6. Definierea parametrilor de reglaj pentru procesul de injectare:
 - a. Temperatura matriței
 - b. Temperatura topiturii
 - c. Timpul de injectare
 - d. Timpul de compactizare
 - e. Presiunea de compactizare
 - f. Timpul de răcire
7. Modelarea tuturor circuitelor de temperare cu toate elementele componente ce definesc aceste circuite cum ar fi:
 - a. Racordurile

- b. Circuitele sub formă de canale de geometrii diferite
 - c. Circuitele deget cu șicană sau cu tub interior
 - d. Furtunele de legătură între unele circuite
8. Definierea pentru fiecare circuit separat a punctului de intrare al agentului de temperare în circuit
9. Alegerea agentului de răcire utilizat pentru temperarea matrițelor care poate fi:
- a. Apă industrială pentru temperaturi între 20°C și 25°C
 - b. Apă dintr-un aparat de temperare pentru temperaturi cuprinse între 30°C și 90°C
 - c. Apă dintr-un aparat de răcire (răcitor) pentru temperaturi între 10°C și 20°C
 - d. Apă amestecată cu antigel sau glicol pentru temperaturi între -5°C și 10°C
 - e. Ulei pentru temperaturi mai mari de 90°C
10. Stabilirea temperaturii de intrare a agentului pentru fiecare circuit
11. Definierea parametrilor de curgere al agentului de temperare și anume:
- a. debitul de curgere [l/min]
 - b. Presiunea de alimentare [bar]
 - c. Numărul lui Reynolds
12. Definierea coeficienților de transfer de căldură dintre plăcile matriței și agentul de temperare

După parcurgerea pașilor de mai sus modelul matriței de injectat pregătit pentru simularea răcirii se prezintă în figura 4.5.

În urma modelării efectuate se constată faptul că, proiectarea sistemului de temperare este greșită, deoarece în zona centrală, datorită prezenței duzei calde, temperatura topiturii este mai ridicată, prin urmare în această zonă este necesar să existe un circuit de răcire, care ar uniformiza temperatura din matriță. Datorită faptului că nu există acel circuit rezulta o diferență mare de temperatură pe suprafața semimatriței fixe (cuib), fapt ce duce la apariția unor deformații remanente relativ mari pe toate cele 3 axe ale produsului, el fiind compromis în cele mai multe cazuri, amplasarea sistemului de temperare pe ambele semimatrițe este prezentat în figura 4.8.

În figura 4.9. se prezintă criteriile de apreciere a performanțelor circuitelor de temperare ale matriței (partea fixă). În diagrama temperaturilor de pe suprafața cuibului matriței (fig.4.10.) se recomandă ca variația temperaturii de la suprafața cuibului matriței față de temperatura țintă a matriței impusă de analiza umplerii ($T=60^{\circ}\text{C}$) să fie $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

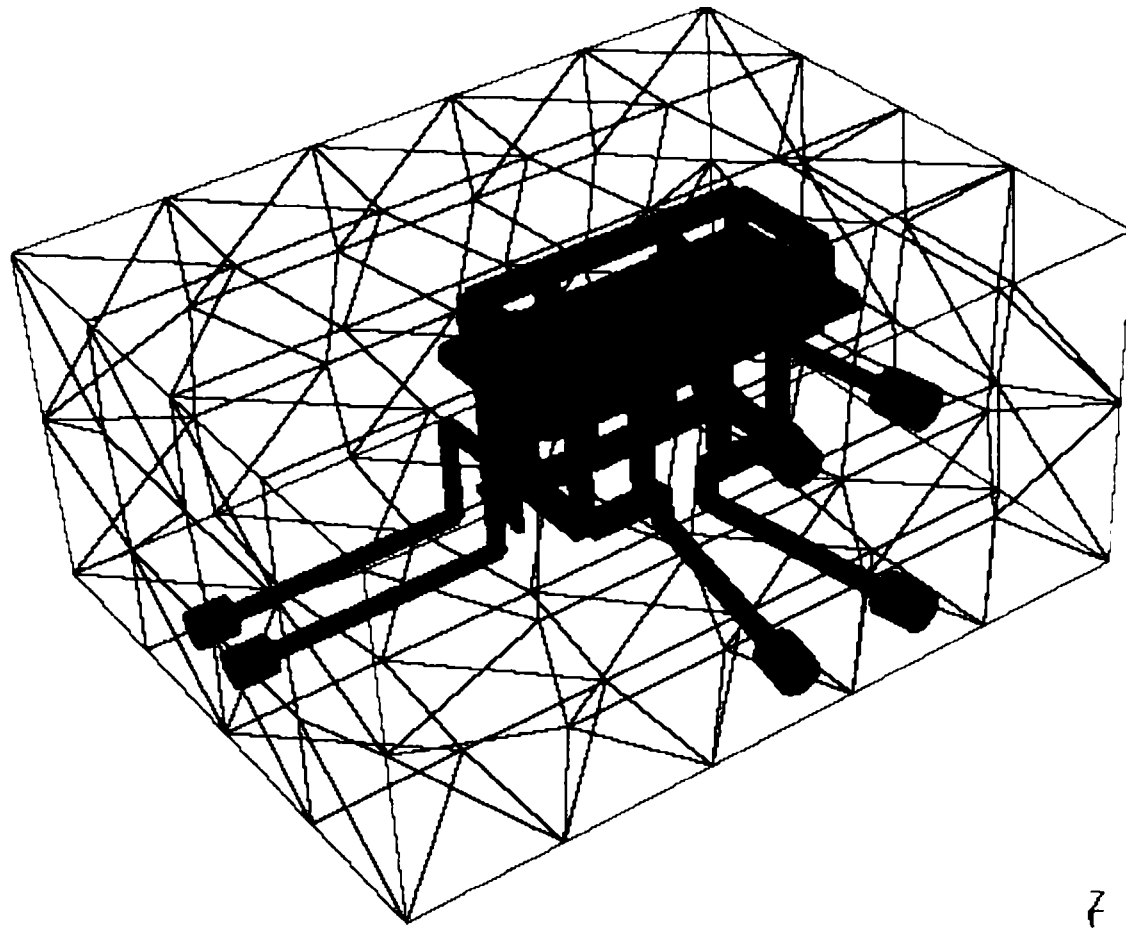


Fig.4.8. Reprezentarea sistemului de temperare a matriței.

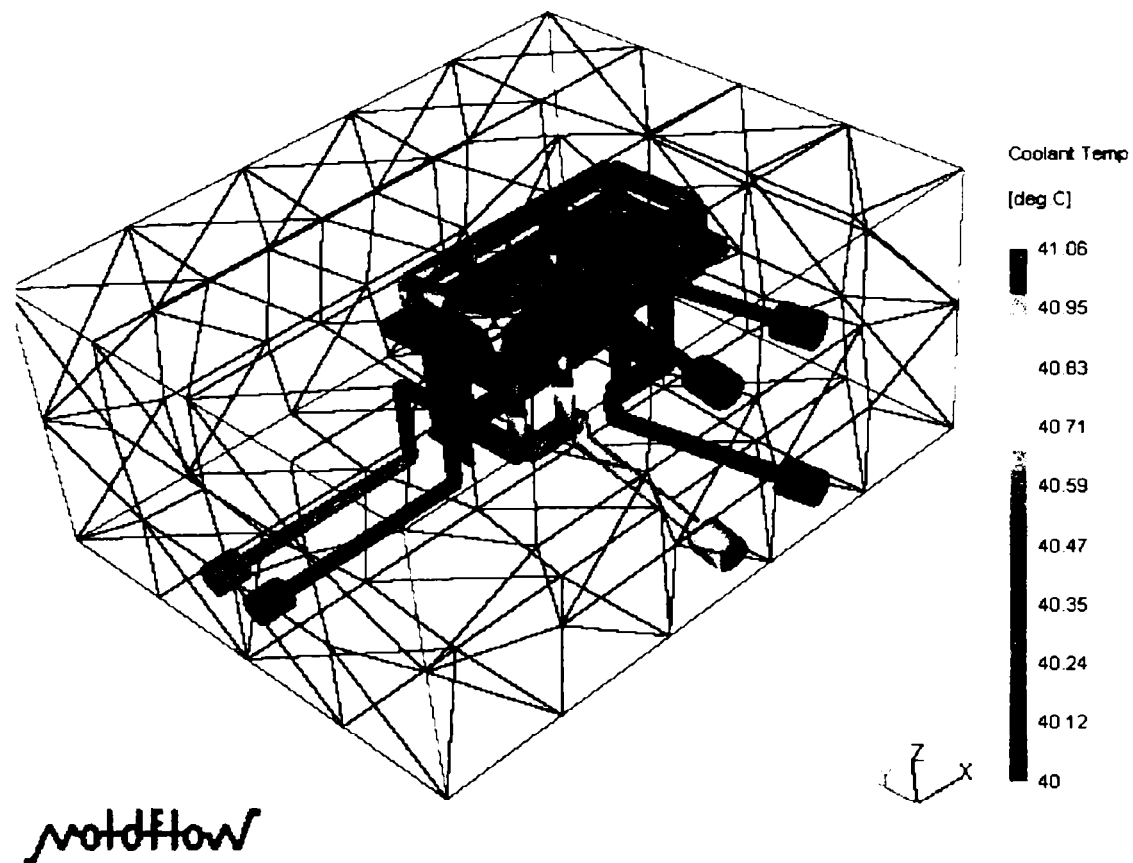


Fig.4.9. Diagrama variației temperaturii apei la semimatrița fixă (cuib).

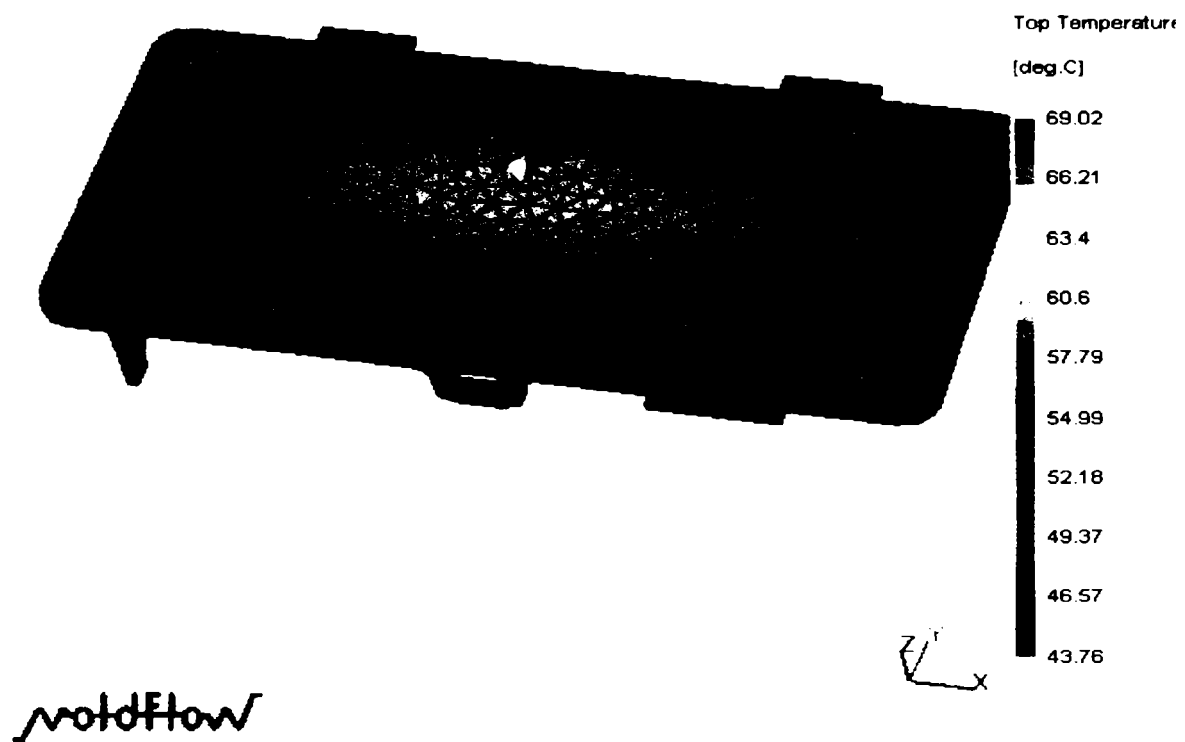


Fig.4.10. Reprezentarea temperaturii pe partea fixă a matriței (cuib).

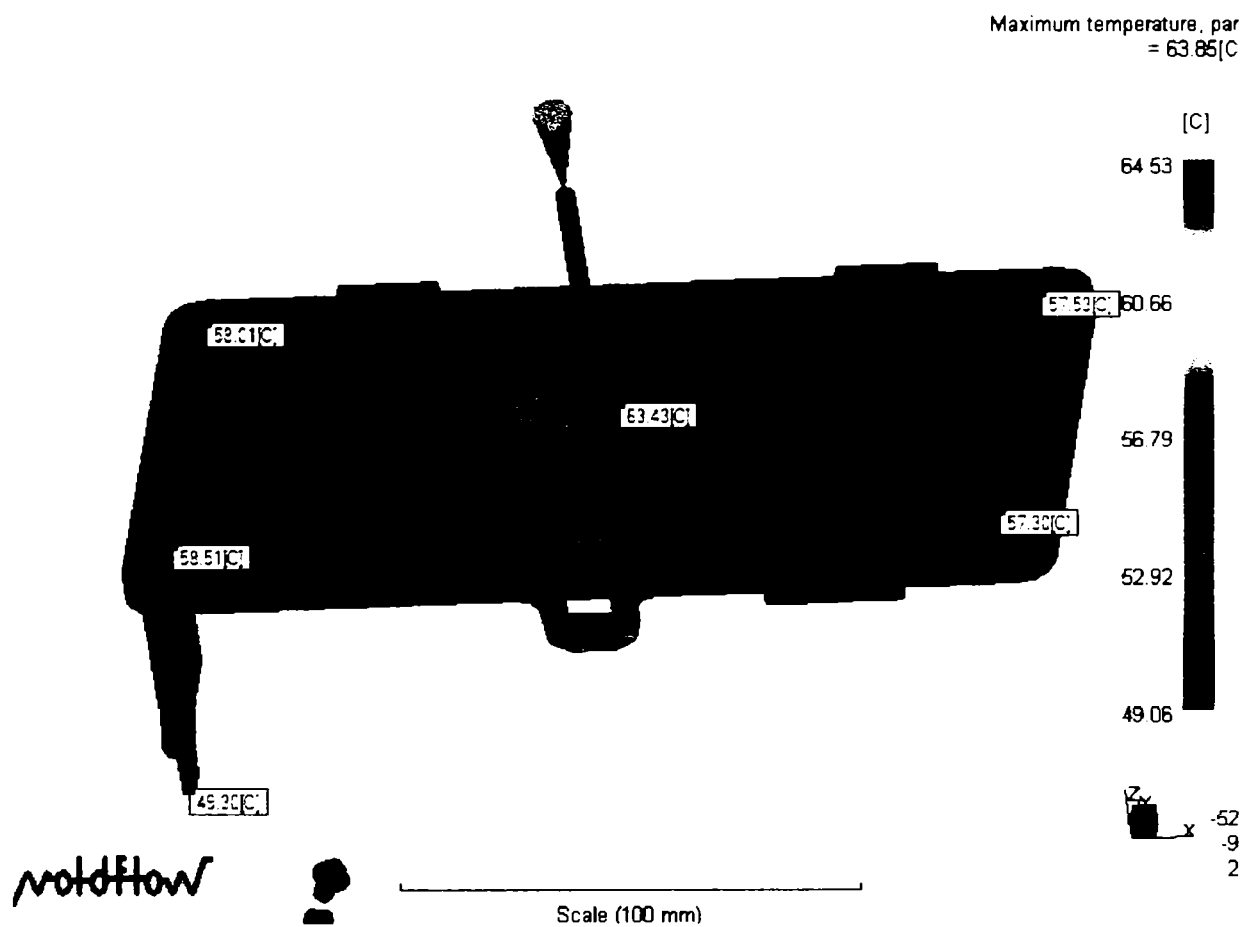


Fig.4.11. Reprezentarea temperaturii pe partea exterioară a piesei (cuib).

În figura 4.11. se reprezintă diagrama variației temperaturii piesei pe suprafața exterioară ce vine în contact direct cu semimatrița fixă (cuib).

Diagrama variației temperaturii apei la semimatrița mobilă (poanson) se prezintă în figura 4.12, valoarea de intrare este de $T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$, studiile efectuate arată că variația maximă recomandată pentru fiecare circuit este de $+2^{\circ}\text{C}$, prin urmare valoarea de ieșire în cazul de față nu trebuie să depășească 42°C pe fiecare circuit.

În figura 4.13. se reprezintă diagrama de temperatură pe partea mobilă a matriței, (poanson) unde se observă diferența de temperatură care este influențată de sistemul de temperare din semimatrița mobilă. În urma studiilor efectuate se recomandă ca variația temperaturii de la suprafața poansonului matriței, față de temperatura țintă a acesteia este impusă de analiza umplerii ($T=60^{\circ}\text{C}$) să fie $\pm 10^{\circ}\text{C}$.

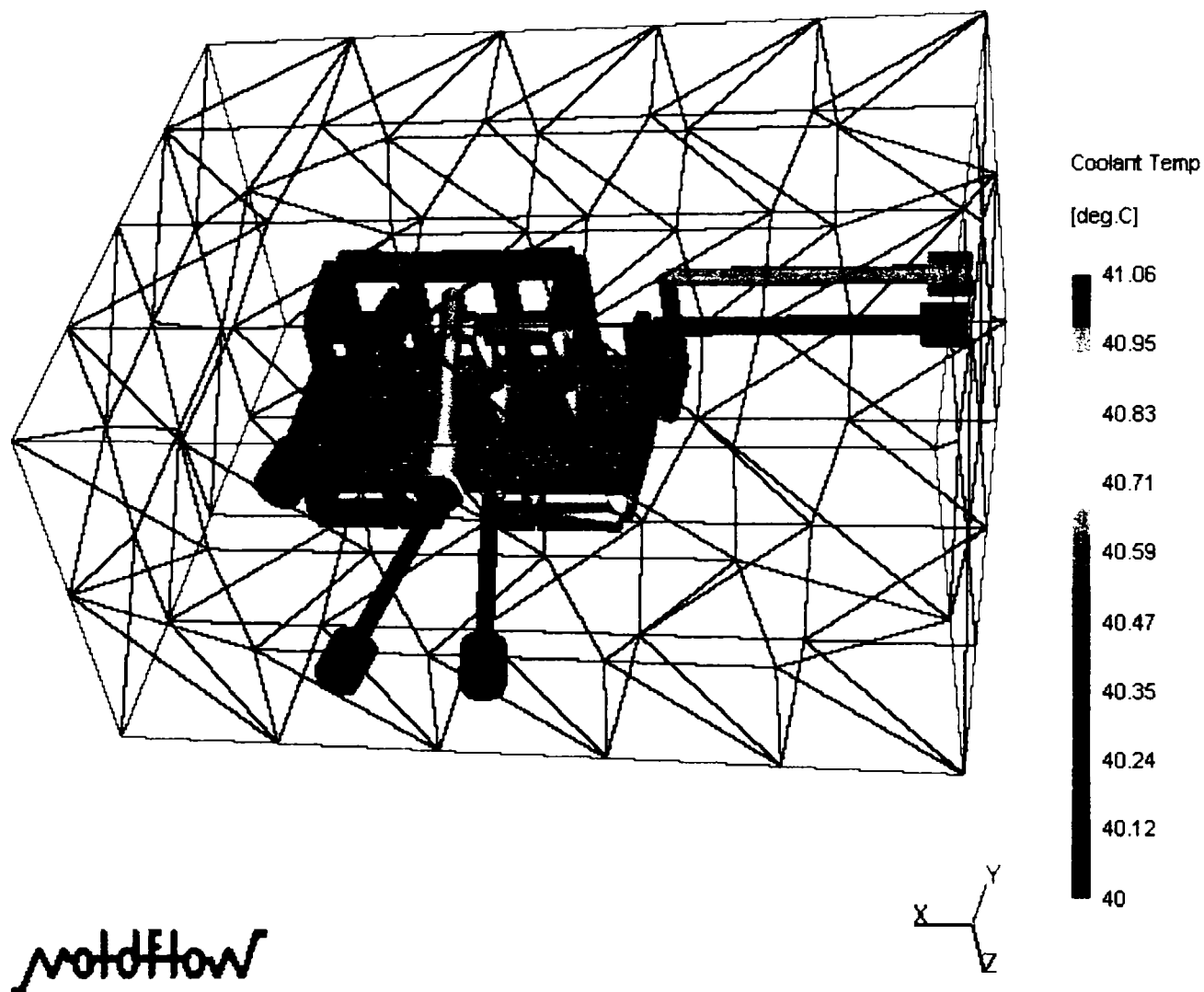


Fig. 4.12. Diagrama variației temperaturii apei la semimatrița mobilă(poanson).

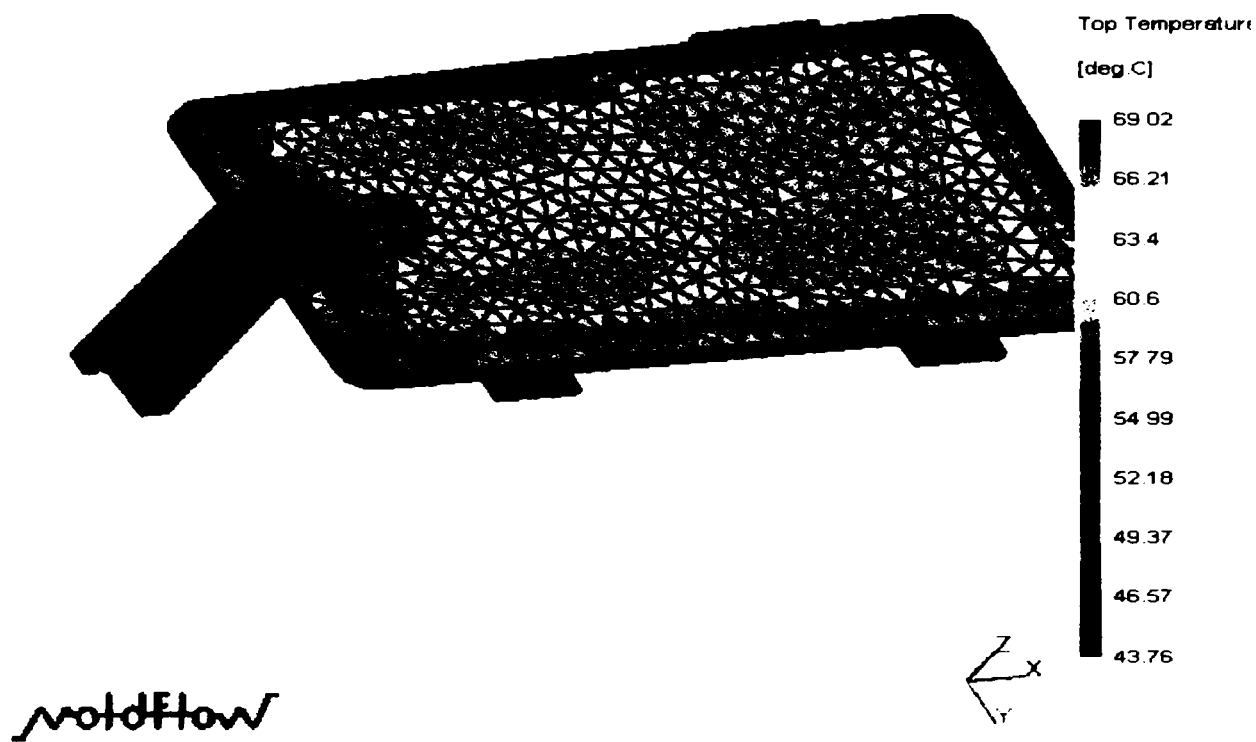


Fig.4.13. Diagrama de temperatură pe partea mobilă a matritei (poanson).

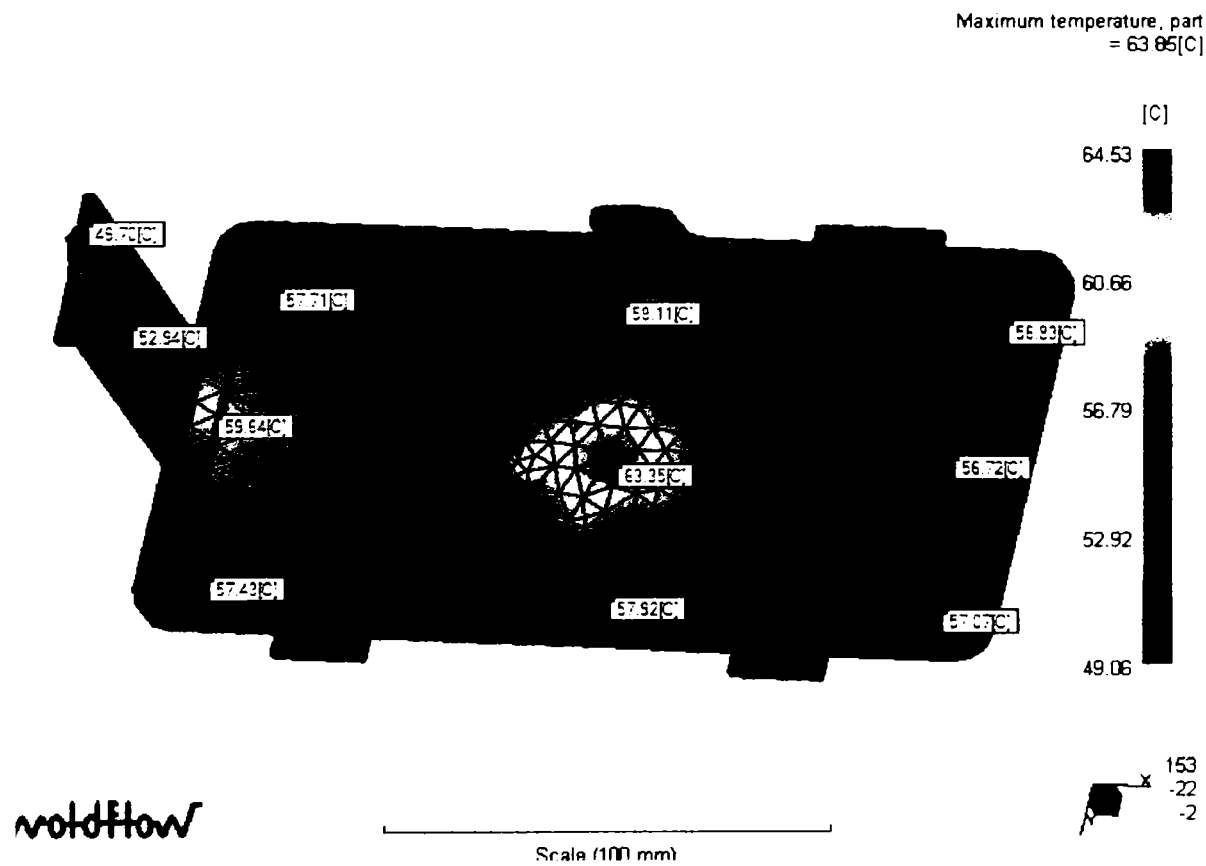


Fig.4.14. Diagrama variației de temperatură în diferite puncte de pe suprafața piesei

În figura 4.14. se prezintă diagrama variației de temperatură în diferite puncte de pe suprafața piesei, se observă faptul că temperatura nu este constantă pe întreaga suprafață existând o diferență de 13°C , diferență care duce la deformații relativ mari ale piesei în special pe axele Ox și Oz.

