

# **TEHNICI AVANSATE DE REALIZARE A UNOR IMBINARI SUDATE DIN MATERIALE POLIMERICE DISIMILARE**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea "Politehnica" din Timișoara  
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ  
de către

**Ing. Eduard Arthur Berger**

Conducător științific:  
Referenți științifici:

prof.univ.dr.ing Livius MILOȘ  
prof.univ.dr. Gheorghe SOLOMON  
prof.univ.dr.ing. Radu IOVĂNAȘ  
conf.univ.dr.ing. Ion MITELEA

Ziua susținerii tezei: 10.01.2013

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Ingineria Chimică                        | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    |  |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2013

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Ingineria Materialelor și Fabricației al Universității „Politehnica” din Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof.dr.ing. Livius MILOȘ

Timișoara, ianuarie 2013

Eduard Arthur BERGER

*Pentru Iarina și Antonia*

Berger, Eduard Arthur

***Tehnici avansate de realizare a unor îmbinări sudate din materiale polimerice disimilare***

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 50, Editura Politehnica, 2013, 164 pagini, 140 figuri, 11 tabele.

ISSN:1842-8967

ISBN:978-606-554-600-4

Cuvinte cheie: sudare, LASER, ultrasunete, Minitab,

Rezumat, Teza de față își propune să răspundă tendințelor din domeniul asamblării și implementării de materiale speciale și tehnologii, prin dezvoltarea de noi oportunități pentru materiale și procese din industria automotive.

În capitolul 1, se face o prezentare detaliată a principalelor grupe de materiale avansate: materiale polimerice, materiale ceramice, aliaje cu memoria formei, materiale compozite utilizate în industrii de vârf. Procedeele de sudare moderne pentru îmbinarea materialelor compozite polimerice sunt tratate în capitolul 2. În capitolul 3, sunt prezentate două subansamble asupra cărora se vor canaliza cercetările. Capitolul 4, detaliază parametrii de proces și modul de îmbinare a subansamblelor. Calitatea îmbinărilor sudate în cadrul programului experimental face obiectul capitolului 5. În capitolul 6 este prezentată o analiză cu element finit de modelare termodinamică la sudarea LASER a materialelor termoplastice din poliamidă. Lucrarea se încheie cu capitolul 7, unde cercetările efectuate în cadrul tezei au vizat selectarea procedeelor și regimurilor optime de sudare a unor componente din materiale compozite polimerice utilizate la fabricarea unor subansamble din industria automobilelor

## CUPRINS

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCERE.....  | 7  |
| 1. MATERIALE AVANSATE UTILIZATE ÎN TEHNOLOGII DE VÂRF .....                               | 10 |
| 1.1. ASPECTE GENERALE.....  | 10 |
| 1.1.1. Materiale polimerice.....  | 13 |
| 1.1.1.1. <i>Generalități</i> .....  | 13 |
| 1.1.1.2. <i>Tipuri de materiale polimerice</i> .....                                      | 13 |
| 1.1.1.3. <i>Tipuri de materiale plastice</i> .....  | 14 |
| 1.1.1.4. <i>Materiale plastice tip elastomeri</i> .....                                   | 14 |
| 1.1.1.5. <i>Materiale plastice tip termorezistente</i> .....                              | 14 |
| 1.1.1.6. <i>Materiale plastice tip termoplastice</i> .....                                | 15 |
| 1.1.1.7. <i>Avantajele utilizării materialelor plastice</i> .....                         | 20 |
| 1.1.1.8. <i>Recomandări la proiectarea și prelucrarea materialelor plastice</i> .....     | 21 |
| 1.1.1.9. <i>Defecte posibile</i> .....  | 22 |
| 1.1.1.10. <i>Domenii de utilizare a materialelor plastice</i> .....                       | 23 |
| 1.1.1.11. <i>Reciclarea materialelor plastice</i> .....                                   | 23 |
| 1.1.2. Materiale ceramice.....  | 23 |
| 1.1.2.1. <i>Generalități</i> .....  | 23 |
| 1.1.2.2. <i>Tipuri de materiale ceramice</i> .....  | 23 |
| 1.1.2.3. <i>Domenii de aplicare a materialelor ceramice</i> .....                         | 27 |
| 1.1.3. Aliaje cu memoria formei-AMF.....  | 34 |
| 1.1.3.1. <i>Generalități</i> .....  | 34 |
| 1.1.3.2. <i>Tipuri de aliaje cu memoria formei</i> .....                                  | 35 |
| 1.1.3.3. <i>Domenii de aplicare ale aliajelor cu memoria formei</i> .....                 | 36 |
| 1.1.4. Materialelor compozite .....   | 44 |
| 1.1.4.1. <i>Generalități</i> .....  | 44 |
| 1.1.4.2. <i>Tipuri de materiale compozite</i> .....                                       | 47 |
| 1.1.4.3. <i>Domenii de aplicare a materialelor compozite</i> .....                        | 49 |
| 2. PROCEDEE DE SUDARE MODERNE PENTRU ÎMBINAREA<br>MATERIALELOR COMPOZITE POLIMERICE ..... | 52 |
| 2.1. SUDAREA CU ULTRASUNETE .....   | 52 |
| 2.1.1. Principiul sudării cu ultrasunete .....  | 53 |
| 2.1.2. Echipamentul sudării cu ultrasunete.....   | 54 |
| 2.1.3. Parametrii procesului de sudare cu ultrasunete .....                               | 54 |
| 2.1.4. Particularități ale sudării materialelor polimerice cu ultrasunete .....           | 57 |
| 2.1.5. Performanțe ale sudării cu ultrasunete.....  | 59 |
| 2.2. SUDAREA LASER.....   | 59 |
| 2.2.1. Principiul sudării LASER .....   | 59 |
| 2.2.2. Echipamentul sudării LASER.....  | 60 |
| 2.2.2.1. <i>Tipuri de dispozitive LASER</i> .....   | 60 |
| 2.2.3. Parametrii procesului de sudare LASER.....   | 61 |
| 2.2.4. Particularități ale sudării LASER a materialelor polimerice.....                   | 64 |
| 2.2.5. Performanțe ale sudării LASER.....   | 66 |
| 3. REPERE SEMNIFICATIVE DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE.....                                     | 68 |
| 3.1. MODULUL DE CONTROL COMPUTERIZAT.....   | 68 |
| 3.1.1. Descrierea componentelor.....  | 68 |
| 3.1.2. Rol funcțional.....  | 70 |
| 3.1.3. Materiale utilizate .....  | 70 |
| 3.1.3.1. <i>PTFE – Politetrafluoretilena</i> .....  | 70 |

## 6 Cuprins

---

|  |     |
|--|-----|
| 3.1.3.2. PPE – Polifenilen eter.....   | 78  |
| 3.1.4. Condiții de exploatare.....   | 80  |
| 3.2. MODULUL DE DIAGNOZĂ ȘI LOGURI.....  | 80  |
| 3.2.1. Descrierea componentelor.....   | 80  |
| 3.2.2. Rol funcțional.....   | 80  |
| 3.2.3. Materiale utilizate .....   | 81  |
| 3.2.3.1. PA – Poliamida.....   | 81  |
| 3.2.4. Condiții de exploatare.....   | 82  |
| 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA UNOR<br>SUBANSAMBLE DIN COMPONENTA SISTEMULUI DE GESTIUNE<br>ȘI DIAGNOZĂ UTILIZATE ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE..... | 83  |
| 4.1. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA CU<br>ULTRASUNETE A MODULULUI DE CONTROL COMPUTERIZAT.....  | 83  |
| 4.1.1. Echipamentul specific utilizat.....   | 83  |
| 4.1.2. Regimuri de sudare utilizate.....   | 84  |
| 4.1.3. Controlul procesului la sudarea cu ultrasunete.....   | 99  |
| 4.1.4. Concluzii referitoare la sudarea cu ultrasunete a modului de<br>control computerizat.....   | 100 |
| 4.2. CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA CU LASER A MODULULUI<br>DE DIAGNOZĂ ȘI LOGURI.....  | 100 |
| 4.2.1. Echipamentul specific utilizat.....   | 100 |
| 4.2.2. Regimuri de sudare utilizate.....   | 102 |
| 4.2.3. Controlul procesului.....   | 104 |
| 4.2.4. Concluzii referitoare la sudarea cu LASER a modului de<br>diagnoză și control.....  | 105 |
| 5. CERCETĂRI PRIVIND CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE<br>REALIZATE ÎN CADRUL PROGRAMULUI EXPERIMENTAL.....   | 106 |
| 5.1. ASPECTE GENERALE.....   | 106 |
| 5.2. CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE CU ULTRASUNETE A<br>MODULULUI DE CONTROL COMPUTERIZAT.....   | 106 |
| 5.2.1. Verificarea etanșeității.....   | 106 |
| 5.2.2. Încercări materialografice.....   | 107 |
| 5.2.3. Concluzii referitoare la sudarea cu ultrasunete a modului<br>computerizat.....  | 119 |
| 5.3. CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE LASER A MODULULUI<br>DE DIAGNOZĂ ȘI LOGURI .....   | 119 |
| 5.3.1. Verificarea etanșeității.....   | 119 |
| 5.3.2. Încercări materialografice.....   | 120 |
| 5.3.3. Concluzii referitoare la sudarea LASER a modului de<br>diagnoză și loguri.....  | 121 |
| 6. MODELAREA TERMODINAMICA LA SUDAREA CU LASER.....  | 122 |
| 7. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....   | 127 |
| 7.1. Concluzii.....  | 127 |
| 7.2. Contribuții personale.....  | 128 |
| 7.3. Direcții viitoare de cercetare.....   | 129 |
| BIBLIOGRAFIE.....  | 130 |
| ANEXE.....   | 140 |

## INTRODUCERE

Teza de doctorat abordează un domeniu de cercetare de interes major, de mare interes în contextul actual, în care se pune un accent tot mai mare pe protecția mediului înconjurător, pe economia de resurse materiale și umane prin dezvoltarea și crearea unor noi tehnologii de fabricație și execuție, care să fie folosite în cadrul noilor modalități de asamblare din industria automotive.

Necesitatea elaborării unor materiale noi și a unor tehnologii neconvenționale a fost determinată nu numai de motive economice și sociale, dar și de faptul că în condițiile dezvoltării exponențiale a producției, a apărut o criză puternică de surse de materii prime și energetice, odată cu creșterea agresiunii oamenilor față de mediul înconjurător.

Având în vedere ca materialele devin tot mai sofisticate în compoziția lor chimică pentru a oferi o funcționare tot mai bună, o înțelegere mai completă și mai precisă a modului în care astfel de materiale pot fi îmbinate pentru o eficiență optimă și eficace, aceste materiale vor deveni esențiale. Astfel cererile pentru îmbunătățirea productivității, a eficienței, precum și a calității, reprezintă provocări pentru procesele de sudare din industria de orice fel. Opțiunile tradiționale pentru sudare vor evolua cu siguranță, uneori, pentru a oferi posibilități nebănuite. În plus, în totalitate noile metode de îmbinare vor apărea aproape sigur ca evoluție de proiectare și necesități de noi materiale pentru a răspunde noilor cerințe de producție. Aceasta teza de doctorat abordează procesul de sistematizare și avansurile corespunzătoare ale elementului constitutiv de tehnologii, pune în discuție rolul și direcția viitoare a tehnologiei de sudare, sudarea materialelor, productivitatea, eficiența, calitatea, educația și siguranța care au un impact asupra creșterii viitoare în domeniu. Analiza și nevoile esențiale ale industriei automotive au fost cercetate, fiind reliefate tendințele și indicațiile generale. Acesta oferă, de asemenea, o bază bună pentru cercetările viitoare și creează gradul de conștientizare a direcției de dezvoltare a proceselor de sudare și a materialelor folosite în această industrie. Factori cum ar fi mediul de utilizare, de proiectare și metoda de asamblare a componentei influențează o gamă largă de proprietăți din structura materialelor.

Prin urmare, performanța unei componente este deseori determinată de proprietățile îmbinărilor sudate, mai mult decât cele ale materialelor de bază. Există o mulțime de categorii diferite de procese de sudare a unor astfel de materiale. În cadrul cercetării au fost luate în considerare sudarea cu ultrasunete și LASER.

Costul multor materiale avansate este atât de mare, și proprietățile lor așa de specializate, că ele vor fi utilizate numai acolo unde acestea sunt esențiale. În consecință, produsele vor conține mai multe îmbinări.

Pentru fiecare material nou dezvoltat, procesul de îmbinare trebuie să fie restudiat sau dezvoltat pentru a utiliza materialul în mod eficient. Utilizarea de noi materiale va fi limitată de capacitatea de a exploata posibilitățile proceselor de sudare, nu de capacitatea de a proiecta sau produce astfel de materiale. Direcția actuală pentru produsele sudate este preocuparea pentru scăderea de greutate și reducerea de energie consumată la fabricarea lor, de îmbunătățirea rezistenței mecanice și durabilitate.

Materialele compozite reprezintă un teritoriu fascinant, fiind primele materiale a căror dispunere structurală internă a putut fi controlată încă din faza de proiectare, atât prin conceperea modului de înlănțuire moleculară, cât și prin direcții preferențiale, conferindu-le în acest fel rezistențe favorabile, net superioare celor ale componentelor lor.

Necesitatea tehnologiilor de asamblare a materialelor polimerice similare și disimilare ia o amploare foarte mare odată cu trecerea anilor, mobilizând resurse umane și materiale comparabile cu cele folosite la investițiile noi. Aceste materiale pot păstra aceeași schemă structurală, înlocuind materialele plastice clasice și oferind un grad înalt de avantaje datorită proprietăților luate în considerare.

Datorită progresului realizat în ceea ce privește obținerea materialelor compozite, precum și prin constatarea multor dezavantaje pe care le prezintă soluțiile tradiționale de asamblare, în prezent utilizarea compozitelor cu matrice polimerică este tot mai des întâlnită în cadrul componentelor din industria automotive.

Prin definiție, conceptul de „compozit” este atribuit unui sistem complex, alcătuit din mai multe materiale de natură diferită. În această categorie intră o clasă foarte vastă de produși. Acest lucru este determinat de faptul că posibilitățile de modificare a constituenților de bază, a tehnicilor de „asamblare” și de fabricare, a nivelului de performanță și a costului sunt practic infinite.

O definiție de uz general ar fi că un material compozit este alcătuit din mai multe componente cu proprietăți fizice și chimice diferite, materialul astfel obținut având proprietăți superioare și îmbunătățite față de cele ale materialelor individuale din componența sa.

Selecția celui mai fezabil proces de sudare pentru o aplicație dată depinde de cerințele de exploatare ale produsului și de avantajele economice fără rabat de la calitate.

Atunci când se încearcă să se prognozeze tendințele viitoare în tehnologiile de sudare, este convenabil să se facă diferențierea între materiale tradiționale și materiale avansate. Proprietățile și funcțiile materialelor tradiționale sunt bine cunoscute; prin urmare, îmbunătățirea performanțelor poate fi cea mai bună realizare prin reducerea costurilor și creșterea calității procesului de sudare. Este frecvent crezut că acest lucru poate fi realizat prin automatizare și control de calitate prin îmbunătățirea procedurilor.

Sudarea cu ultrasunete o metoda deja foarte cunoscută pentru îmbinarea pieselor metalice și plastice clasice, atrage atenția în zilele noastre datorită pretării pentru îmbinări de materiale polimerice armate, similare și disimilare. De fapt, pentru producția de masă din industria automotive, sudarea cu ultrasunete este între primele metode de asamblare foarte promițătoare și ieftina metoda. Tehnica este în prezent în curs de dezvoltare pentru a îndeplini cerințele industriei auto pentru componentele cu grad mare de risc pentru protecția pasagerilor.

În ultimii zece ani, procesul de sudare cu LASER a cunoscut o enormă dezvoltare și a fost introdus în multe domenii de fabricație. Acest proces este foarte potrivit pentru celule de fabricație automate iar creșterea în utilizare va fi și mai mare în viitor. Posibilitatea de a distribui fasciculul permite executarea de multiple suduri pe una sau mai multe componente în același timp. Este de așteptat ca sudarea cu LASER va fi din ce în ce mai utilizată în fabricarea de automobile și subansamble pentru industria automotive. Va fi folosită de asemenea la asamblarea de materiale plastice datorită cerințelor cu privire la materialele care absorb radiația LASER pentru a fi îmbinate, metoda de îmbinare abordată în această lucrare.



Lucrarea de față încearcă să răspundă tendințelor din domeniul asamblării și implementării de materiale speciale și tehnologii în contextul competitivității, protecției mediului, resurselor umane și materiale, prin dezvoltarea de noi oportunități pentru materiale și procese din industria automotive.

Teza de doctorat „**Tehnici avansate de realizare a unor îmbinări sudate din materiale polimerice disimilare**”, este structurată în 7 capitole, care pe parcursul a 185 de pagini sintetizează studiile și cercetările referitoare la materialele compozite, și soluțiile de îmbinare a componentelor din compozite polimerice armate cu fibre.

În capitolul 1, se face o prezentare detaliată a principalelor grupe de materiale avansate: materiale polimerice, materiale ceramice, aliaje cu memoria formei, materiale compozite utilizate în industrii de vârf: aeronautica, automobile, electronica, telecomunicații, aparatura medicală, echipamente sportive, protecția mediului etc.

Procedeele de sudare moderne pentru îmbinarea materialelor compozite polimerice sunt tratate în capitolul 2. În urma unei analize tehnico-calitative vis-à-vis de principalele procedee de sudare recomandate la îmbinarea materialelor avansate, sunt analizate procesele sudării prin presiune cu unde ultrasonore și respectiv sudarea cu LASER, procedee considerate optime pentru sudarea materialelor compozite polimerice disimilare.

În capitolul 3, sunt prezentate două subansamble din sistemul de monitorizare și diagnoză a autovehiculelor cu rol de admisie a aerului și combustibilului, controlului tracțiunii, monitorizării schimbării treptelor de viteză; modulul de control computerizat și respectiv modulul de diagnoză și loguri; asupra cărora se vor canaliza cercetările.

Capitolul 4, detaliază parametrii de proces și modul de îmbinare a subansamblelor din componenta sistemului de gestiune și diagnoză utilizate în automotive și sintetizează cercetările experimentale realizate în această direcție.

Calitatea îmbinărilor sudate în cadrul programului experimental face obiectul capitolului 5. Rezultatele obținute sunt defalcate pentru cele două subansamble sudate prin procedee diferite și se evidențiază calitatea îmbinărilor sudate realizate la regimuri de sudare optime selectate la nivel macroscopic.

În capitolul 6 este prezentată o analiză cu element finit de modelare termodinamică la sudarea LASER a materialelor termoplastice din poliamidă.

Lucrarea se încheie cu capitolul 7, unde cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat au vizat în mod deosebit selectarea procedeelelor și regimurilor optime de sudare a unor componente din materiale compozite polimerice utilizate la fabricarea unor subansamble din industria automobilelor.

Autorul aduce mulțumiri cadrelor didactice de la Facultatea de Mecanică, din cadrul Departamentului Ingineria Materialelor și Fabricației, care l-au sprijinit în realizarea acestei teze de doctorat.

Cu această ocazie doresc să-mi exprim mulțumirile mele domnului profesor Liviu MILOȘ – conducătorul științific al tezei – pentru propunerile, sugestiile și observațiile făcute privind sistematizarea datelor, a informațiilor și rezultatelor în elaborarea tezei.

# 1. MATERIALE AVANSATE UTILIZATE ÎN TEHNOLOGII DE VÂRF

## 1.1. ASPECTE GENERALE

Aspectele care au dus la apariția și utilizarea materialelor avansate au ca punct de plecare faptul că, începând cu mijlocul anilor '50, proiectanții aveau nevoie de materiale cu greutate redusă și rigiditate / rezistență mare pentru structuri aero – spațiale, echipamente sportive, electronică ș.a. [22, 117, 129, 136, 142].

Caracterizarea principalelor clase de materiale disponibile permite înțelegerea apariției, utilizării și a comportării lor generale și a posibilităților oferite, precum și cunoașterea efectelor mediului și a condițiilor de lucru asupra performanțelor atinse. În funcție de structură și proprietăți se disting diferite clase de materiale – figura 1.1 [9, 23, 147, 158].

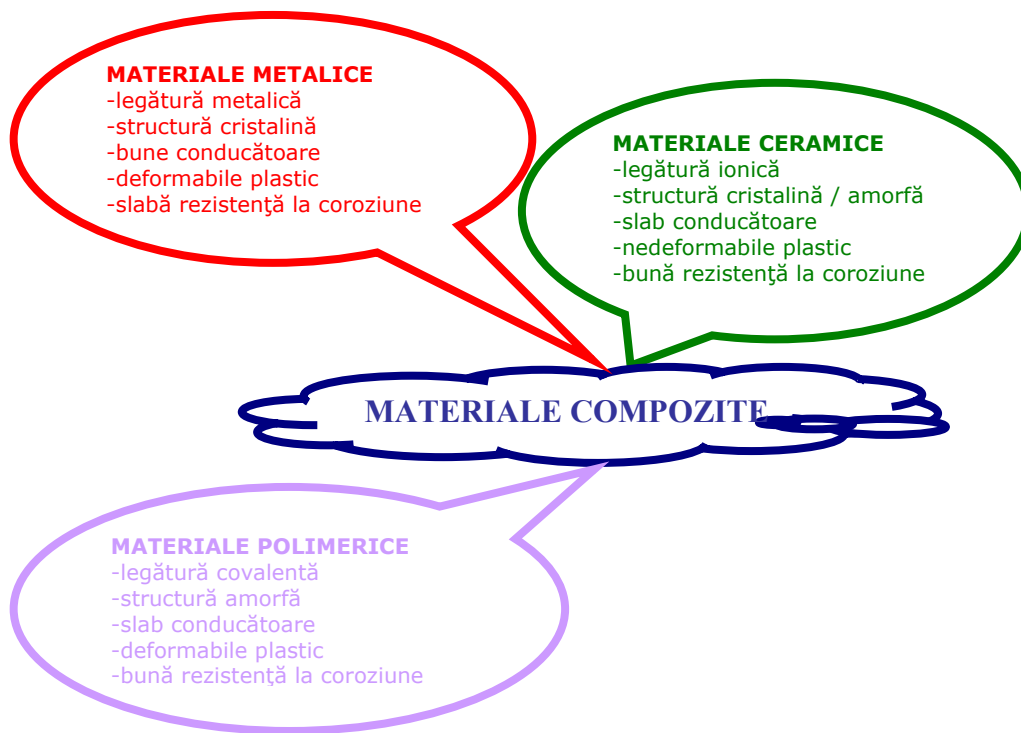


Figura 1.1 Descrierea unor clase de materiale compozite

Domeniul de cercetare a materialelor avansate se concentrează pe îmbunătățirea proprietăților prin introducerea de microstructuri noi. Proprietățile în cauză sunt: greutate, rezistență la tracțiune, rezistență la fluaj, tenacitate.

Figurile 1.2 și 1.3 prezintă o comparație între rezistența la tracțiune și densitatea unor materiale clasice și avansate [160, 165, 167].

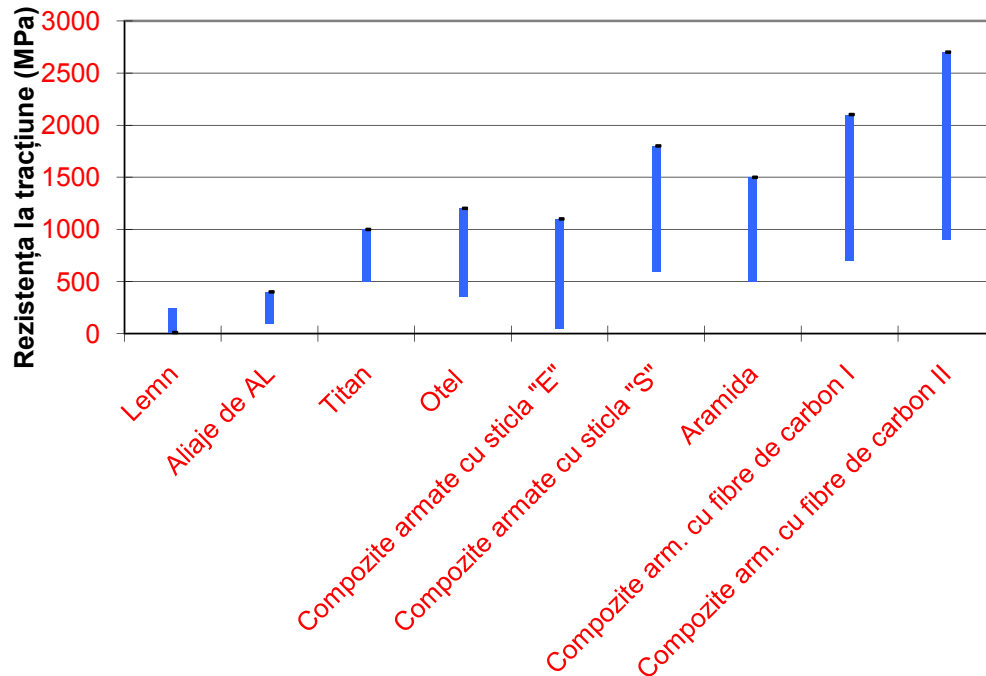


Figura 1.2 Rezistența la tracțiune a unor materiale clasice și avansate

O nouă dezvoltare se îndreaptă către structuri celulare: microstructurile au fost folosite în metale, ceramica și polimeri, de mai mulți ani, în scopul de a reduce greutatea, pentru a crește rezistența și rigiditatea, sau pentru a mări energia / capacitatea de absorbție și de amortizare. În mod tradițional, dimensiunile celulelor sunt destul de mari și de distribuție eterogenă. Noi tehnologii sunt dezvoltate spre a fi capabile să reducă în mod semnificativ dimensiunea celulei. În afară de dimensiuni mai fine de celule, noi arhitecturi de celule sunt investigate ca spume auxetice (geometrii de celule, care conduc la raportul negativ al lui Poisson) și spume ierarhice (scheletul celular primar umplut cu spuma secundară microcelulară).

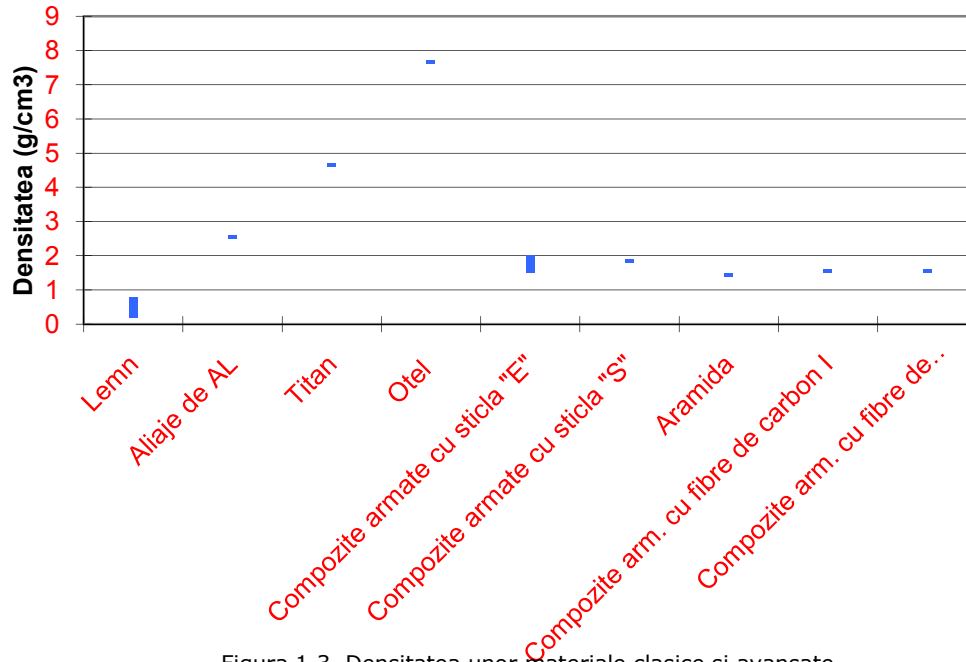


Figura 1.3. Densitatea unor materiale clasice si avansate

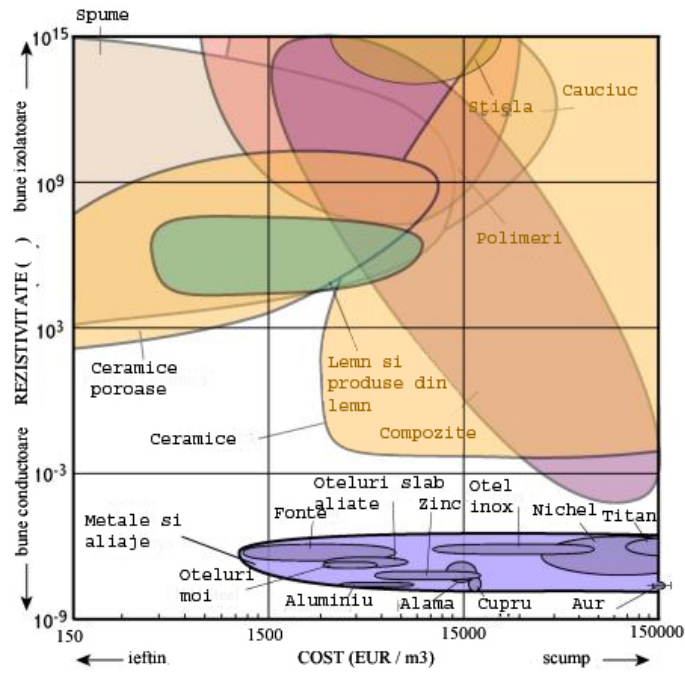


Figura 1.4 Costurile de obținere a unor materiale folosite în industrii de vârf [169]

### 1.1.1. Materiale polimerice

#### 1.1.1.1. Generalități

Materialele polimerice sunt materialele organice realizate artificial care se pot prelucra ușor în diferite forme, la cald sau la rece, cu sau fără presiune. Produsul preliminar pentru producția de materii prime din plastic este uleiul mineral sau gazele naturale. Ca urmare a diferitelor procese de cracare, se obțin benzina, ulei combustibil și o serie de produse secundare, cum ar fi etilenă, propilenă, alte hidrocarburi precum și benzen. Aceste produse sunt materii prime pentru fabricarea de polimeri [2, 6, 7, 32]

#### 1.1.1.2. Tipuri de materiale polimerice

Materialele polimerice utilizate în tehnică se împart în două grupe:

- materialele plastice termoplastice, care prin încălziri repetate trec în stare plastică: polistiren, polimetacrilat, celuloză, poliamidă, policlorura de vinil. Piese din aceste materiale se obțin prin presare și turnare, având o mare productivitate;
- materialele plastice termorezistente/termorigide/termoreactive, care prin încălziri repetate nu mai trec în stare plastică: polistireni nesaturați, rășini fenolformaldehidice etc. Piese în acest caz se prelucrează prin presare [30, 45, 50].

În figura 1.5 se prezintă diferența dintre materialele plastice termoplastice și termorezistente. [3]

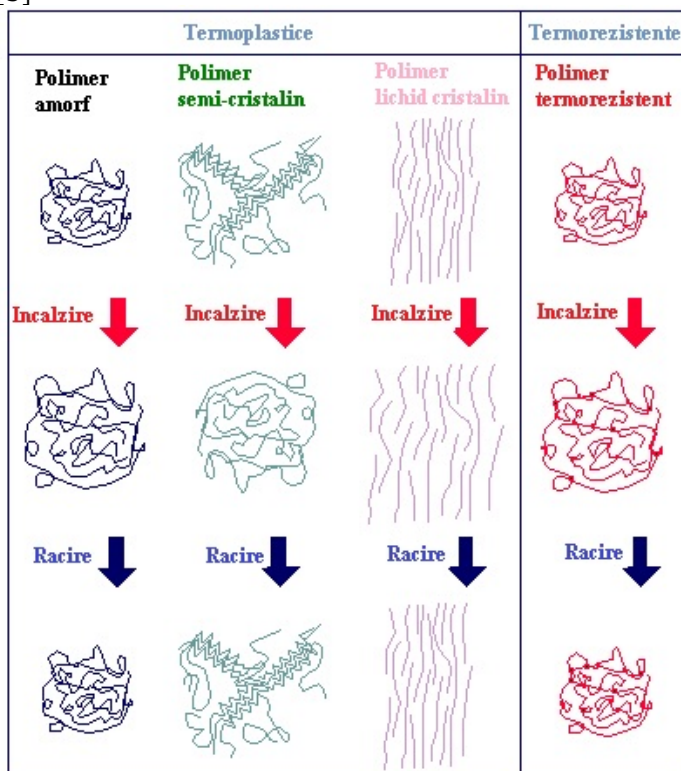


Figura 1.5 Diferența dintre materialele plastice termoplastice și termorezistente

### 1.1.1.3. **Tipuri de materialele plastice**

Materialele plastice sunt subdivizate în funcție de structura lor moleculară în trei grupe principale:

- *materiale plastice tip elastomeri*, care pot fi modelate elastic sub presiune;
- *materiale plastice tip termorezistente*, care nu pot fi modelate;
- *materiale plastice tip termoplastice*, care pot fi modelate prin încălzire;

### 1.1.1.4. **Materiale plastice tip elastomeri**

Elastomerii sunt caracterizați de o largă rețea de lanțuri moleculare cu ochiuri de reticule "înnodate"-figura 1.6 [37]. Acest tip de reticule înseamnă că materialele au un nivel ridicat de stabilitate dimensională, dar sunt încă elastic maleabile. Prin aplicarea de sarcină, de exemplu, forță de tracțiune, lanțurile se desfac, dar după îndepărtarea sarcinii se relaxează din nou. Ca polimeri termorezistenți, elastomerii nu sunt fuzibili.

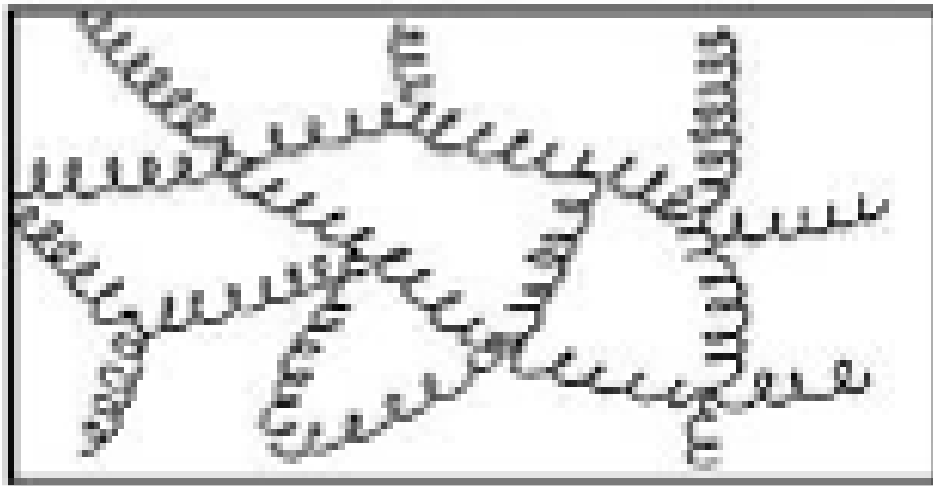


Figura 1.6 Structura de elastomeri [11]

### 1.1.1.5. **Materiale plastice tip termorezistente**

Lanțurile individuale moleculare ale polimerilor termorezistenți, sunt caracterizate de o structură tri-dimensională de reticule apropiate cu ochiuri-figura 1.7. Această proprietate înseamnă că ele nu mai pot fi modelate după solidificare. De asemenea, nu pot fi retopite. Cu toate acestea, din cauza structurii reticulare puternice, polimerii termorezistenți oferă rezistență chimică bună și un nivel ridicat de stabilitate termică, precum și duritate. [83]

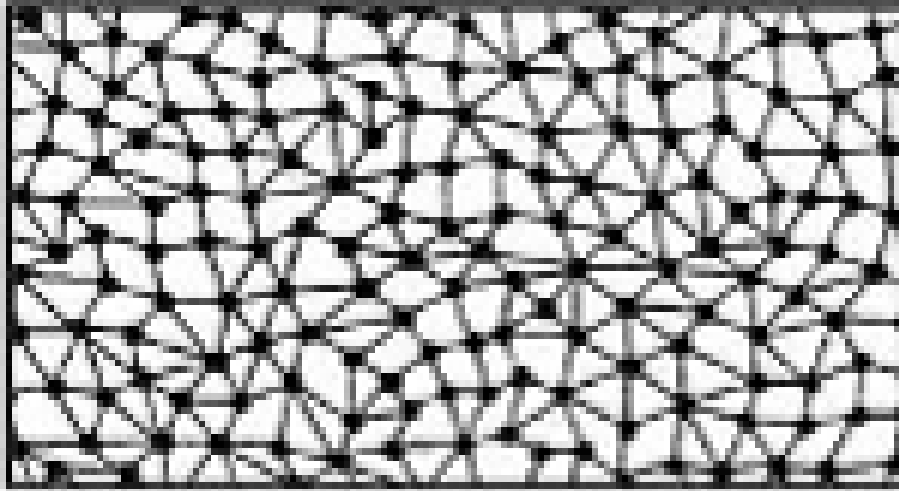


Figura 1.7 Structura de termorezistente

#### 1.1.1.6. **Materiale plastice tip termoplastice**

Primele materiale plastice au fost produse din transformarea materialelor naturale. În anul 1859 au apărut fibrele vulcanizate, în 1869 a apărut celulozidul și în 1897 galitul. Primul material sintetic apărut în 1908 a fost rășina fenolformaldehidică numita bachelită. Există numeroase procedee de fabricare a materialelor plastice. O găleată, o sticlă, o cască de motociclist, o planșă de windsurfing sunt toate fabricate din diferite tipuri de plastic. Pentru fiecare obiect, trebuie ales materialul plastic care are calitățile cele mai potrivite: suplețe, rigiditate, rezistență la șoc, elasticitate, transparență, greutate mică. În schimb, cele termorigide se întăresc la căldură. Astfel, ele sunt mulate la rece pe formele dorite, apoi sunt încălzite pentru a se întări, sau pot fi lăsate să se întărească după ce li se adaugă un produs special. Plasticele termorigide se folosesc la fabricarea obiectelor prelucrate manual sau a celor care necesită o fabricație îngrijită. Astfel se fabrică ambarcațiunile, piesele de caroserie, barele de protecție etc. În figura 1.8, se arată o structură termoplastica [81].

Suflarea este folosită pentru fabricarea obiectelor care au interiorul gol, cum sunt mingile, flacoanele, sticlele, popicele. Materia plastică încălzită coboară în formă, în care se injectează apoi aer. Aceasta are ca efect întinderea materialului cald pe pereții interiori ai formei [83].