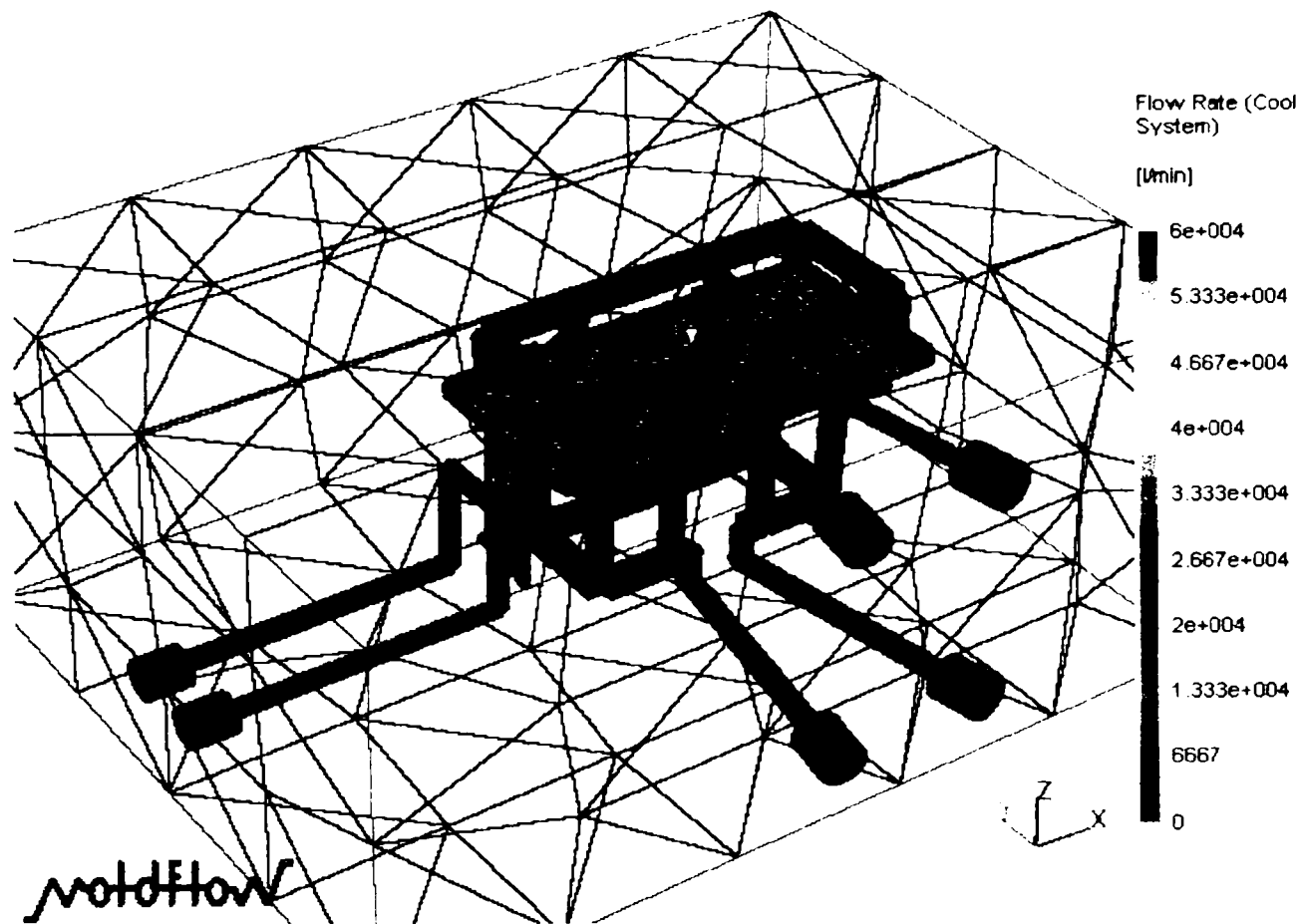


Fig.4.15. Diagrama debitului apei în fiecare circuit de temperare.

În figura 4.15. se prezintă diagrama debitului apei în fiecare circuit de temperare, în urma studiilor se constată faptul că suma debitelor pentru fiecare circuit trebuie să fie mai mică decât debitul maxim al instalației de temperare. În acest caz avem $14 \text{ l/min} = 42 \text{ l/min}$, iar debitul instalației este $\text{d}_{\text{max}} = 80 \text{ l/min}$.

În figura 4.16. se prezintă diagrama presiunilor în fiecare circuit de temperare suma presiunilor pentru fiecare circuit trebuie să fie mai mică decât presiunea maximă a instalației de temperare în acest caz avem 74 kPa pe circuit, pe cele trei circuite de temperare rezultând o presiune totală de $3 \times 74 \text{ kPa} = 222 \text{ kPa}$ (max. 240 kPa).

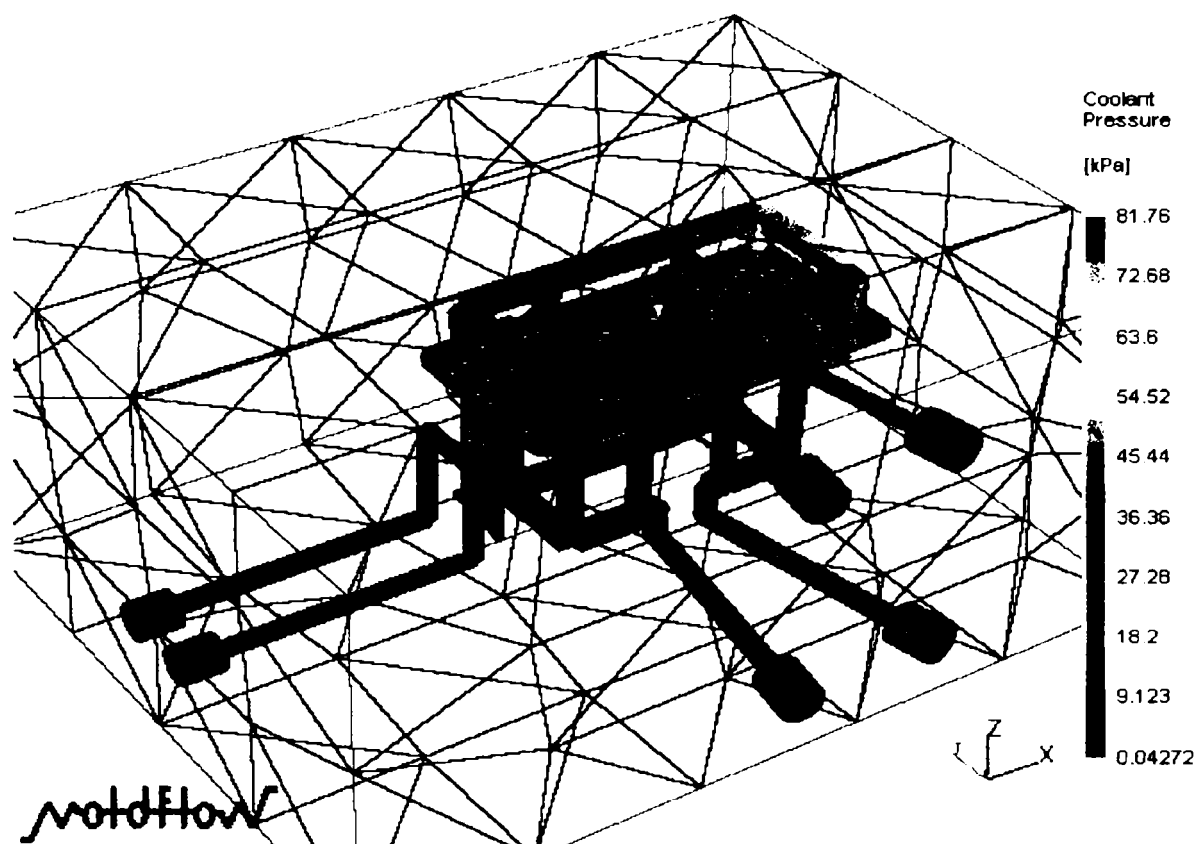


Fig.4.16. Diagrama presiunii apei în fiecare circuit de temperare.

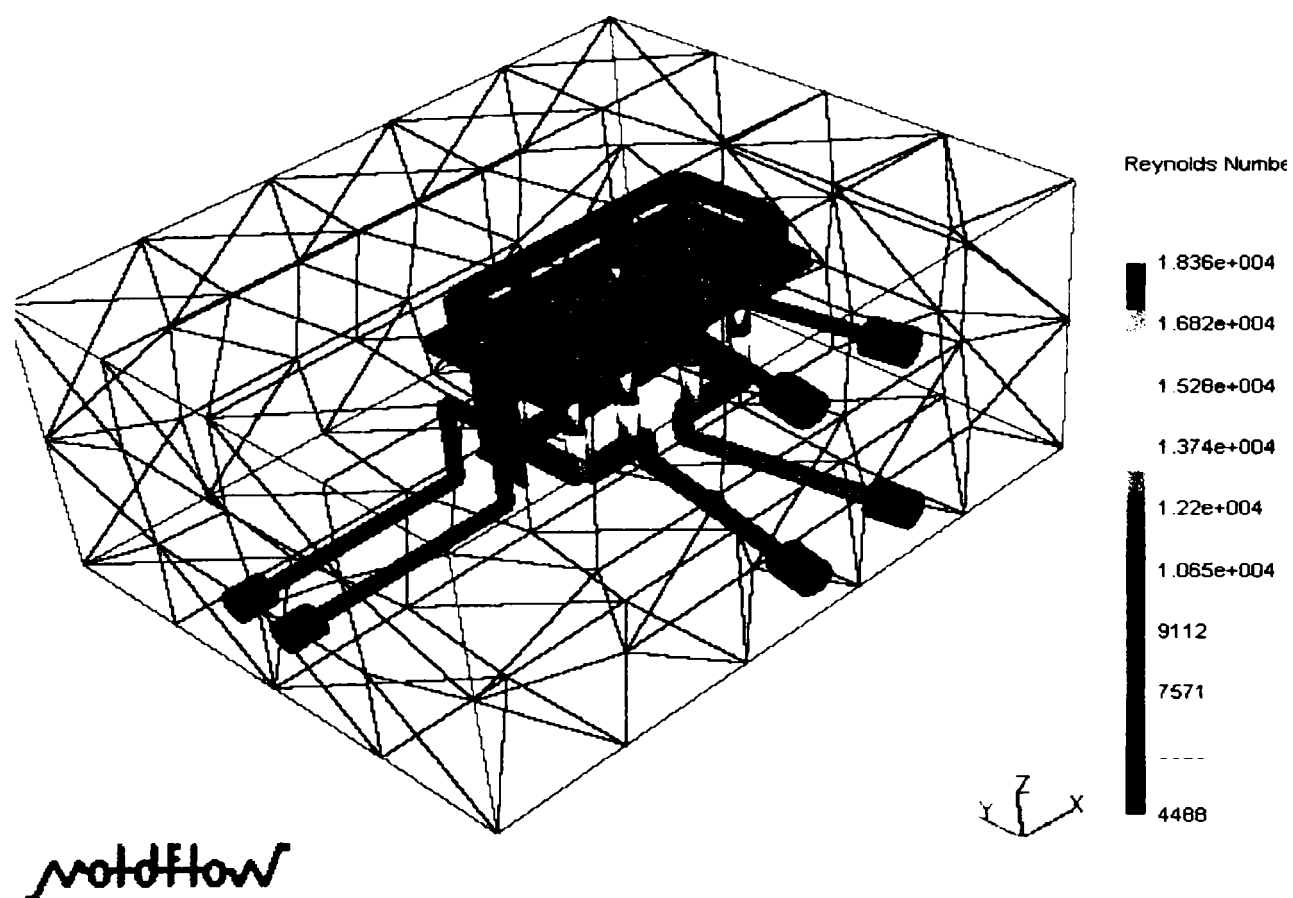


Fig. 4.17. Diagrama variației vitezei de curgere a apei în toate circuitele de temperare.

În figura 4.17. se prezintă diagrama variației vitezei de curgere a apei în toate circuitele de temperare, se recomandă ca Numărul lui Reynolds calculat pentru fiecare circuit de temperare, să fie mai mare de 8000 pentru a avea o curgere turbulentă a apei în canalele de răcire și deci o eficiență mult mai mare a răcirii.

4.4.1. Analiza post-deformațiilor la piesele injectate de formă plană, utilizând programe de simulare asistate de calculator.

Teoretic o piesă injectată omogen și uniformă se va contracta volumetric conform materialului termoplastice din care a fost injectată. Acest lucru ar însemna ca fiecare dimensiune își va micșora valoarea proporțional cu contracția volumică specifică. Practic însă o serie de factori influențează considerabil contracția volumică ceea ce duce la contracții foarte diferite de la o zonă la alta a piesei ceea ce determină importante deformații ulterioare ale pieselor injectate.

Factorii care au o influență semnificativă asupra contracției volumice sunt:

- viteza de răcire
- orientarea materialului termoplastice în timpul injectării piesei
- diferențele de temperatură dintre unele zone ale piesei injectate datorate răcirii neuniforme a cuibului matriței de injectat.

Principalele cauze care stau la baza contracției volumice diferențiate și care influențează semnificativ post deformațiile pieselor injectate sunt următoarele:

- a. răcirea neuniformă a piesei injectate
- b. variația contracției volumice a pieselor injectate de la o zonă la alta
- c. orientarea diferită a moleculelor materialului plastic injectat pe direcții paralele sau perpendiculare pe direcția de curgere

Etapele necesare pregătirii pentru efectuarea simulării deformațiilor unei piese injectate utilizând programe de simulare asistate de calculator sunt:

- 1) efectuarea anterioară a următoarelor simulări:
 - simularea temperării matriței de injectat
 - simularea umplerii cuibului matriței de injectat
 - simularea compactizării piesei injectate
- 2) definirea condițiilor inițiale necesare simulării deformațiilor piesei injectate

3) realizarea calcului deformațiilor de către programul de simulare al deformațiilor care se poate realiza în trei etape diferite:

- a. determinarea tipului de deformație și a tendinței de deformare
- b. calculul limitelor acceptabile de deformare
- c. definirea principalelor cauze ale deformațiilor:
 - răcirea neuniformă
 - contracția volumică diferențiată
 - efectele orientării moleculare

4) reducerea deformațiilor prin aplicarea de măsuri specifice fiecărei cauze de deformare în parte, cum ar fi:

- a. modificare geometriei și a poziționării circuitelor de temperare pentru uniformizarea răcirii
- b. realizarea fazei de compactizare utilizând presiuni de compactizare după profil care să uniformizeze contracția volumică
- c. modificare poziții punctului de injectare
- d. schimbarea parametrilor de injectare și umplere a cuibului matriței

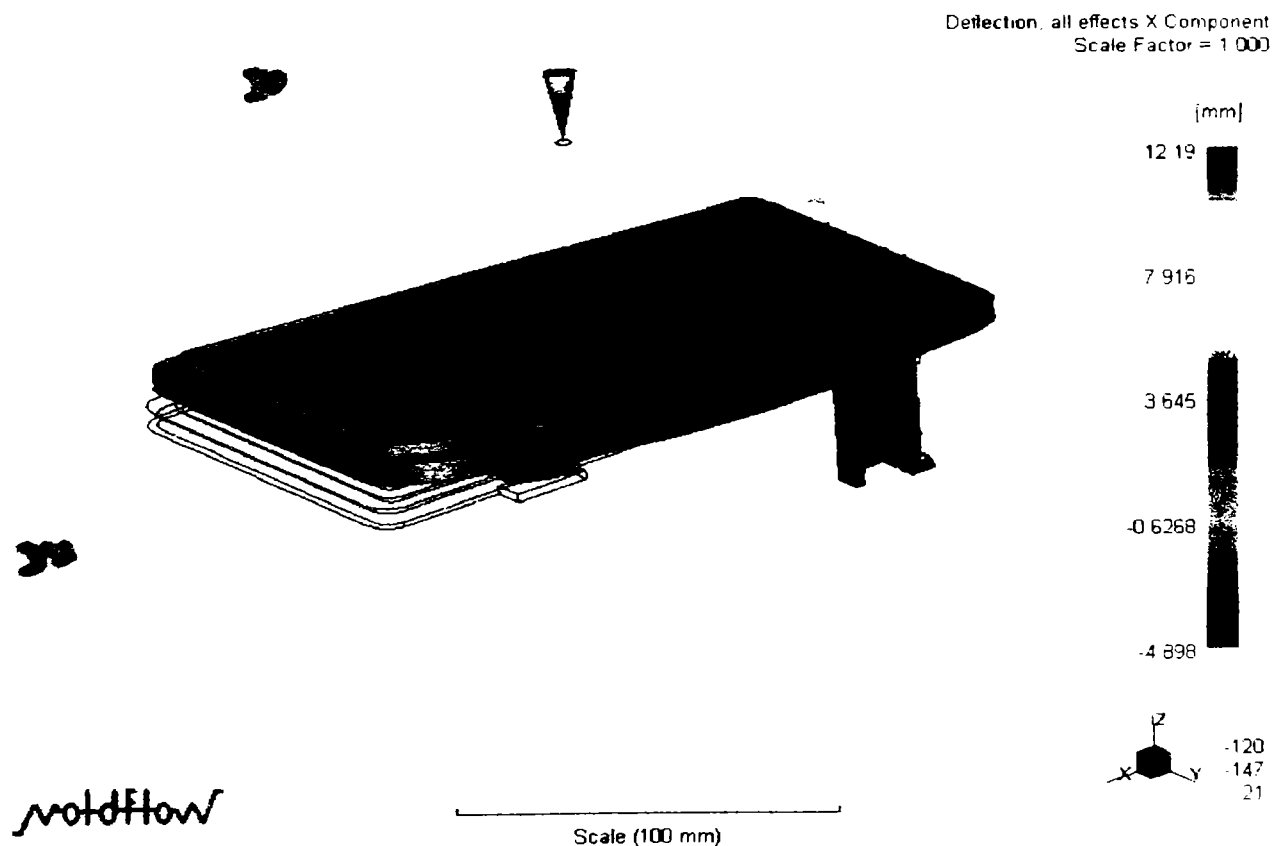


Fig.4.18. Diagrama deformației piesei pe axa Ox

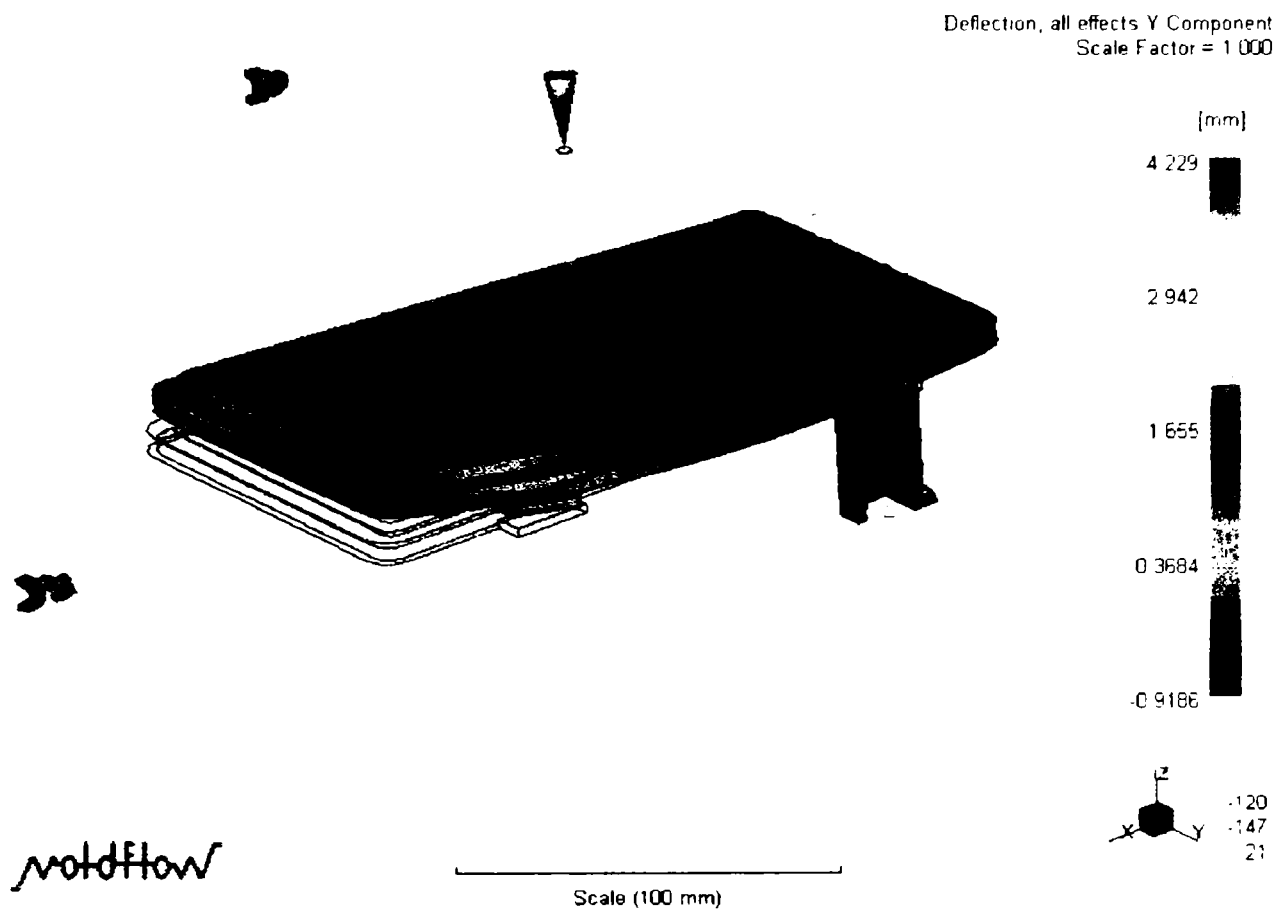


Fig.4.19. Diagrama deformației piesei pe axa Oy

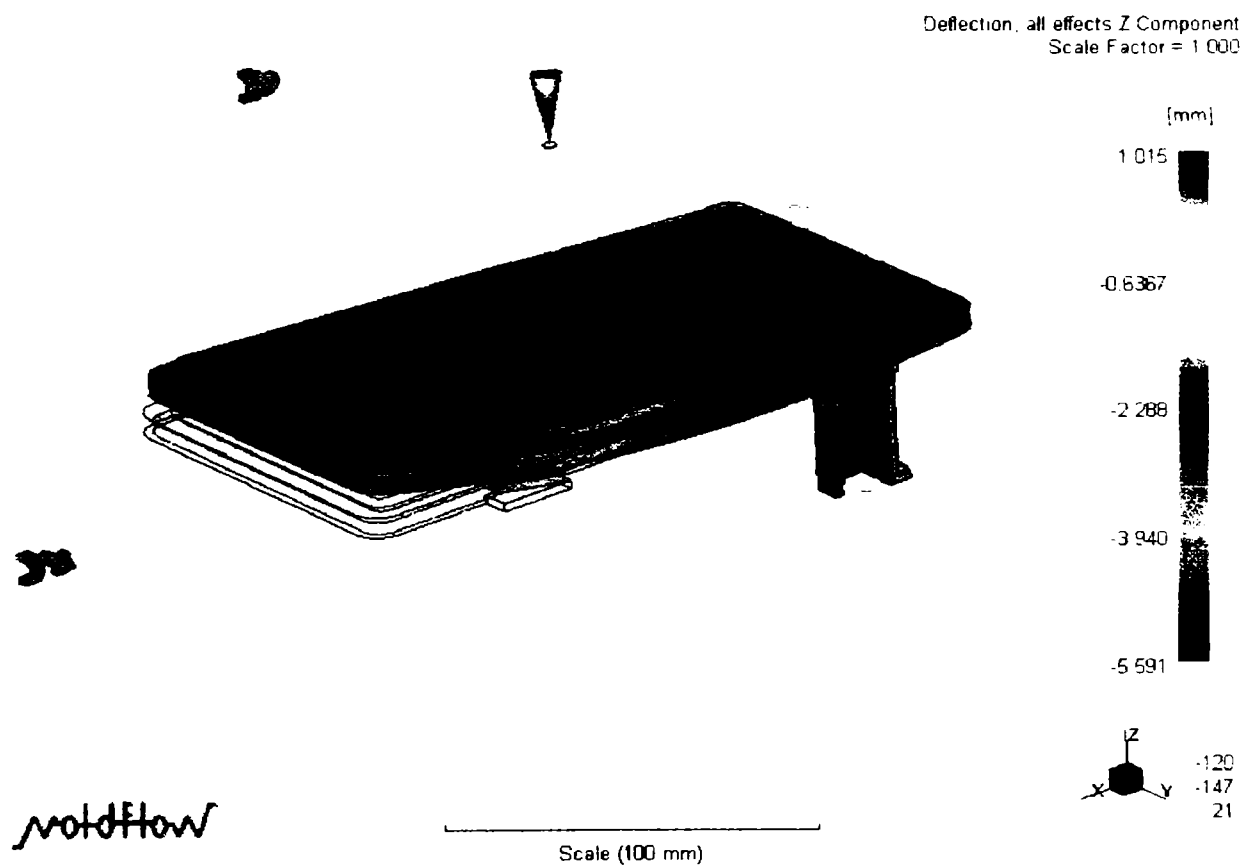


Fig.4.20. Diagrama deformației piesei pe axa Oz.

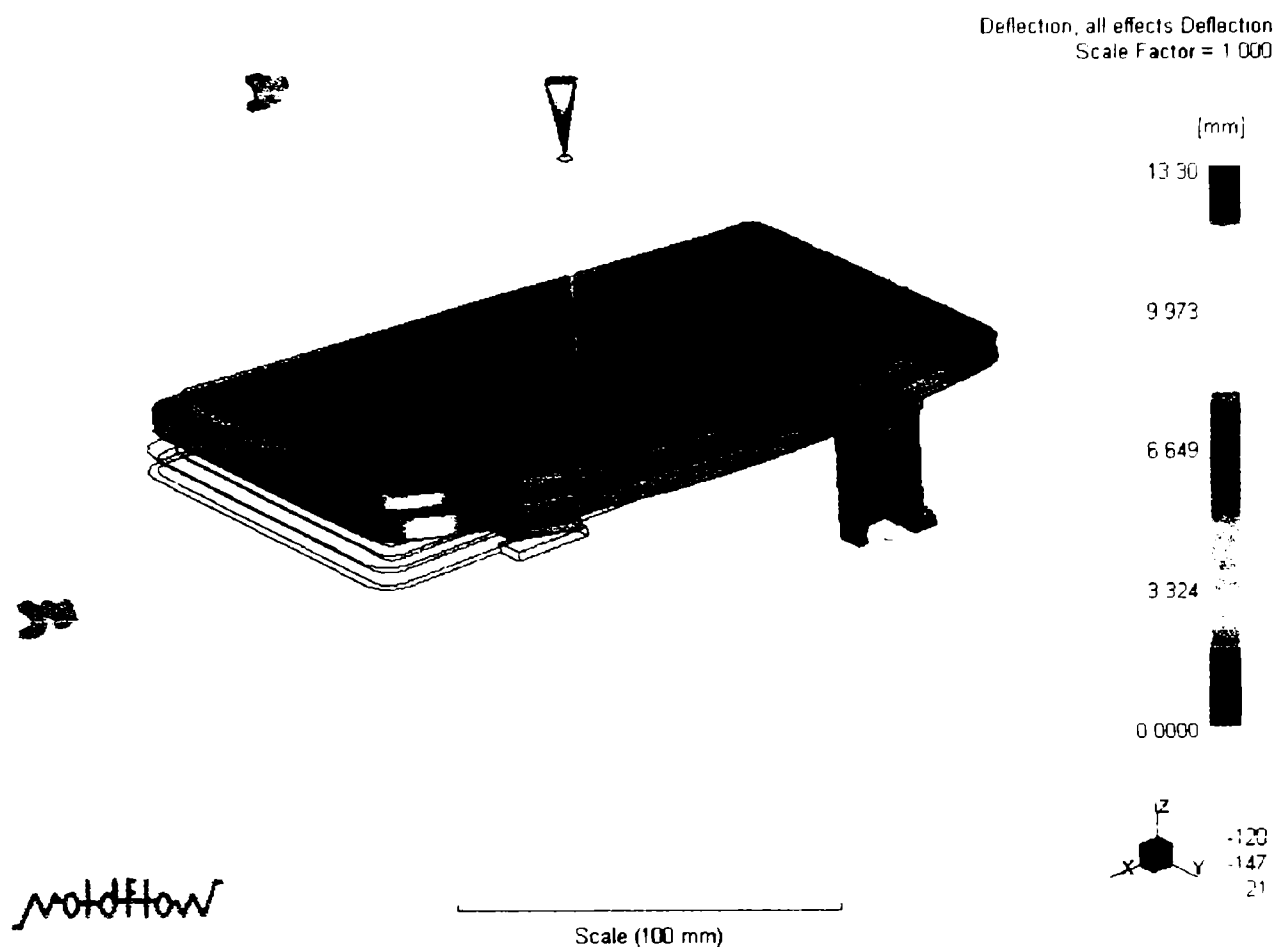


Fig.4.21. Diagrama deformației totale ale piesei.

În diagramele 4.18.-4.21 se reprezintă deformațiile influențate de efectele răcirii stabilite față de un plan de referință impus.

Analizând cele patru diagrame se constată faptul că, deformațiile cele mai mari se datorează în principal sistemului de temperare, care nu asigură o temperatură relativ constantă pe suprafețele celor două semimatrițe. Din analiză rezultă că deformațiile cele mai mari sunt pe direcția X (~9,6mm), iar cele mai mici sunt pe direcția Y(~2,8mm).