Metoda cea mai utilizată este însă injectarea. Este folosită mai ales pentru fabricarea obiectelor cum sunt pieptenii, perișoarele de dinți, ustensilele de bucătărie. Materia plastică intră sub formă de granule într-o mașină de injectare. Prin încălzire, ea este transformată într-o pastă mai mult sau mai puțin densă, care este apoi injectată în formă și răcită printr-un circuit de apă. Masele plastice sunt folosite, cu mici excepții, în toate domeniile de activitate. Această performanță de pătrundere în mai toate sectoarele de activitate se datorează proprietăților lor de neegalat vis-a-vis de celelalte materiale: sunt anticorozive, electroizolante, au greutatea specifică mică, au proprietăți mecanice bune, cost scăzut, aspect exterior plăcut, se pot prelucra atât pe cale mecanică tradițională cât și prin procedee specifice cum ar fi injecția lor, se pot acoperi cu vopsea sau prin galvanizări, permițând în felul acesta

să capete aspectul dorit de către proiectant. Există însă și unele proprietăți care fac dezavantajoasă utilizarea maselor plastice, cum ar fi micșorarea rezistenței mecanice cu creșterea temperaturii, coeficientul de dilatare mare, coeficientul de transmitere a căldurii mic, etc. Polimeri termoplastici sunt materiale plastice, în care, spre deosebire de elastomeri și materiale plastice termorezistente, lanțurile moleculare nu sunt reticulate. Ele demonstrează, prin urmare, un comportament de plastic elastic și sunt termo-deformabile: fuzibile, sudabile. Aceasta form-abilitate este reversibilă, cu alte cuvinte, se poate repeta de câte ori este necesar, atâta timp cât materialul nu este afectat de supraîncălzire termică [87, 94]

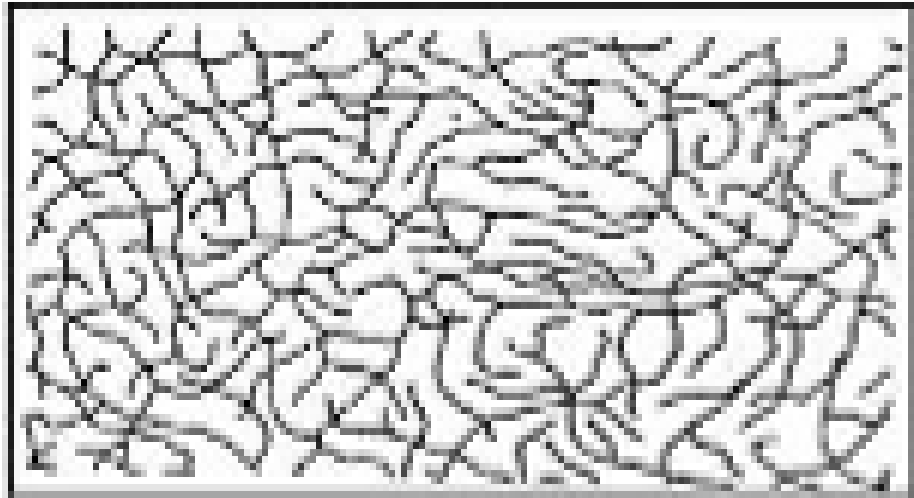


Figura 1.8 Structura de termoplastice

Termoplasticele sunt separate în funcție de structura lor în:

- *materiale termoplastice amorfe*: care sunt transparente, sensibile a se fisura la încărcare mecanică, stabile dimensional;
- *materiale termoplastice semicristaline*: care sunt materiale opace, dure, și au bună sau foarte bună rezistență chimică

În figura 1.9 se prezintă diferențierea materialelor plastice în funcție de structură [12, 13, 101].



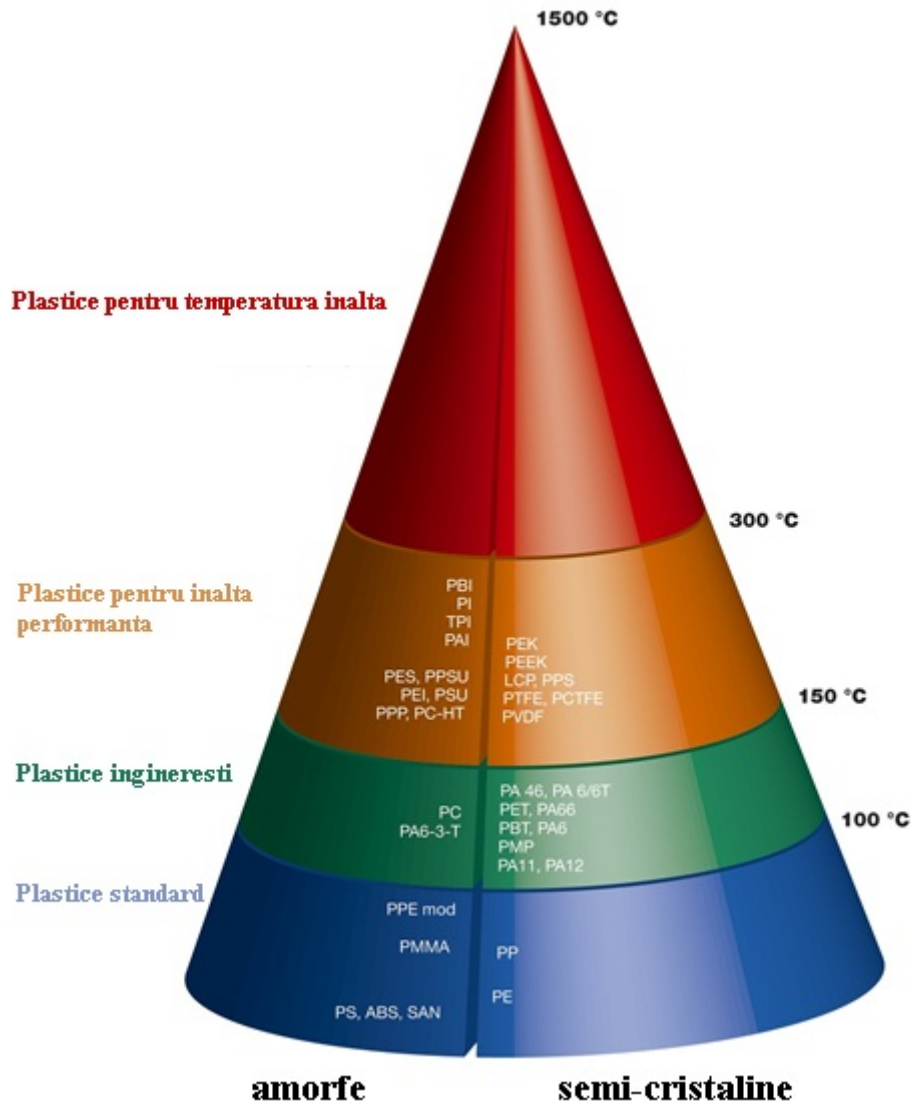


Figura 1.9 Diferențierea materialelor plastice în funcție de structură

Rezistența la căldură este un criteriu important pentru o diferențiere suplimentară a termoplasticeilor, figura 1.10

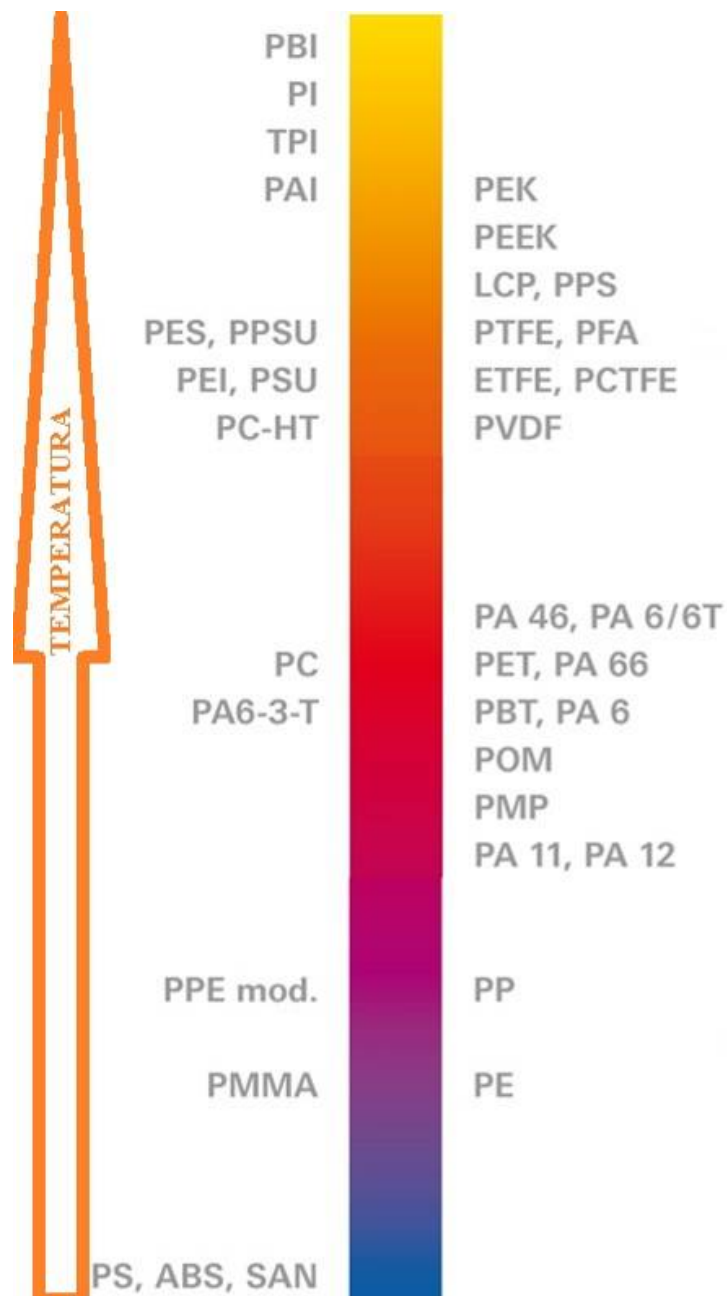


Figura 1.10 Materiale termoplastice utilizate în funcție de temperatură

**Materiale termoplastice pentru temperatură înaltă sau de înaltă performanță:**

- temperatura de utilizare maxima mai mare de 150°C;
- înaltă rezistență termică și mecanică;
- bună rezistența chimică

**Materiale termoplastice ingineresti:**

- temperatura de utilizare între 100 °C și 150 °C;
- bune proprietăți mecanice;
- bună rezistența chimică .

**Materiale termoplastice standard:**

- temperatura de utilizare maxima mai mica de 100 °C;
- ideale pentru producția de masă, cu cerințe mici pentru proprietăți termomecanice.

- *Materiale termoplastice amorse*

În polimerii termoplastici amorfii, figura 1.11, lanțurile de molecule sunt haotic aranjate și încurcate cu altele cum ar fi firele de bumbac dintr-un tampon. Această structură amorfă înseamnă că aceste materiale nu pot fi supuse unor sarcini



Figura 1.11 Reprezentare structura amorfa

peste punctul de tranziție vitroasă. Acest grup de materiale este caracterizat în continuare prin următoarele proprietăți:

- transparente sau translucide;
- tendință scăzută la fluaj;
- bună stabilitate dimensională;
- tendință scăzută la deformare;
- tendința de a fi casant;
- rezistența chimică scăzută;
- sensibilitate la fisurare;

Materialele plastice amorse au o tendință scăzută la deformare și sunt, prin urmare, foarte potrivite pentru utilizarea ca și componente ale carcasei [10]

- *Materiale termoplastice semi-cristaline*

Macromoleculele polimerilor termoplastici semi-cristalini, figura 1.12, formează o structură cristalină în unele zone. Materialele plastice cu structuri semi-cristaline sunt opace în general, zonele semi-cristaline difuzează lumina. Datorită zonelor cristaline, materialele sunt extrem de dure din cauza forțelor intermoleculare puternice, și sunt capabile să reziste sarcinilor mecanice, peste



Figura 1.12 Reprezentare structura semi-cristalina

temperatura de tranziție vitroasă. Polimerii semi-cristalini termoplastici pot fi caracterizați prin următoarele proprietăți:

- translucid sau opac;
- bună rezistență la oboseală;
- tendința de durificare;
- buna rezistența chimică;
- bune caracteristici de alunecare;
- rezistent la uzura;
- temperatura de tranziție vitroasă;
- gradul de cristalinitate.

Datorită comportamentului dur, materiale plastice semi-cristaline sunt deosebit de potrivite pentru componente supuse la uzura mecanică și materiale pentru alunecare

#### 1.1.1.7. **Avantajele utilizării materialelor plastice**

Piese executate din mase plastice prezintă următoarele avantaje:

- nu necesită prelucrări ulterioare și pot avea o formă suficient de complicată;
- permit executarea de găuri și adâncituri în orice secțiune, precum și presarea de filete;
- pot fi metalizate numai ABS-ul natur, metalizarea fiind o acoperire galvanică și poate fi efectuată în diferite variante de culori, în variantă mată sau lucioasă;
- aspectul piesei este plăcut, designerul reușind să-și impună cu ușurință punctul de vedere, întrucât se poate realiza orice cerință estetică: joc de umbră și lumină prin alternări de suprafețe mate și suprafețe lucioase, suprafețe în relief sau în adâncime, suprafețe striate sau cu rizuri etc;
- piesele rezultate se pot obține într-o mare varietate de culori, ce pot fi obișnuite și metalizate. Aceste culori se realizează fie conform moștrării de culori transmise de către fabricantul de masă plastică, fie conform unui moștrar nou, creat de către designer împreună cu tehnologul de masă plastică;
- piesele din mase plastice se pot vopsi. De regulă se preferă ca vopsirea să aibă loc în aceeași culoare ca masa plastică, astfel încât dacă piesa este zgâriată, sau prin frecare se îndepărtează stratul de vopsea, să nu fie vizibil acest defect de discontinuitate a stratului de vopsea;
- se pot efectua injecții de două sau trei mase plastice de diferite culori, în vederea obținerii de diverse efecte estetice sau având ca scop obținerea de

piese cu rezistență la uzură mai mare cazul tastaturii de calculator, sau cu alte scopuri;

- un mare avantaj al maselor plastice constă în faptul că acestea pot fi înfoliate. Această operație constă în acoperirea la cald, prin presare, a suprafețelor în relief. În jurul acestor suprafețe nu trebuie să existe alte porțiuni de suprafețe care să fie la aceeași cotă sau la o cotă peste nivelul celei ce urmează a fi înfoliate, deoarece fie se obține înfolierea unor zone ce nu au fost indicate de către designer, fie se deformează zonele ce depășesc cota respectivă, fie înfolierea nu va fi de calitate. Aceste folii pot fi mate sau lucioase, pot fi albe, negre, imitație furnir, argintii, aurii, sau în diferite alte culori;

- inscripționarea pieselor din mase plastice se poate efectua fie direct din sculă, fie aplicându-se ornamente din metal: aluminiu, oțel laminat etc. sau din masă plastică. Inscripționarea din sculă se obține fie prin efecte speciale: joc de umbră și lumină care se realizează prin porțiuni alternante de suprafețe mate și lucioase, sau prin alternări de suprafețe striate cu porțiuni mate, sau cașerate etc. Un alt procedeu de inscripționare este cel rezultat din sculă deci direct din injecție, aceasta nemaifiind la același nivel, ci în relief sau în adâncime. Inscripționarea este rodul activității creatoare a designerului, el fiind cel care va hotărî caracterul, modul de inscripționare sau dacă aceasta urmează a fi înnobilită prin înfoliere sau nu;

- un alt procedeu de inscripționare a maselor plastice este acela prin serigrafie, după desenul ciocan executat de către designer, cu ajutorul sitelor serigrafice și în varianta de culori serigrafice indicată de designer;

- piesele din mase plastice se pot asambla mecanic cu ajutorul șuruburilor și al piulițelor, cu ajutorul șuruburilor autofiletante. Se pot executa în masa plastică bosaje, care sunt niște găuri normalizate în funcție de dimensiunea șurubului, cu clicuri elastice, popici elastici, prin presare, prin bercluire, profile conjugate, prin lipire cu ajutorul adezivilor etc;

- se pot utiliza și în cazul creării de produse din materiale mixte, permițând asamblarea cu: lemnul, sticla, cauciucul, metalul etc.

- se pot utiliza în situații în care se dorește reducerea frecării, ele comportându-se bine chiar și în absența lubrifiantului. Astfel există situații în care se execută piese ce urmează a efectua mișcări de rotații sau de translații: roți dințate, lagăre etc., fie ca elemente cinematice de interior fie ca elemente de antrenare, de comandă: manete, butoane, volane, pedale.

- Acolo unde din motive de rezistență sau în vederea realizării unor contacte electrice se impune utilizarea de piese metalice, se pot executa piese mixte, prin injecție de masă plastică pe reperul din metal.

#### **1.1.1.8. Recomandări la proiectare și prelucrarea materialelor plastice**

Din prezentarea făcută privind avantajele se observă că aceste materiale permit desfășurarea imaginației creative a designerului fără prea mari restricții. Totuși aceste materiale presupun o cunoaștere și o stăpânire a posibilităților lor tehnologice. Se impune ca o necesitate, marcarea de către proiectant a suprafețelor cu rol estetic, sau care presupun finisaje suplimentare, sau care nu admit defecte de injecție sau alte tipuri de defecte ce pot afecta suprafața respectivă a produsului [93]. Din punctul de vedere al formei există recomandări vizând prelucrarea maselor plastice de care proiectantul trebuie să țină cont și anume:

- piesa se va proiecta cu o grosime uniformă de perete, ceea ce contribuie atât la creșterea productivității cât și la eliminarea concentratorilor de

material sau de temperatură, concentratori ce pot induce defecte de execuție ale reperului respectiv. Grosimea minimă a pereților unui reper din masă plastică poate fi  $s=0,5\div 2$  mm;

- piesele se pot proiecta fie cu muchii vii, fie cu raze de racordare, ultima fiind de preferat din punct de vedere al execuției sculei. Ținând cont că sculele pentru reperele prevăzute cu raze de racordare se execută mai ușor, se va ține cont la proiectarea reperelor de o rază minimă de racordare necesară  $\rho=(0,3\div 0,4)s$ , ( $s$ =grosimea peretelui piesei; iar  $\rho$ =raza de racordare). Sculele pentru realizarea pieselor care nu au prevăzute raze de racordare, se vor executa din bacuri;

- în vederea extracției piesei din sculă, aceasta va fi prevăzută cu o înclinație a pereților în funcție de grosimea acestora: pentru piesele cu o grosime mai mare de  $s\geq 10$ mm, înclinația va fi de la  $2'$  până la  $20\div 30$ ; pentru piesele cu o grosime a pereților  $s < 10$ mm, se pot admite și pereți fără înclinări, unghiuri de extracție;

- pentru evitarea defectelor ce pot apărea datorită răcirii necorespunzătoare a pieselor, acestea, după scoaterea din sculă - dacă scula nu este termostatată, caz în care scula nu injectează decât dacă a atins prin încălzire temperatura de injecție prescrisă în regimul de injecție, și nu permite extracția piesei injectate decât când aceasta a atins temperatura la care nu există riscul deformării piesei - se răcesc fie pe un calapod, fie sunt prevăzute prin construcție cu nervuri de rigidizare;

- se recomandă ca grosimea pereților interiori să fie egali cu  $s/2$ , deci cu jumătate din grosimea peretelui de bază, pentru a nu introduce concentratori de tensiune și de temperatură. Este cazul nervurilor: de rigidizare, tehnologice, sau de construcție;

- se preferă ca piesele prevăzute cu filet să aibă pasul mai mare sau egal cu 1mm. De asemenea, dacă piesa este prevăzută cu găuri, filetate sau nefiletate, acestea nu vor fi prevăzute la extremitățile piesei sau în vecinătatea pereților piesei, pentru a nu introduce eventualele situații favorabile aparițiilor defectelor de injecție;

- se recomandă ca în vederea eliminării tensiunilor interne și evitării deformațiilor, piesa să fie supusă unui tratament de îmbătrânire la o temperatură de  $800\div 1000$  C, timp de câteva ore;

#### 1.1.1.9. Defecte posibile

În urma procesului de injecție, pot apărea o serie de defecte care se datorează fie unor greșeli de proiectare, fie nerespectării parametrilor regimului de injecție: presiune, temperatură. Aceste defecte pot fi: retasuri, flori de gheață, injecții incomplete, deformări etc. Defectele care apar pot fi corectate fie printr-un regim de injecție corect stabilit și aplicat, fie cu ajutorul proiectantului, prin stabilirea unei forme care să prevină apariția defectelor. Dacă aceste defecte nu mai pot fi prevenite, se poate interveni asupra respectivelor repere cu ajutorul designerului. Astfel acesta poate interveni cu finisaje suplimentare în funcție de defect. Aceste măsuri se pot lua în faza de proiectare, având o experiență a comportării materialului: ornamente, vopsiri, inscripționări, cașerări etc. În funcție de forma și gabaritul reperului, designerul împreună cu tehnologul vor hotărî asupra caracteristicilor sculei de injecție: locul și modul de injecție centrală sau punctiformă, poziția planului de separare, dacă sunt necesare bacuri și pozițiile acestora etc.

#### 1.1.1.10. **Domenii de utilizare a materialelor plastice**

Masele plastice se pot utiliza: în industria grea, industria constructoare de mașini, aeronautică, industria alimentară: ambalaje, vafe, cutii, etc., industria ușoară: bunuri de larg consum, jucării etc., industria farmaceutică: seringi de unică folosință, capsule și ambalaje etc. și multe altele [139].

#### 1.1.1.11. **Reciclarea materialelor plastice**

Descompunerea naturală a plasticului în mediul înconjurător necesită peste 500 de ani din cauza materialelor care îl alcătuiesc. Cu fiecare tonă de plastic reciclat, se economisesc între 700 și 800 kg de petrol brut [146].

### 1.1.2. **Materiale ceramice**

#### 1.1.2.1. **Generalități**

*Materialele ceramice sunt materiale nemetalice. O caracteristica comună a materialelor ceramice este aceea că sunt fabricate din pulberi care sunt aduse într-o formă dorită și apoi încălzite la temperaturi ridicate - cu sau fără aplicarea presiunii externe, pentru a obține o piesă finală densificată. În tabelul 1.1 se arată o comparație între metale pure și ceramice structurale iar în tabelul 1.2 se evidențiază temperatura de topire a unor ceramice [79]. Pe lângă rezistențe mari, alte proprietăți care fac ca ceramicele să fie utilizate în aplicații rezervate de obicei aliajelor metalice, includ:*

- rezistență excelentă la uzură;
- duritate mare;
- rezistență la coroziune excelentă;
- rezistență la oxidare;
- expansiune termică mică;
- rezistivitate electrică mare;
- raport rezistență / greutate mare.

#### 1.1.2.2. **Tipuri de materiale ceramice.**

*Materialele ceramice sunt împărțite în două categorii:*

- *ceramicele tradiționale care sunt realizate pe baza unor materii prime minerale de tipul silicaților spre exemplu: cuarț, argilă, caolin, feldspat [137, 162].*

*Materialele ceramice tradiționale includ ceramicele arse, sticla, porțelanul, cărămida și betonul.*

- *A doua categorie o reprezintă ceramicele avansate care se obțin tot prin "calcinare". Este vorba de fapt de o sinterizare pornind de la pulberi de oxizi, carburi sau nitruri produse prin sinteză.*

*Orice solid anorganic nemetalic utilizat la temperaturi înalte este un material ceramic avansat, cu precizarea că materialele ceramice avansate cuprind oxizii unor metale, borurile, carburile și halogenurile cu utilitate industrială. Cele mai larg utilizate ceramice avansate sunt sticlele modificate, silico-aluminații, bioxidul de zirconiu și altele. Folosita ca atare sau înglobată în materiale compozite, ceramica avansată este considerată al treilea material din punct de vedere al importanței; ponderea cea mai mare o deține industria electronică, calculatoarele, construcțiile de*

mașini, aeronautica, tribologia, biotehnica etc. Trei caracteristici fac din materialele ceramice materiale ale viitorului [140, 141]:

- resursele naturale aparent inepuizabile ;
- obținerea produselor la cotele finale, evitându-se prelucrările mecanice ;
- proprietățile lor spectaculoase.

O proporție de 67 % din producția de materiale ceramice se folosește în domeniul microelectronicii, de la fabricația pachetelor și substraturilor de circuite integrate (suporturi plăci pe care se montează circuitele electronice) la condensatori, transductoare electronice sau filtre electronice. Spectaculoasă este însă utilizarea ceramicelor în construcția de mașini îndeosebi în fabricația motoarelor termice de la simplii izolatori, bujii la construcția pistoanelor, a chiulaselor, cămășilor de cilindri sau chiar motoare cu aprindere prin compresie realizate integral din materiale ceramice. Se evidențiază utilizarea lor la echipamentele anexe în fabricația navelor aerospațiale sau în transporturi navale, terestre, feroviare. Din punctul de vedere al comportării lor tribologice, materialele ceramice au devenit medii protectoare împotriva degradării suprafețelor, fiind interesante în fabricația lagărelor, a ghidajelor, rulmenților etc.

Tabelul 1.1 Proprietăți tipice ale unor metale pure și ceramicelor structurale[143]

| MATERIAL                       | REZISTENȚĂ<br>[MPa] | MODUL DE<br>ELASTICITATE<br>[GPa] | COEFICIENT DE<br>DILATARE TERMICĂ<br>LINIARĂ<br>[μm/m/°C] | REZISTIVITATE<br>ELECTRICĂ<br>[μΩ×cm] | CONDUCTIBILITATE<br>TERMICĂ<br>[W/(m×°C)] |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| Al                             | 34                  | 62                                | 23,6  | 2,6548                                | 221,75                                    |
| Cu                             | 69                  | 110                               | 16,5  | 1,6730                                | 393,71                                    |
| Fe                             | 130                 | 196                               | 11,7  | 9,71                                  | 75,31                                     |
| Mo                             | 345                 | 324                               | 4,9   | 5,2                                   | 142,26                                    |
| Ni                             | 152                 | 207                               | 13,3  | 6,84                                  | 92,05                                     |
| Ti                             | 207                 | 116                               | 8,4   | 42,00                                 | 21,90                                     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 300                 | 380                               | 6,8   | >10 <sup>20</sup>                     | 27,20                                     |
| SiC                            | 500                 | 480                               | 4,2   | 10 <sup>7</sup>                       | 62,80                                     |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 1000                | 304                               | 3,2   | >10 <sup>20</sup>                     | 10,00                                     |
| ZrO <sub>2</sub>               | 700                 | 205                               | 9,7   | >10 <sup>17</sup>                     | 2,00                                      |

Materialele ceramice utilizate pentru creșterea rezistenței la uzare și la coroziune sunt oxizii metalici, utilizați în stare pură sau în amestec cu diferiți oxizi în vederea optimizării proprietăților de exploatare. La realizarea depunerilor ceramice, sunt utilizate, pentru pulverizare, produse naturale sau amestecuri ceramice care să se topească și să nu se disocieze în produse gazoase la temperaturi înalte și care să formeze prin topire picături fine, nu fire [148, 149]



Oxizii de aluminiu sunt oxizii ceramici cei mai utilizați atât pentru protecția împotriva uzurii, cât și împotriva coroziunii, fără șocuri mecanice sau termice. Oxidul de aluminiu are o paletă largă de utilizări: de la protecția discurilor fixe (harddisk) destinate tehnicii de calcul până la straturi dielectrice (în amestec cu 3...13% TiO<sub>2</sub>).

Tabelul 1.2 Temperaturile de topire ale materialelor ceramice [150]

| MATERIAL            | FORMULA                        | T <sub>f</sub> °C |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|
| Carbura de hafniu   | HfC                            | 4147              |
| Carbura de tantal   | TaC                            | 3847              |
| Carbura de zirconiu | ZrC                            | 3517              |
| Carbura de niobiu   | NbC                            | 3497              |
| Borura de hafniu    | HfB <sub>2</sub>               | 3247              |
| Carbura de titan    | TiC                            | 3117              |
| Oxidul de toriu     | ThO <sub>2</sub>               | 3107              |
| Borura de zirconiu  | ZrB <sub>2</sub>               | 3057              |
| Borura de tantal    | TaB <sub>2</sub>               | 3000              |
| Borura de titan     | TiB <sub>2</sub>               | 2980              |
| Carbura de wolfram  | WC                             | 2847              |
| Oxidul de magneziu  | MgO                            | 2800              |
| Oxidul de zirconiu  | ZrO <sub>2</sub>               | 2770              |
| Nitrura de bor      | BN                             | 2727              |
| Oxidul de beriliu   | BeO                            | 2570              |
| Carbura de siliciu  | SiC                            | 2500              |
| Carbura de bor      | B <sub>4</sub> C               | 2450              |
| Oxidul de samariu   | Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2327              |
| Oxidul de europiu   | Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2237              |
| Oxidul de aluminiu  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2047              |
| Oxidul de crom      | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1987              |
| Oxidul de titan     | TiO <sub>2</sub>               | 1605              |

Un adaos de alți oxizi ceramici la pulberile cu baza Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, mărește ductilitatea și capacitatea de preluare a șocurilor termice. Temperaturile maxime de exploatare ale acestor amestecuri de pulberi ceramice oxidice variază în funcție de tipul și proporția de elemente de adaos, între 5040C pentru amestecurile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiO<sub>2</sub> și 12000C pentru amestecurile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub>. Dioxidul de titan și amestecurile sale cu oxizii de crom au durități mai reduse decât amestecurile ce au la baza oxidul de aluminiu. Astfel, amestecurile TiO<sub>2</sub>+Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se utilizează la realizarea straturilor depuse prin pulverizare în jet de plasma, obținându-se straturi cu o rezistență mai redusă la uzare și la coroziune în diverși agenți corosivi (solubile în H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> și în baze), dar cu o rezistență la oboseală mai ridicată [173].

Oxizii de crom prezintă o rezistență la coroziune și o stabilitate termică mai redusă decât amestecurile pe baza de oxid de aluminiu, dar rezistența la uzare este deosebit de mare și prezintă și o capacitate mărită de preluare a șocurilor termice.

În figura 1.13 se arată ponderea utilizării ceramicelor avansate în lume [152].

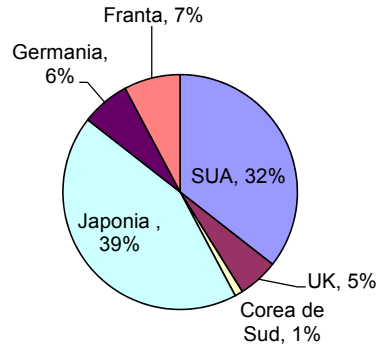


Figura 1.13 Ponderea utilizării materialelor ceramice în lume

Tabelul 1.3 Ponderea componentelor din ceramice avansate pe piața americană:

| Tipul de ceramice           | 2003<br>Mil. \$ | 2005<br>Mil. \$ | 2008<br>Mil. \$ | Rata de creștere-% |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Ceramice structurale        | 515             | 736             | 900             | 11,8               |
| Ceramice electronice        | 5.720           | 7236            | 8.520           | 8,3                |
| Acoperiri ceramice          | 860             | 1159            | 1.290           | 8,4                |
| Procese chimice și de mediu | 1.550           | 2036            | 2.170           | 7,0                |
| TOTAL                       | 8.645           | 11.167          | 12.880          | 8,3                |

Ceramicele avansate - care includ o varietate de materiale, piețe, și aplicații - sunt într-o creștere continuă, în special în zona ceramicelor structurale [15]. Această creștere s-a datorat cerințelor de armuri ceramice pentru protecția personală dar și a vehiculelor civile și militare. În figura 1.14 se arată componentele

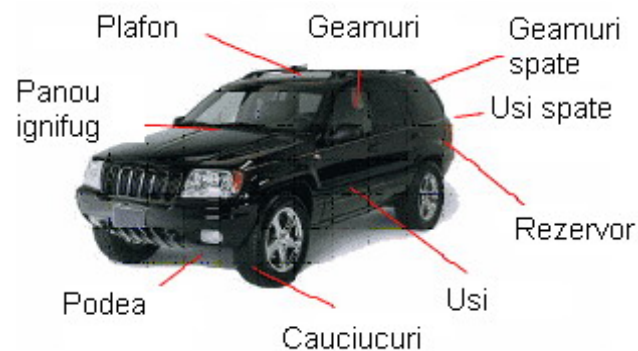


Figura 1.14 Componentele protejate la un automobil civil

protejate la un automobil civil [151].

Ceramicile avansate includ: oxizi, carburi, nitruri, silicați și sticlă ceramică [16]. Cele mai des utilizate materiale sunt: carbura de hafniu, carbura de tantal, carbura de zirconiu, carbura de niobiu, borura de hafniu, carbura de titan, oxidul de toriu, borura de zirconiu, borura de tantal, borura de titan, carbura de wolfram, oxidul de magneziu, oxidul de zirconiu, nitrura de bor, oxidul de beriliu, carbura de siliciu, carbura de bor, oxidul de samariu, oxidul de europiu, oxidul de aluminiu, oxidul de crom, forsterit, mullit, bioxidul de siliciu (cristobalitul), oxidul de titan. Din categoria ceramicelor avansate, ceramicile structurale constituie acele materiale care se folosesc în aplicații unde se cer performanțe înalte: rezistență la uzare, duritate, rigiditate, rezistență la coroziune, densitate redusă etc [159].

### 1.1.2.3. Domenii de aplicare a materialelor ceramice.

- *Materiale ceramice în aeronautică*

Materialele ceramice sunt mai mult folosite la avioanele militare și comerciale, ca de altfel la navele spațiale și echipamentele aferente lor [155]. Aplicații ale materialelor ceramice includ sisteme de protecție termică în duzele de evacuare ale motoarelor-racheta, plăcuțe izolante pentru navele spațiale, componente ale motoarelor și straturi ceramice încorporate în geamurile de protecție ale avioanelor [153, 154]

Fibrele ceramice sunt folosite ca și scuturi termice la protecție anti incendiu și izolare



Figura 1.15 Plăcuță din componența scutului termic[30]



Figura 1.16 Vedere scut termic-naveta Discovery

termică în avioane și nave spațiale pentru că sunt rezistente la căldură, ușoare și nu sunt corodabile. Alte caracteristici importante sunt: temperatură înaltă de topire, reziliență, rezistența la tracțiune și sunt inerte chimic [145, 155]. În plus, geamurile protectoare ale avioanelor sunt încălzite de conductori electrici ceramici transparentți incluși, pentru înlăturarea efectelor cetei și ale gheții.

În prezent, ceramicile sunt utilizate în componența motoarelor de avion. Se așteaptă ca rezultatul utilizării lor să ducă

la scăderea în greutate a motoarelor de avion și la reducerea consumului de combustibil. În viitor, aceasta ar însemna un avion cu o nouă formă [144].

- *Materiale ceramice în automobile*

Proiectanții de motoare sunt în căutare de alternative pentru a micșora costurile, emisiile, creșterea performanțelor și a economiei de combustibil [27].

O modalitate în proiectarea automobilelor este aceea de înlocuire a materialelor. Ceramicele pot fi soluția pentru multe componente ale motoarelor



Figura 1.17 Elemente active și pasive ceramice din componenta unui motor cu ardere internă

viitorului datorită calității unice de rezistență la căldură, frecare și coroziune, greutate mică și izolație termică și electrică.

Ceramicele au fost folosite la automobile încă de la început, anul 1920, ca izolație la bujii și geamuri.

Toate convertoarele catalitice de la automobilele moderne au ca suport un fagure ceramic, ducând la reducerea emisiilor poluante

Calculatorul de bord și alte echipamente electronice folosesc un număr mare

de materiale ceramice care sunt critice pentru performanțele mașinii. Numeroase motoare electrice, având componente ceramice sunt folosite pentru reglarea scaunelor sau a geamurilor [134]. Magneții ceramici sunt folosiți la astfel de motoare. Componente ceramice sunt folosite la sistemele de alimentare cu combustibil și la trenul de supape de la motoarele turbo-diesel. Frânele din materiale compozite ceramice sunt standard la mașinile de Formula 1 și sunt oferite ca opțiune la vehiculele de pasageri de înaltă performanță. Aceste frâne din materiale ceramice au următoarele



Figura 1.18 Disc de frână ceramic

proprietăți: reduc greutatea vehiculului cu mai mult de 5 kg., disipare termică iar durata de funcționare este durata de viață a vehiculului [164, 166]

- *Materiale ceramice în electronică*

Folosirea materialelor ceramice în electronica a devenit din ce în ce mai populară. Superconductorii ceramici asigură traficul de electricitate cu sau fără rezistență sau pierderi de căldură. Aceasta oferă trenurilor de călători potențialul de-a pluti pe o pernă magnetică de aer și de a rula cu 450 – 600 km/oră respectiv existența supercalculatoarelor de mărimea unui calculator de birou actual, dar cu performanțe de mii de ori mai rapide decât orice calculator de azi [135].

Alte aplicații ale ceramicelor în electronica includ senzori, materiale electro-optice, semiconductor și condensatoare multistrat. Învelișurile ceramice sunt folosite pentru protecția sau ungerea metalelor. Învelișurile ceramice pot preveni oprirea, defecțiunea componentelor sau uzura excesivă [163]

Ceramicile folosite în electronica sunt chimic inerte, putând să suporte temperaturi înalte și nu sunt predispuse coroziei. Datorită acestor caracteristici, oferă un mediu sigur și stabil pentru circuitele electronice. Fibrele optice ceramice posedă multe caracteristici al căror beneficiar imediat este industria telecomunicațiilor. Aceste fibre înlocuiesc firele metalice datorită greutății lor, mărime microscopică și abilitatea de a transporta un număr mare de semnale la o viteză mai înaltă. O singură pereche de fibre optice, semnificativ mai subțire decât firul de par, poate transmite peste 50 000 conversații telefonice simultan fără interferențe și cu puțină rezistență, în comparație cu doar 24 conversații transmise prin firele metalice.

Fibrele optice sunt folosite cu precădere în telecomunicații dar sunt folosite de asemenea, tot mai mult în industria televiziunii prin cablu, iar rezultatul este o calitate înaltă a semnalelor audio și video [81].

- *Materiale ceramice și protejarea mediului înconjurător*

Ceramicile joacă un rol important în protecția mediului înconjurător [170]. Ceramicile ajută la reducerea poluării,



Figura 1.19 Mini motor cu angrenaje ceramice



Figura. 1.20 Dispozitive de Depozitare pentru materiale radioactive

captarea materialelor toxice și capsularea lor. Noi ceramice sunt folosite pentru a crea piese pentru automobile și avioane care vor duce la o eficiență sporită și reducerea la consumului de combustibil. Ceramicele sunt folosite pentru a înmagazina în siguranță deșeurile radioactive în timp ce alte deșeurile periculoase sunt reciclate cu materiale ceramice pentru a se fabrica produse sigure ca plăcile de pardoseală. Ceramicele sunt folosite în curățarea și captarea apelor contaminate cu ulei scurs din nave, forări efectuate etc. [168].



Figura. 1.21 Bariere cu înveliș ceramic



Figura. 1.22 Hârtie absorbantă de produse petroliere

- *Materiale ceramice în tehnologia bateriilor*

Dispozitivele de celule de combustibil (pilele cu combustie) folosesc o tehnologie care convertește energia chimică direct în electricitate și căldură cu înaltă eficiență și rate joase de poluare. Pilele cu combustie "Solid Oxide Fuel Cell" –SOFC– sunt produse folosind materiale ceramice uzuale ca Zirconiu.