În urma analizei rezultatelor date de simularea răcirii matriței, performanțele circuitelor de temperare se constată că nu corespund cu cerințele impuse, astfel s-au modificat mai multe date de intrare ca de exemplu geometria canalelor de temperare pe circuitul nou pentru obținerea unei curgeri cât mai turbulente a lichidului de temperare, numărul și dispunerea circuitelor de temperare, parametrii agentului de temperare, calitatea agentului prin tratare chimică pentru evitarea depunerilor pe circuit precum și sistemul de alimentare a lichidului în matriță, în acest caz s-a executat un circuit special pentru alimentarea în paralel a tuturor mașinilor de injectat din secție. Se introduc aceste date de intrare noi urmând să se refacă simularea răcirii și reanaliza rezultatelor obținute.

4.5. Analiza circuitelor noi de temperare a matriței în vederea optimizării temperaturii.

În urma studiilor de modelare și simulare în 3D, precum și a experimentelor practice efectuate, s-a constatat faptul că, sistemul inițial de temperare nu asigură o temperatură relativ uniformă pe toate suprafețele celor două semimatrițe, această variație de temperatură având influență directă asupra calității produsului finit, care în cele mai multe situații se deformează în special pe direcțiile Ox și Oz.

Pentru rezolvarea acestor inconveniente s-au executat practic trei circuite de răcire suplimentare, două pe semimatrița fixă în zona centrală unde temperatura era mare datorită prezenței duzei cale (fig.4.22), prin modul de execuție a canalelor s-a obținut o curgere mai turbulentă a apei, curgere care mărește semnificativ randamentul de răcire.

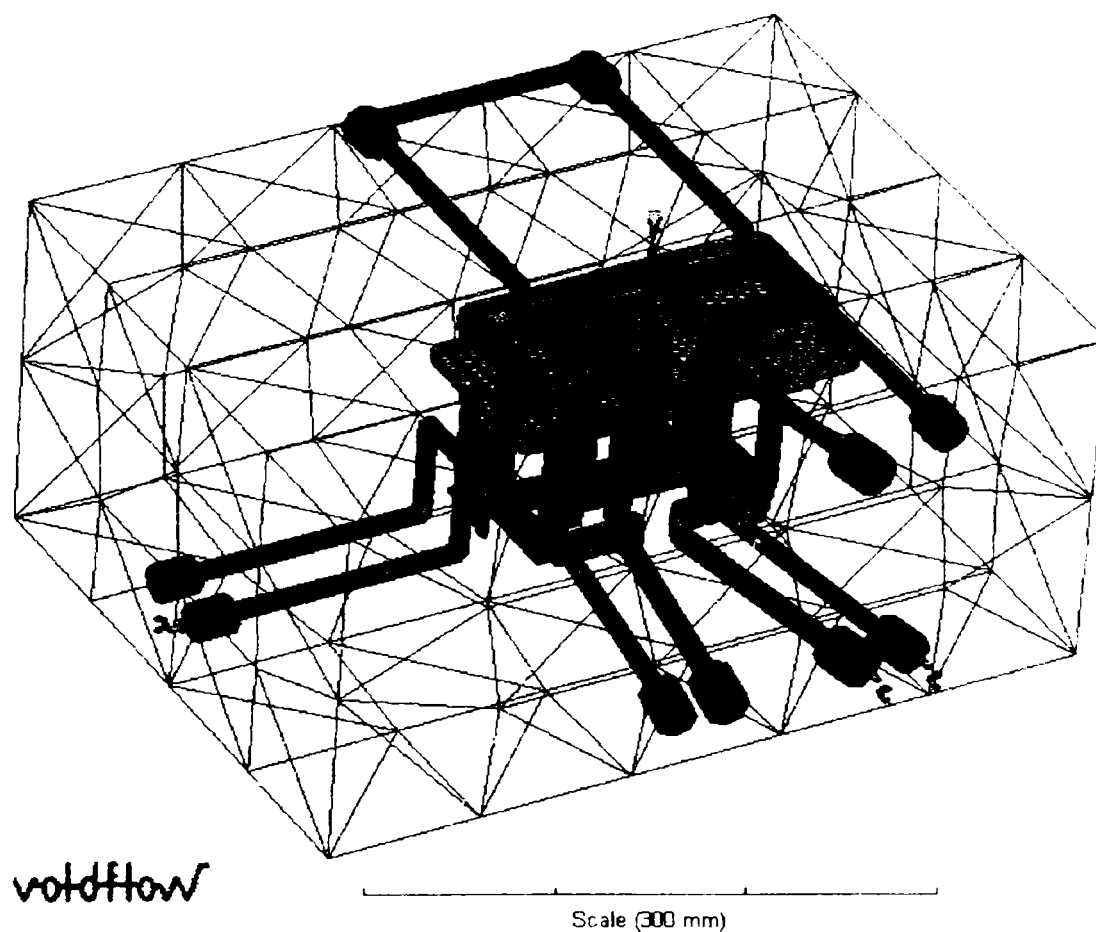


Fig.4.22. Reprezentarea completă a sistemului de temperare nou.
 1- circuit nou semimatrița fixă (stânga); 2 - circuit nou semimatrița fixă (dreapta);
 3- circuit nou semimatrița mobilă

Pe semimatrița mobilă (fig.4.22) s-a executat de un circuit de temperare cu șicane care

încearcă să uniformizeze temperatura pentru evitarea deformațiilor remanente a piesei.

În figura 4.23. se reprezintă sistemul de temperare pe cuib, din schemă se observă faptul că, între cele două circuite se face o legătură cu ajutorul unui tub de cauciuc, astfel încât apa intră pe circuitul din stânga și iese prin cel din dreapta, s-a aplicat acest principiu datorită faptului că, în partea stângă temperatura matriței era mai ridicată cu sistemul vechi.

În continuare se prezintă temperaturile pe partea fixă a matriței, unde se evidențiază faptul că după execuția celor două circuite suplimentare în zona centrală a semimatriței, temperaturile din centru au scăzut fiind relativ egale cu cele de pe marginea piesei, fapt ce reduce simțitor deformațiile ulterioare existente în piesă (figura 4.24).

În figura 4.25. se prezintă temperaturile pe partea exterioară a piesei, se observă faptul că valoarea temperaturii este influențată în mod evident de temperatura matriței.

Făcându-se o comparație față de piesa obținută cu vechiul sistem de temperare se constată clar, că în acest caz temperatura este distribuită mult mai uniform reducând mult deformațiile care pot apărea în cadrul piesei.

În concluzie, se dovedește că această suplimentare cu cele două circuite duce la o temperatură mult mai optimă față de sistemul vechi, fapt ce se evidențiază în prin calitatea pieselor obținute.

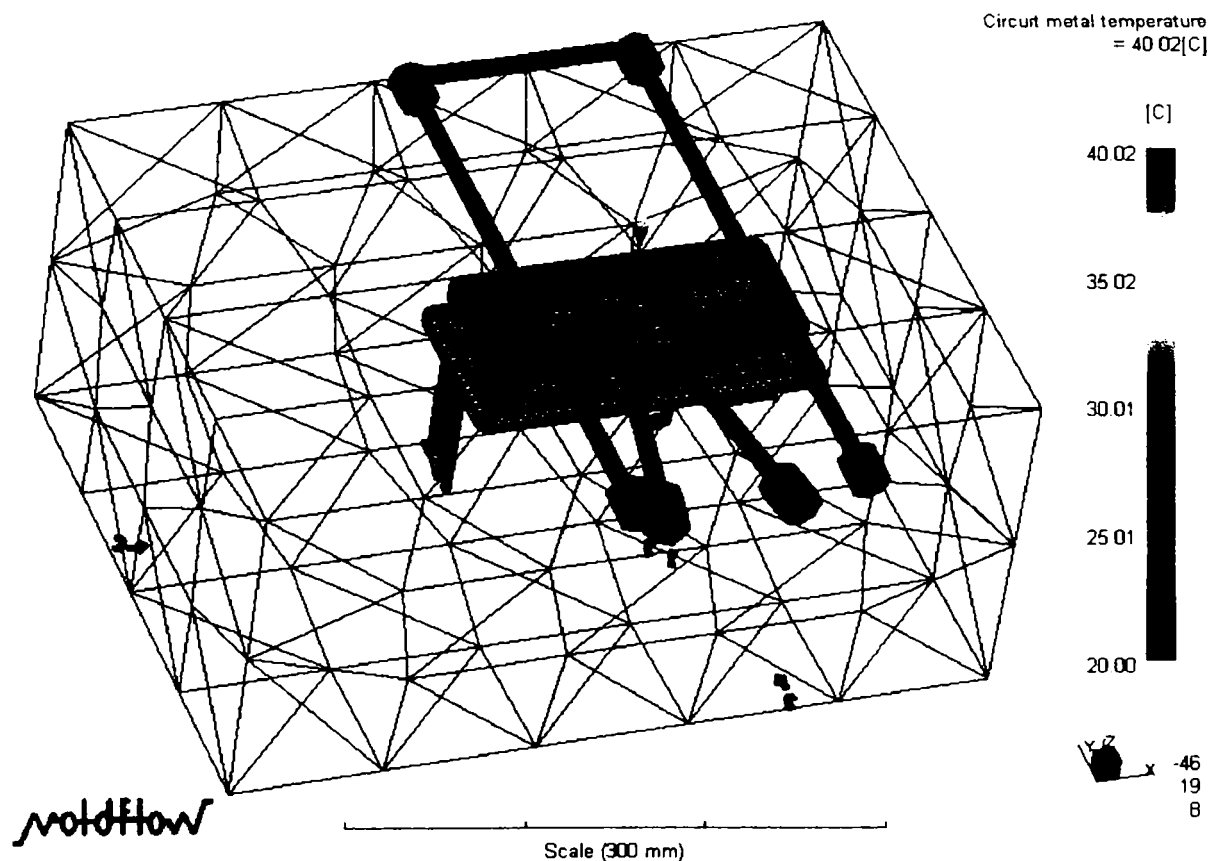


Fig.4.23. Reprezentarea sistemului nou de temperare a semimatriței fixe(cuib).

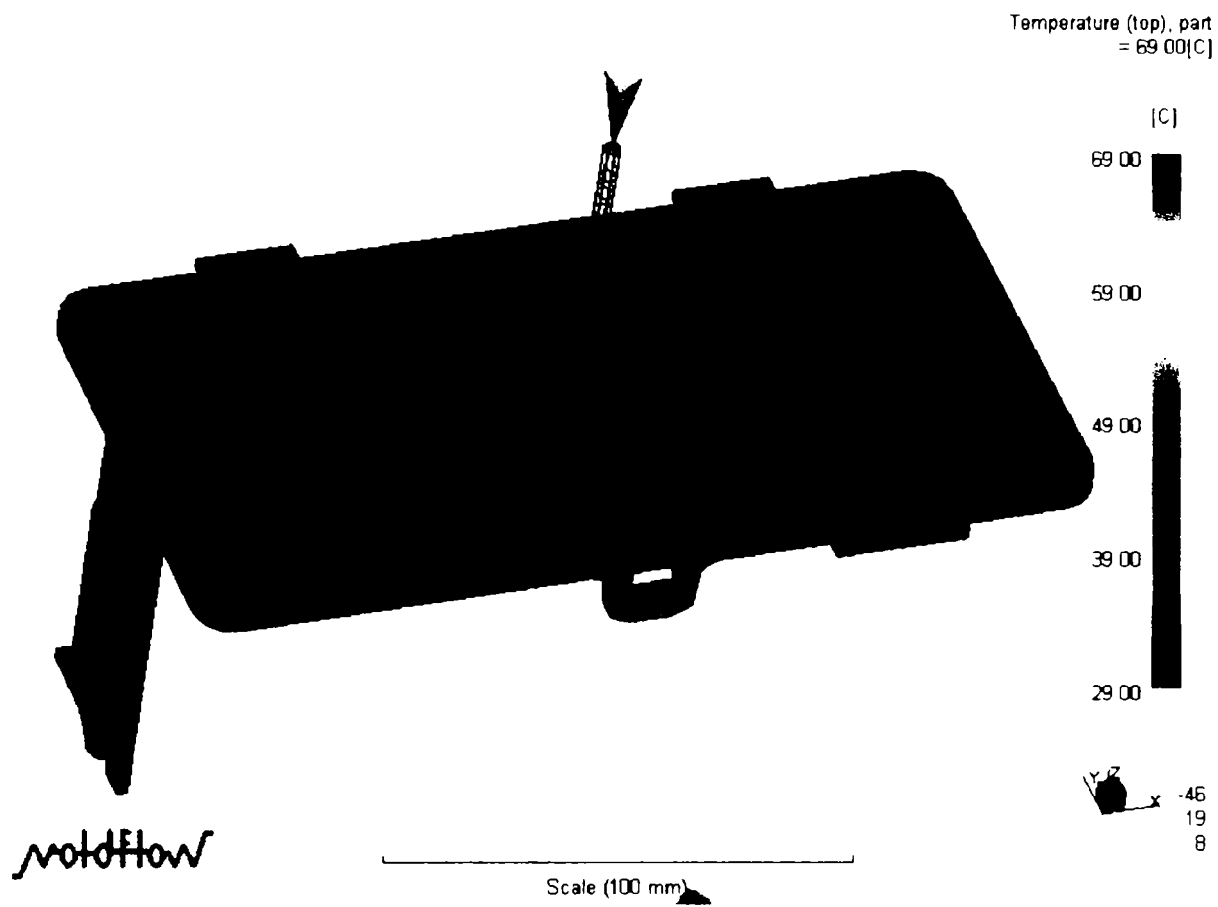


Fig.4.24. Reprezentarea temperaturii pe partea fixă a matriței circuit nou (cuib).

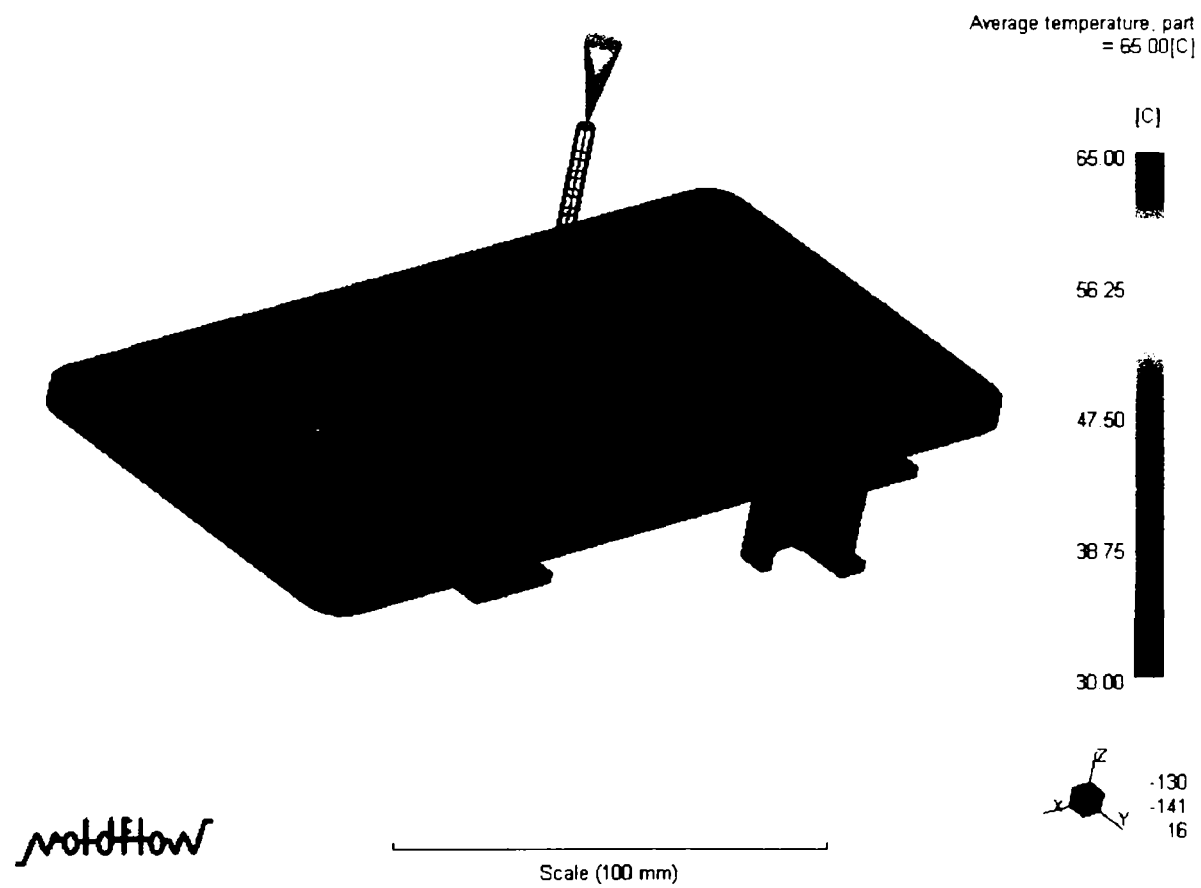


Fig.4.25. Reprezentarea temperaturii pe partea exterioară a piesei.

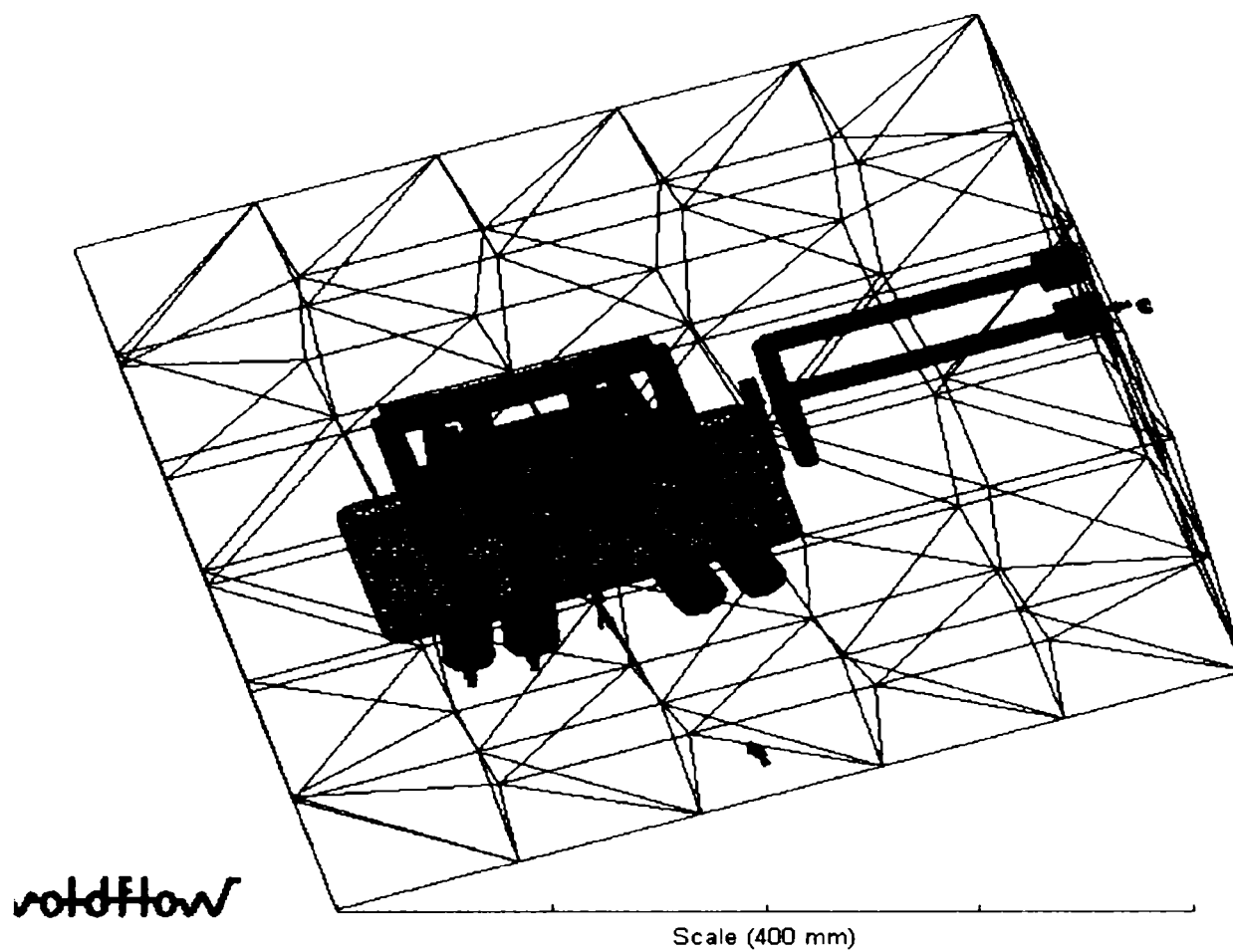


Fig.4.26. Reprezentarea sistemului nou de temperare a semimatriței mobile(poanson).

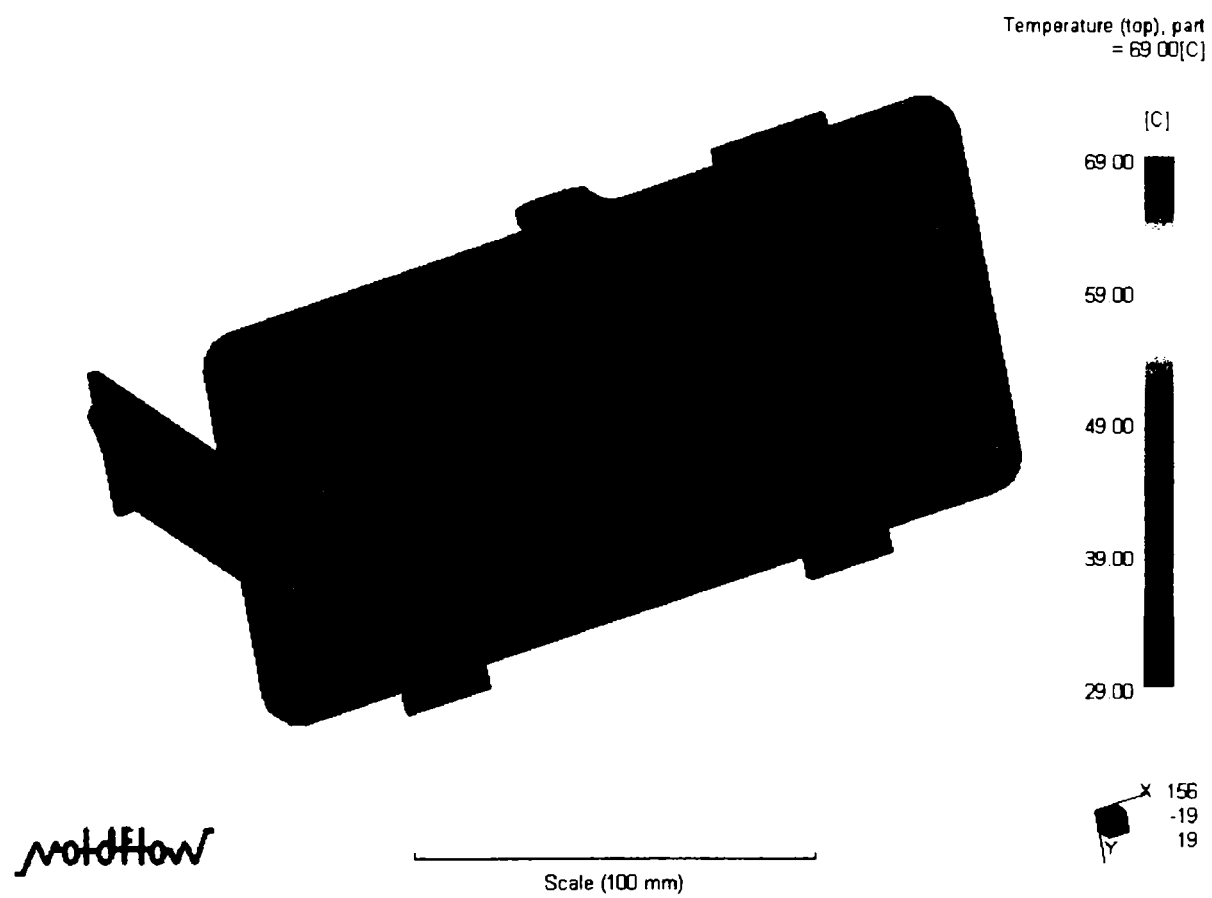


Fig.4.27. Diagrama variației de temperatură pe semimatrița mobilă (poanson).

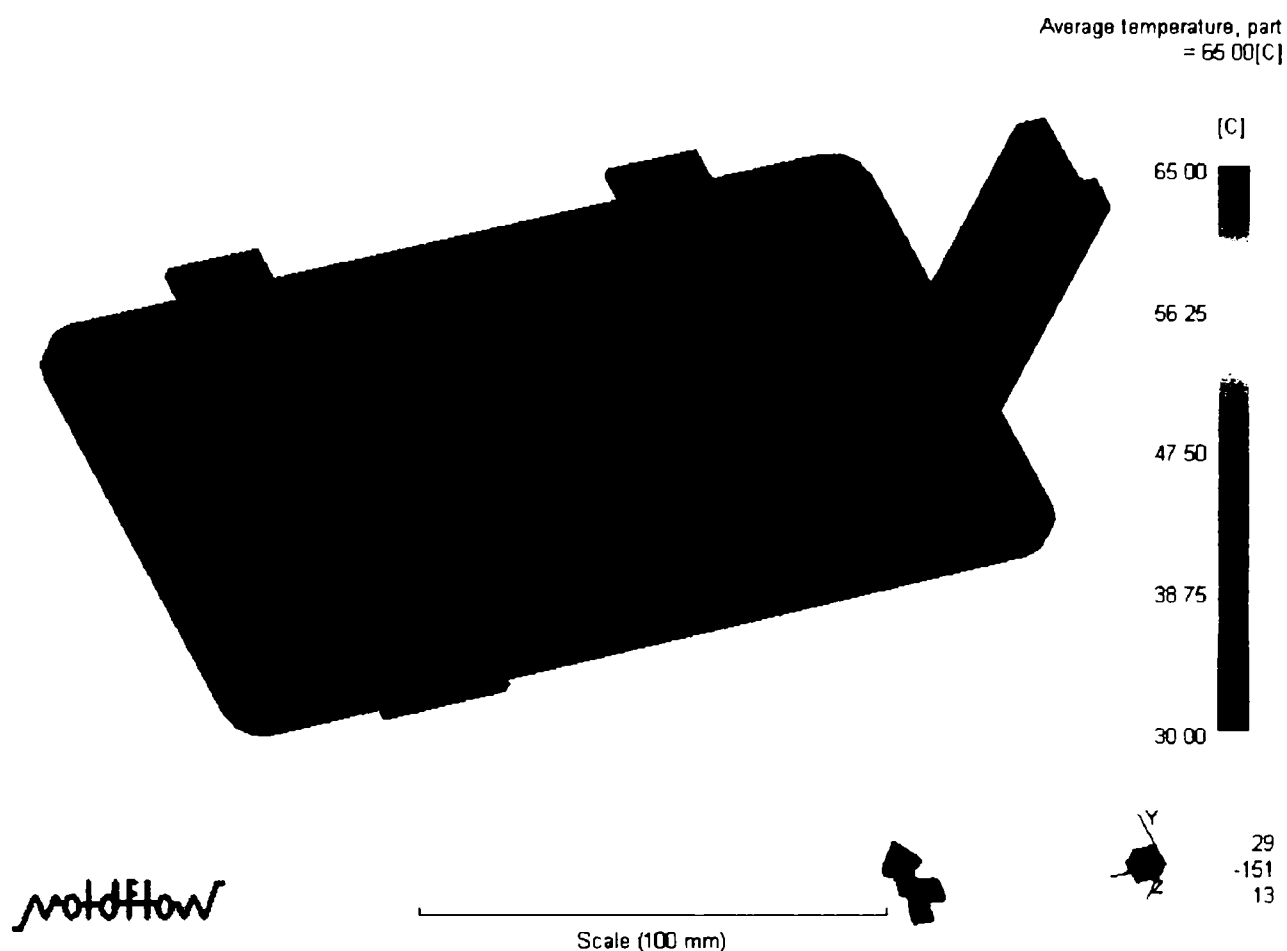


Fig.4.28. Diagrama variației de temperatură de pe suprafața interioară a piesei.

În figura 4.26. se prezintă noul sistem de temperare din semimatrița mobilă care rezolvă foarte bine problema temperaturii din centrul ei, prin modul cum este conceput se poate obține o temperatură optimă, care să elimine aproape complet deformațiile la piesă.

Cu implementarea noului circuit se evidențiază clar faptul că și piesa obținută are o temperatură mult mai uniformă pe suprafața interioară față de cea obținută cu vechiul sistem de temperare (figura 4.28).

Temperaturile apei pe circuite sunt prezentate în figura 4.29, programul de simulare arată faptul că temperaturile de intrare și ieșire pe fiecare circuit sunt optime, ne existând o diferență mai mare de 2 °C.

Studiile efectuate arată faptul că pentru a obține o temperare ideală a matriței de injectat, lichidul la ieșire trebuie să aibă o temperatură mai mică de 5°C față de temperatura lichidului la intrare în circuit.

Simularea efectuată cu ajutorul calculatorului ne permite obținerea unui punct optim de injectare în funcție de forma și dimensiunile piesei (fig. 4.31).

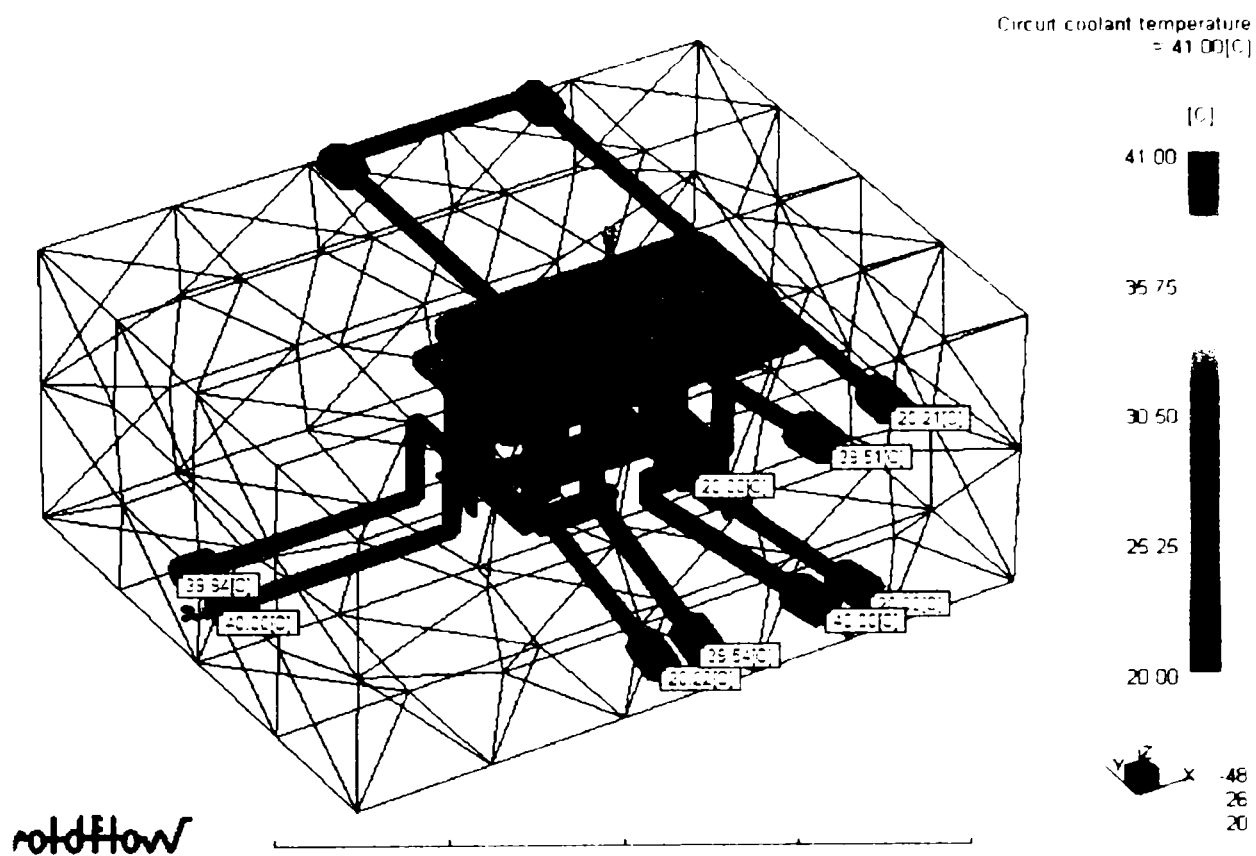


Fig.4.29. Diagrama variației de temperatură a apei intrare și ieșire din circuite.

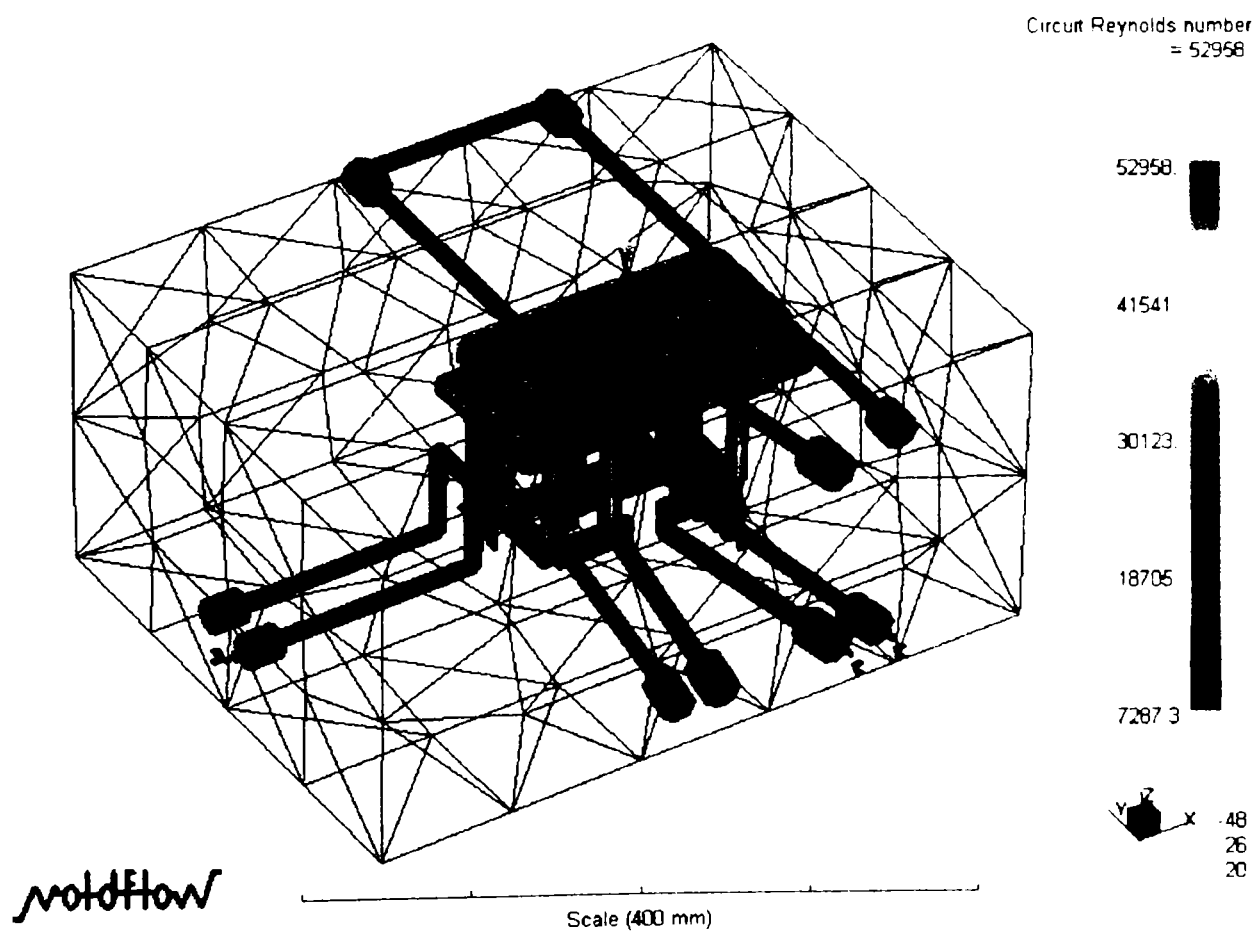


Fig.4.30. Reprezentarea numărului Renolds.

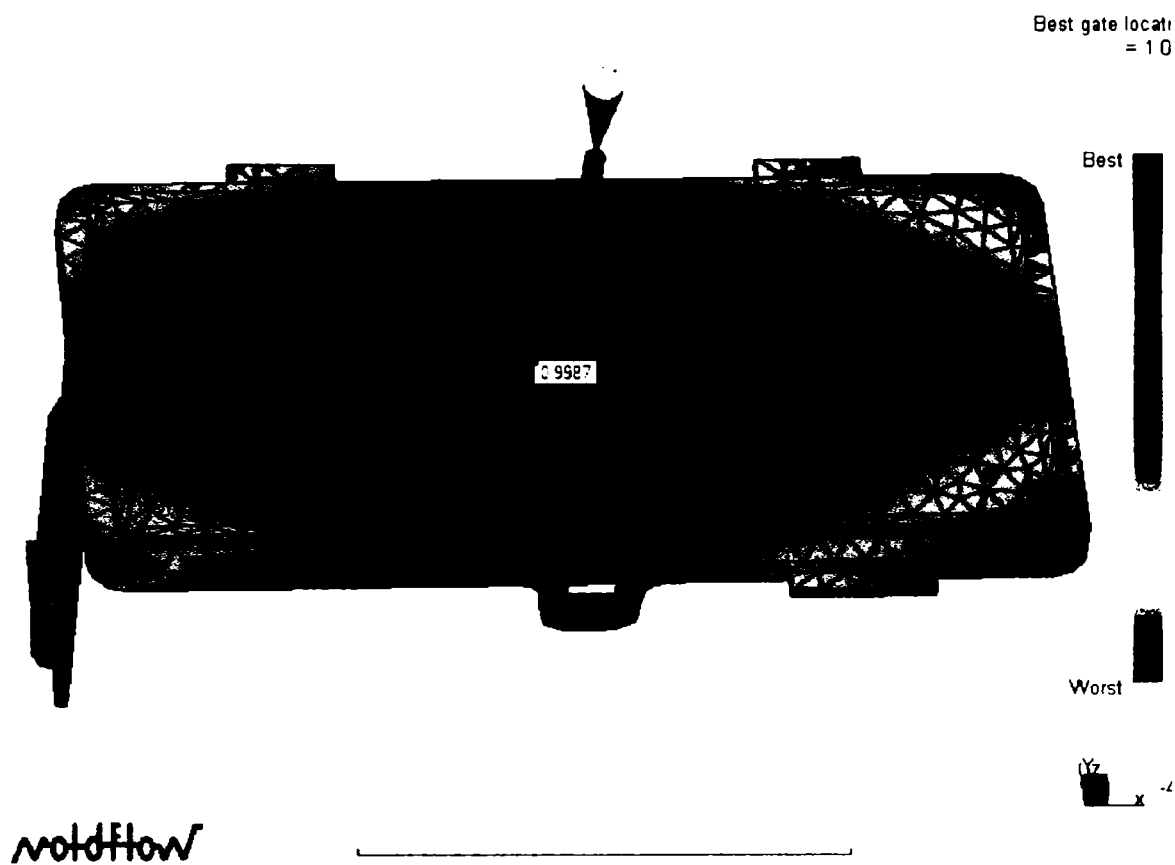


Fig.4.31. Reprezentarea punctului de injectare optim.

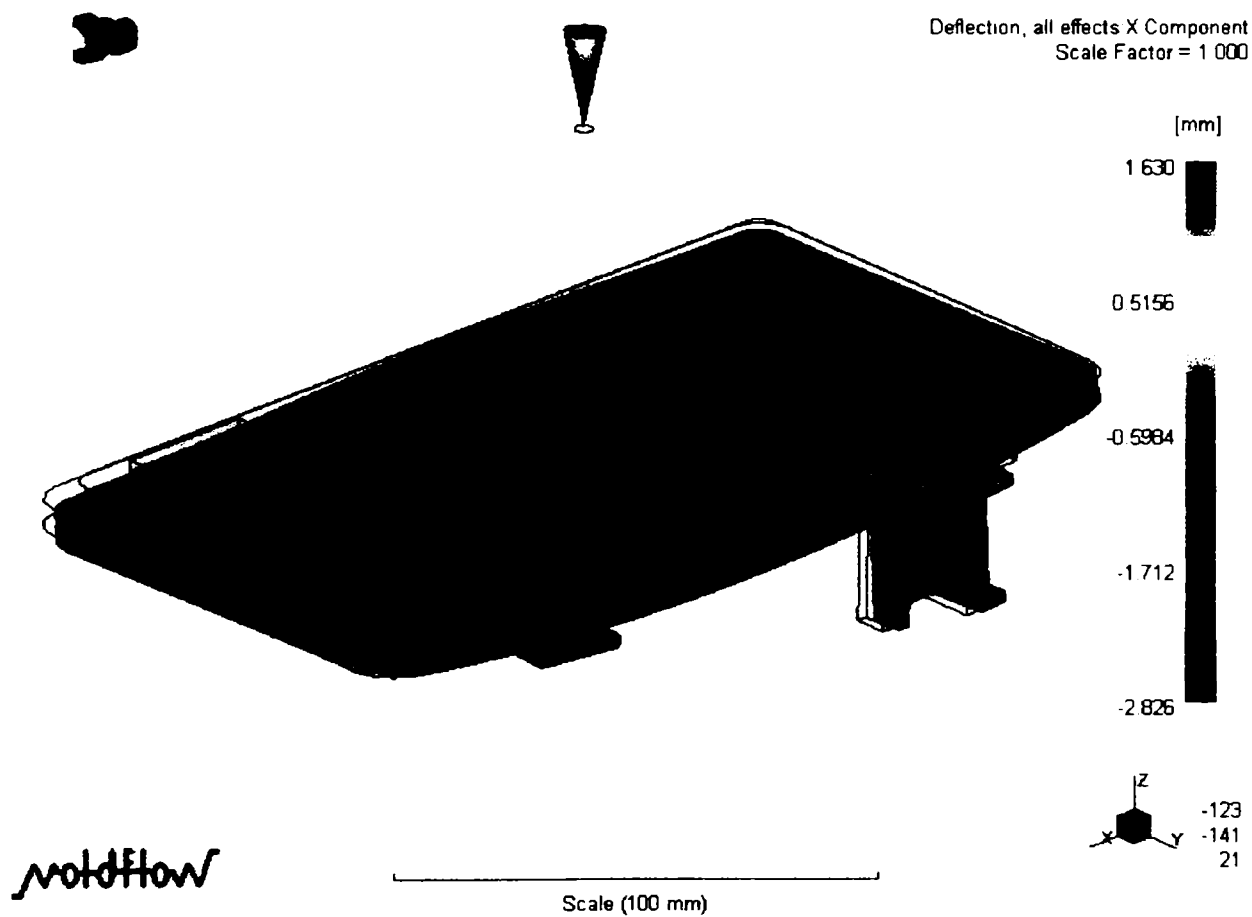


Fig.4.32. Diagrama deformației piesei pe axa Ox

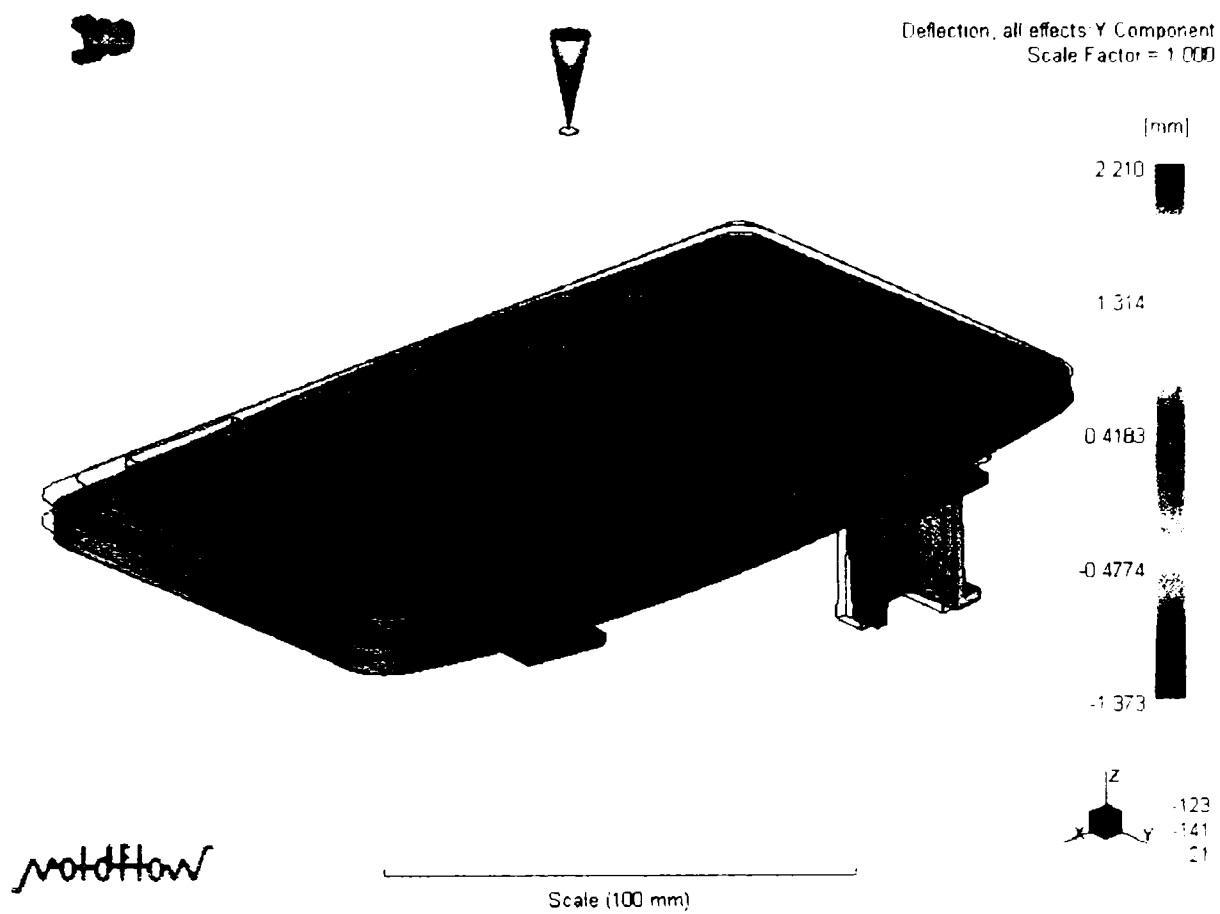


Fig.4.33. Diagrama deformației piesei pe axa Oy

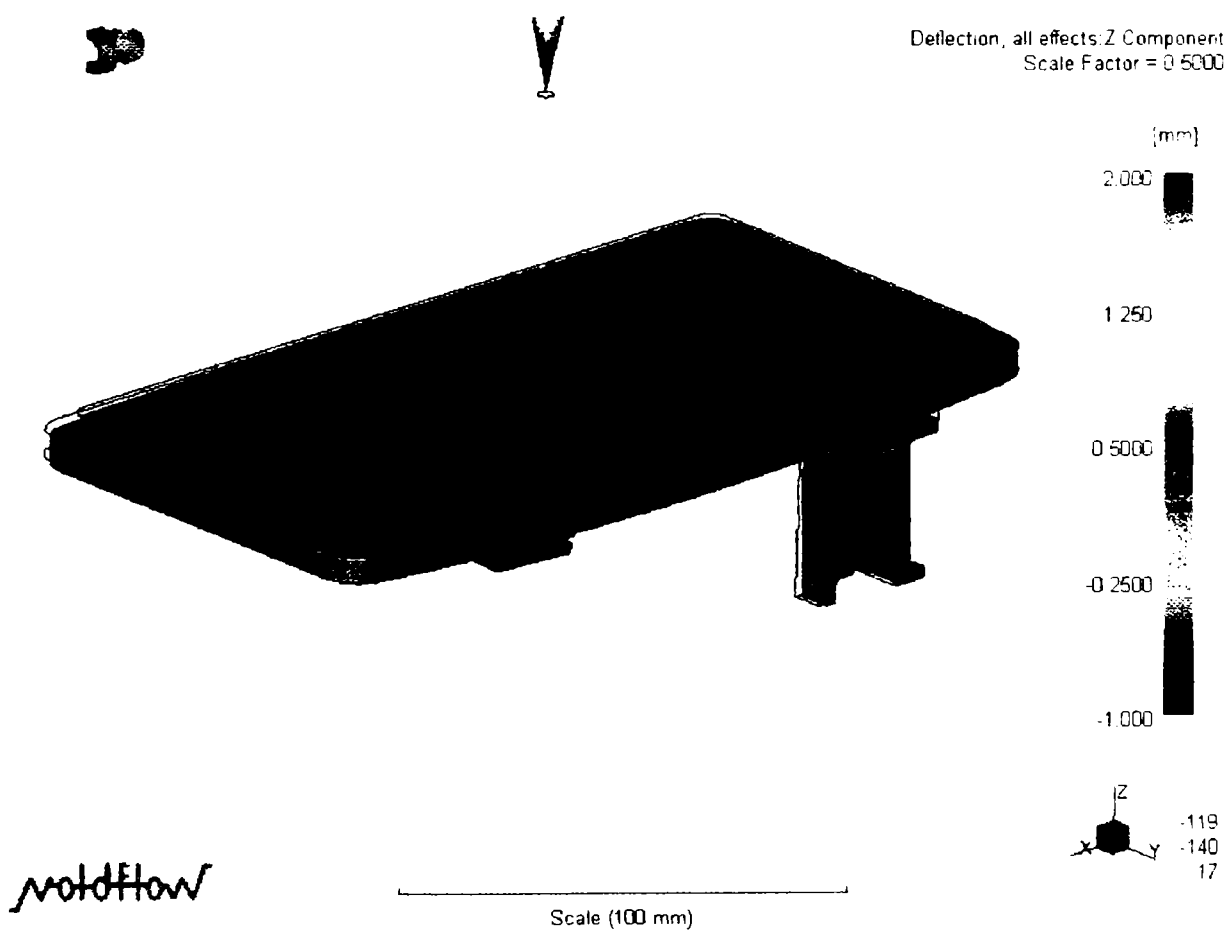


Fig.4.34. Diagrama deformației piesei pe axa Oz

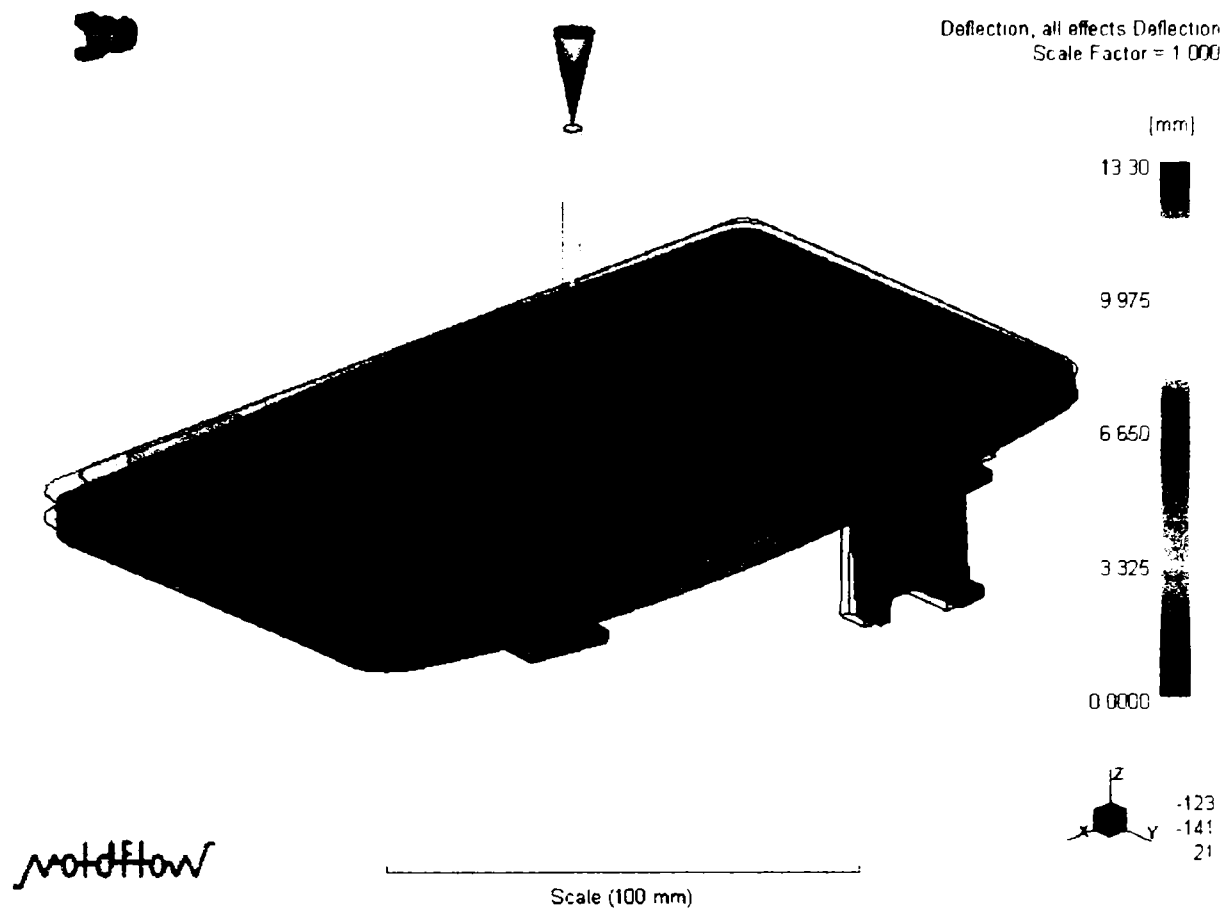


Fig.4.35. Diagrama deformației totale a piesei

În diagramele 4.32-4.35 se reprezintă deformațiile pe cele trei direcții, deformații influențate în principal de temperaturile celor două semimatrițe.

CONCLUZII

Analizând cele două simulări efectuate se evidențiază clar faptul că, după introducerea noilor circuite de temperare conform unor principii bine stabilite referitor la forma dimensiunile și poziția lor, deformațiile din piesă s-au eliminat aproape complet.

Obiectivul principal este obținerea unei temperaturi cât mai constante pe ambele suprafețe active ale celor două semimatrițe și implicit ale piesei, mărimea deformațiilor în cazul produselor de formă plană este în funcție de diferența de temperatură pe cele două suprafețe, cu cât diferența este mai mare cu atât deformațiile sunt mai mari.

Din cercetările efectuate se constată faptul că distribuția temperaturii la extragerea piesei injectate din cuibul matriței după faza de răcire, are o influență foarte mare asupra deformațiilor și asupra stabilității dimensionale a produsului, în toate cazurile piesa de formă plană se înclină spre suprafața cu temperatura cea mai mare, datorită faptului că răcirea din acea zonă are loc mai târziu, contracția ulterioară (finală) apare în zona respectivă.

5. CONTRIBUȚII PRIVIND REDUCEREA DEFORMAȚIILOR LA PRODUSELE INJECTATE DE FORMĂ PLANĂ

5.1 Experimentări și analize comparative

Pentru studiile efectuate s-a realizat o matriță de injectat cu un singur cuib, confecționată din oțel, matrița are un singur plan de separație, iar metoda de injectare aplicată este injectare directă cu duză încălzită, metodă care se utilizează în general la produsele de suprafețe exterioare pretențioase.

Experimentele s-au efectuat pe o mașină de injectat orizontală Arburg 630S, mașină care dispune de un grad de automatizare foarte ridicat, fapt ce permite obținerea unor rezultate concludente, prezentată în fig.5.1, iar montajul folosit este descris în figura 5.2. care cuprinde: mașina de injectat, matrița și aparatele de temperare.

În continuare se prezintă o serie de experimente practice care s-au efectuat pe cele două sisteme de temperare, se compară rezultatele experimentului cu analiza făcută anterior cu calculatorul pe matrița proiectată, se folosesc temperaturi diferite pe cele două semimatrițe, temperaturi care influențează gradul de deformare a piesei studiate. În continuare se studiază influența temperaturii matriței asupra calității produselor injectate utilizându-se trei tipuri de polimeri de largă consumație PEID, PS și ABS.