Unul dintre avantajele SOFC vine prin elementele folosite : hidrogen și dioxid de carbon. SOFC poate folosi și combustibilii uzuali bazați pe hidrocarburi precum: gaze naturale, motorina, benzina și alcool fără să fie nevoie să se reformeze pila cu hidrogen pur.

SOFC-urile au un cost scăzut datorită absenței din construcția lor a materialelor scumpe, comparabil fiind cu membrana cu schimb de protoni și pilele cu acizi fosforici ce folosesc drept combustibil platina. Alte tipuri de pile folosesc electrolit lichid, similar cu acidul din baterie care are un efect coroziv asupra componentelor. Deoarece SOFC-urile folosesc recipiente ceramice dintr-o bucată, sunt mai ușor de întreținut datorită lipsei coroziunii.

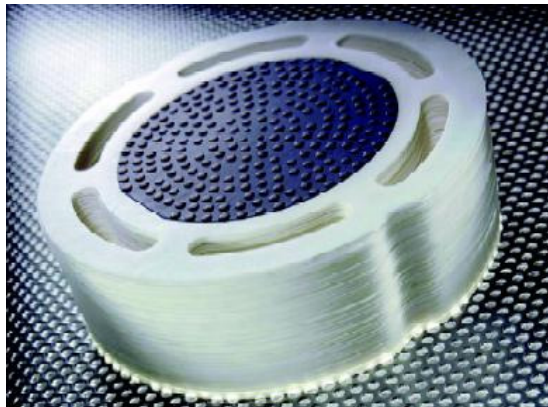


Figura 1.23 Pila de combustie

Pilele de acest tip au mai multe posibilități de utilizare. SOFC-urile pot fi folosite pentru curent electric și căldură pentru case și instituții, dar și ca baterie de

rezerva la automobile. SOFC-urile pot fi legate la o turbina cu gaz, gazele de evacuare ale SOFC pot fi folosite sa învârtă turbine, rezultând o a doua sursă de electricitate.

- *Materiale ceramice în medicină*

Ceramicele sunt tot mai des utilizate in lumea medicala. Chirurgii folosesc materiale bioceramice pentru repararea sau înlocuirea genunchilor, umerilor, degetelor etc.

Ceramicele mai sunt folosite in înlocuirea valvelor



Figura 1.24 Comparație înainte/după tratament stomatologic



Figura 1.25 Implant ortopedic

inimii bolnave, dentiștii folosesc ceramicele pentru implanturile de înlocuire a dinților si în realizarea protezelor. Un nou produs ceramic conținând fluoropată și mici particule de sticlă este utilizat în înlocuirea dinților.

Materialul ceramic are un aspect ca al unui dinte natural și cauzează o uzare mai mică a dintelui față de alte materiale disponibile. Cercetările sunt duse până într-acolo încât, o guma pe baza ceramicii ajută la încetinirea depunerii de piatră pe dinte. Când se folosesc asupra corpului uman, ca implanturi sau înlocuiri de oase, pot duce la stimularea creșterii oaselor și a cartilajelor, favorizează formarea țesuturilor și sunt atacate de

sistemul imunitar. Microsfere ceramice mai mici decât grosimea firului de păr sunt folosite pentru a distribui mari cantități de radiație localizate asupra organelor bolnave din corp.

Ceramicele sunt printre putinele materiale care sunt suficient de durabile și stabile ca să împiedice acțiunea corozivă a fluidelor din organism. În chirurgie sunt folosite foarfeci cu lama acoperită de un strat ceramic cu suprafața de 4-5 ori mai dură decât a oțelului inoxidabil. Suprafața ceramicii oferă o capacitate de tăiere mai ușoară, astfel se reduce abraziunea și crește rezistența la corozie.

- *Materiale ceramice în aplicații militare și civile*

Ceramicele sunt tehnologia de vârf în industria de apărare a SUA. De la avioanele NATO de transport C-130 care au zburat deasupra Bosniei cu o carlingă

armata de materiale KELVAR ceramice, pana la rachetele PATRIOT si elicopterele APACHE. Ceramicile de înalta performanta sunt elemente critice, ale armelor moderne. Ceramicile electronice si optice sunt părți esențiale ale sistemelor de ghidare ale rachetelor si armura pentru trupele de aer si sol [168, 170]

Armurile ceramice pot fi aplicabile atât la vehicule ușoare civile cat si la vehicule militare. Armura ceramica sparge proiectilele in fragmente mici si proiectează interiorul cavitații. Armura ceramica oprește muniția penetranta anti-tanc, in engleza "tank-killer", muniție cunoscuta sub denumirea de "Chemical Energy Munitions". Ceramicile ușoare sunt folosite in elicopterele moderne militare de atac. Scaunele, panourile laterale si podeaua sunt armaturi ceramice pentru a proteja personalul de focurile trase de la sol. Materialele ceramice sunt folosite in majoritatea sistemelor radar militare. Sistemul radar al rachetei PATRIOT este făcut din componente ceramice care acționează ca "ochii si urechile" rachetei.



Figura 1.26 Veste antiglont



specialized components for armor systems

Fig. 1.27 Armuri ceramice

- *Materiale ceramice și nanotehnologia*



Figura 1.28 Comparație monedă-nano fibre

mecanice, astfel salvându-se timpul de prelucrare si costul. Curent, structuri nanoceramice cu o grosime de la 100 nanometri până la 1 nanometru (1/30 000 din grosimea firului de par) sunt folosite ca si componente la autovehicule pentru ca ele combina o buna prelucrabilitate cu excelente proprietăți fizice, chimice si mecanice.

Nanotehnologiile fac parte dintre cele mai ambițioase programe de cercetare si investiție, care au luat o turnura mondiala datorita interesului si posibilităților fără limita pe care le oferă, in crearea si manipularea particulelor atom-atom sau molecula-molecula. Nanotehnologiile pot fi soluții fundamentale in modul de producere a materialelor in viitor. In viitor, ceramicile vor fi îmbunătățite mecanic, optic si electric, vor fi mai rezistente si mai ieftine [19].

Ceramicile pot fi produse in forme exacte fără prelucrări



• *Materiale ceramice la echipamentele fără fir.*

În anii recentți, industria echipamentelor fără fir a cunoscut o creștere enormă (ex.: telefoanele celulare, PDA, calculatoare portabile etc.). Aceste dispozitive, care odată erau scumpe, grele și ineficiente, au devenit minuscule, mai eficiente și mai permissive. Fără materiale ceramice, aceste dispozitive nu ar fi fost posibil de realizat. În SUA sunt peste 123 milioane de abonați cu astfel de dispozitive portabile. Ceramicile stau la baza condensatoarelor de înaltă frecvență și a componentelor magnetice care sunt folosite în aceste tipuri de dispozitive. Componentele ceramice joacă un rol important în miniaturizarea acestor dispozitive și în îmbunătățirea performanțelor. Materialele ceramice combina viteza mare cu înaltă frecvență, performante care asigură utilizatorilor accesul la date "live" ca: e-mail, cotații bursiere, video-conferințe, transmisii radio și TV.



Figura 1.29 Dispozitive portabile

• *Preocupări la nivelul României.*

În România doar S.C. ICPE - Cercetări Avansate S.A. (S.C. ICPE - CA S.A.) își desfășoară activitatea de cercetare, dezvoltare, producție și servicii - cu precădere în domeniul tehnologiilor și materialelor destinate industriei electrotehnice, cât și al altor domenii conexe, fructificând experiența acumulată timp de aproape 50 de ani, în domenii de interes:

- materiale carbonice;
- materiale ceramice;
- materiale procesate prin iradiere și fenomene de luminescență;
- materiale ceramice avansate, tehnici și tehnologii criogenice;
- materiale dielectrice și feroelectrice;
- tehnologii electrochimice și protecții anticorozive active;
- materiale micro și nanostructurate și aplicații.

Materialele cercetate și dezvoltate în cadrul institutului își găsesc aplicația sub forma de: contacte electrice pentru aparataj electrotehnic cu comutația în aer și vid, de joasă și medie tensiune, perii electrice, garnituri de etanșare, matrice de sinterizare sub presiune, bușe și lagăre de etanșare pentru diverse pompe, magneți AlNiCo turnați, SmCo și NdFeB sinterizați și aglomerați și injectați utilizați în cuplaje magnetice pentru pompe etanșe cu "zero pierderi", circuite magnetice pentru motoare, traductoare, materiale ceramice pentru pistoane, pentru pompe de extracție, supape tip scaun, izolatori electrice pentru înaltă frecvență, carcase, încapsulări etanșe, suporturi pentru aeroterme, filtre pentru lichide și gaze, suporturi catalizatori, rotorii și statorii pentru micromotoarele utilizate în bunuri de larg consum, duze de rachete, senzori ceramici de gaze (CO, NO<sub>x</sub>), microsenzori magnetici, senzori semiconductori rezistivi de gaze combustibile.

### 1.1.3. Aliaje cu memoria formei-AMF

#### 1.1.3.1. Generalități

Prima raportare referitoare la "efectul de memorie a formei" a fost semnalată prin anii 1930 [17, 82]. Conform abordării monografice ale lui Otsuka și Wayman, Ölander, A. a fost cel care a descoperit pseudoelasticitatea la aliajele AuCd, InTi, CuZn, pentru prima oară în anul 1932 [131].

Greninger & Mooradian, în anul 1938, au studiat, din același punct de vedere, comportarea aliajelor Cu-Zn, observând dezvoltările fazelor martensitice.

Fenomenele de bază ale efectului de memoria formei, guvernate de termoelasticitate și de transformările martensitice, au făcut, pe rând, obiectul studiului Kurdjumov și Khandros (1949) și în continuare Chang și Read (1951).

În anul 1960, Buehler și colaboratorii săi, de la U.S. Naval Ordnance Laboratory - Monterey California, au descoperit "efectul de memorie a formei" în aliajul echiatomic de nichel și titan. Acest aliaj a fost denumit NITINOL (Nikel-Titanium Naval Ordnance Laboratory). La începutul anului 1961 a apărut prima aplicație industrială a aliajului NiTi dezvoltată de compania Raychem. Ea se referă la manșonul Cryofit utilizat în aeronautică care înlocuia sudurile, atunci când se înlocuiau și era destinat să facă legătura între două tuburi de Ti. În ciuda câtorva dezvoltări în domeniile strategice (spațial, militar, nuclear) foarte puține aplicații s-au bazat pe o producție de masă, iar dezvoltarea industrială a tehnologiei AMF apare abia în prezent. Treptat AMF au trezit un interes constant atât pentru cercetători cât și pentru personalul din industrie și chiar pentru publicațiile de specialitate. Până în prezent se cunosc 20 de familii de AMF, observându-se în cercetare 2 tendințe: una de a se căuta noi familii, iar alta de a se investiga căi de îmbunătățire a celor existente Primele eforturi, în exploatarea potențialului NiTi, în domeniul utilizării materialului în tehnica implantului, au fost făcute de către Castelman ș.a. în 1976 [132].

Utilizarea NiTi în aplicații medicale a fost raportată pentru prima dată după anii 1970: Cutright ș.a. în 1973, Iwabuchi ș.a. în 1975, Castelman ș.a. în 1976, Simon ș.a. în 1977. Însă abia după 1990 utilizarea NiTi ca biomaterial devine de excepție, întrucât efectele de memorie a formei și de superplasticitate prin complementaritatea lor, oferă noi posibilități față de aliajele convenționale [133].

În 1972, un raport comandat de NASA identifică mai mult de cincizeci de aplicații ale aliajelor cu memorie a formei, în sectoare industriale legate de activități spațiale și militare. După 20 de ani, în 1993, un raport de studiu comandat de Hydro - Quebec identifică 7 sectoare de aplicații și mai mult de 60 de produse. Această piață, în evoluție, este mondială și dezvoltarea ei nu poate fi atribuită unei singure țări. Iată de ce, grupul industrial capabil să ia măsuri trebuie neapărat să aibă o dimensiune internațională și nu trebuie să-și concentreze activitatea numai asupra sectoarelor tradiționale rezervate aliajelor cu memorie a formei (spațial, nuclear, militar), ci să dezvolte și produsele de larg consum.

În ultimul timp, se constată un interes crescut pentru AMF, care au fost incluse în programele de cercetare și realizare a materialelor cu proprietăți deosebite, din numeroase țări.

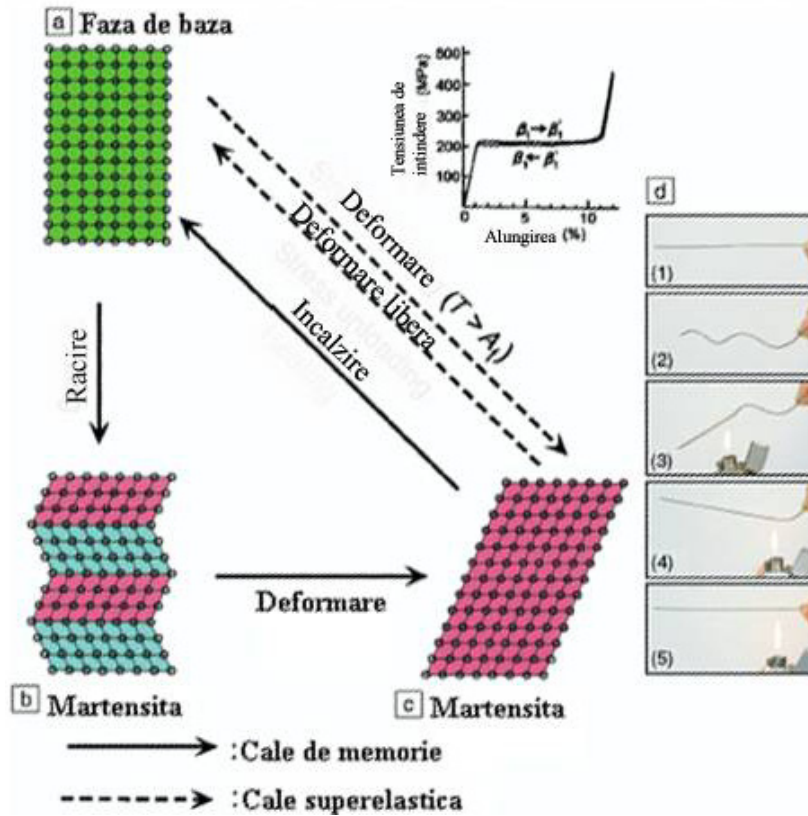


Figura 1.30 Explicarea fenomenului de memorie a formei [131]

Punerea la punct a unui produs complex, bazat pe AMF, necesită alocarea unor sume importante atât în producție, cât și în activitatea de cercetare – dezvoltare. În cazul lansării unei aplicații în practică este necesar ca toți partenerii să aibă cunoștințele de bază referitoare la metalurgia AMF, legile lor de comportament mecanic și rezistența acestora la oboseală. Aceste cunoștințe trebuie bine însușite pentru a concepe un dispozitiv fiabil, care în practică să se comporte ca un produs competitiv.

Astăzi, AMF își găsesc locul în cele mai variate domenii ale vieții economico-sociale, fiind utilizate cu succes în ramuri de vârf.

### 1.1.3.2. Tipuri de aliaje cu memoria formei

De la descoperirea NiTi, încă cel puțin 15 tipuri de aliaje binare, ternare sau cuaternare au fost găsite manifestând efecte de memoria formei și superelasticitate. Câteva dintre aceste aliaje se regăsesc prezentate în tabelul 1.4 [133, 122, 123, 124].

Tabelul 1.4 Tipuri de aliaje cu memoria formei

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| Titan-Paladiu-Nichel     | Fier-Magneziu-Siliciu     |
| Nichel-Titan-Cupru       | Nichel-Titan              |
| Aur-Cadmiu               | Nichel-Fier-Zinc-Aluminiu |
| Fier-Zinc-Cupru-Aluminiu | Cupru-Aluminiu-Fier       |
| Titan-Niobiu- Aluminiu   | Titan-Niobiu              |
| Uraniu-Niobiu            | Zirconiu-Cupru-Zinc       |
| Hafniu-Titan-Nichel      | Nichel-Zirconiu-Titan     |

### 1.1.3.3. Domenii de aplicare ale aliajelor cu memoria formei

Aliajele cu memoria formei, AMF, prin potențialul de care dispun și-au găsit o aplicabilitate directă în industrie, în prezent fiind explorate numeroase domenii, care pot beneficia de comportamentul deosebit al acestor materiale inteligente []. Dacă într-un capitol anterior au fost trecute în revistă principalele aplicații fundamentale ale

AMF, în cele ce urmează vor fi prezentate cele mai cunoscute aplicații ale acestora, fără, însă, a fi neglijate și cele mai recente cercetări în acest domeniu.

Identificarea posibilelor aplicații ale aliajelor cu memorie, precum și înțelegerea modului cum acționează ele, se pot realiza evidențiind cu claritate principiile de utilizare ale AMF:

- utilizarea efectului de memorie propriu-zis: vizează aplicațiile care folosesc AMF în structura reclamelor publicitare, în industria jucăriilor sau în opere de artă, utilizând efectul de memorie numai pentru aspectul lui „inedit”;
- utilizarea forței produse de efectul de memorie: permite asigurarea unei fixări ferme, de această caracteristică uzând aplicațiile din domeniul conecticii;
- utilizarea deplasării produse de efectul de memorie: permite acționarea sau activarea comandată a unor elemente, apărând un domeniu nou, actuatorica;
- utilizarea capacității de senzor: datorită modificării suferită de AMF sub acțiunea temperaturii, acestea pot fi folosite, cu succes, direct ca elemente senzoriale termice sau indirect ca senzori de curent;
- funcția de regulator a AMF este îndeplinită de dispozitivele cu aliaje cu memorie, grație modificărilor dimensionale în funcție de temperatura mediului în care acționează respectivele dispozitive;
- superelasticitatea: utilizată datorită capacității AMF de a realiza deformații de valoare ridicată (de aproape zece ori mai mari decât la aliajele obișnuite) în condițiile păstrării unei forțe aproximativ constante (se folosesc mai ales în domeniul medical, unde temperatura constantă a corpului uman constituie o premisă ideală);
- capacitatea de amortizare a vibrațiilor: permite folosirea acestor materiale acolo unde se impun condiții severe privind limitarea zgomotelor sau a vibrațiilor;
- capacitatea de convertire a energiei termice în energie mecanică: insuficient dezvoltată pentru a fi capabilă să conducă la diferite soluții tehnice ingenioase.

Pe baza principiilor de utilizare prezentate se dezvoltă trei direcții importante de aplicare în practică:

- înlocuirea subansamblelor realizate din materiale clasice cu subansamble realizate cu materiale cu memorie, care dispun de caracteristici superioare;

- simplificarea structurilor clasice prin re-proiectarea acestora pornind de la caracteristicile fizico-chimice ale materialelor cu memorie. Aceasta permite realizarea aceluiași scop prin folosirea unui singur element din AMF, care va putea prelua funcția unui subansamblu, simplificându-se astfel construcția;
  - dezvoltarea unor noi aplicații care reprezintă soluții complet diferite față de cele existente și care au la bază proprietățile deosebite ale AMF.
- Aplicații specifice ce apelează la aliajele cu memoria formei sunt prezentate în cele ce urmează.

- *Structuri senzoriale, regulatoare, elemente de acționare*

Datorită modului în care aliajele cu memorie reacționează în condiții de temperaturi diferite, subansamblurile realizate cu aceste materiale pot îndeplini atât rolul de element senzorial, de element de reglare, cât și rolul unui element de acționare. Combinarea acestor funcții poate conduce la realizarea unor structuri cu o aplicabilitate deosebită.