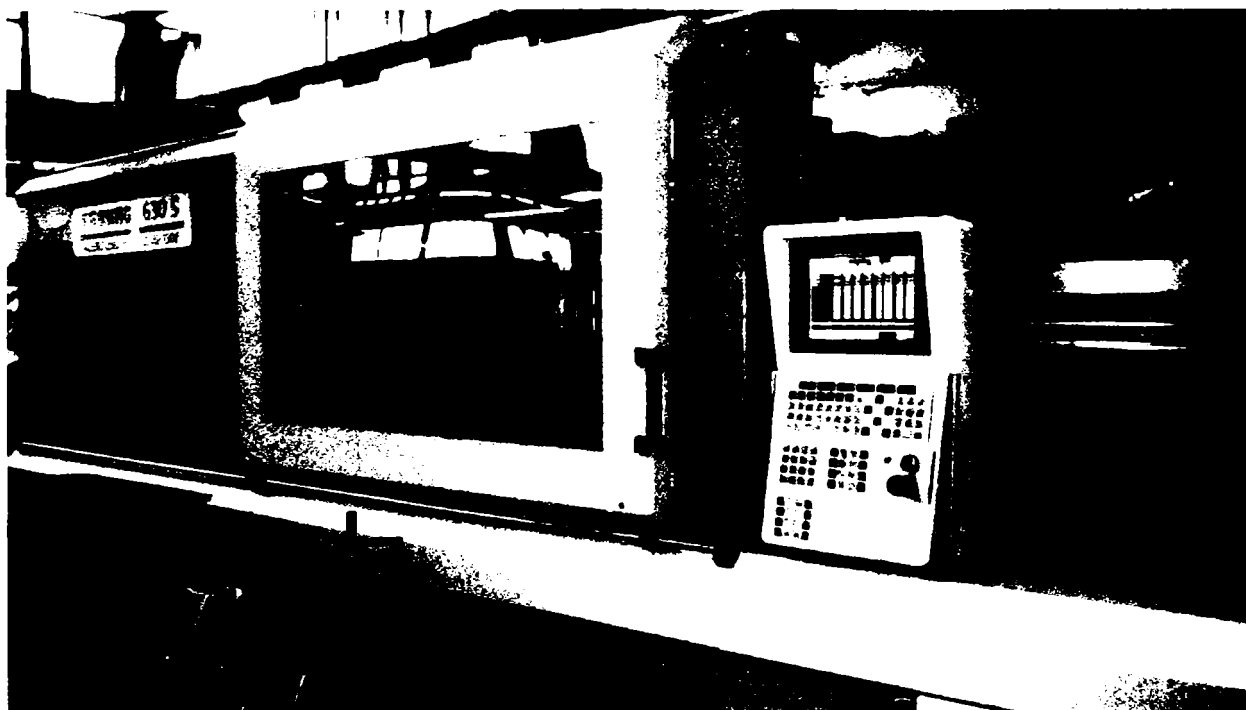


Fig. 5.1. Mașină de injectat ARBURG 630S.

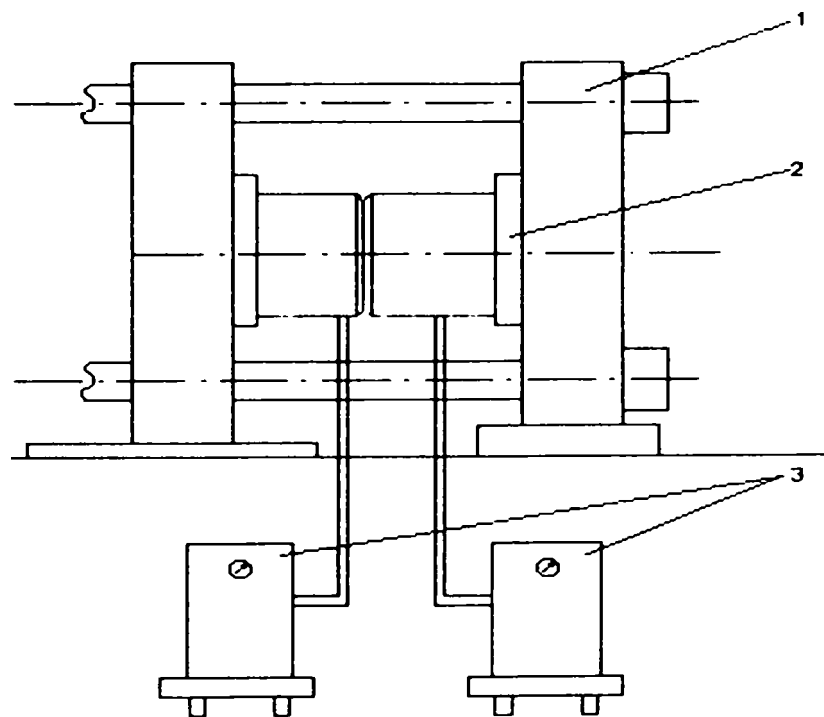


Fig. 5.2 .Schema de montaj utilizată.
1- mașina de injectat; 2- matrița; 3- aparate de temperare.

In figura 5.3. se reprezintă matrița de injectat formată din cele două semimatrițe respectiv partea mobilă (poansonul) și partea fixă (cuibul)

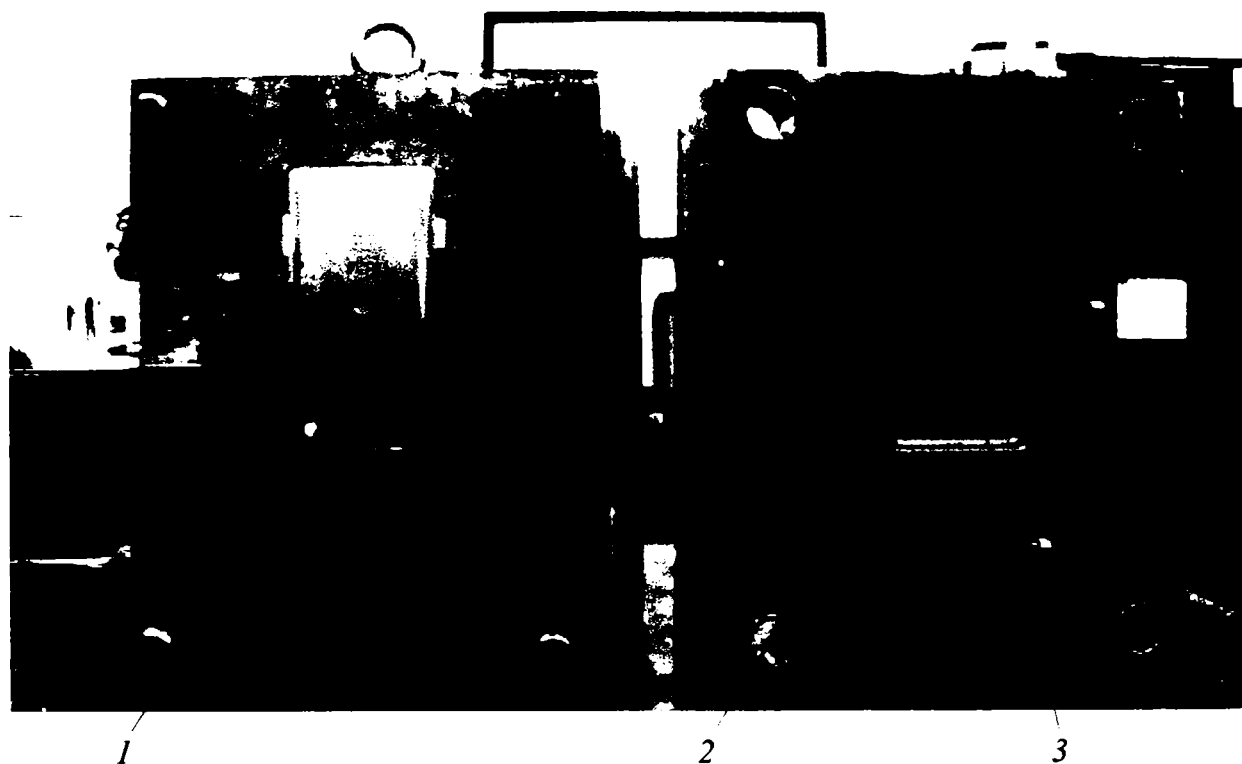


Fig.5.3. Matrița de injectat deschisă 1-semimatriță mobilă (poanson); 2-semimatriță fixă (cuib); 3- zona de injectare(duză)

5.1.2. Cercetări privind analiza sistemului de temperare inițial

Scopul principal al acestei analize este scoaterea în evidență a neregularităților care există în cadrul acestui sistem de temperare și găsirea unor soluții constructive privind eficiența sistemului care să permită obținerea unor produse de foarte bună calitate la un ciclu de lucru cât mai scurt. În imaginea de jos se prezintă matrița demontată în atelierul de lucru unde se pregătește pentru execuția noilor circuite de temperare (fig.5.4.).

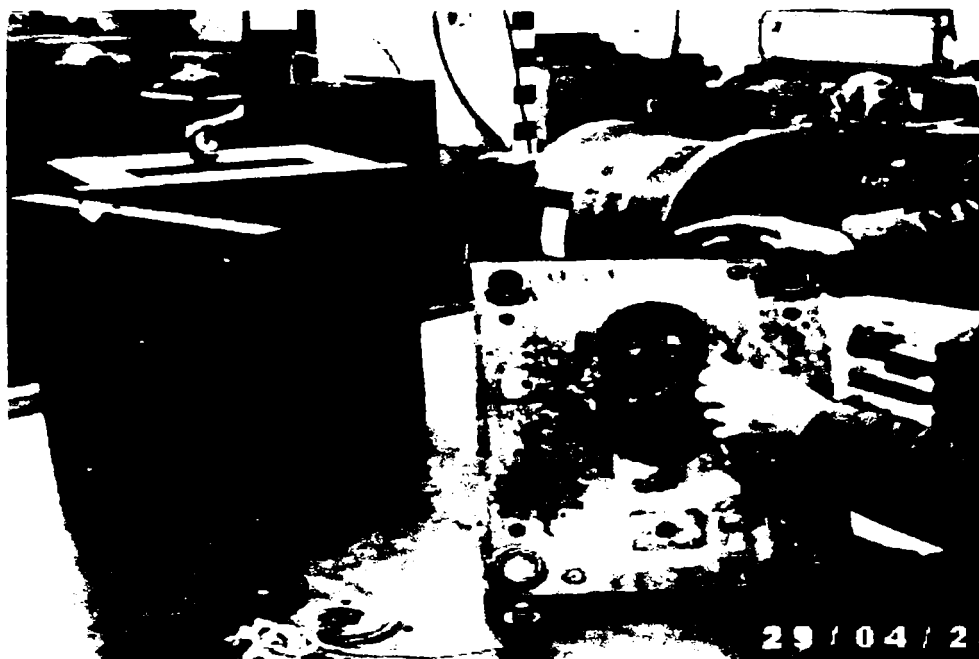
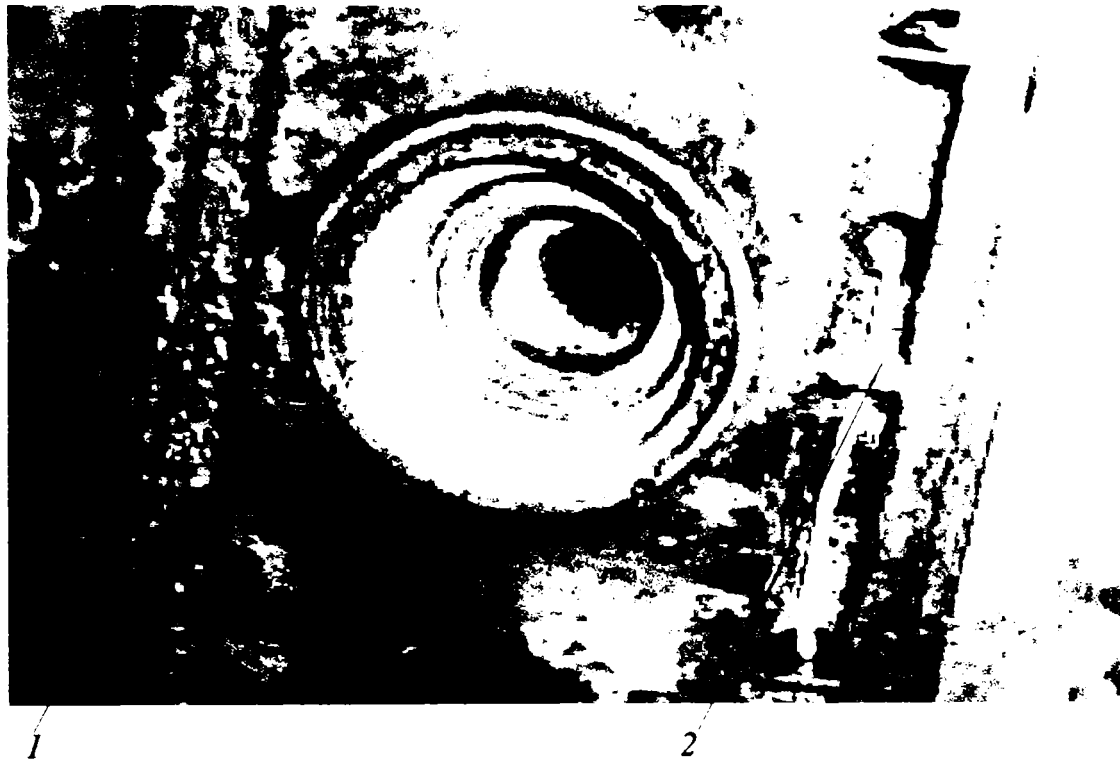


Fig.5.4. Matrița de injectat demontată.



*Fig.5.5. Sistemul vechi de temperare pe semimatrița fixă (cuib)
1- duza încălzită; 2- canal de curgere a lichidului; 3- corp semimatriță fixă*

În continuare se prezintă sistemul de temperare vechi care se dovedește a fi incapabil să asigure o temperatură constantă pe toată suprafața matriței, fapt ce duce la variații mari de temperatură pe suprafețele piesei injectate, variații care sunt evidențiate atât în cazul simulării (cap.4), cât și prin măsurătorile efectuate practic pe piesă în momentul demulării din matriță.



*Fig.5.6.Reprezentarea defectelor apărute la circuitele de temperare.
1- depuneri de impurități pe canale; 2-șicane găurite datorită coroziunii apei*

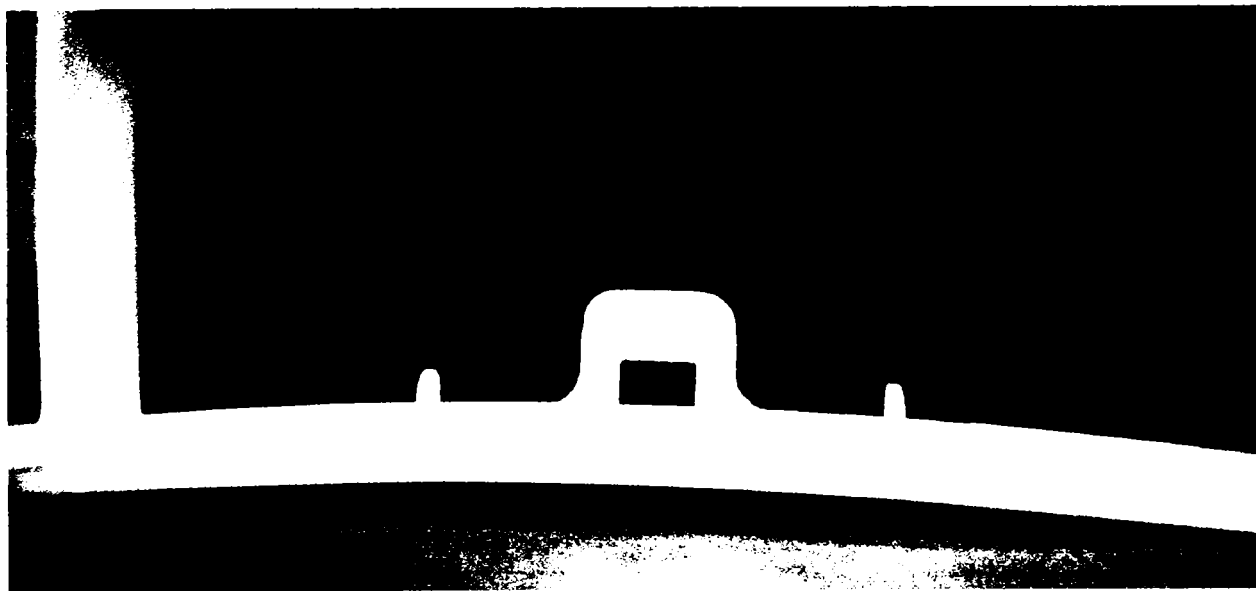


Fig. 5.7. Piesă injectată (capac cutie siguranță) cu sistem vechi de temperare.

Semimatrița fixă cu circuit de temperare vechi se prezintă în figura 5.5. unde se evidențiază practic zona centrală care se încălzește mult prea tare în timpul injectării, datorită lipsei unui circuit de răcire. În figura 5.6. se arată câteva neregularități care pot apărea la circuitul de temperare după un anumit interval de timp. Neregularitățile cele mai frecvente sunt datorate în primul rând lichidului de temperare care nu este tratat chimic întotdeauna cu diferite substanțe care să evite depunerile mari din circuit, precum și corodările care apar pe suprafețele matriței și care afectează în special șicanele găurindu-le după un anumit timp de exploatare, fenomen care se prezintă și în figura de jos.

5.1.3. Cercetări privind analiza sistemului de temperare final

În acest subcapitol se abordează problema proiectării și construcției circuitului nou de temperare pentru cele două semimatrițe. Partea mobilă este prezentată în figura 5.9, circuitul a fost executat în zona centrală a plăcii active, zonă care în timpul exploatării matriței avea o temperatură ridicată datorită radiației căldurii din piesă, prin urmare temperatura de pe suprafața plăcii active nu era constantă, astfel produsul injectat era supus unor deformații remanente pe toate cele trei axe, el fiind total compromis.

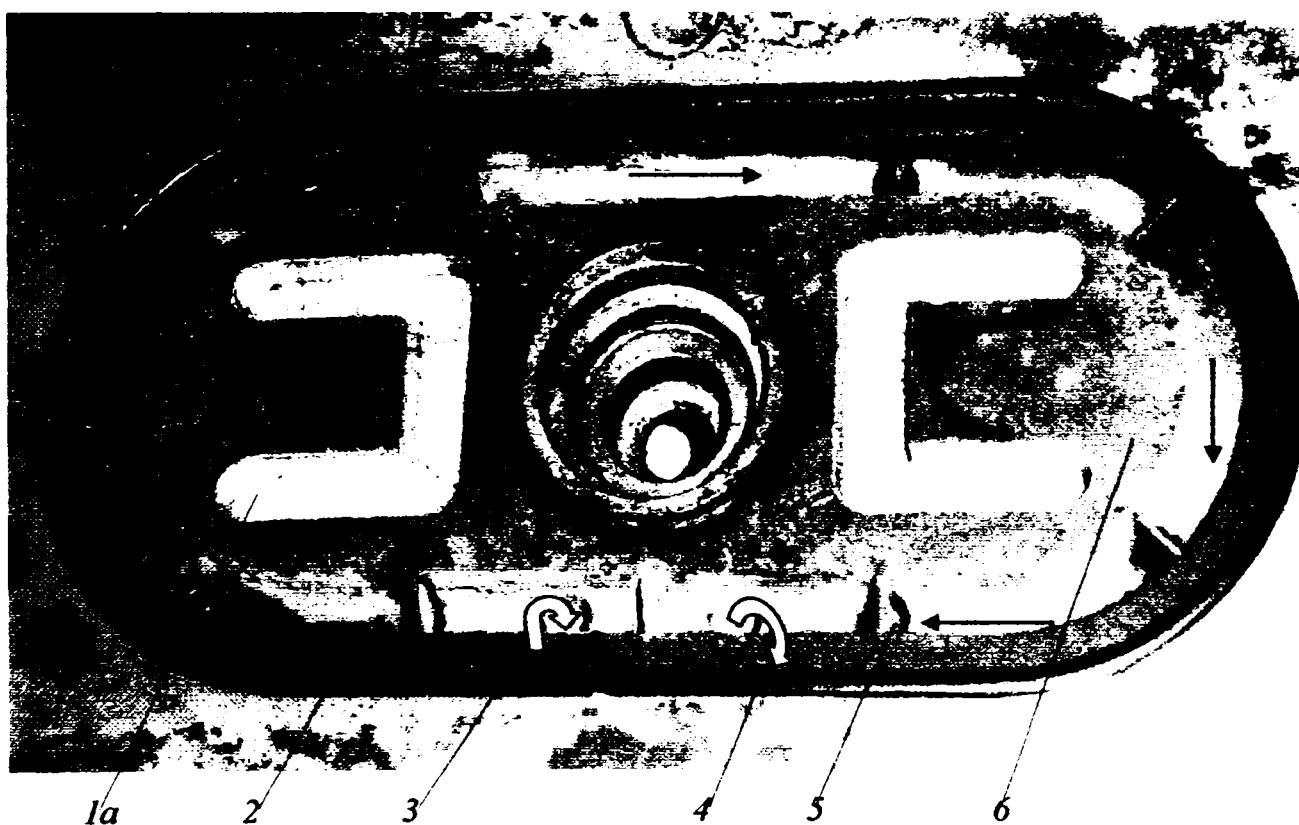
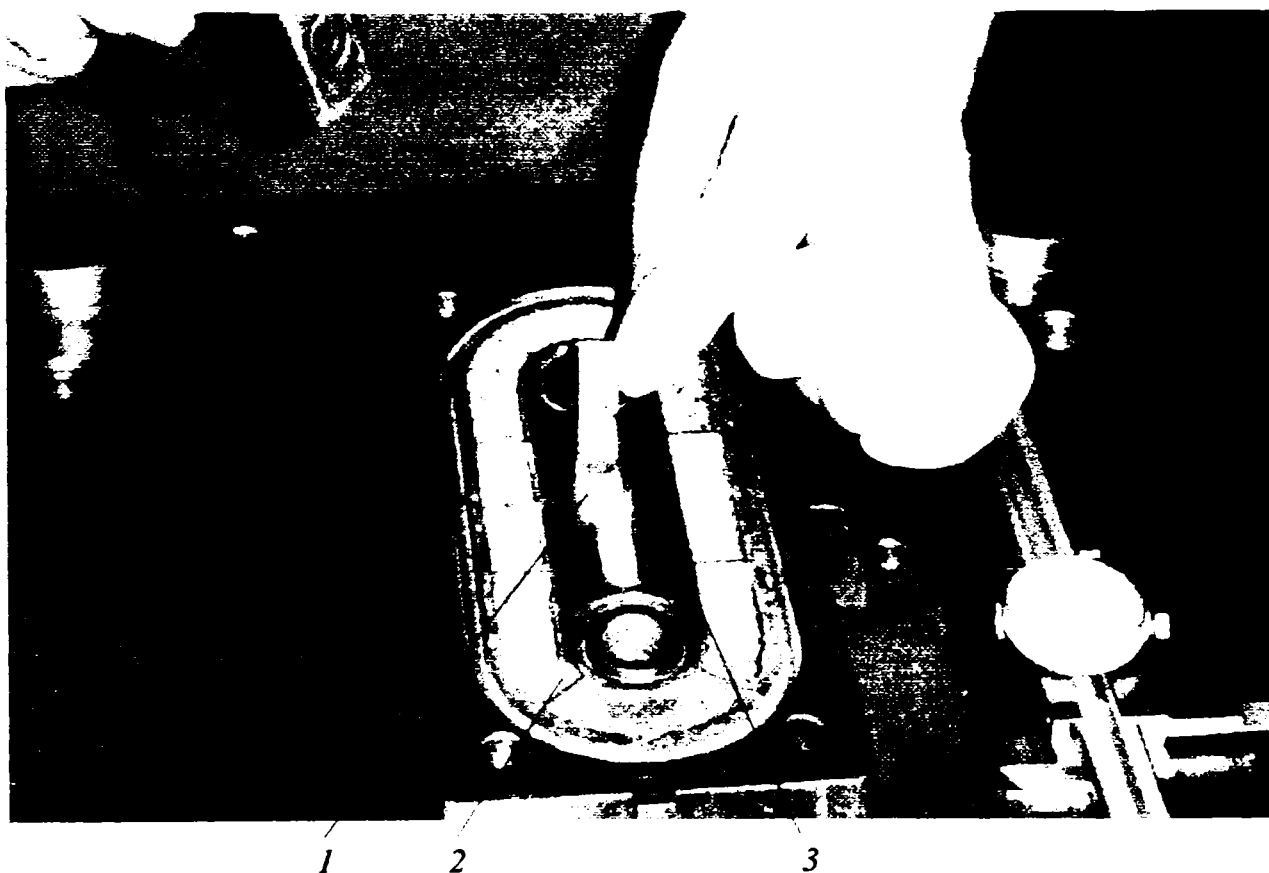


Fig.5.8.Prezentarea sistemului nou de temperare pe semimatrița fixă (cuib)
 1a-circuit nou (stânga); 1b-circuit nou (dreapta); 2- circuit vechi; 3 – intrare lichid în circuit; 4- ieșire lichid circuit; 5- găuri cu șicane; 6- placă activă semimatriță fixă.

Prin realizarea acestui nou circuit de răcire cu cele 3 șicane care au posibilitatea să tempereze placa activă a matriței pe o adâncime relativ mare, problema variației de temperatură a fost rezolvată cu succes, acest lucru dovedindu-se atât teoretic prin simulare cu programul Moldflow (capitolul 4), cât și practic prin injectarea pe matriță a unui număr mare din piesa proiectată (capac cutie de siguranță) din materiale termoplaste diferite care se dovedesc de calitate foarte bună, atât din punct de vedere dimensional, cât și al abaterilor de formă și poziție.

În figura următoare se prezintă circuitele noi de pe semimatrița fixă, ele nu sunt prevăzute cu șicane deoarece nu există spațiu suficient datorită grosimii relativ mici ale plăcii active, precum și prezenței duzei calde în acea zonă.

În urma cercetărilor teoretice și practice efectuate, se dovedește că soluția aleasă este foarte eficientă prin faptul că semimatrița are o temperatură relativ uniformă pe toată suprafața prin urmare, se poate spune că scopul principal privind uniformizarea temperaturii este îndeplinit cu succes.



*Fig.5.9. Sistem nou de temperare pe semimatrița mobilă (poanson)
1-circuit nou cu 3 șicane; 2- circuit vechi; 3- introducerea șicanei în alezaj*

Piesa obținută în urma introducerii noului circuit de temperare este prezentă în figura 5.10, se observă faptul că are o calitate foarte bună și prin urmare soluția aleasă este cât se poate de eficientă. În figura 5.11 se prezintă piesele obținute cu cele două sisteme de temperare, se evidențiază foarte clar diferența de calitate în special din punct de vedere a deformațiilor remanente, deformații care sunt influențate în mod direct de temperatura matriței.

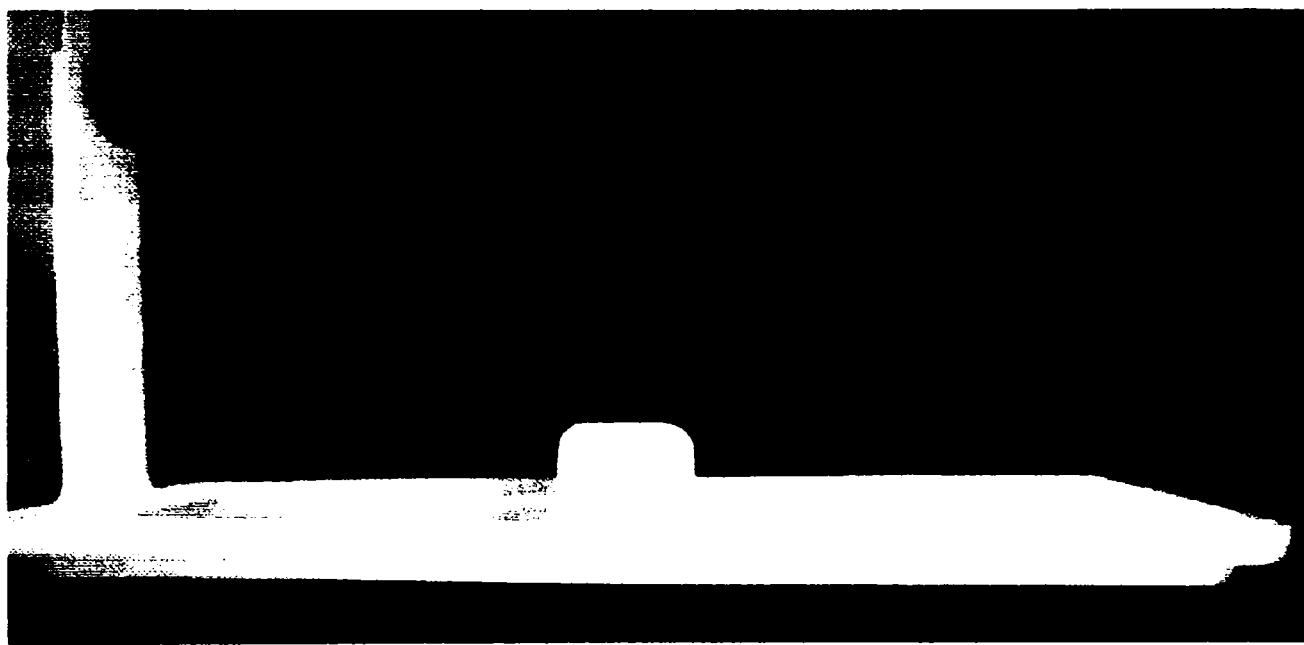


Fig. 5.10. Piesă injectată (capac cutie siguranță) cu sistem nou de temperare.