Un exemplu de aplicare a funcției senzoriale este marcatorul termic produs de Societatea Imago din Franța [126].

Această structură permite asigurarea unei temperaturi constante de păstrare a unor produse utilizate, mai ales în domeniul alimentară și medical.

Marcatorul termic, Imago, are dimensiunile unui pachet de țigări, sesizând prin intermediul unui martor colorat (o bilă de culoare roșie) dacă temperatura depășește valoarea prestabilită ( $-18^{\circ}\text{C}$  la produse congelate).

Cerințele pieței au impus noi direcții de cercetare, pe care Imago le-a concretizat în noi generații de marcatori termici. Una dintre aceste direcții a permis punerea la punct a unui marcator termic cu histeresis scăzut, prin utilizarea unui resort de Ni-Ti.

Elementele din AMF pot să preia funcția senzorială a bimetalilor pentru sesizarea depășirii unei anumite temperaturi. Pe lângă prețul mai mic, față de bimetal, se asigură și o deplasare mare, într-un interval mic de temperaturi.

Siguranțele termice pot fi utilizate de mai multe ori și folosesc fie un element AMF, care asigură închiderea circuitului, fie un arc din AMF, în ambele cazuri ele fiind calibrate pentru o anumită valoare a curentului. Depășirea acestei valori provoacă încălzirea și întreruperea contactului.

Contactoarele termice funcționează pe același principiu; elementul din AMF blochează o piesă din material izolant care întrerupe sau asigură circuitul. Încălzirea



Figura 1.31 Cilindrii pneumatici având mecanismul de acționare din aliaj cu memoria formei

lamelei, din Ni-Ti, blochează piesa care este împinsă de un arc și circuitul se întrerupe. După răcire se poate realiza o nouă anclanșare.

Regulatele folosesc mai bine ansamblul de proprietăți de care se bucură AMF. Mărima de intrare în regulator furnizează și un semnal termic care face ca regulatorul să adopte poziții prestabilite în sensul modificării mărimii de ieșire. Un exemplu elocvent, în acest sens, îl reprezintă inelul regulator și a fost propus de firma Delta Memory Metal Company (Marea Britanie) pentru reglarea debitului de combustibil.

Utilizarea unui inel regulator realizat din AMF, pentru carburatoarele autovehiculelor, face ca debitul de combustibil să rămână aproximativ constant, deoarece, prin încălzire, inelul își micșorează secțiunea de trecere și echilibrează efectul de modificare a vâscozității. Trebuie remarcat în același timp și avantajul reducerii emisiei de gaze poluante ca urmare a utilizării unui asemenea sistem.

Industria autoturismelor pare să fie cel mai important beneficiar al aliajelor cu memoria formei.

Firma Mercedes folosește cu succes arcuri din aliaje cu memorie de reglarea forței de cuplare în cutiile automate de viteză. Se asigură astfel, o forță constantă de cuplare, indiferent de temperatură[53].

Rolul de regulator al AMF se poate folosi și la realizarea de diverse supape.

De multe ori, este dificil de precizat rolul funcțional primordial, de regulator sau de element de acționare, al AMF, în aplicațiile realizate.

Între acestea, se numără și orientarea celulelor solare. La sistemele de captare a energiei solare poziția acestora este ajustată de elementele de acționare din aliaje cu efect dublu de memorie a formei.

- *Dispozitive de acționare realizate din aliaje cu memorie*

Un aliaj din aliaj cu memorie, din familia Cu-Zn-Al, se poate folosi la acționarea soclului de la motorul autovehiculelor.

Există dispozitive de acționare bazate pe utilizarea materialelor cu memorie, disponibile în varianta comercială, furnizată de firma DSM-Mission Critical Motion Control. Acesta asigură o mișcare de 28 mm, având posibilitatea să manevreze o greutate de 9N. Firul cu memorie este alimentat cu un curent de maxim 3A și o tensiune de 15V. Prin alimentarea corespunzătoare, forța manevrată poate varia între 0 și 9 N, în timp ce deschiderea dispozitivului de acționare va fi cuprinsă între 0 și 28 mm.

O aplicație recentă este un SMAC (Shape Memory Actuated Cylinder: servo-motor cu memorie a formei), care poate înlocui sistemele de comandă tradiționale.

În acest caz, un element electric auto-limitat (PTC) este integrat în axa și încălzește resortul din AMF. Acest resort



Figura 1.32 „Mușchi” cu elemente din aliaje cu memoria formei

se opune resortului de menținere a poziției, prin ușița resortului și determină o mișcare liniară. Printr-o piuliță este posibilă reglarea momentului (temperaturii) de declanșare a resortului cu memorie a formei. Principalul avantaj al acestui servosistem, este deplasarea sa liniară și uniformă, nemaifiind astfel nevoie de un mecanism auxiliar care să transforme mișcarea de rotație într-o mișcare de translație. Caracteristicile acestui dispozitiv sunt: manipularea unei sarcini de până la 400N; deplasare 10 mm (greutate: 400N); activare utilizând orice tensiune; greutate 0,5 kg.

Scopul acestui proiect este de a dezvolta un SMAC de poziționare cu precizie. Prima versiune destinată acționării unui „space gripper” (clești robotizați pentru spațiul cosmic) a fost concretizată într-un dispozitiv pentru manipularea experiențelor științifice într-o stație spațială (Free Flyer – Proiect Columbus) [177].

- *Jucării acționate de aliaje cu memorie*

Bazate pe demonstrația directă a efectului de memorie a formei, jucăriile executate din aliaje cu memorie realizează o modificare a formei sau mișcări cu amplitudine redusă, care duc la simularea mișcării.

Principiul de acționare, în cazul acestor aplicații, se bazează pe utilizarea unui oscilator care să permită încălzirea firului AMF, pentru ca în pauzele dintre oscilațiile de amplitudine maximală să facă



Figura 1.33 Mortorașul care acționează ochiul și pleoapa unei păpuși



Figura 1.34 Amortizor cu elemente active din aliaj cu memoria formei

posibilă răcirea firului în condițiile de mediu în care acesta operează [177].

În figura 1.33 este prezentat un motoraș care acționează ochiul și pleoapa unei păpuși, care va putea să miște sau să închidă ochii și să clipească. Motorașul are dimensiunea unei agrafe mici de birou și poate dezvolta o putere pentru a putea ridica o greutate de 195 g, având durata de viață de un milion de cicluri. Motorașul folosește fire din aliaje cu memoria formei, care pot fi prelucrate cât mai subțire iar la trecerea curentului se contractă ducând la o clipire sau rotație a ochiului. Se estimează că piața pentru astfel de motorașe pentru jucării și super aplicații este de cca. 12 miliarde \$ [50].

- *Structuri mecanice acționate de pistoane cu materiale cu memorie*

În cadrul Laboratorului de roboți, al catedrei de Mecatronică, Facultatea de Automatică, Calculatoare și Electronică, Universitatea din Craiova, au fost realizate și experimentate o serie de dispozitive de laborator destinate evidențierii caracteristicilor materialelor cu memorie, precum și a posibilităților lor aplicații în construcția echipamentelor electrocasnice [177].

Ca element de bază a fost folosit un piston a cărui acționare se bazează pe un arc cu memorie. Arcul cu memorie intră în componența pistonului, într-o cameră interioară, protecția acestui arc, la suprasolicitări mecanice, realizându-se prin includerea în structură a unui arc de suprasarcină (overforce spring).

O astfel de structură poate fi folosită cu succes la dispozitivele de prindere – eliberare ale mașinilor unelte, ale roboților echipamentelor electrocasnice. Noua structură înlocuiește pistoanele hidraulice cu pistoane cu materiale cu memorie.

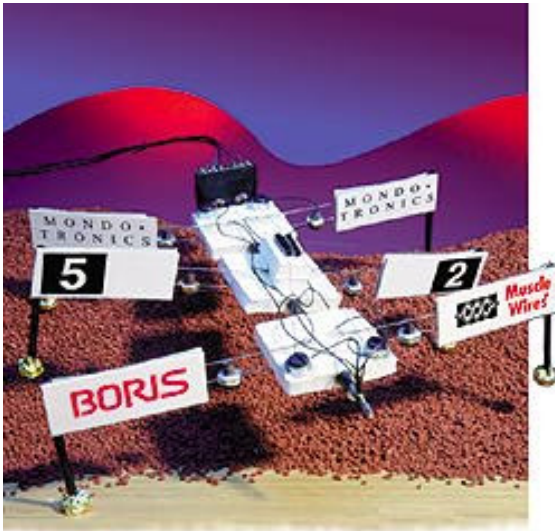


Figura 1.35 Robot având „membrele” din fire de aliaje cu memoria formei

- *Yală acționată de aliaje cu memorie*

Yala acționată cu aliaje cu memoria formei are la bază utilizarea unui fir din material cu memorie, care, la activare (alimentarea cu tensiune electrică), datorită micșorării dimensiunilor lui, învinge elementul elastic, care a acționat

sistemul de închidere. Resortul are rolul de a asigura centrarea închizătorii în dreptul elementului de reținere.

- *Robotică*

Robotica este unul din domeniile în care AMF au perspective frumoase de utilizare, în special acolo unde se dispune de spații mici sau, de exemplu, în mediile ostile, cum sunt câmpurile magnetice intense care interzic utilizarea micromotoarelor electrice clasice [178].

Corporația Toki din Japonia a realizat un robot acționat de elemente din aliaj Ni-Ti, care asigură o precizie de poziționare de  $\pm 0,15$ .

De multe ori, doar componente ale roboților se realizează din aliaje cu memorie a formei. Din rândul ultimelor sisteme fac parte și mâinile acționate cu materiale cu memorie. O realizare notabilă este reprezentată de mâna realizată de compania Oaktree Automation. Antebrațul mâinii adăpostește 108 fire în paralel, de Flexinol de 250  $\mu\text{m}$ , fire care permit închiderea și deschiderea mâinii, respectiv apucarea și eliberarea unui obiect. Această mână a fost folosită pentru a asigura comunicarea tactilă a persoanelor cu handicap vizual sau auditiv.



Compania Hitachi Ltd. a realizat o mână având ca sistem de acționare fire din materiale cu memorie. Cele 4 degete aveau o greutate de 4,5 kg și o lungime de 70 cm, inclusiv antebrațul, putând manevra o sarcină de 2 kg. Posibilele aplicații ale acestei realizări au inclus lucrul în medii ostile, micromanipularea și activități submarine.

A fost realizat, de asemenea, un prototip al unui robot construit din tuburi de AMF, prin care poate circula un lichid cald sau rece, variația de temperatură asigurând efectuarea mișcărilor.

Acționarea se poate realiza în diverse medii, un exemplu fiind utilizarea aliajelor cu memorie în tehnica aerospațială. La telescopul spațial Hubble un știft din aliaj cu memorie Ni-Ti „și-a adus aminte” de forma sa (la temperatura de +155°C) și s-a îndreptat, permițând acționarea mecanismului de dirijare a celulelor solare. Totodată, au fost dezvoltate și o serie de cercetări destinate construcției unei structuri robotice complet acționate de aliaje cu memorie. Un exemplu comercial, în acest domeniu, care face parte, însă, tot din sfera divertismentului, este robotul BioMetal Silent Arm Demo, dezvoltat de TOKI Robotics [51]

- *Aliaje cu memoria formei în medicină*

Datorită proprietăților și comportării excelente la acțiunea corozivă, acest tip de aliaj a deschis noi piețe și oportunități. Aliajele cu memoria formei de tipul NiTi sunt folosite într-o varietate de aplicații în medicină ca și implanturi sau instrumente [179]. Aproximativ 90 % din toate aplicațiile medicale fac uz de superelasticitate, iar restul de 10 % folosesc caracteristicile de deformație martensitică ale acestui tip de aliaj.

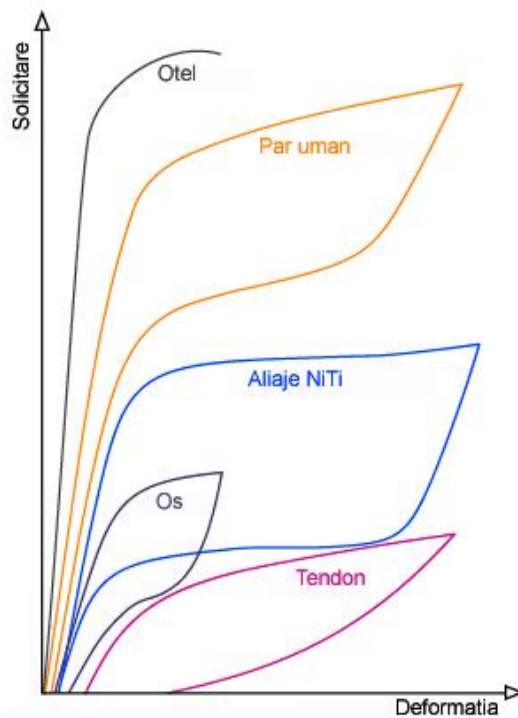


Figura 1.36 Raport între deformația și solicitarea unor materiale/țesuturi folosite în medicină

Depărtătorul din figura 1.37 este un instrument superelasic folosit cu precădere în operații pe cord deschis. Instrumentul se obține prin decuparea cu ajutorul unui laser de tăiere iar apoi este supus unui tratament termic ca în utilizare să se depună un efort minim pentru deschiderea cavității toracice.



Figura 1.37 Depărtător

În figura 1.38 este prezentat un cateter folosit în chirurgia cardiovasculară pentru măsurarea diametrului interior și lărgirea vaselor coronariene. Principalul avantaj este flexibilitatea vârfului în formă de con. Instrumentul este pe deplin reutilizabil.



Figura 1.38 Sondă / cateter de examinare coronară



Figura 1.39 Reper procesate cu laser

În figura 1.39 se prezintă diferite proteze-implanturi ce pot fi găsite pe piață. Aceste obiecte medicale pot fi elaborate sub formă de tuburi sau folii cu ajutorul laserului.

În figura 1.40 se prezintă un instrument martensitic flexibil folosit în operațiile neurochirurgicale.



Figura 1.40 Spatulă

- *Aliaje cu memoria formei în aplicații industriale*

Componentele din acest tip de aliaj sunt folosite într-un număr mare ca soluții industriale, la navele terestre și cosmice ca de altfel în interconectarea de tubulatură. Alte arii de aplicații cum ar fi fabricația de autovehicule și Formula 1 folosesc componente din aliaj NiTiNOL.

Evident multe din aceste aplicații se folosesc de efectul de memorie a formei al aliajului.

Un racord mamă / tată prezentat în figura 1.41 bazat pe efectul de contracție / dilatare termică oferit de aliajul cu memoria formei.



Figura 1.41 Racord mama / tata

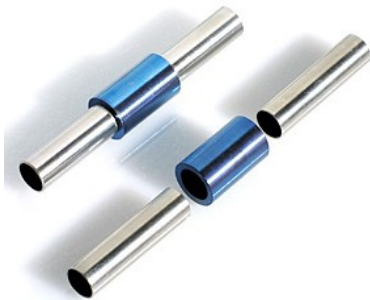


Figura 1.42 Manșon de conectare

În figura 1.42 este prezentat un manșon de cuplare a tubulaturii din titan la navele spațiale, manșon care asigură conectivitatea bazându-se pe efectul termic de memorie a formei al aliajului ternar NiTiNb.

În figura 1.43 este prezentat un instrument de curățire iar în figura 1.44 cleme de poziționare procesor-socket placă de bază.

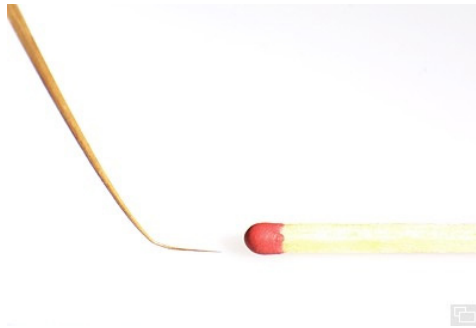


Figura 1.43 Instrument de curățare

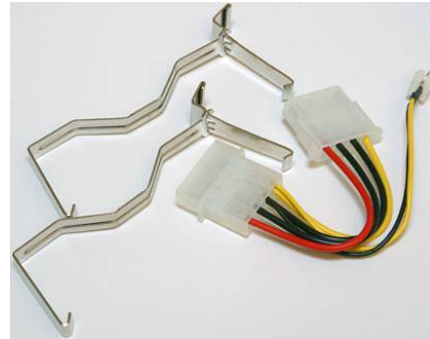


Figura 1.44. Cleme de poziționare radiator pe procesorul alculatorului

### ***Aplicații la nivelul României***

În România aliaje cu memoria formei se găsesc sub formă de ustensile medicale în special din domeniul chirurgiei. Toate aceste ustensile sunt importante din Occident, din țări cu tradiție în producerea echipamentelor și ustensilelor medicale. România nu produce astfel de materiale pe scară largă ci doar pentru cercetări de laborator.

#### **1.1.4. Materiale compozite**

##### ***1.1.4.1. Generalități***

Studierea corelației structură-proprietăți constituie punctul nodal al selecției materialelor existente și al dezvoltării de noi materiale și tehnologii de prelucrare pe de o parte, iar pe de altă parte, aceasta are o mare importanță pentru ca noile tehnologii de prelucrare să conducă la avantaje economice etc.[77, 78, 147].

Materialele compozite sunt materiale cu proprietăți anizotrope, formate din mai multe componente, a căror organizare și elaborare permite folosirea celor mai bune caracteristici ale componentelor: rezistență la tracțiune, rigiditate, conductivitate

termică, rezistență la abraziune, astfel încât acestea să aibă proprietăți finale în general superioare componentelor din care sunt alcătuite [156, 157]

Materialele compozite fac parte din categoria "materialelor avansate", alături de materialele ceramice, polimerii tehnici, aliajele cu memoria formei etc.

În figura 1.45 se prezintă evoluția consumului, aplicațiilor și prețul materialelor compozite.

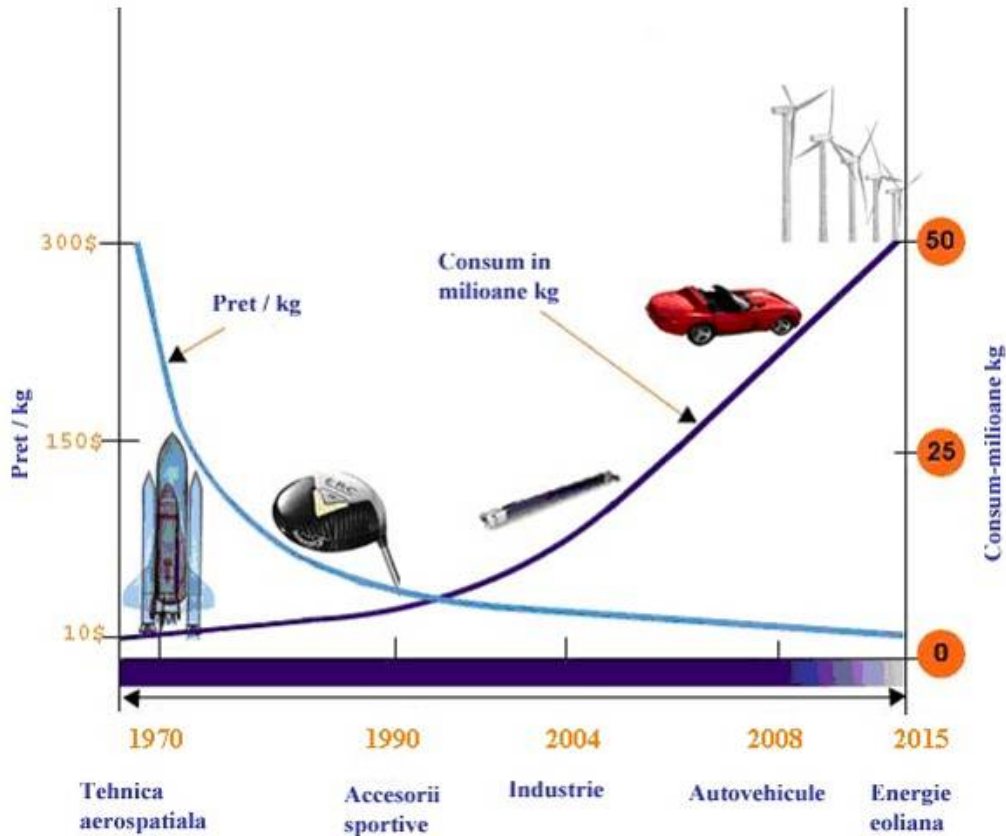


Figura 1.45 Evoluția consumului, aplicațiilor și prețul materialelor compozite [77].