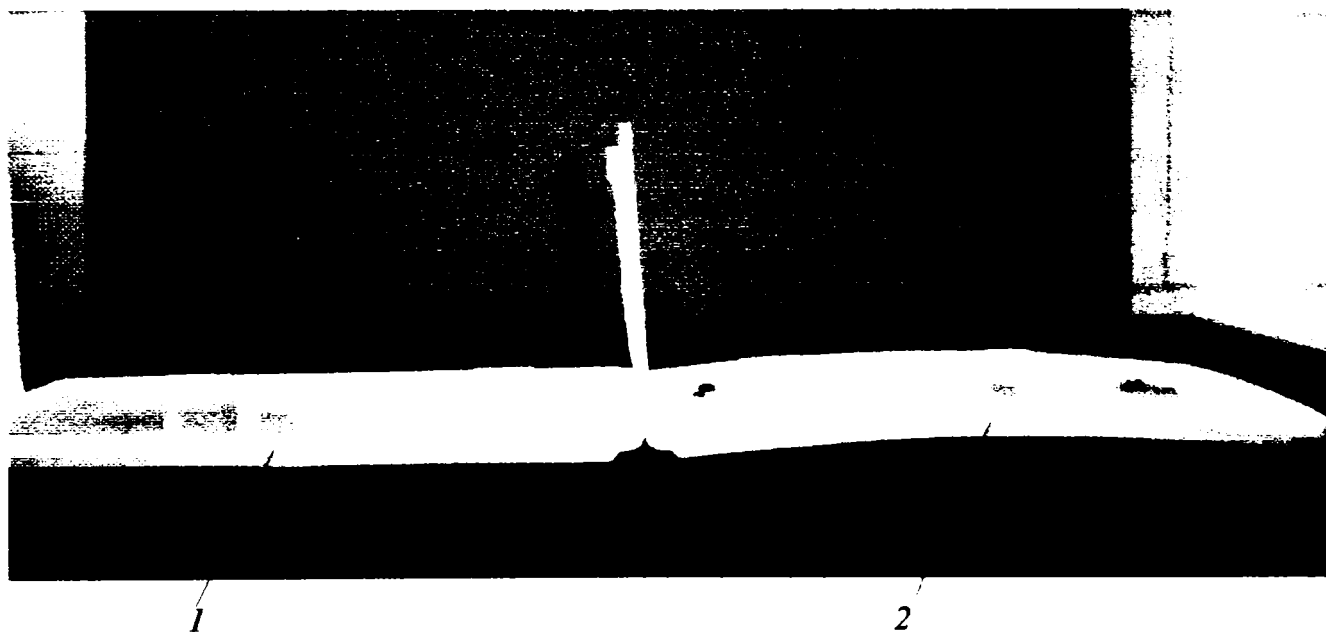


Fig. 5.11. Piesă injectată (capac cutie siguranță) cu sistem nou de temperare.

1-piesă bună; 2-piesă deformată

5.2. Determinarea rezultatelor obținute prin simulare și experimente practice

În continuare se prezintă toate rezultatele obținute în urma cercetărilor practice și teoretice referitor la: parametrii de injectare a produsului, ciclul de injectare, temperaturile celor două semimatrițe pentru un anumit timp de răcire, temperaturile pieselor pentru materialele studiate, precum și deformațiile apărute la cele 5 tipuri de materiale pentru diferite regimuri de lucru.

În tabelul 5.1 se reprezintă valorile temperaturilor matriței, respectiv piesei injectate, analizându-se de asemenea deformațiile ulterioare care apar în cazul parametrilor de lucru aleși. (*Timp injectare -2,8 s; Timp dozare -5,1 s; Timp presiune ulterioară-12,1 s; Timp răcire -10s; timp ciclu-30s.*) Temperatura lichidului de răcire recomandată de către programul de simulare este de 20°C în circuitul din centrul semimatriței și 40°C în circuitul de pe marginea semimatriței. Materialul utilizat pentru analiză este Polipropilenă (Stamylan P83MF10).

În tabelul 5.2 se reprezintă aceiași parametri, dar la un timp de ciclu de 25 s, se evidențiază faptul că valorile deformațiilor cresc odată cu scăderea timpului de ciclu. În tabelul 5.3. se reprezintă valorile pentru un timp de ciclu de 30s, dar cu temperaturi egale ale apei la intrare în circuit respectiv (centru-40°C, margini - 40°C). Prin faptul că temperatura apei la intrare este egală în cele două circuite, datorită sistemului de injectare cu duză caldă, suprafața activă a matriței are o temperatură inconstantă, ceea ce duce la creșterea semnificativă a deformațiile remanente din piesele injectate.

În tabelul 5.4 se reprezintă valorile deformațiilor pentru un produs din PP, de formă plană, la timpi diferiți de ciclu, evidențiindu-se de asemenea temperaturile matriței și piesei în funcție de ciclul de timp.

În tabelul 5.5. se reprezintă mărimea deformațiilor la piesele de formă plană, în funcție de timpul de răcire. Temperatura apei la intrare în circuit (centru-20°C, margini -40°C).

În tabelul 5.6. se reprezintă aceiași parametri, dar cu temperaturi egale a apei la intrarea în circuite (centru-40°C, margini - 40°C). Și în aceste două cazuri se observă faptul că toate cele 5 tipuri de materiale suferă deformații remanente mai mari atunci când nu se obține o temperatură constantă pe suprafețele active ale semimatrițelor. Datorită faptului că nu s-au ales temperaturi.

Tabel 5.1. Reprezentarea temperaturilor și deformațiilor la PP pentru cele două sisteme de temperare. Temperatura apei intrare circuit (centru-20°C, margini - 40°C).

Parametrii de lucru Timp injectare - 2,8 s; Timp dozare - 5,1 s; Timp pres. ulterioară-12,1 s; Timp răcire - 10s; TIMP CICLU 30s				Circuitul de temperare vechi		Circuitul de temperare nou	
				Analiză Moldflow	Experiment practic	Analiză Moldflow	Experiment practic
Temperatura apei [°C]	Cuib	Intrare	Centru	-	-	20°C	20°C
			Margine	40	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	22,6	22,8
			Margine	42,4	42,6	42,4	42,7
	Poanson	Intrare	Centru	-	-	20°C	20°C
			Margine	40°C	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	22,7°C	22,9
			Margine	42,5	42,7	42,5	42,7
Temperatura matriței [°C]	Cuib	Centru	64	64,5	45	45,6	
		Margini	54	54,8	47	47,4	
	Poanson	Centru	63,5	63,1	49	49,3	
		Margini	55,2	55,6	49,5	49,5	
Temperatura piesei [°C]	Cuib	Centru	65,5	65,8	49	49,3	
		Margini	56,5	56,2	50	50,2	
	Poanson	Centru	65,6	65,7	51	51,4	
		Margini	56,5	56,8	52,2	52,5	
Deformațiile piesei[mm]	Ox			10	10,1	1,8	1,9
	Oy			3,8	4,0	1,7	1,7
	Oz			6,6	6,8	1,3	1,4
	Deformații totale			11	11,3	2,0	2,2

Tabel 5.2. Reprezentarea temperaturilor și deformațiilor la PP pentru două sisteme de temperare diferite. Timp ciclu 25s. Temperatura apei intrare (centru-20°C, margini - 40°C).

Parametrii de lucru Timp injectare - 2,8 s; Timp dozare - 5,1 s; Timp pres. ulterioară-8,1s; Timp răcire - 6s; TIMP CICLU 25s				Circuitul de temperare vechi		Circuitul de temperare nou	
				Analiză Moldflow	Experiment practic	Analiză Moldflow	Experiment practic
Temperatura apei [°C]	Cuib	Intrare	Centru	-	-	20°C	20°C
			Margine	40	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	22,6	22,8
			Margine	42,4	42,6	42,4	42,7
	Poanson	Intrare	Centru	-	-	20°C	20°C
			Margine	40°C	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	22,7°C	22,9
			Margine	42,5	42,7	42,5	42,7
Temperatura matriței [°C]	Cuib	Centru	76	76,5	57	57,6	
		Margini	66	66,7	59	59,3	
	Poanson	Centru	75,5	75,1	61	61,3	
		Margini	67,2	67,5	61,3	61,4	
Temperatura piesei [°C]	Cuib	Centru	77,5	77,7	61	61,3	
		Margini	68,5	68,2	62	62,2	
	Poanson	Centru	77,5	77,7	63	63,3	
		Margini	68,5	68,6	64,2	64,4	
Deformațiile piesei[mm]	Ox			12	12,4	2,8	3,0
	Oy			3,9	4,1	1,9	2,1
	Oz			7,5	7,7	1,7	1,9
	Deformații totale			13,2	13,5	3,5	3,8

Tabel 5.3. Reprezentarea temperaturilor și deformațiilor la PP pentru două sisteme de temperare diferite. Timp ciclu 25s. Temperatura apei intrare (centru-40°C, margini - 40°C).

Parametrii de lucru Timp injectare - 2,8 s; Timp dozare - 5,1 s; Timp pres. ulterioară-12,1 s; Timp răcire - 10s; TIMP CICLU 30s				Circuitul de temperare vechi		Circuitul de temperare nou	
				Analiză Moldflow	Experiment practic	Analiză Moldflow	Experiment practic
Temperatura apei [°C]	Cuib	Intrare	Centru	-	-	40°C	40°C
			Margine	40	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	43,6	43,7
			Margine	44	42,6	42,4	42,7
	Poanson	Intrare	Centru	-	-	40°C	40°C
			Margine	40°C	40°C	40°C	40°C
		Ieșire	Centru	-	-	43,°C	43,2
			Margine	42,5	42,7	42,5	42,7
Temperatura matriței [°C]	Cuib	Centru	84	84,5	64	64,6	
		Margini	66	66,7	59	59,3	
	Poanson	Centru	75,5	75,1	61	61,3	
		Margini	72,2	72,5	66,3	66,4	
Temperatura piesei [°C]	Cuib	Centru	86,5	86,7	67,5	67,3	
		Margini	69,5	71,2	65	65,2	
	Poanson	Centru	79,5	79,7	67,4	67,6	
		Margini	76,5	76,6	68,2	68,4	
Deformațiile piesei[mm]	Ox			14	15	3,1	3,2
	Oy			4,9	4,7	2,1	2,3
	Oz			9,5	9,7	2,5	2,6
	Deformații totale			16,4	16,6	4,3	4,5

Tabelul 5.4. Reprezentarea mărimii deformațiilor unui produs de formă plană din Prolipropilenă, în funcție de timpul de ciclu, temperatura matriței, și temperatura piesei.

Timp ciclu [s]	Temperatură medie matriță [°C]	Temperatură medie piesă [°C]	Mărimea deformațiilor piesei [mm]
20	78	86	4.1
30	65	72	2.2
40	54	61	1.9
50	48	54	1.4
60	42	48	0.9

Tabelul 5.5. Reprezentarea mărimii deformațiilor unor produse de formă plană, în funcție de timpul de răcire. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-20°C, margini - 40°C).

Denumire material	Deformația maximă a piesei[mm]						
	Timp de răcire în matriță [s]						
	5	10	15	20	25	30	40
PS	5.8	3.1	1.9	1.4	1.1	0.8	0.5
ABS	7.1	3.3	2.1	1.5	1.2	0.8	0.6
PA	7.3	3.4	2.2	1.6	1.2	0.9	0.6
PP	7.8	3.6	2.3	1.7	1.25	0.9	0.65
PEID	8.2	4.2	2.5	1.9	1.4	1.1	0.7

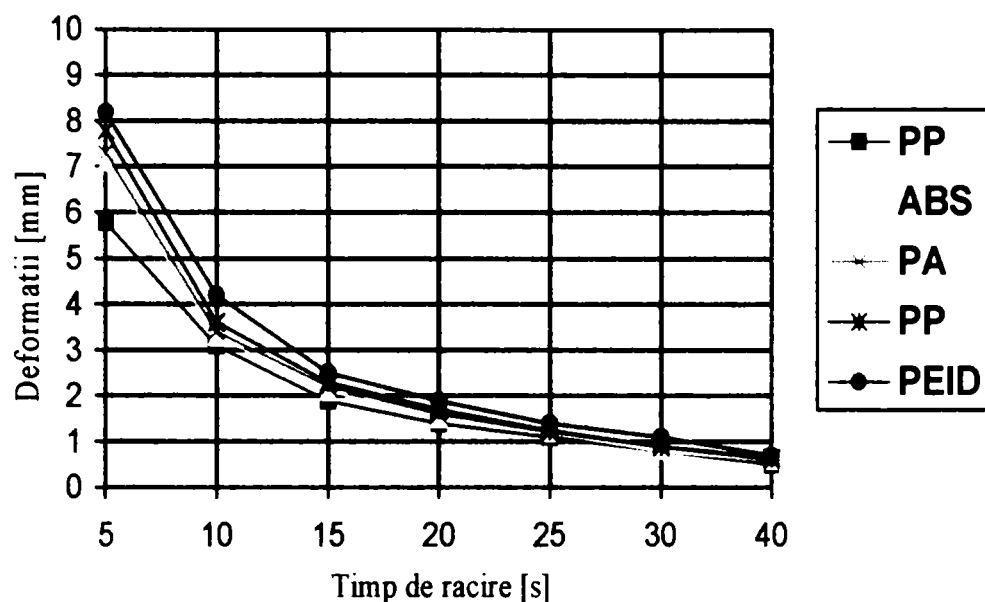


Fig.5.12. Reprezentarea grafică a deformațiilor produselor de formă plană, în funcție de timpul de răcire, utilizând o temperatură de intrare a apei în circuit de 20°C centru și 40°C margini.

Tabelul 5.6. Reprezentarea deformațiilor produselor de formă plană, în funcție de timpul de răcire. Temperatura apei la intrare în circuit (centru-40°C, margini - 40°C).

Denumire material	Deformația maximă a piesei [mm]						
	Timp de răcire în matrită [s]						
	5	10	15	20	25	30	40
PS	6.1	3.4	2.2	1.7	1.3	1.0	0.7
ABS	7.4	3.7	2.3	1.7	1.4	0.9	0.8
PA	7.7	3.9	2.5	1.8	1.5	1.0	0.8
PP	8.2	4.1	2.6	1.9	1.5	1.2	0.85
PEID	8.5	4.5	2.9	2.1	1.7	1.4	0.9

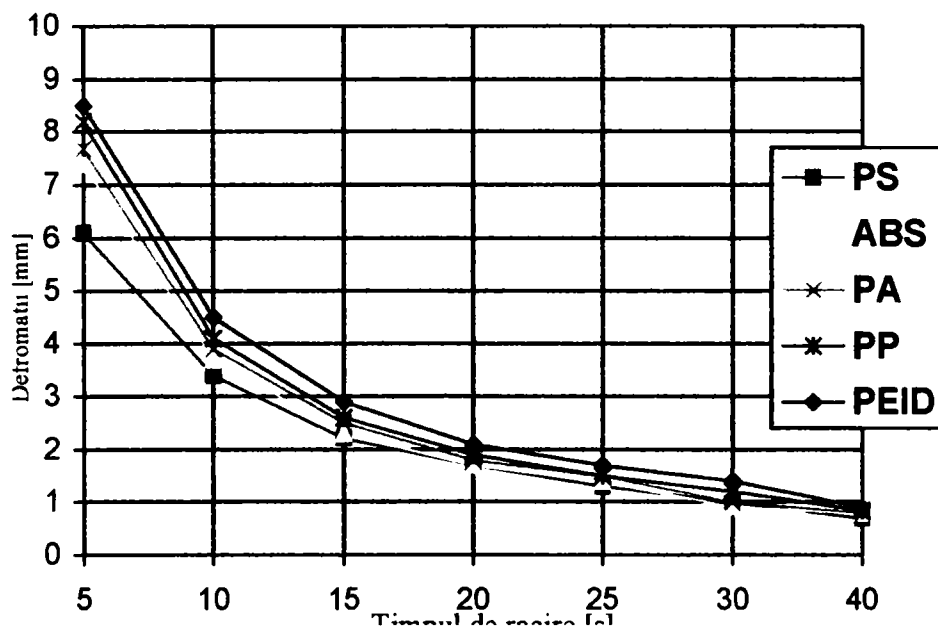


Fig.5.13. Reprezentarea grafică a deformațiilor produselor de formă plană, în funcție de timpul de răcire, utilizând o temperatură de intrare a apei în circuit de 40°C centru și 40°C margini.

Tab. 5.7. Reprezentarea mărimii deformațiilor la produsele de formă plană, în funcție de timpul de răcire și temperatura matriței. Temperatura apei la intrare în circuit(centru- 20°C , margini - 40°C).

Timp de răcire [s]	Temperatură medie matriță [$^{\circ}\text{C}$]	Cod.material	Valoarea deformațiilor piesei [mm]
5	66	M1	5.8
		M2	7.1
		M3	7.4
		M4	7.8
		M5	8.2
10	54	M1	3.1
		M2	3.3
		M3	3.4
		M4	3.6
		M5	4.1
20	48	M1	1.4
		M2	1.5
		M3	1.6
		M4	1.7
		M5	1.9
30	41	M1	0.8
		M2	0.8
		M3	0.9
		M4	1.0
		M5	1.1
40	37	M1	0.5
		M2	0.6
		M3	0.6
		M4	0.7
		M5	0.75

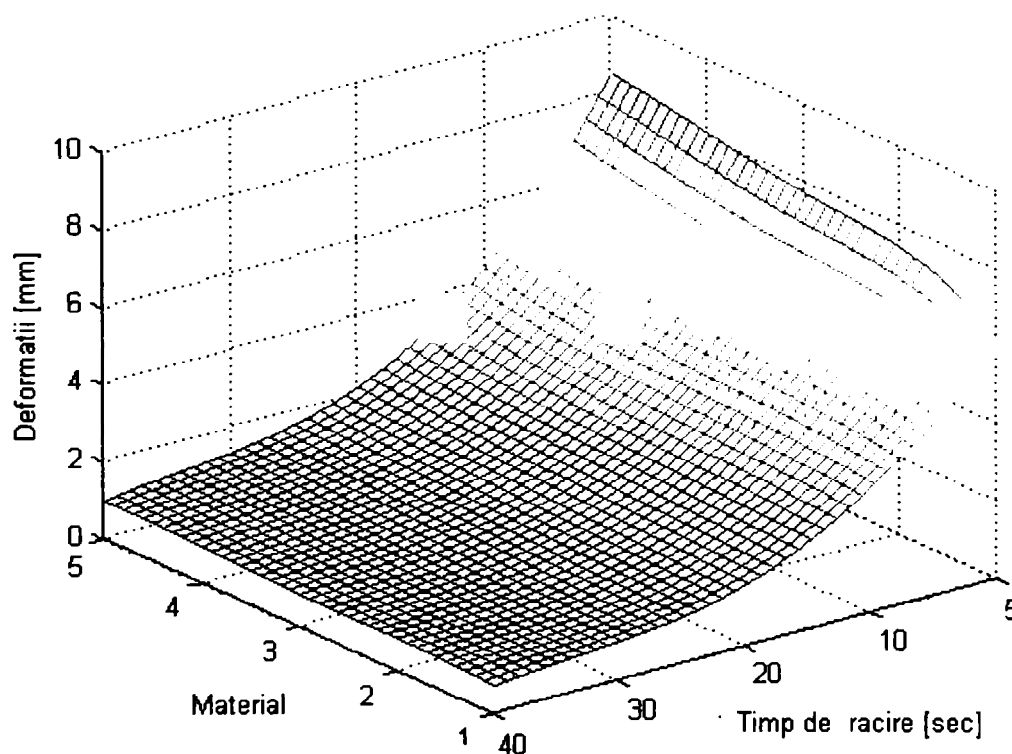


Fig. 5.14. Reprezentarea grafică a deformațiilor în funcție de timpul de răcire, pentru 5 tipuri de materiale. Temperatura apei la intrare în circuit(centru- 20°C , margini - 40°C).

Tab. 5.8. Reprezentarea mărimii deformațiilor la produsele de formă plană, în funcție de timpul de răcire. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-40°C, margini - 40°C).

Timp de răcire [s]	Temperatură medie matriță [°C]	Cod. material	Valoarea deformațiilor piesei [mm]
5	74	M1	6.6
		M2	7.6
		M3	7.8
		M4	8.2
		M5	8.7
10	65	M1	3.7
		M2	3.8
		M3	3.9
		M4	4.2
		M5	4.4
20	56	M1	1.6
		M2	1.7
		M3	1.9
		M4	1.9
		M5	2.2
30	47	M1	0.9
		M2	0.95
		M3	1.15
		M4	1.25
		M5	1.3
40	40	M1	0.6
		M2	0.7
		M3	0.85
		M4	0.95
		M5	1.2

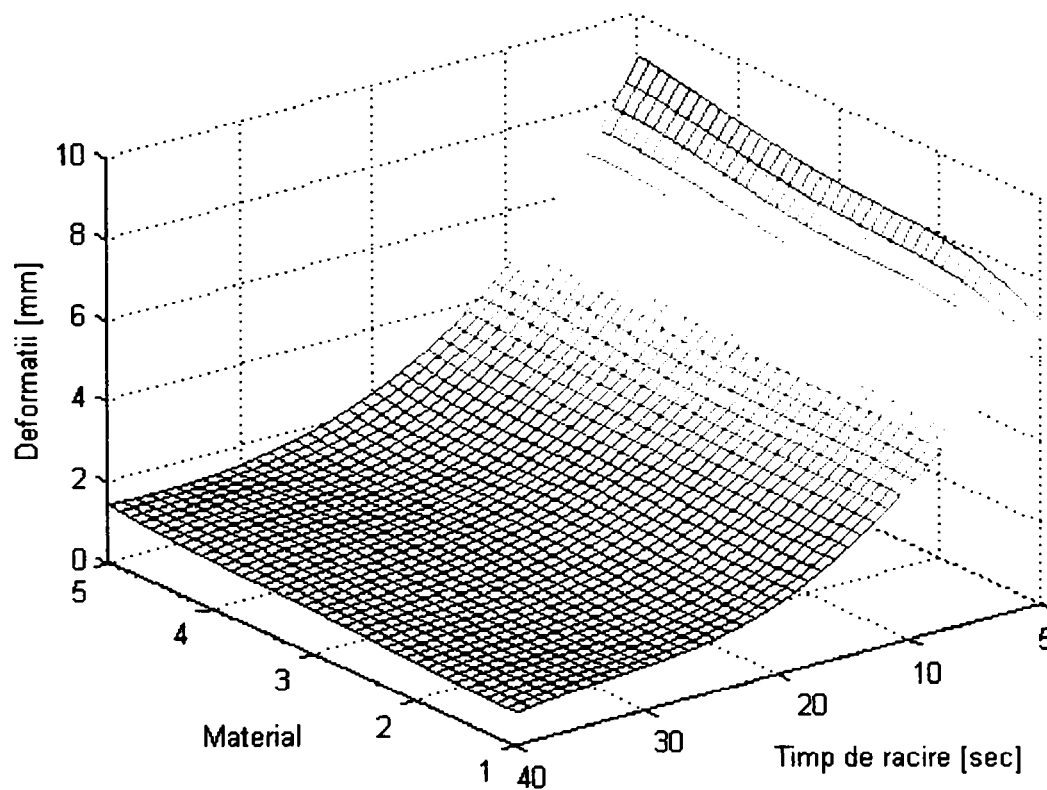


Fig. 5.15. Reprezentarea grafică a deformațiilor în funcție de timpul de răcire, pentru 5 tipuri de materiale. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-40°C, margini - 40°C).

Tab. 5.9. Reprezentarea mărimii deformațiilor la produsele de formă plană, în funcție de timpul de ciclu și temperatura matriței. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-20°C, margini - 40°C).

Timp de ciclu [s]	Temperatură medie matriță [°C]	Cod. material	Mărimea deformațiilor piesei [mm]
20	72	M1	6.1
		M2	7.3
		M3	7.6
		M4	8.0
		M5	8.3
30	64	M1	3.4
		M2	3.5
		M3	3.6
		M4	3.7
		M5	4.3
40	52	M1	1.6
		M2	1.55
		M3	1.65
		M4	1.75
		M5	1.9
50	44	M1	0.8
		M2	0.85
		M3	0.9
		M4	1.1
		M5	1.2
60	39	M1	0.4
		M2	0.5
		M3	0.55
		M4	0.6
		M5	0.7

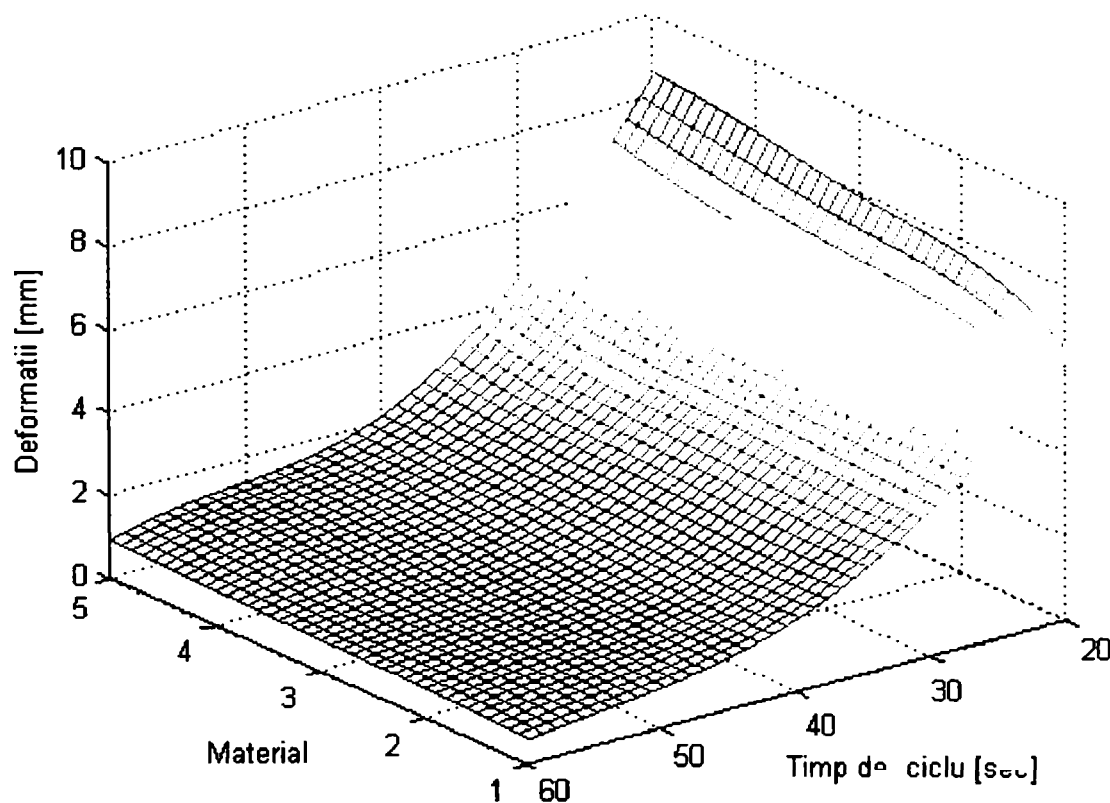


Fig. 5.16. Reprezentarea grafică a deformațiilor în funcție de timpul de ciclu, pentru 5 tipuri de materiale. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-20°C, margini - 40°C).

Tab. 5.10. Reprezentarea mărimii deformațiilor la produsele de formă plană, în funcție de timpul de ciclu și temperatura matriței. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-40°C, margini - 40°C).