Piața globală pentru consumul de materiale compozite este de aprox. 140000 tone / an de fibre armate: fibre de carbon, aramidă, polietilenă de înaltă densitate, bor, sticlă având o valoare de circa 900-1000 milioane \$. Pentru următorii 5 ani, datorită cerinței pe piață, va exista o creștere la circa 180000 tone / an, iar valoarea va ajunge la 1,2 miliarde \$. Prețul va continua să scadă de la 12-15\$/kg la 10\$/kg în următorii 2- ani ceea ce va duce la o utilizare mai intensă a acestor materiale [152]. Matricile termoplastice dețin aprox. o treime din volumul materialelor compozite. Rata de creștere este de 100%. Piața globală pentru fibre de carbon s-a dublat din 1998 iar capacitatea de producție este de 30000 tone / an.

Cererea pentru produse armate cu fibre de aramidă și fibre de polietilenă modulară este mare, în mod deosebit în balistică pentru protecția personală, vehicule și cockpit-ul aeronavelor.

Piața pentru compozite carbon-carbon reprezintă un volum mic, dar valoarea sectorului nișă este de peste 1,1 miliarde \$. Sistemele de frânare de la avioane reprezintă principala arie de folosință, cu o pondere de 2/3 din volum.

Compozitele avansate, în special cele armate cu fibre de carbon, continuă să-și extindă aria de aplicație în construcția avioanelor; ambii giganți: BOEING și AIRBUS utilizează astfel de materiale.

Posibilitatea de armare cu fibre minerale sau metalice a matricilor a dus la apariția materialelor compozite. Piața mondială pentru nanocompozite, nanoparticule, nanotuburi, a atins 12 milioane kg. și o valoare de 90 milioane \$ și se așteaptă o creștere anuală de 18 %, la circa 250 milioane \$ până în 2012 [156].

Volumul de producție al nanocompozitelor termoplastice și termorigide este aproximativ la fel. Până în 2015, compozitele termoplastice vor deține 77% din sectorul de piață; chiar dacă sunt scumpe, ele vor fi folosite pentru că sectoarele care reclamă AMF sunt de vârf și acolo nu contează costul. În tabelul 1.5 se arată câteva caracteristici ale unor materiale folosite ca matrici sau armături.

Tabelul 1.5 Caracteristici generale a câtorva materiale [73, 76, 77]:

| Caracteristici            | Ceramice          | Metale            | Polimeri         |
|---------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Densitate                 | Joasă spre Înaltă | Joasă spre Înaltă | Joasă            |
| Duritate                  | Înaltă            | Medie             | Joasă            |
| Rezistența la rupere      | Joasă spre Medie  | Înaltă            | Joasă            |
| Rezistență la compresiune | Înaltă            | Medie spre Înaltă | Joasă spre Medie |
| Modulul lui Young         | Medie spre Înaltă | Joasă spre Înaltă | Joasă            |
| Punct de topire           | Înaltă            | Joasă spre Înaltă | Joasă            |
| Stabilitate dimensională  | Înaltă            | Joasă spre Medie  | Joasă            |
| Expansiune termică        | Joasă spre Medie  | Medie spre Înaltă | Înaltă           |
| Conductivitate termică    | Medie             | Medie spre Înaltă | Joasă            |
| Rezistență la șoc termic  | Înaltă            | Medie spre Înaltă | Înaltă           |
| Rezistență electrică      | Înaltă            | Joasă             | Înaltă           |
| Rezistență chimică        | Înaltă            | Joasă spre Medie  | Medie            |
| Rezistență la oxidare     | Medie spre Înaltă | Joasă             | Joasă            |
| Prelucrabilitate          | Medie             | Joasă             | Medie            |

În figura 1.46 se prezintă domeniile de utilizare materiale compozite și ponderea pe fiecare sector [147, 156]

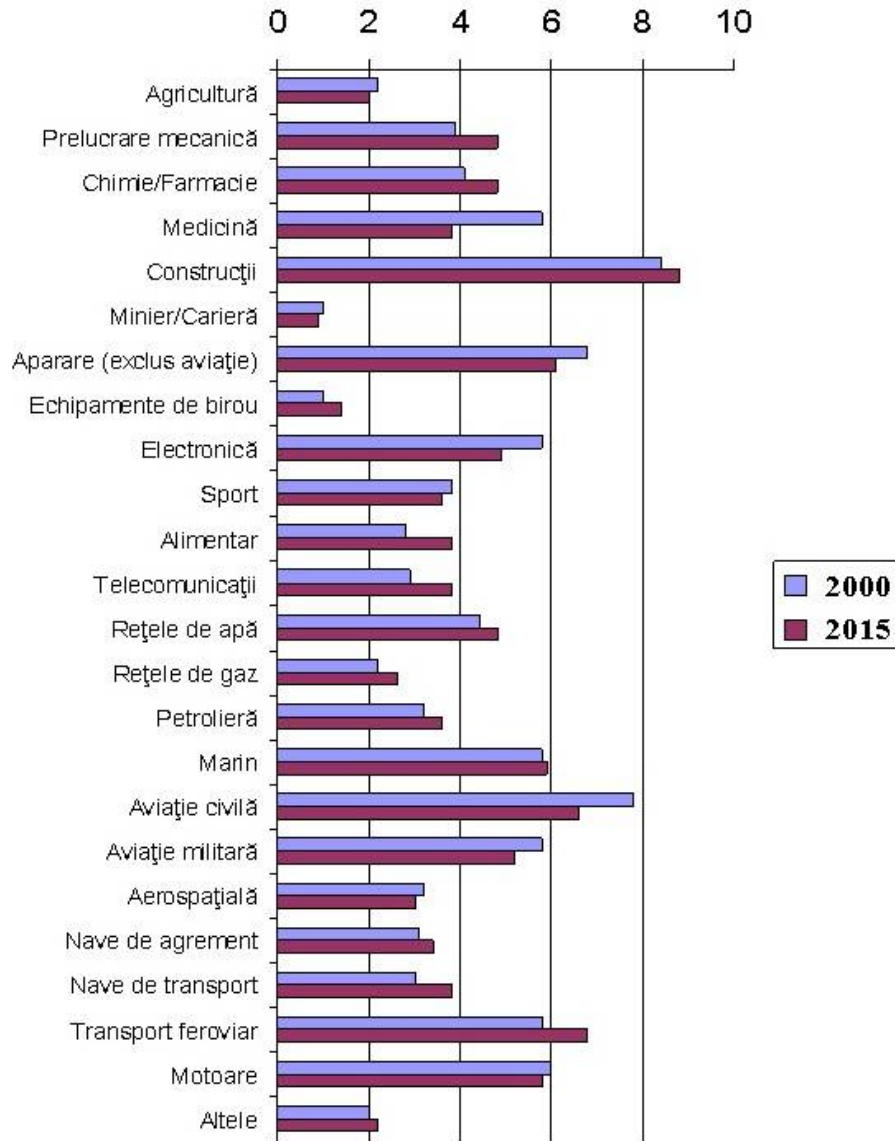


Figura 1.46 Domeniile de utilizare materiale compozite și ponderea în procente pe fiecare sector [29].

#### 1.1.4.2. Tipuri de materiale compozite

Astăzi cele mai utilizate materiale compozite se pot clasifica în trei grupe [5, 10, 27]:

- materiale compozite cu matrice polimerică: Polymer Matrix Composites - PMC. Aceste materiale sunt cele mai comune și utilizate, constituite dintr-o matrice polimerică armată de fibre de sticlă, carbon, aramidă;

- materiale compozite cu matrice metalică: Metal Matrix Composites - MMC, sunt găsite în industria de autovehicule unde matricea este de regulă din aluminiu iar fibrele de armare sunt din carbură de siliciu;
- materiale compozite cu matrice ceramică: Ceramic Matrix Composites - CMC, sunt folosite la temperatură înaltă unde fibrele de armare sunt scurte sau whiskers-uri formate din fibre din carbură de siliciu și nitrură de bor.

În figura 1.51 Se arată ponderea în utilizarea unor tipuri de fibre de armare.

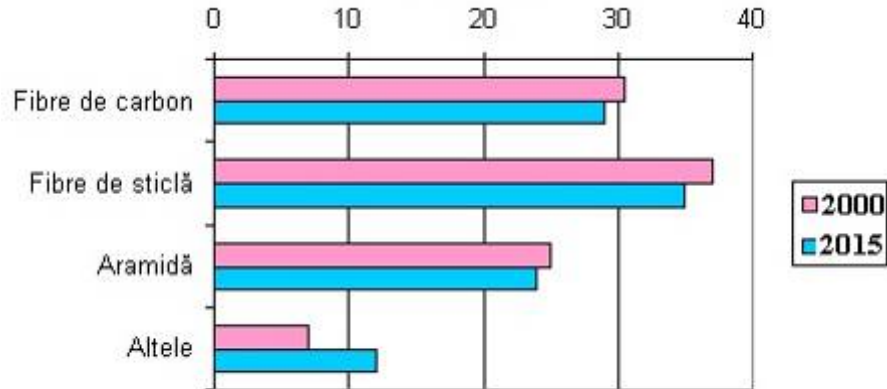


Figura 1.47 Utilizarea unor tipuri de fibre de armare și ponderea în utilizare în procente[29]

O familie de fibre de armare pentru matrici polimerice o reprezintă fibrele de sticlă cu diametru între 3 – 19  $\mu\text{m}$ . Fibrele de sticlă de armare sunt clasificate în concordanță cu proprietățile lor. În prezent sunt cinci tipuri de sticlă pentru realizarea fibrelor. În tabelul 1.6 se prezintă compoziția chimică a unor tipuri de fibre de sticlă de tip "A", "C", "E".

Litera destinată este în conformitate cu principala proprietate, astfel:

- fibre de sticlă "A" oferă o bună rezistență la acțiunea factorilor chimici, dar cu proprietăți electrice scăzute;
- fibre de sticlă "C" oferă rezistență ridicată la acțiunea factorilor chimici;
- fibre de sticlă "E" au un conținut alcalin scăzut și manifestă o bună izolație electrică și o puternică rezistență la acțiunea apei. Peste 50% din fibrele de sticlă pentru armare sunt de acest tip;
  - fibre de sticlă "S" reprezintă o sticlă foarte rezistentă având cu 33 % rezistența la rupere mai mare decât a fibrelor de sticlă de tip "E";
  - fibre de sticlă "D" au constantă dielectrică scăzută cu proprietăți electrice superioare dar cu proprietăți mecanice mai puțin bune comparativ cu fibrele de sticlă de tipul "E" și "S".

Fibrele de sticlă acoperite cu nichel sunt folosite ca armături în componentele care trebuie să conducă electricitate. Marele dezavantaj al fibrelor de sticlă este unidirecționalitatea armăturii care conduce la contracții inegale și deformări.



Tabelul 1.6 Compoziția chimică a unor tipuri de fibre din sticlă de tip "A", "C", "E"[27]

| Fibre de sticlă                | "A" % | "C" % | "E" % |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 72.0  | 64.6  | 54.3  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.6   | 4.1   | 14.8  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -     | -     | 0.4   |
| CaO                            | 10.0  | 13.4  | 17.3  |
| MgO                            | 2.5   | 3.3   | 4.7   |
| Na <sub>2</sub> O              | 14.2  | 7.9   | 0.6   |
| K <sub>2</sub> O               | -     | 1.7   | -     |
| B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | -     | 4.7   | 8.0   |
| BaO                            | -     | 0.9   | -     |
| F <sub>2</sub>                 | -     | Tr.   | 0.1   |

Poliesteri, vinilesteri și epoxi se găsesc în 90 % ca rășini termorigide. În tabelul 1.7 se prezintă avantajele și dezavantajele unor rășini termorigide.

Tabelul 1.7 Avantajele și dezavantajele unor rășini termorigide [152]

|             | POLIESTERI   | VINILESTERI   | EPOXI  |
|-------------|--|---|--|
| Avantaje    | Ușor de folosit<br>Cel mai mic cost<br>(1,8-3,6 \$ / kg)                             | Rezistență înaltă la<br>coroziune chimică   | Proprietăți mecanice și<br>termice înalte<br>Rezistența la<br>temperatura mai mare<br>de 140° C în mediu<br>umed și 220° C în<br>mediu uscat |
| Dezavantaje | Proprietăți<br>mecanice<br>moderate<br>Emisie de stiren*<br>Timp de lucru<br>limitat | Conținut de stiren<br>ridicat<br>Cost mai mare<br>decât al<br>poliesterilor (3,6-<br>7,2 \$ / kg) | Cost mai mare decât al<br>vinilesterilor (5,4-27 \$ /<br>kg)<br>Rezistență mică la<br>coroziune  |

*\*, hidrocarbură aromatică nesaturată cu aspect de lichid incolor, transparent cu gust dulce, folosită la fabricarea polistirenului, a cauciucului sintetic etc.*

#### 1.1.4.3. Domenii de aplicare a materialelor compozite

Materiale ca titanul, oțelul inoxidabil sau aluminiul sunt folosite încă la realizarea plăcilor bipolare, rezervoarelor de combustibil, bateriilor etc. dar termoplasticele, termorigidele și nanofibrele sunt candidate de a înlocui aceste materiale tradiționale datorită conductivității, rezistenței la coroziune, stabilitate dimensională, rezistență la foc etc. Se estimează că până în 2015 piața bateriilor va atinge valoarea de 7,5 miliarde \$ și va crește dramatic în următorii 5 ani [156].

Atât pe uscat cât și în aer, materialele compozite au implicații importante în domenii ca cel: aerospațial, militar, industrial, comercial, de la sateliți, rezervoare de combustibil, schimbătoare de căldură, dispozitive optice, dispozitive medicale și sportive etc. sunt acolo unde acele industrii care reclamă înaltă performanță.

Datorită excelentelor caracteristici: rezistență vs. greutate, rigiditate vs. greutate, materialele compozite sunt ideale spre a fi folosite în aeronautică unde o greutate redusă este esențială.

Figurile 1.48 - 1.50 prezintă ponderea în utilizare materialelor compozite în Europa de Vest, Asia, Oceania și restul lumii.

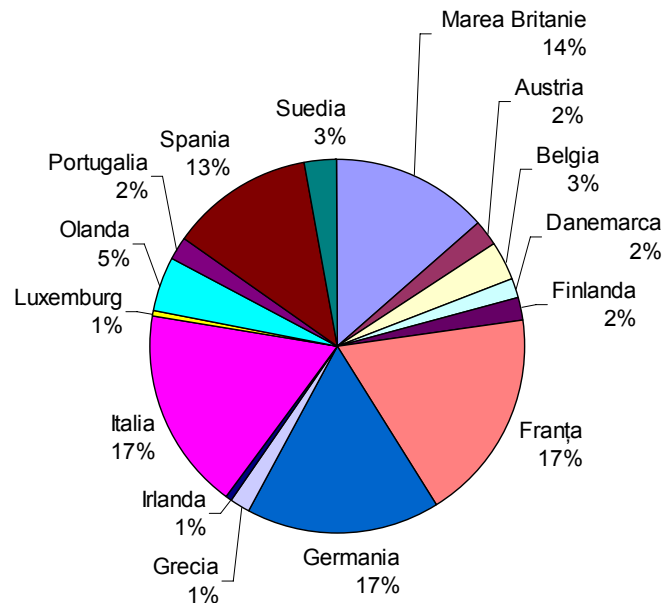


Figura 1.48 Ponderea în utilizare materialelor compozite în Europa de Vest [156]

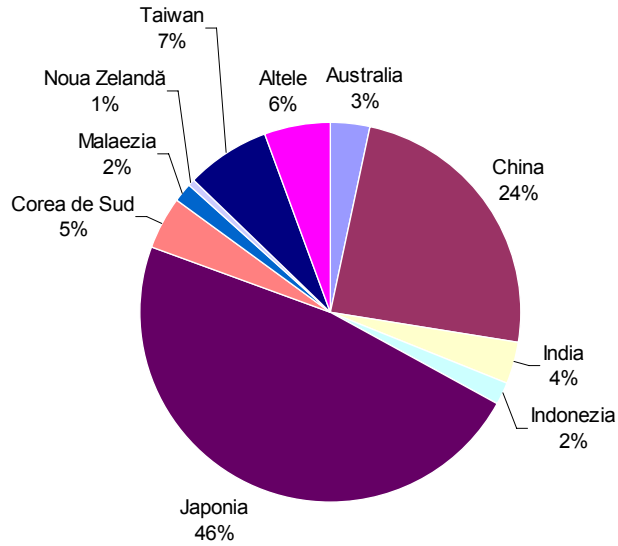


Figura 1.49 Ponderea în utilizarea materialelor compozite în Asia și Oceania [152]

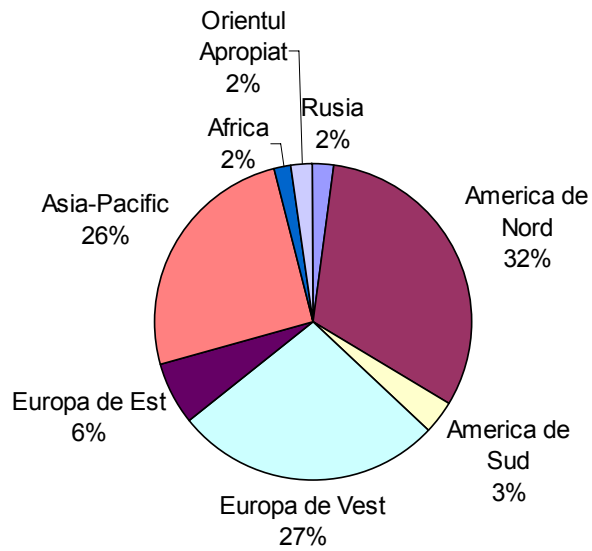


Figura 1.50 Ponderea în utilizarea materialelor compozite în lume [152].

## 2. PROCEDEE DE SUDARE MODERNE PENTRU IMBINAREA MATERIALELOR COMPOZITE POLIMERICE

### 2.1. SUDAREA CU ULTRASUNETE

Numeroasele aplicații ale ultrasunetelor în diverse ramuri ale tehnicii se datoresc efectelor produse de acestea ca urmare a proprietăților pe care le posedă undele ultrasonore : lungimea de undă mică, accelerația particulei foarte mare putând atinge  $10^9$  ori accelerația gravitațională, posibilitatea de direcționare a unui fascicul ultrasonic îngust în direcția dorită, posibilitatea de concentrare și focalizare a energiei într-un spațiu limitat fără să afecteze mediul prin care se propagă [8, 28, 40, 43, 54].