Timp de ciclu [s]	Temperatură medie matriță [°C]	Cod. material	Mărimea deformațiilor piesei [mm]
20	80	M1	7.2
		M2	7.8
		M3	8.4
		M4	8.6
		M5	8.9
30	71	M1	3.9
		M2	4.3
		M3	4.6
		M4	5.1
		M5	5.4
20	59	M1	2.6
		M2	2.9
		M3	3.1
		M4	3.4
		M5	3.7
30	50	M1	1.7
		M2	1.8
		M3	1.9
		M4	2.2
		M5	2.8
40	41	M1	1.1
		M2	1.3
		M3	1.4
		M4	1.6
		M5	1.8

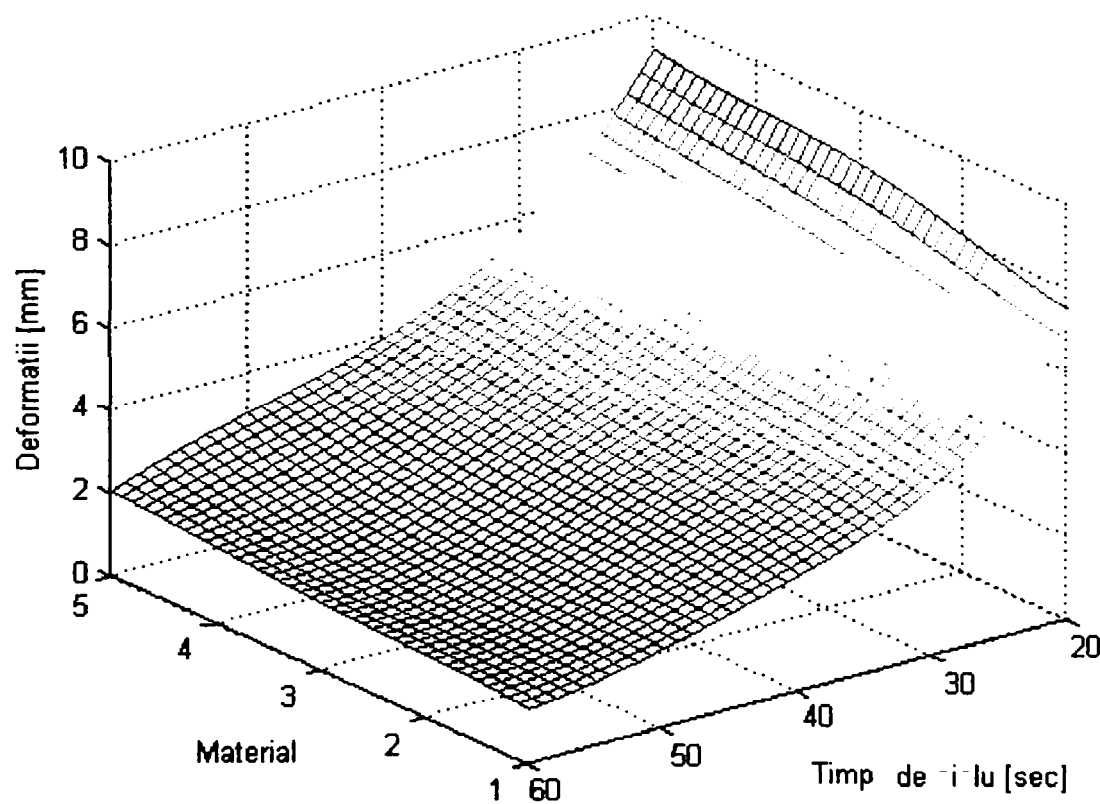


Fig. 5.17. Reprezentarea grafică a deformațiilor în funcție de timpul de ciclu, pentru 5 tipuri de materiale. Temperatura apei la intrare în circuit(centru-40°C, margini - 40°C).

În tabelele 5.7.-5.10 se reprezintă valorile deformațiilor la produsele de formă plană, în funcție de timpul de ciclu, timpul de răcire și temperatura matriței. Se folosesc 2 temperaturi diferite ale apei la intrare în circuit pentru centru matriței (20°C și 40°C).

În urma reprezentării graficelor în 3D se evidențiază faptul că deformațiile ulterioare cresc odată cu creșterea temperaturii matriței și scad odată cu creșterea timpului de ciclu și răcire. De asemenea se observă faptul că materialul care se deformează cel mai mult dintre cele 5 prezentate este PEID, iar cel mai rezistent la deformații este PS.

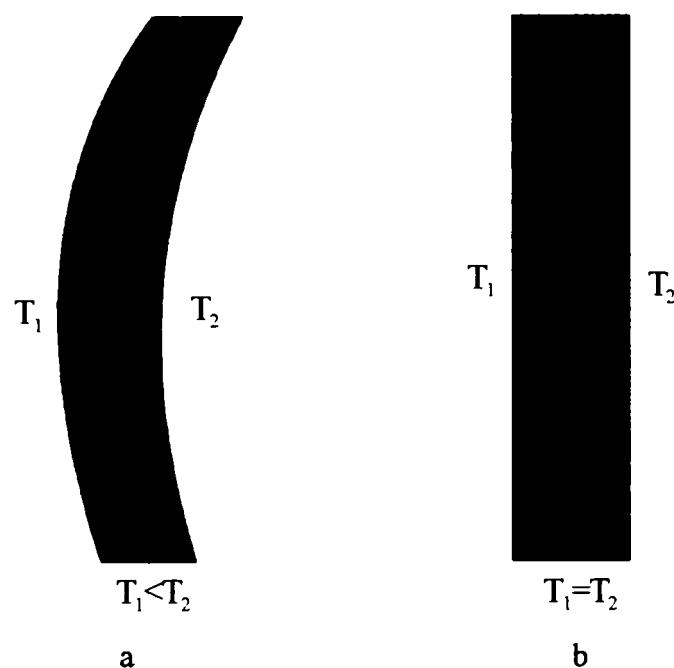


Fig.5.18. Reprezentarea modului de deformare a unei piese injectate de formă plană, în funcție de temperaturile celor două semimatrițe. a – temperaturi diferite pe semimatrițe; b – temperaturi egale pe ambele semimatrițe.

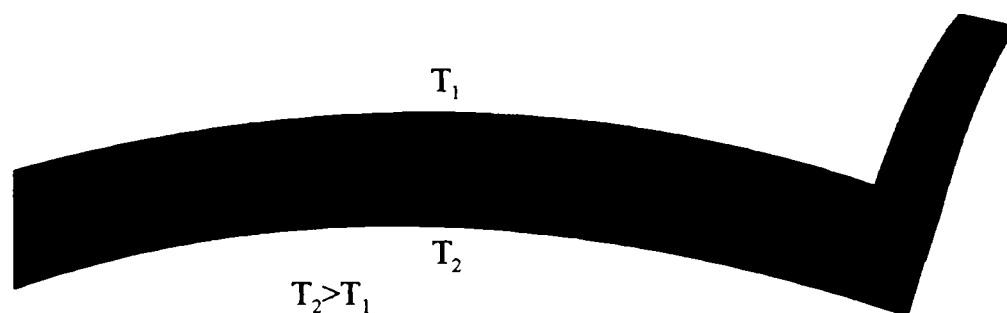


Fig.5.19. Reprezentarea modului de deformare a piesei analizate, în funcție de temperaturile celor două semimatrițe.

În figurile 5.18 și 5.19 se reprezintă modul de deformare a unei piese injectate de formă plană, în funcție de mărimea temperaturii pe cele două suprafețe, se observă faptul că deformațiile remanente sunt mai accentuate în zona unde temperatura este mai ridicată datorită contracțiilor care au loc mai târziu. Placa se va deforma convex spre peretele rece (T_1) deoarece în partea rece a matriței materialul plastic se întărește mai repede, iar contracția

încetează, în timp ce în partea caldă contracția continuă. În fig.5.18.b. este prezentată forma unei plăci care a fost injectată în matriță având temperatura de răcire egală pe cele două fețe, ($T_1=T_2$) deformațiile în acest caz fiind aproape nule.

5.3. Concluzii

Optimizarea temperaturii matriței are un rol foarte important atât în ceea ce privește calitatea produsului cât și în ceea ce privește productivitatea.

Temperatura matriței este una din mărimile care are o influență foarte mare asupra condițiilor de realizare a procesului de injecție. Ea influențează direct timpul de răcire, durata ciclului de injecție, eficiența formării produsului în matriță, calitatea produsului format, cristalinitatea, înghețul și tensiunile interne.

Condițiile de răcire din matrița de injectat au o mare influență asupra deformării pieselor injectate.

O temperatură mai mare poate aduce numai în anumite cazuri unele îmbunătățiri calitative, în schimb scade eficiența economică a procesului, datorită timpului de răcire mare care duce la scăderea productivității. O temperatură mai mică conduce la o rapidă degradare a topiturii, în sensul obținerii unei structuri neomogene cu o slabă cristalinitate.

Încovoierea termică este datorată diferențelor mari între temperatura piesei pe cele două suprafețe, caz în care aceasta se comportă ca o lamă bi-metalică ceea ce duce la contracții termice diferite pe cele două suprafețe, urmate de puternice deformații ale pieselor injectate.

În urma analizei efectuate pe un material răcit la temperaturi diferite, 80°C respectiv 40°C, se evidențiază clar diferențele de structură obținute, în cazul răcirii bruște sau prea rapide, o bună parte din contracția obținută, se transformă în post-contracție. Acest fenomen conduce la influențe nedorite asupra procesului de formare a produsului. De aceea este necesar să se caute domeniul optim pentru temperatura de răcire, ținând cont și de faptul că post-contracția trebuie păstrată în limite rezonabile.

6. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

6.1. Concluzii generale

Îmbunătățirea calității produselor din materiale termoplastice injectate este un proces deosebit de complex, ceea ce presupune antrenarea unor mari resurse materiale și umane privind realizarea acestui obiectiv.

Teza de doctorat abordează un domeniu de mare actualitate, din cele prezentate în lucrare, se evidențiază faptul că produsele din materiale termoplastice se află într-un continuu proces de dezvoltare, care se reliefează prin: creșterea continuă a producției mondiale, extinderea domeniilor în care sunt implementate aceste produse, varietatea din punct de vedere al proprietăților care le dețin, precum și metodele speciale de procesare apărute în ultima perioadă.

Datorită avantajelor care le reprezintă față de alte tipuri de materiale, produsele din materiale termoplastice se regăsesc aproape în toate domeniile de activitate, fiind implementate din ce în ce mai mult în locul unor produse din metal sau alte tipuri de materiale.

Calitatea acestor produse este influențată direct de temperatura matriței. Ea influențează direct timpul de răcire, durata ciclului de injectare, eficiența formării produsului în matriță, calitatea produsului format, cristalinitatea și tensiunile interne.

Distribuția temperaturii la extragerea piesei injectate din cuibul matriței după faza de răcire are o influență foarte mare asupra deformațiilor și asupra stabilității dimensionale a produsului.

Temperaturile ridicate ale materialului permit o curgere mai bună, însă cresc atât contracțiile cât și timpul de răcire, fapt ce duce la scăderea productivității.

Temperaturile prea scăzute micșorează contracția în matriță, în schimb duc la contracție mai accentuată după aruncare.

Viteza și uniformitatea cu care piesa este răcită de asemenea afectează foarte mult calitatea și costurile de producție ale pieselor injectate.

Dacă variația temperaturii este foarte mare pe anumite zone ale suprafeței cuibului matriței, piesa injectată are diferențe de calitate ale suprafeței.

Gradul de cristalinitate prezent în piesa injectată din materiale semi-cristaline este influențat de viteza de răcire a topiturii în cuibul matriței.

Variații ale cristalinității afectează contracția volumică în momentul răcirii piesei ceea ce duce la deformații și instabilitate dimensională a pieselor injectate.

Incovoierea termică este datorată diferențelor mari între temperatura piesei pe suprafața exterioară și cea de pe suprafața interioară, caz în care aceasta se comportă ca o lamă bi-metalică ceea ce duce la contracții termice diferite pe cele două suprafețe și ca urmare puternice deformații ale pieselor injectate.

Când se impune ca produsul injectat să aibă o calitate superioară atât din punct de vedere dimensional cât și din punct de vedere a calității suprafețelor, timpul de răcire crește rezultând în final o creștere a costului de producție.

Timpul de ciclu care determină costul unei piese injectate este dependent de timpul de răcire necesar extragerii piesei injectate în depline condiții de siguranță și care să corespundă cerințelor de calitate.

Mărimea deformațiilor unui produs este invers proporțională cu mărimea timpului de răcire în matriță.

Deformarea pieselor injectate nu este influențată de temperatură, în schimb este cauzată de diferențele de temperatură în interiorul matriței.

Durata ciclului depinde, pe lângă timpii condiționați de tipul utilajului și a materialului, în primul rând de viteza de răcire a piesei. Aceasta, poate fi redusă prin temperatura mai joasă a matriței.

Proiectarea unui sistem de temperare trebuie să aibă în vedere următoarele criterii:

- Asigurarea unei temperaturi a matriței cât mai uniforme și la valoarea dorită pentru următorul ciclu de injectare.
- Minimizarea timpului de răcire și implicit a timpului de ciclu.
- Lungimea circuitului închis în matriță nu trebuie să fie prea mare față de secțiunea canalului, diferența de temperatură a mediului între începutul și capătul canalului nu trebuie să depășească 3-5°C.
- Dacă se mărește distanța dintre canalele de temperare temperatura la suprafața cuibului matriței va fi mai neuniformă și va crește în timpul injectării topiturii de material plastic.
- Dacă se micșorează prea mult distanța dintre canalele de temperare căldura topiturii de material plastic injectat în cuibul matriței va fi îndepărtată prea rapid și ca urmare se va produce o variație prea mare a temperaturii fronturilor de curgere ceea ce poate duce la probleme de calitate ale pieselor injectate.

- La produse cu grosimea peretelui uniformă, găurile pentru canalele de răcire se practică urmând regulat conturul produsului. În situațiile în care grosimea peretelui produsului nu este uniformă, distanța de practicare a găurilor devine invers proporțională cu grosimea.
- Găurile pentru canalele de răcire trebuie să aibă în principiu un diametru de 2,5 ori mai mare decât grosimea peretelui produsului, dar nu mai puțin de 5 mm. Pentru distanța dintre găurile canalelor de răcire și pereții matriței, se practică valori de 2,5 - 3D (diametrul găurii).
- Prin simularea procesului de curgere în matriță și prin analiza parametrilor sistemului, calculatorul oferă tehnologului și proiectantului de piesă și matriță informații inițiale valoroase care fac ca experiența tehnologică să fie completată, astfel încât să fie eliminate erorile de proiectare și execuție a matriței.
- Prin analiza complexă a temperaturilor poansonului și cuibului precum și a temperaturii piesei injectate calculatorul oferă indicii prețioase în proiectarea sistemului de temperare.
- Analiza deformațiilor piesei injectate oferită de calculator sesizează calitatea piesei încă din faza de proiectare astfel încât să se poată aprecia dacă piesa va corespunde scopului pentru care este proiectată. Se elimină din start rateuri care pot fi deosebit de costisitoare în ceea ce privește matrița.

6.2. Contribuții personale

6.2.1. Contribuții teoretice

De-a lungul pregătirii și elaborării acestei teze apreciez ca fiind originale următoarele aspecte ale activității desfășurate:

- Realizarea unei sinteze privind istoricul dezvoltării materialelor plastice, prezentându-se grafic ritmul de dezvoltare a producției mondiale.
- Dezvoltarea conceptului sistemelor CAD,CAM,CAE privind realizarea piesei și matriței de injectat, prezentându-se avantajele acestui sistem referitor la creșterea calității și productivității produselor obținute.
- Optimizarea temperaturii matrițelor de injectat realizându-se o serie de calcule cum ar fi:
 - calculul sistemului de răcire a matrițelor de injectat;

- calculul temperaturii medii a peretelui cuibului matriței;
 - calculul rezistenței la căldură a corpului matriței;
 - calculul transferului de căldură dintre orificiul de răcire și apa de răcire;
 - calcule privind transferul de căldură între materialul plastic și matriță, transferul de căldură în interiorul matriței și între matriță și mediul de temperare;
 - efectuarea unor calcule privind determinarea timpului de răcire în matriță;
 - calcule de dimensionare a sistemului de temperare, calculul lungimii canalelor de răcire;
 - calculule de dimensionarea răcirii matrițelor de injectat, s-a efectuat un studiu de caz pentru un material din polistiren de uz general.
- Se proiectează patru soluții constructive care contribuie la optimizarea temperaturii poansonelor mari pentru matrițele cu mai multe cuiburi (unele dintre ele fiind realizate și practic).
- Se efectuează un studiu de caz optimizând sistemul de temperare în cadrul unei matrițe de injectat cu duză caldă, cu un singur cuib, utilizându-se o piesă tehnică din PP, de formă plană.
- Se efectuează modelarea în 3D a celor două sisteme de temperare din matrița de injectat studiată, utilizând-se două versiuni de programe Moldflow 2.0 și Moldflow 4.1. În urma modelării se analizează influența temperaturii celor două semimatrițe asupra mărimii deformațiilor care apar la produsul finit.
- Se prezintă avantajele care le conferă acest mod de abordare, din punct de vedere al costului, în cazul produselor complexe, la serie mare de fabricație sau în cazul unor piese de precizie foarte mare.
- În urma cercetărilor teoretice și practice efectuate cu cele mai moderne S.D.V.-uri existente în domeniu, se elaborează o serie de tabele și grafice în 2D și 3D care scot în evidență mărimea deformațiilor în funcție de timpul de răcire, temperatura matriței și timpul total de ciclu, utilizându-se 5 tipuri de materiale foarte des folosite în practică (PP, PS, ABS, PA și PEID), aceste date fiind deosebit de utile specialiștilor în domeniu, având o bază de orientare referitor la gradul de deformare pentru materialele analizate.

6.2.2. Contribuții practice

- Proiectarea și realizarea a unui sistem de răcire în paralel, implementat la matrițe de injectat cu două sau mai multe cuiburi.
- Proiectarea și realizarea unei noi metode de temperare a semimatrițelor prin confecționarea unor poansone din mai multe plăci care permit realizarea unor circuite de răcire în zonele optime, realizându-se o temperatură constantă pe întreaga suprafață exterioară a poansonului, această soluție se dovedește a fi mult mai eficientă decât cele existente în prezent.
- Proiectarea și realizarea unor soluții eficiente pentru temperarea plăcilor active de la matrițele de injectat produse de formă plană.
- Proiectarea, modelarea și realizarea practică a trei circuite de temperare suplimentare, efectuate la matrița de injectat analizată (un circuit cu șicane pe semimatrița mobilă și două circuite simple pe semimatrița fixă). În urma implementării acestui circuit nou se elimină aproape complet deformațiile la piesele injectate, datorită uniformizării temperaturii pe cele două semimatrițe.
- Experimentări practice efectuate cu cele mai moderne S.D.V.-uri pentru determinarea temperaturii pe cele două părți active ale matriței analizate, comparând valorile obținute la simulare cu cele practice, materialul utilizat pentru piesă fiind polipropilena;
- Realizarea unui număr foarte mare de încercări la temperaturi de intrare diferite ale lichidului de răcire, pentru determinarea cât mai precisă a mărimii deformațiilor apărute la piesele de formă plană, comparându-se cele două sisteme de temperare.
- Efectuarea unor probe pentru cinci tipuri de materiale de largă consumație (PP, PS, ABS, PA și PEID) determinându-se mărimea deformațiilor în funcție de timpul de răcire, timpul de ciclu, temperatura lichidului de răcire la intrare în circuit și de temperatura matriței.

Valorificarea rezultatelor cercetării

- Pe parcursul elaborării tezei de doctorat, studiile și cercetările efectuate au fost valorificate prin:
- elaborarea și publicarea unui număr de 21 de lucrări științifice în domeniu, dintre care 10 la sesiuni internaționale și 2 în reviste;

- executarea a trei contracte de cercetare în domeniu prelucrării materialelor termoplastice;
- elaborarea unei curs de procesare a materialelor plastice (în curs de tipărire);
- teza oferă proiectanților și tehnologiilor în domeniu, o metodă de analiză cu element finit modernă, care contribuie cu mare succes la obținerea unor matrițe și piese de calitate superioară, această analiză poate fi extinsă în producție la o gamă foarte variată de piese injectate, indiferent de mărime, tipul de material și de metoda de injectare aplicată, se recomandă în mod special pentru produsele de complexitate ridicată;
- au fost create tabele ale defectelor pieselor injectate cu punerea în evidență a volumului deformațiilor, tabele ce pot fi utilizate cu succes în practică;
- deschide perspectiva altor lucrări de cercetare referitor la factorii care influențează calitatea produselor din materiale termoplastice obținute prin diferite procedee;
- permite întocmirea unui album al defectelor pieselor injectate, lucrare de mare necesitate pentru tehnologii de producție;
- pune bazele elaborării unei cărți tehnice care să abordeze fenomenele de temperare a matrițelor de injectat și nu numai, lucrare care ar completa un mare gol în literatura română de specialitate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Agassant, J., Vincent, M. Modelisation de l'ecoulement des polymeres fondus dans les moules d'injection. Technique de l'Ingenieur, 1995.
- [2] Arburg. Plastic injection materials and injection moulding process technology, 2004.
- [3] Berce, P., Bâlc., N. ş a. Fabricarea rapidă a prototipurilor. Editura Tehnică Bucureşti, 2000.
- [4] Bernhardt, E., Bertacchi, G. New tool for mold design: computerized Shrinkage Analysis. Plastics technology, January, 1986.
- [5] Bourdon, R. Qualitat beim Spritzgiessen planen und optimieren. Kunststoffe, Nr. 10, 1991.
- [6] Blegiu, G. Sisteme CAD/CAM/CAE în plasturgie. Editura Politehnică Timișoara, 2000.
- [7] Blegiu, G., Iclănzan, T. Metode în analiza modelelor solid-parametrice din materiale termoplastice, A VIII-a Conferință internațională de Inginerie Managerială și Tehnologică TEHNO 98, Timișoara.
- [8] Brunink, A. D. C.A.Q. beim Spritzgiessen. Kunststoffe, Nr. 1, 1992. Erhard, G. Konstruieren mit Kunststoffen. Carl Hanser Verlag, Munchen, Wien, 1999.
- [9] Brauer, J.R. What every Engineer should know about Finite Element Analysis , Marcel Dekker, Inc, New York, 1993.
- [10] Buidoș, T., Mihăilă, I., **Mihăilă, Șt.** Contributions Regarding the Development of Thermoplastic Materials Die with Complex Profile Cavities by Electric Erosion, A X-a Conferința Internațională de Tehnologii Neconvenționale Timișoara, 2001. Revista de tehnologii neconventionale, Nr.1/2001, Editura Augusta, Timișoara. pag.28-31.
- [11] Buidoș, T., **Mihăilă, Șt.** Research regarding realization of a complex profile die by electric erosion, International Conference TOOLS 2002, 11.04.2002, Kocovce. Slovak Republic, pag. 87-90.

- [12] Bur, A., Harsch, G. Qualitätsstrategie für das Spritzgießen. Kunststoffe, Nr.2, 1992
- [13] Chira, D., *Mihăilă, Șt.* Influența variației volumului topiturilor de materiale plastice cu temperatura și presiunea asupra fazei de dozare-plastifiere la mașinile de injectat mase plastice. Sesiunea de comunicării științifice. Universitatea din Oradea, 2003. pag.78-81.
- [14] Chira, D., *Mihăilă, Șt.* Some aspects concerning the dimensional accuracy, geometrical accuracy and rugosity of molded injection piece. Sesiunea de comunicării științifice. Universitatea din Oradea, 2004, pag 106-109.
- [15] Cremer, M. Prozesssimulation. Kunststoffe, Nr.12, 1998
- [16] Cicală, E.F. Metode de prelucrare statistică a datelor experimentale. Editura Politehnică, Timișoara. 1999.
- [17] Cincu, C., Manea, Gh. Cartea operatorului din industria de prelucrare a materialelor plastice. Editura Tehnică, București, 1984.
- [18] De Laney, D.E., Reilly J.F. A new approach to polymer rheology for process and quality control. *Plastics Engineering*, June, 1998.
- [19] Domșa, S., Nanu, D.s.a. „Materiale inginerești și tehnologii competitive pe piața concurențială”, Editura Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2001.
- [20] Drăgoi, M.V., Oancea, Ghe., Bruda, F. Grafică asistată de calculator, modelare 3D în Autocad. Editura Universității Transilvania Brașov, 1996.
- [21] Dumitrescu, A., Opran. Materiale polimerice. Caracterizare, Proprietăți, Prelucrare. Oficiul de informare documentară pentru industrie, cercetare management. București, 2002.
- [22] Edward, M. *Plastics Processing Technology* A.S.M. International 1994.
- [23] Erhard, G. *Konstruieren mit Kunststoffen*. Carl Hanser Verlag, Munchen, Wien, 1999.
- [24] Fetecău, C., Oancea, N. Prelucrarea mecanică a materialelor plastice. București, 2000.
- [25] Filz, P.F., Genoske, H. Simulieren statt Probieren. Kunststoffe, Nr.7, 1998.

- [26] Filz, P. Simulation des Spritzgiessprozesses bei Vernetzenden Formmassen-heutigen Möglichkeiten und Perspektiven. Kunststoffe, Nr.10, 1989.
- [27] Friedl, C. Progress Toward True 3D CAE. Analysis for Injection Molding, Moldflow International Pty. Ltd., Antec, 1996.
- [28] Gastrow, Hans. Injection moulds, Hanser Publishers, 1993.
- [29] Gattringer, R. Inovative Mould Technology – New Ways in Application Engineering for Multi- Component and Multi – Colour Parts. Engel Symposium, 2000.
- [30] Gebel, J., Kunisch ,H. Zum problem der Berechnung und Gestaltung der Kunlsystem dei Spritzgiesswerkzeugen fur die Termoplast- Verarbeitung. Plaste und Kautshuk, nr.8, 1968.
- [31] Gordon ,M. J. Total Quality Process Control for Injection Molding. Hanser Publischers, Munich, Vienna, New York, Barcelona, 1993.
- [32] Grama ,L. „Programarea experimentelor în construcția de mașini”. Editura Veritas, Tirgu-Mures, 2000;
- [33] Hahnemann ,S. „Verarbeitung von plaste” VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie Leipzig, 1970.
- [34] Hol ,G., Kallien, H. Simulatoiu beim Spritzgiessen von EPDM. Kunststoffe, Nr.11, 2000.
- [35] Iclănzan ,T. „Plasturgie: tehnologia prelucrării materialelor plastice”, vol. I si II. Centrul de multiplicare a Universității Tehnice Timișoara, 1995.
- [36] Iclănzan, T. „Plasturgie: tehnologia prelucrării materialelor plastice. Editura Politehnică. Timișoara,2003.
- [37] Ionescu, Muscel., Ianculescu, M., Șereș, I., ș.a. Proiectarea matrițelor pentru produse injectate din materiale plastice. Editura Tehnică, București, 1987.
- [38] Ilie, S., **Mihăilă, Șt.** The optimum procedures for injection simulation of plastics materials in to a mold. Conferința Internațională TMCR. Chișinău, mai 2003. Vol 2. pag. 97-100.

- [39] Ivan ,V.N. Sisteme CAD/CAM algoritmi si programe CAD-T. Editura Didactică și Pedagogică, București, 2001.
- [40] Ivan ,V.N., Berce, P. Sisteme CAD/CAPP/CAM. Teorie și practică. Editura Tehnică, București, 2004.
- [41] Jinescu, V. Proprietăți fizice și termodinamice a materialelor plastice. Editura Tehnică, București, 1979.
- [42] Jinescu, V. Curgerea topiturilor polimerice în cavitatea formei de injecție. Materiale Plastice, Nr. 3, 1999.
- [43] Jung, P. Patzschke, H. Spritzgiessen von Thermoplasten. Kennlinienfelder und ihre Nutzung. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1988.
- [44] Keating, M. How to Assure Quality in Plastics. Hanser Publishers, Munich, Vienna. New York, 1995.
- [45] Kennedy, P. Spritzgiessprozesse simulieren. Kunststoffe, Nr.3, 2000.
- [46] Kennedy, P., YU, H. Plastic CAE Analsis of Solid Gometry, Moldflow International Ply Ltd. Antec 1994.
- [47] Keuerleber, R., Klein, H., Wimmer, H. Temperatur verhalten verstärkter Hochleistungs Kunststoffe, Nr.12, 1989.
- [48] Halasz, L. Szabályozás, vezérlés folyamatirányítás a muanyagfeldolgozásban. Muszaki Konyvkiado, Budapest, 1983.
- [49] Heitel, K., Fischer, G, Schnelle. Produktentwicklung. Rapid Prototyping und Rapid Tooling - Nutzung bestehender Techniken. Kunststoffe, Nr. 11, 2000.
- [50] Langecker, G.R. Prozess führung beim Spirtzggiessen. Kunststoffe, Nr.7, 1992.
- [51] Horun, S., Sebe, O. Degradarea și stabilizarea polimerilor. Editura Tehnică. București, 1983.
- [52] Losch, K. Thinwall molding: demanding bul rewaeding. Modern Plastics International, Octomber, 1997.
- [53] Malloy, A. R. Plastic Part Design for Injection Molding. Hanser Publischers. Munich, Vienna, New York, 1994.
- [54] Manea, Gh. Prelucrarea prin injecție a materialelor plastice. Editura

- Tehnică. București, 1986.
- [55] Mapleston, D. CAE Products are Better, But Suppliers are Becoming Fever. Modern Plastics International. October, 1998.
- [56] Mengges, G., Wubken. Warmwhaushalt, Temperaturverteilung und thermische Auslegung von Spritzgiesswerkzeugen. Olasterarbeiter, 1974, No.1 und 3.
- [57] Mengges, G., Mohren, P. How to Make Injection Moulds. Second Edition, Hanser Publishers. / Munich, Vienna, New York, Barcelona, 1993.
- [58] Michaeli, W., Zachert, J. Fehleranalyse beim Spritzgiessen. Kunststoffe, Nr. 2, 1998.
- [59] Mihăilă, I. Tehnologia Materialelor. Editura Imprimeriei de Vest Oradea 1995.
- [60] Mihăilă, I., **Mihăilă, Șt.** Tehnologii mecanice. Curs ISBN. Editura Universității din Oradea, 2004.
- [61] **Mihăilă, Șt.** Aspecte privind creșterea productivității la fabricarea produselor din materiale termoplastice. Analele Universității din Oradea, 2000. pag.117-120.
- [62] **Mihăilă, Șt.**, Buidoș, T. Aspects regarding the usage of graphite electrode at the processing of moulds for injecting thermoplastic mass. Sesiunea Internațională de Revista de Tehnologii Neconvenționale, nr 2/2001. Editura Augusta Timișoara 2001, pag.60-63.
- [63] **Mihăilă, Șt.** Studiu privind fabricarea rapidă a modelelor și matrițelor de injectat mase termoplastice prin metoda sinterizării selective cu laser. Simpozion Științific Internațional, Universitatea RAPET Petroșani, 2001, pag.253-256.
- [64] **Mihăilă, Șt.**, Mihăilă, I. Studiu privind realizarea cuiburilor pentru matrițe de injectat mase termoplastice prin galvanoplastie. Analele Universității. Oradea, 2001, pag 141-144.
- [65] **Mihăilă, Șt.** Fabricarea matrițelor de injectat materiale termoplastice. Referat Nr.2. I.P.Timișoara, 2001.
- [66] **Mihăilă, Șt.** Studiu privind simularea procesului de injectare in 3D cu

- ajutorul calculatorului. Annal Congress of the American Romanian Academy of Arts and Sciences (ARA) May 29-June, 2002. Oradea, pag 747-750.
- [67] **Mihăilă, Șt.**, Buidoș, T., Groza, M.D. Using graphite and paletting systems to the processing injecting moulds. International Symposium "Mechatronica 2002" at the Slovak University of Technology in Bratislava, June, 2002. pag.159-162.
- [68] **Mihăilă, Șt.**, Buidos, T. „Studies regarding the injecting mould processing by electrical erosion“.International Conference Bratislava, July, 2002, Slovak Republic, pag. 138-141;
- [69] **Mihăilă, Șt.**, Pantiș, M., Chira, D. Metodă tehnologică privind creșterea productivității in cazul fabricării produselor din materiale termoplastice. Conferința Internaționala TMCR. Chișinău, mai 2003. Vol I. pag. 477-450.
- [70] **Mihăilă, Șt.**, Ilie, S., Buidoș, T., Pașc, I. Obținerea preformelor din material plastic utilizând programe de simulare în 3D. Conferința Internațională TMCR. Chișinău, mai 2003. Vol I. pag. 473-476.
- [71] **Mihăilă, Șt.** Experimental study regarding the simulation process of filling in a mould of injected plastic. International Conference "Research and development in mechanical industry" RaDMI 2003. 19 - 23. September 2003, Herceg Novi, Serbia and Montenegro. pag. 238-241.
- [72] **Mihăilă Șt.**, Mihăilă, I. Contribuții privind optimizarea sistemelor de temperare la matrițele de injectat materiale termoplaste de uz general, cu precizie mare de prelucrare. 11 Noiembrie, 2003. Contract de cercetare. Beneficiar S.C. PLASTOR S.A. Oradea.
- [73] **Mihăilă, Șt.** Determination of cooling time in the mould at the processing by injection of thermoplastic materials. International Conference TOOLS 2004.,22-23 April, Bratislava, pag.76-81.
- [74] **Mihăilă, Șt.** Probleme specifice injectării materialelor termoplaste. Referat nr. 3. Universitatea Politehnică Timișoara 2003.

- [75] **Mihăilă, Șt.**, Chira, D., Pașc, I., Fazecaș, M. Studiu privind temperarea matrițelor de injectat materiale termoplastice. Sesiunea de comunicării științifice. Universitatea din Oradea, 2004. pag.131-136.
- [76] **Mihăilă, Șt.**, Nanu, A., Ilie, S., Mihăilă, M. Aspecte privind determinarea timpului de răcire la prelucrarea materialelor termoplastice prin injectare. Sesiunea de comunicării științifice. Universitatea din Oradea, 2004. pag.137-144.
- [77] **Mihăilă Șt.**, Mihăilă, I. Cercetări experimentale privind cauzele care duc la deformarea produselor injectate din materiale termoplastice de largă consumație. Contract de cercetare. Decembrie, 2004. Beneficiar S.C. PLASTOR S.A. Oradea.
- [78] Mihăilă, I., Mihăilă, M., **Mihăilă, Șt.** Tehnologia construcțiilor de mașini. Curs ISBN. Editura Universității din Oradea, 2005.
- [79] Mitelea, I. Știința materialelor în construcția de mașini. Ed. Sudură Timișoara, 1999.
- [80] Mourgue, R. Injection.Les Moules.- Techmque de l'Ingenieur.1995.
- [81] Murr, O s.a. Series Production-Quickly,in Kunststoffe Plast Europe-Nr. 11/2001.
- [82] Muccio, Edward. Plastics Processing Technology, ASM Internațional, 1994.
- [83] Nanu, A. Tehnologia materialelor .Editura Tehnică, București 1983.
- [84] Nichici, A. Prelucrarea datelor experimentale - Curs și aplicații, Editura Facla Timișoara, 1983.
- [85] Oancea, E.O. „Oteluri si tratamente termice recomandate la construcția matrițelor pentru prelucrarea materialelor plastice. Materiale plastice, Nr. 5 1971;
- [86] Obagiu, G. Sisteme și tehnologii pentru prelucrări prin eroziune electrică. Universitatea Transilvania . Brașov 2000.
- [87] Oprea, V., Bulacovschi, V., Constantinescu, Al. Polimeri. Structură și proprietăți. Editura Tehnică, București 1986.
- [88] Prada A., **Mihăilă Șt.**, Manufacturing moulds for plastic injection by direct

- Ilie E. selective laser sintering. Conferința Internațională de Inginerie Integrată C21 2002, Timișoara 2002, pag 187-192.
- [89] Pascal, S. Regleu injection, Centre deformation de la plasturgie Lyon, 1999.
- [90] Rees, Herbert. Mold engineering Hanser Publishers, 1995.
- [91] Reynolds, W.C. Thermodynamics - Mc. Grow Book. New York, 1968.
- [92] Roy, U., ș a., Simultaneous Enginerring, Methodologies and Applications Gordon & Breach, Amsterdam, 1999.
- [93] Rowland, J.C.Kazmer, D. An On-Line Quality Monitoring System for Thermoplastic Injection Molding, Moldflow International Pty. Ltd., ANTEC, 1996.
- [94] Soenen, R., Olling, G. I. Advanced CAD/ CAM Systems, State of the Art and Future Trends in Feature Technology. Chapman & Hall, London . Glasgow, New York, Tokyo, 1995.
- [95] Rusu, M., Rusu, L. D. Tehnologii de prelucrare a polimerilor. Editura Dosoitei, Iași. 1995. Vol1.
- [96] Somerville ,I. Software Engineering. University Lancaster. 1995.
- [97] Schonewald, H., Spalt, H. CAE in Mould Design. Simulation of the filling process of injection moulds. Kunststoffe, Europe, Nr.11, 1990.
- [98] Syan,C.S., Menon, U. Concurrent Engineering Concepts, Implementation and Practice. London, New York, Tokyo, 1994.
- [99] Șerban ,A.V Materiale metalice și tehnologii. Editura Politehnică. Timișoara, 2002.
- [100] Șereș, I. Injectarea materialelor termoplastice. Editura Imprimeriei de Vest, Oradea 1996.
- [101] Șereș, I. Matrițe de injectat. Editura Imprimeriei de Vest, Oradea 1999.
- [102] Sereș, I. Materiale termoplastice pentru injectare, tehnologie încercări. Editura Imprimeriei de Vest, Oradea 2002.
- [103] Seyfarth ,P. Plaste Kautschuk, nr.1,1969.
- [104] Șomaghi, V. - Procese de transfer de căldură, Ploiești, 1998.
- [105] Ștefănescu, D., Transferul de căldură în tehnică, vol. 1, conducție,

- Marinescu, M.,
Danescu, A. convecție, radiație, schimb global. Editura Tehnică,
București, 1982.
- [106] Ștefănescu, D.,
Marinescu, M.,s.a. Termotehnică, Ed. Didactică și Pedagogică, București,
1983.
- [107] Tiuca, T., Precup, T.,
Antal, T, Dezvoltarea aplicațiilor cu AutoCAD si AutoLISP.
Editura promedia, Plus Computers, Cluj-Napoca, 1995.
- [108] Trotignon, J.F.,
Piperaud, M., Verdu, J. Precis des Matieres plastiques. Structures - Proprietes -
Mise en reuvre et Normalisation AFNOR-NATHAN 5
editionjanvie, 1991
- [109] Tudose, Z.R. Procese și utilaje în industria de prelucrare a compușilor
macromoleculari, Ed. Tehnică București, 1976.
- [110] Tudose, I.,
Constantinescu, D. ș.a. Rezistența materialelor. Aplicații. Editura Tehnică,
București, 1990.
- [111] Thomas, B.G., șa. Heat flow model of the continuous slab casting mold,
interface and she all.
- [112] Udrescu, L. Transfer termic și mecanic la aliajele metalice, Editura
Politehnică, Timișoara, 1999.
- [113] Udrescu, L. Tratamente Termice Volumice. Editura Politehnică.
Timișoara, 2000.
- [114] Vasiliu, O., s.a. Polimeri Structura si proprietăți Vol I. Editura Tehnică
București, 1986.
- [115] Vlase, A. Tehnologia construcțiilor de mașini. Editura Tehnică,
București, 1996.
- [116] Williams, A. Applying effective heating to the mold. Broșura firmei
Acrolab, 1990.
- [117] Wilmsen, M., Diener,
W., Fullbild, C. Fullbild-Analyse fur Grosswerkzeug. Kunststoffe, Nr.
11, 1996.
- [118] Vivcent, G. Les matieres termoplastiques et exemples d'aplications
industrielles aplication PDVF, SOUNDER, 1992 nr.2
pg24-26.
- [119] Wubk, G. Thermisches verhalten undthermische Auslegung von
Spritzgiesswerkzeugen. Technich-wissenschaftlicher
Bericht, IKV-Achen, 1976.

- [120] Wolf, H., J PC-Programme für die Fullsimulation beim Spritzgiessen. Kunststoffe, Nr.4, 1994.
- [121] Zemanski, M.W. Basic Engineering Thermodynamics - Mc. Grow Hill Book, Co New York 1985.
- [122] Wortberg, I. .Qualitätssicherung beim Spritzgiessen von Thermoplasten. Kunststoffe, Nr.2, 1989.
- [123] Zollne, O. Sage Schneider, U. Shrinkage and Deformation of Glass Fibre Reinforced Thermoplastics may be Calculated. Kunststoffe Plast Europe, August, 1994.
- [124] *** DME 200. Normă de tipizare, 1998.
- [125] *** Engineering Plastics, ASM International, 1988.
- [126] *** Moldflow 2.0, Documentația tehnică, 1995.
- [127] *** Materiale plastice – 4 Terminologie și metode de analiză și încercări, Institutul Român de Standardizare, 1998.
- [128] *** “PLASTPRACTICE”- Temperature Control by Means of Fluid Media.
- [129] *** Rassegna delle principali famiglie di materie plastiche. Edizione CESAP rev. O del 27 Settembre, 2000.
- [130] *** Fullanalyse ohne Netzgenerierung. Kunststoffe, Nr. 9, 1997.
- [131] *** Inedit:Les regles de construction d' un module. Plastiques Modernes et Elastomeres, april, 1979.
- [132] *** Stampi, Stampi e design, nr. 23, Milano, Ottobre, 2003.
- [133] *** Strak- Normalien für Spritzgiessen–und Druckgiess-Werkzeuge, 1998.
- [134] *** ProEngineer 18.0, documentație tehnică, 1998.
- [135] *** Quicktools digital moulds 4 plastics 4,
<http://www.Quicktools4P.com>
- [136] *** <http://www.plasticsnews.net>
- [137] *** <http://www.kunststoffweb.de>


7. ANEXE

Anexa 7.1. Caracteristicile materialului termoplastic analizat

STAMYLAN P83 MF10

Properties	Units SI	Test methods	83MF 10
Polymer properties			
Melt flow index :		ISO 1133	
at 230°C and 2,16 kg	dg/min		1.8
at 230°C and 5 kg	dg/min		6.5
Mechanical properties			
Izod impact strength ⁵ :		ISO 180	
notched, at +23°C	kJ/m ²		>60
notched, at 0°C	kJ/m ²		17
notched, at -20°C	kJ/m ²		7.0
notched, at -40°C	kJ/m ²		4.0
Charpy impact strength ⁶ :		ISO 179	
notched, at +23°C	kJ/m ²		30
notched, at 0°C	kJ/m ²		12
notched, at -20°C	kJ/m ²		7.0
notched, at -40°C	kJ/m ²		4.0
Tensile test ⁰ :		ISO R527	
tensile stress at yield	N/mm ²		28
tensile strength at break	N/mm ²		40
elongation at break	%		600
Flexural modulus ¹¹	N/mm ²	ASTM D790	1200
Hardness Shore D ⁹		ISO 868	66
Vicat softening temperature:			
at 10 N	°C	ISO 306/A	147
at 50 N	°C	ISO 306/B	68
Heat distortion temperature:			
at 0.45 Mpa	°C	[ISO 75/B	85
at 1.80 Mpa	°C	ISO 75/A	50

Anexa 7.2. Fișă de reglaj pentru piesă

FISA DE REGLAJ MASINI DE INJECTAT						
Familia: RT		DENUMIRE REPER: Capac cutie de sigurante		MĂRIMEA: 209x105x2.5		
Nr. de cuiburi: 1		Ref. matrita: 12345 Tipul matritei: ORIZONTALA		Greutate matrita: 600 KG		
DATE DE IDENTIFICARE						
Denumire material: PP-STAMYLAN 83MF10		Denumire colorant: -		Nume reglor: -		
Ref. material: -		Ref colorant: -		Data reglaj: -		
Cod material: J/51		% colorant: -		Denumire mașina: -		
Cod măcinătura: -				Nr. Mașina: Mas.22		
% măcinătura: -				Diametru melc: fi 60		
TEMPERATURI						
TEMPERATURI PE CILINDRU						
buse	zona 5	zona 4	zona 3	zona 2	zona 1	ponton
205	222	221	219	210	200	
regl.	200	220	220	220	210	200
Temperatura topiturii			220 °C			
TEMPERATURI PE MATRIȚA						
Parte fixa:			40 °C			
Parte mobila:			40 °C			
Miezuri:			-			
Semmelle:			-			
Bacuri:			40 °C			
FAZA DE INJECTARE						
Pression autorisee:			120 bar			
Vitesse injection:			30 mm/sec 1 viteza			
Pct. De commutation:			10 mm			
Profil injection:						
		5	4	3	2	1
Vitesses	%					
Position	mm					
FAZA DE MENȚINERE						
Pression de maintien:		15 bar				
Temps de maintien:		8 sec				
Vitesse maintien:		-				
RĂCIRE						
Refroidissement:		13 sec				
FAZA DE DOZARE						
Course dosage:		34 mm				
Vitesse dosage:		9 m/min rot/min				
Contre-pression:		3 bar				
DECOMPRIMARE						
Course succion:		2 mm				
Vitesse succion:		-				
VALORI REALE						
Temps cycle:		28 sec				
Temps injection:		0.91 sec				
Temps dosage:		7.85 sec				
Matelas:		3.8 mm				
Pres. Commutation:		29.1 bar = PICCO				
GREUTATE						
Greutate injectare:		grame				
Greutate rețea:		GAUCHE: grame				
Greutate repera:		DROIT: grame				
USCARE MATERIALE						
Temperatura uscare material:		°C				
Temperatura uscare colorant:		°C				
REGLAJ MATRIȚA						
FAZA DE ÎNCHIDERE						
Presiune de închidere:			40			
Viteze de închidere			Vit	mm		
1	10	250				
2	65	200				
3	5	0				
4						
5		oooo				
SECURITATE			Cursa:	50 mm		
			Presiune:	10 bar		
			Temp:	8 sec		
Pct. De contact:			0 mm			
FAZA DE DESCHIDERE						
Presiune de deschidere:			40			
Cursa de deschidere:			250 mm			
Viteze de deschidere			Vit	mm		
1	5	oooo				
2	65	50				
3	25	200				
4		250				
5						
Ejection hidr. Depart:			mm			
FORȚA DE ZĂVORIRE		Reglata:	200	TF		
		Afișata:	195	TF		
		Presiune:	100	bar		
REGLAJ OIMA						
EJECTION						
cycle:			forme			
Vitesse tourneforme:			vit			
Ralent tourneforme:			vit			
EJECTION SPECIAUX						
Semelle dans moule			Contr. mm			
Semelle dehors moule			mm			
Start robot:			forme			
EJECTION CENTRALE						
			Avansare		Retragere	
Cursa:	80	mm	0	mm		
Presiune:	30	bar	30	bar		
Viteze:	25	%	50	%		
COMANDA MIEZURI=COMMANDE NOYAU						
1 cu miezuri hidr						NU
2 cu un miez hidr						NU
3 cu doua miezuri hidr						NU
4 cu un miez pneum						NU
5 cu doua miez pneum						NU
						DA NU

Anexa 7.3. Program Matlab

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t5_55 = [5.8 3.1 1.4 0.8 0.5
         7.1 3.3 1.5 0.8 0.6
         7.4 3.4 1.6 0.9 0.6
         7.8 3.6 1.7 1.0 0.7
         8.2 4.1 1.9 1.1 0.75];

t5_55 = fliplr(t5_55);
[X,Y] = meshgrid(1:1:5);
X = (1:5);
Y = (1:5);
Z = t5_55;
[XI,YI] = meshgrid(1:.1:5);
ZI = interp2(X,Y,Z,XI,YI,'spline');
figure; mesh(ZI);
set(gca, 'YTickLabel', [1 2 3 4 5], 'YLim' , [0 40] ,...
      'XTickLabel', [40 30 20 10 5], 'XLim', [0 40]);
ylabel('Material'); xlabel('Timp de racire [sec]'); zlabel('Deformatii
[mm]');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t5_56 = [6.6 3.7 1.6 0.90 0.60
         7.6 3.8 1.7 0.95 0.70
         7.8 3.9 1.9 1.15 0.85
         8.2 4.2 1.9 1.25 0.95
         8.7 4.4 2.2 1.30 1.20];

t5_56 = fliplr(t5_56);
[X,Y] = meshgrid(1:1:5);
X = (1:5);
Y = (1:5);
Z = t5_56;
[XI,YI] = meshgrid(1:.1:5);
ZI = interp2(X,Y,Z,XI,YI,'spline');
figure; mesh(ZI);
set(gca, 'YTickLabel', [1 2 3 4 5], 'YLim' , [0 40] ,...
      'XTickLabel', [40 30 20 10 5], 'XLim', [0 40]);
ylabel('Material'); xlabel('Timp de racire [sec]'); zlabel('Deformatii
[mm]');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t5_57 = [6.1 3.4 1.60 0.80 0.40
         7.3 3.5 1.55 0.85 0.50

```



```

        7.6 3.6 1.65 0.90 0.55
        8.0 3.7 1.75 1.10 0.60
        8.3 4.3 1.90 1.20 0.70];
t5_57 = fliplr(t5_57);
[X,Y] = meshgrid(1:1:5);
X = (1:5);
Y = (1:5);
Z = t5_57;
[XI,YI] = meshgrid(1:.1:5);
ZI = interp2(X,Y,Z,XI,YI,'spline');
figure; mesh(ZI);
set(gca, 'YTickLabel', [1 2 3 4 5], 'YLim' , [0 40] ,...
        'XTickLabel', [60 50 40 30 20], 'XLim', [0 40]);
ylabel('Material'); xlabel('Timp de ciclu [sec]'); zlabel('Deformatii
[mm]');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
t5_58 = [7.2 3.9 2.6 1.7 1.1
        7.8 4.3 2.9 1.8 1.3
        8.4 4.6 3.1 1.9 1.4
        8.6 5.1 3.4 2.2 1.6
        8.9 5.4 3.7 2.8 1.8];
t5_58 = fliplr(t5_58);
[X,Y] = meshgrid(1:1:5);
X = (1:5);
Y = (1:5);
Z = t5_58;
[XI,YI] = meshgrid(1:.1:5);
ZI = interp2(X,Y,Z,XI,YI,'spline');
figure; mesh(ZI);
set(gca, 'YTickLabel', [1 2 3 4 5], 'YLim' , [0 40] ,...
        'XTickLabel', [60 50 40 30 20], 'XLim', [0 40]);
ylabel('Material'); xlabel('Timp de ciclu [sec]'); zlabel('Deformatii
[mm]');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```


3,5	54	55,9	41,4	26,89	8,47	0,92	199	0,1
3,5	55	56,5	41,9	26,89	8,46	0,92	199	0,1
3,5	56	56,3	41,5	26,89	8,47	0,92	199	0,1
3,5	57	56,8	41,5	26,90	8,46	0,92	199	0,1
3,5	58	55,7	41,6	26,89	8,46	0,92	199	0,1
3,5	59	55,1	41,5	26,90	8,47	0,92	199	0,1
Val min		52,6	40,9	26,42	8,36	0,92	199	0,1
Val max		61,7	41,9	26,96	8,50	0,93	199	0,1
Medie		57,5	41,4	26,90	8,43	0,92	199	0,1
Ab.std.		2,0	0,2	0,06	0,03	0,00	0	0,0

3/ 5 Selectare Parametri Protocol

f1451= p4055 pres.inj.max.
 f1452= p4072 pres. comutare
 f1453= t4012 timp ciclu
 f1454= t4015 timp dozare
 f1455= t4018 timp injectie
 f1456= T831 matr-zona Śnc. 1
 f1457= s4062 pernamaterial
 f1458= s4065 punct comutare

1/ 2 Inchidere matrita

t101 = 0,00 s Intarziere	
f101 = 4 numar treapta	
Treapta 1:	Pas 4 protectie panas105:
v101 = 500 mm/s viteza	v104 = 125 mm/s viteza
F101 = 90,0 kN forta	F104 = 25,0 kN forta
s101 = 165,0 mm sfrr-it treapta	s104 = 0,7 mm Final 104
Treapta 2:	Pornire presiune inalta:
v102 = 100 mm/s viteza	v105 = 10 mm/s viteza
F102 = 25,0 kN forta	s105 = 0,7 mm forta inchidere
s102 = 135,0 mm sfar-it treapta	

act.

Treapta 3: Valori reale
 v103 = 400 mm/s viteza

Anexa 7.5. Parametrii tehnologici ai mașinii de injectat

Atenție 1230 Selecție invalidă f1456.pt.că T832 nu poate funcț. protocol

ARBURG

t9021 = 27,70 s s3011 = 34,5 mm s4062 = 0,0 mm p4055 = 0,0 bar

1/2 **Temperaturi 1 Cilindru**

T890 = 170 grad C zonă alin. stațion. T8002 = 170 grad C valid. tol. joasă
T891 = 170 grad C staționare cilindru T8003 = 170 grad C valid. tol. ridicată

Condiție operare cilindru:

[valoare nominal] []

Val. nominal: Val. reală: HD: toleranță: zonă:

REGLARE MANUALĂ Răcire Alin. Cil

SR821 = 100 factor scala	T801 = 210 grad C 18 %	T801T = 210 grad C 1 zona alinentare
T802 = 219 grad C 0 %	T802 = 219 grad C 0 %	T802T = 219 grad C 2
T803 = 224 grad C 6 %	T803 = 224 grad C 6 %	T803T = 224 grad C 3
T804 = 225 grad C 0 %	T804 = 225 grad C 0 %	T804T = 225 grad C 4
T805 = 229 grad C 7 %	T805 = 229 grad C 7 %	T805T = 229 grad C 5
T806 = 229 grad C 11 %	T806 = 229 grad C 11 %	T806T = 229 grad C 6
T807 = 230 grad C 20 %	T807 = 230 grad C 20 %	T807T = 230 grad C 7
T808 = 225 grad C 24 %	T808 = 225 grad C 24 %	T808T = 225 grad C 8

f8000 = Cilinder heating zones tested

Permis: [120 - 350]

Introduceți T808 - Un singur panou arhivă activ

Selectare cilindru Val. non. reglare Cilindru 1 Temp.

Atenție 1230 Selecție invalidă f1456.pt.că T832 nu poate funcț. protocol

ARBURG

t4021 = 0,26 s s3011 = 33,9 mm s4062 = 1,0 mm p4055 = 56,8 bar

1/5 **Selectare Arhivă**

Modificare alerne și nod operare:

f1422 = nu există arhivă

Setare protocol:

f1426 = nu există arhivă

Protocol Producție:

f1418 = nu există arhivă

Panou și secvențe:

f1417 = nu există arhivă

D1417 = nume fișier

Protocol Producție:

f1401 = valoare reală

f1402 = valoare reală și nominală

f1409 = antet cu date comandă

f1410 = stop mașină, dacă ieșirea de dispozitiv nu e pregătită

Formați fișier panouci:

f1407 = nu există arhivă

Permis: [6 ASCII]

Introduceți D1417 - Un singur panou arhivă activ

Secvență arhivă Întrerupere

Atenție 1230 Selecție invalidă f1456.pt.că T832 nu poate funcț. protocol

ARBURG

t3091 = 0,97 s s3011 = 29,1 mm s4062 = 0,9 mm p4055 = 54,5 bar

3/ 5 **Protocol Producție**

Desemn.	f1403	p4055	p4072	t4012	t4015	t4018	T832	s4062	s4065
Unitate		bar	bar	s	s	s	grad C	mm	mm
Val. nom		54,5	48,1	27,73	8,35	0,97	210	1,0	3,5
Toler.		±0,2	±0,2	±0,05	±0,05	±0,05	±5	±0,5	±0,2
	17	54,7	48,1	27,73	8,35	0,97	210	1,0	3,5
	18	53,1	48,7	27,71	8,14	0,97	207	1,0	3,5
	19	55,2	49,5	27,70	8,11	0,97	208	1,0	3,5
	20	61,1	49,1	27,73	8,17	0,97	208	0,9	3,5
	21	59,7	48,7	27,74	8,17	0,97	207	0,9	3,5
	22	60,2	48,7	27,74	8,12	0,97	207	1,0	3,5
	23	56,4	49,2	27,73	8,12	0,97	208	1,0	3,5
Val. min		53,1	48,7	27,71	8,11	0,97	207	0,9	3,5
Val. max		61,1	49,5	27,73	8,17	0,97	208	1,0	3,5
Medie		55,2	49,5	27,70	8,11	0,97	208	0,9	3,5
Ab. std.		3,5	0,4	0,02	0,03	0,03	5	0,1	0,0

Un singur panou arhivă activ

Parametri protocol Val. reală producție Funcții protocol Protocol producție

Atenție 1230 Selecție invalidă f1456.pt.că T832 nu poate funcț. protocol

ARBURG

t3091 = 0,97 s s3011 = 12,9 mm s4062 = 1,0 mm p4055 = 56,1 bar

3/ 5 **Protocol Producție**

Desemn.	f1403	p4055	p4072	t4012	t4015	t4018	T832	s4062	s4065
Unitate		bar	bar	s	s	s	grad C	mm	mm
Val. nom		56,1	48,7	27,74	8,17	0,97	207	1,0	3,5
Toler.		±0,2	±0,2	±0,05	±0,05	±0,05	±5	±0,5	±0,2
	21	59,7	48,7	27,74	8,17	0,97	207	0,9	3,5
	22	60,2	48,7	27,74	8,12	0,97	207	1,0	3,5
	23	56,4	49,2	27,73	8,12	0,97	208	1,0	3,5
	24	56,7	50,4	27,73	8,27	0,97	208	0,9	3,5
	25	55,7	50,1	27,73	8,27	0,97	208	0,9	3,5
	26	55,8	50,7	27,71	8,26	0,97	207	1,0	3,5
	27	56,8	50,4	27,70	8,26	0,97	208	1,0	3,5
Val. min		55,7	48,7	27,71	8,12	0,97	207	0,9	3,5
Val. max		60,2	50,4	27,74	8,27	0,97	208	1,0	3,5
Medie		56,1	49,2	27,73	8,17	0,97	207	0,9	3,5
Ab. std.		3,5	0,4	0,02	0,03	0,03	5	0,1	0,0

Un singur panou arhivă activ

Parametri protocol Val. reală producție Funcții protocol Protocol producție