Aplicațiile la care energia ultrasonică utilizată este suficient de mare pentru a produce modificări structurale ale mediului în care se propagă și modificări dimensionale, se numesc aplicații active sau tehnologice. Aplicațiile la care ultrasunetele au o intensitate relativ scăzută și nu pot provoca modificări structurale și dimensionale, îndeplinind doar rolul de culegere de informații privind obiectul examinat se numesc aplicații pasive. Sudarea cu ultrasunete face parte din categoria aplicațiilor active sau tehnologice.

Undele ultrasonore de energii mari influențează nu numai structura și proprietățile mecanice ale materialului supus prelucrării, ci și proprietățile fizico-chimice și condițiile limită la suprafața de contact sculă-semifabricat.

Primele cercetări experimentale care au pus în evidență modificarea proprietăților mecanice ale metalelor în câmp ultrasonor au fost realizate pe monocristale de zinc supuse la încercări de tracțiune. Au fost evidențiate efectele acțiunii undelor ultrasonore asupra materialelor [55, 56, 59, 75, ].

Principalele efecte, care determină schimbări permanente și utile în structura mediului prin care se propagă ultrasunetele și care stau la baza derulării unor procese tehnologice activate ultrasonic, sunt:

- *efecte mecanice*, apărute datorită aportului de energie mecanică determinat de propagarea undelor ultrasonice care poate conduce în mediu la apariția unor eforturi unitare apreciabile; acestea pot cauza mișcarea relativă a suprafețelor și frecarea acestora, deformări plasto-plastice și chiar ruperi în corpurile solide, reducerea tensiunii statice de deformare plastică a metalelor ("înmuierea ultraacustică"), agitația mecanică a particulelor din medii fluide, cu efecte de dispersare, sedimentare, filtrare, uscare, extracție, difuzie etc.;

- *efecte termice*, datorită absorbției preferențiale a energiei ultrasonore în mediul prin care se propagă undele acustice (în zonele cu dislocații în rețeaua cristalină, la limita de separare a cristalelor) sau la interfața de separare dintre două medii diferite cauzată de frecarea relativă; rezultă în acest fel o încălzire localizată, intensă, proporțională cu intensitatea ultraacustică și cu timpul de activare;

- *cavitația acustică*, apărută datorită faptului că în mediul lichid parcurs de ultrasunete suficient de intense, se formează "bule" sau "cavități" gazoase ca rezultat al ruperii lichidului sub incidența compresiilor și destinderilor rapide cauzate de propagarea undelor staționare; cavitățile, conținând vaporii lichidului și gaze dizolvate în lichid, au o durată de viață foarte scurtă, apoi dispar prin implozie, producând șocuri mecanice și termice importante;

- *efectele chimice* determinate de faptul că energia asociată propagării undelor ultraacustice în medii lichide favorizează, prin diferite mecanisme specifice, intensificarea activității chimice: reacții de oxidare și de reducere, polimerizare și de hidroliză, cataliză etc.; de asemenea s-a constatat că activarea ultrasonică poate provoca unele reacții chimice, care nu ar avea loc în condiții normale;
- *efectele biologice*, care pot apărea la propagarea ultrasunetelor prin sisteme biologice, dacă se depășesc valorile de prag ale parametrilor de expunere (frecvența, intensitate acustică, durată etc.) în funcție de caracteristici ale mediului (formă, dimensiuni, concentrație, stare – "in vivo" / "in vitro" –, natură, tip etc.); influența asupra mediului poate avea efecte biopozitive (analgezice, terapeutice etc.) sau bionegative (distrugerea microorganismelor, degradarea macromoleculilor, modificări histologice etc.).

### 2.1.1. Principiul sudării cu ultrasunete

Sudarea cu ultrasunete a materialelor se realizează în urma dezvoltării de căldură pe suprafața de contact dintre cele două repere prin mișcarea cu frecvență mare a unei suprafețe față de cealaltă suprafață. Temperatura de sudare se obține limitată la zona îmbinării. Procesul de sudare cu ultrasunete are loc la o temperatură mult mai joasă decât temperatura de topire, neputând fi vorba în acest caz de o zonă influențată termic ca la celelalte procedee de sudare și implicit nu există o modificare substanțială a proprietăților materialului în zona îmbinării [8, 85, 86, 89, 99, 104].

Procedeul de sudare cu ultrasunete are aplicare în microsuduri sau la executarea unor îmbinări în locuri greu accesibile în cele mai diverse ramuri ale producției industriale ca electronică, electrotehnică, mecanică fină, aparatul nuclear, tehnică aerospațială etc. Acest procedeu se poate aplica la sudarea unor materiale metalice și plastice de dimensiuni cuprinse în domeniul 0,01 - 10mm.

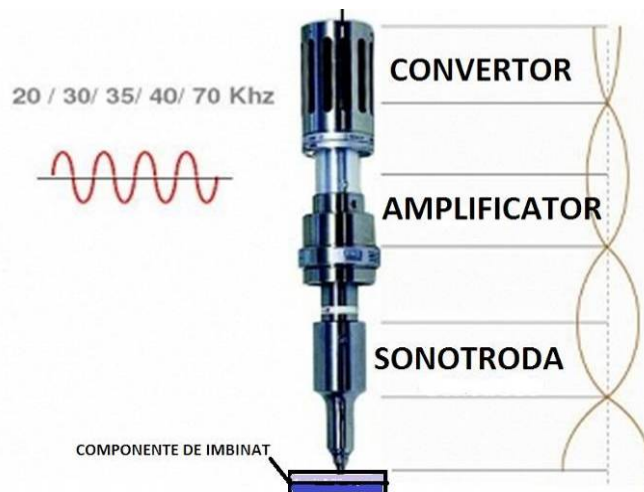


Figura 2.1 Principiul sudării cu ultrasunete

Principiul de bază al asamblării cu ultrasunete este conversia de la frecvența standard de 50/60 Hz la 20 kHz – 70 kHz. Aceasta energie electrică traversează convertorul piezoelectric, convertor, de obicei titanat zirconat, care se dilată și se contractă la aceeași frecvență, convertind energia electrică în vibrații mecanice de frecvență înaltă. Aceste vibrații sunt amplificate și transmise la piesa de prelucrat printr-un instrument de formă specifică numită sonotrodă, sub formă de mișcare longitudinală-figura 2.1. Piesele de îmbinat sunt prinse împreună sub presiune moderată, la care vibrațiile ultrasonice obliga piesele la impact una împotriva celeilalte, la o frecvență prestabilită pentru a crea o legătură moleculară cel puțin egală cu cea a pieselor [183, 184, 185, 189].

### 2.1.2. Echipamentul sudarii cu ultrasunete

In componenta echipamentului de sudare cu ultrasunete intra, figura 2.2:

- sursa de putere;
- convertor;
- amplificator;
- sonotrodă.

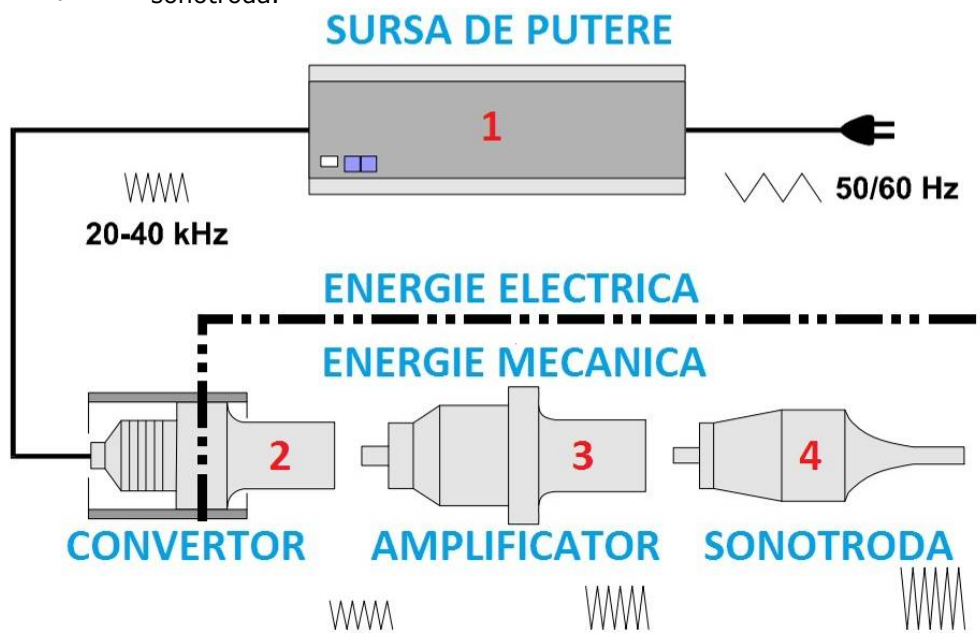


Figura. 2.2 Schema bloc a echipamentului de sudare cu ultrasunete [188]

Combinății infinite și precise de timp sudură, distanță și energie, controlate de un microprocesor, asigură un control repetabil al procesului, precum și pentru a implementa automatizarea completă a ansamblului. Procesul de control statistic și cel de raportare sunt, de asemenea, posibile.

### 2.1.3. Parametrii procesului de sudare cu ultrasunete

Principalii parametri ai procesului de sudare cu ultrasunete sunt:

- timpul – T, respectiv durata aplicării vibrațiilor ultrasonore;

- amplitudinea ultrasunetelor –  $A$ , sau cursa longitudinală a vibrațiilor;
- forța de presare –  $F$ , sau presiunea aplicată perpendicular / normal la direcția vibrațiilor;
- puterea –  $P$ , necesară pentru inițializarea și menținerea vibrațiilor pe parcursul secvenței de sudare;
- frecvența ultrasunetelor –  $f$ ;

Puterea este dată de relația (2.1):

$$P = F \times A \quad (2.1)$$

unde:

- $P$  este puterea [W]
- $F$  este forța [N]
- $A$  este amplitudinea [ $\mu\text{m}$ ]

Energia este calculată cu relația (2.2)

$$E = P \times T \quad (2.2)$$

unde:

- $E$  este energia [J]
- $P$  este puterea [W]
- $T$  este timpul [s]

Pentru metoda când definitorie este energia procesului, este relația (2.3):

$$E = (F \times A) \times T \quad (2.3)$$

Pentru îmbunătățirea și reducerea timpilor de sudare se pot folosi muchii directoare de energie, figura 2.3. Funcția primară a muchiilor directoare este să concentreze energia pentru a se încălzi rapid înmuierea și topirea suprafeței de îmbinare. În figura 2.3 se exemplifică curbele timp-temperatură pentru o îmbinare cap la cap, ideală pentru a folosi această formă geometrică la îmbinare. Muchiile directoare permit procese de sudare mai rapide și rezistență mecanică a sudurii mai înaltă. Proiectarea muchiei directoare de energie este design-ul cel mai uzual pentru materialele plastice amorphe, dar poate fi folosit și pentru materialele plastice semi-cristaline.

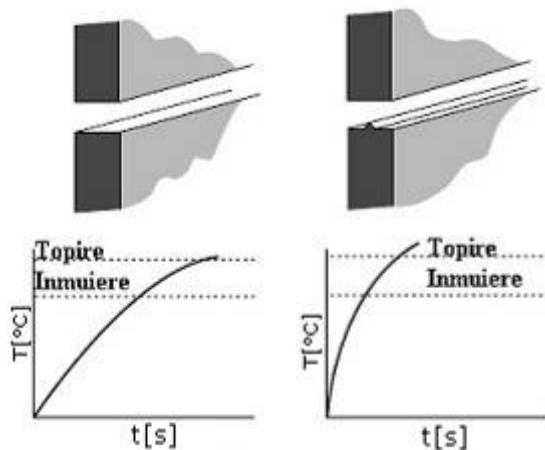


Figura 2.3 Posibilitatea scăderii timpului de sudare folosind muchie convergentă de energie

Sunt posibile diferite geometrii ale îmbinării cu scopul unei bune calități și o buna rezistență mecanică a acesteia, figura 2.4 [98, 99, 186, 187].

Temperatura de sudare se obține limitată la zona îmbinării. Procesul de sudare cu ultrasunete are loc la o temperatură mult mai joasă decât temperatura de topire, neputând fi vorba în acest caz de o zonă influențată termic ca la celelalte procedee de sudare și implicit nu există o modificare substanțială a proprietăților materialului în zona îmbinării. Procedeele de sudare cu ultrasunete are aplicare în microsuduri sau la executarea unor îmbinări în locuri greu accesibile în cele mai diverse ramuri ale producției industriale ca electronică, electrotehnică, mecanică fină, aparatajul nuclear, tehnica aerospațială etc.

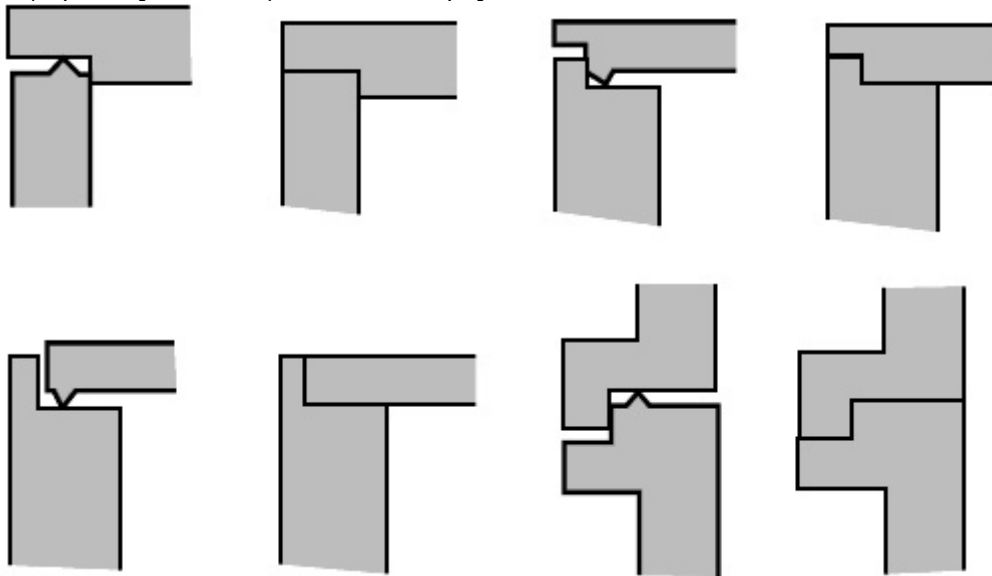


Figura 2.4 Diferite geometrii pentru o îmbinare de calitate și o sudură de rezistență

Acest procedeu se poate aplica la sudarea unor materiale metalice de dimensiuni cuprinse în domeniul 0,01... 10mm.

Procesul îmbinării sudate cu US este determinat de următoarele efecte induse de acțiunea ultrasunetelor :

- creșterea gradului de deformabilitate și ușurarea procesului de deformare plastică a zonelor de îmbinat ;
- absorbția energiei ultrasonice de către microrelieful în contact și încălzirea locală a acestora la temperaturi mai mari decât temperatura de recristalizare;
- distrugerea și îndepărtarea straturilor de oxizi, eliminarea gazelor din planul de separație datorită fenomenului de cavitație;
- crearea de condiții favorabile sub acțiunea oscilațiilor ultrasonore, pentru transferarea materialului în micropori pe seama procesului de difuzie și autodifuzie ;
- redistribuire a materiei solide în zona de contact ca rezultat al curgerii vâscoase și ca rezultat al autodifuziei volumice și al tensiunii superficiale.



#### 2.1.4. Particularități ale sudării materialelor polimerice cu ultrasunete

Materialele polimerice sunt folosite intens în aplicații în industria aerospațială, de automobile, electronice, medicale și alte industrii domestice. Prin urmare, îmbinarea lor a devenit o importantă operațiune de fabricație. În câmpul apropiat de sudare cu ultrasunete distanța dintre sonotrodă și interfața sudurii este mai mică de 6 mm, figura 2.5 [8, 28, 32, 69]

Sunt posibile două procedee de îmbinare:

- procedeu „near field”- zona de transmitere ultrasunete pe distanța  $< 6$  mm;
- procedeu „far field” - zona de transmitere ultrasunete pe distanța  $> 6$  mm;

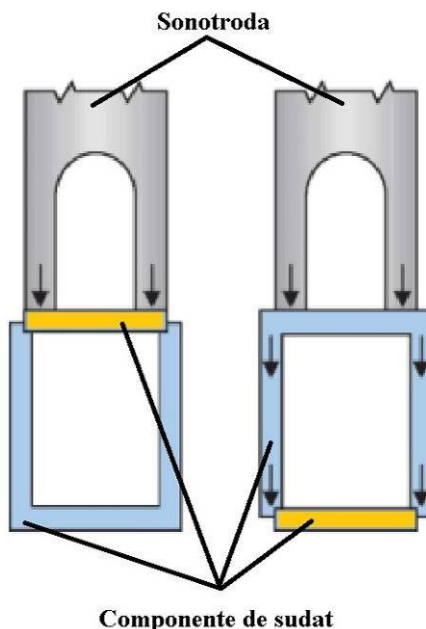


Figura 2.5 Diferențierea între procedeele Near Field și Far field  
a. procedeu „near field” b. procedeu „far field”

Pentru majoritatea aplicațiilor, amplitudinile de 18 microni sunt insuficiente pentru a suda materialele.

Când discutăm de sudabilitatea termoplasticelelor, există o serie de factori care afectează necesarul de energie ultrasonora și în concordanță sudabilitatea diferitelor rășini. Factorii majori includ: structura polimerilor, temperatura de topire, indicele de topire curgerea, modulul de elasticitate, rigiditatea, precum și compoziția chimică.

Principalele particularități care afectează comportarea la sudare a termoplasticelelor sunt [8, 32, 44, 53, 93, 94]:

- conținutul fibrelor de armare de până la 20%, este de preferat. Cu toate acestea, suduri adecvate pot fi uneori realizate cu grad de armare de până la 30%;

- substanțele ignifuge conținute în structura pot afecta rezistența îmbinării sudate. În astfel de cazuri, "overwelding" poate fi, uneori, o soluție. Aceasta implică utilizarea de amplitudini mai mari și/sau un timp mai lung de sudare pentru a crea o legătură suficient de puternică;

- polimerii amorfi au o structură caracterizată de un aranjament molecular întâmplător. Au o temperatură de înmuiere în limite mari ( $T_g$ , - temperatura de tranziție vitroasă - figura 2.6, care permite materialului să se înmoaie treptat, să se topească și să curgă fără solidificarea prematură. Acești polimeri, în general, sunt foarte eficienți în ceea ce privește capacitatea lor de a transmite vibrațiile ultrasonice, și pot fi sudați sub o gamă largă de combinații forță / amplitudine-figura 2.6;

- polimerii semicristalini sunt caracterizați prin regiuni de aranjament molecular ordonat. Ei au limite mici în care se topesc și se resolidifică. Moleculele de astfel de polimeri, atunci când sunt în stare solidă-absorb vibrațiile mecanice de înaltă frecvență făcând astfel mai dificilă transmisia energiei ultrasunetelor la interfața de îmbinare. Din acest motiv, amplitudinea mare este de obicei necesară. Punctul de topire fix este rezultatul unei cerințe de energie foarte mare necesar pentru a descompune semicristalinele pentru a permite materialului să curgă. Odată ce materialul topit al acestor rășini iese din zona încălzită, se solidifică rapid, cu doar o mică reducere a temperaturii. Prin urmare, sunt necesare precauții: amplitudine mai mare, design-ul componentelor, contactul cu sonotrodă, distanța de la interfața sudurii, elemente auxiliare de clampare-fixare-rigidizare, pentru a obține rezultate;

- cu cât temperatura de topire a polimerului este mai mare, cu atât energia ultrasonică necesară este mai mare;

- rigiditatea polimerilor cu cât este mai mare cu atât transmit energia mai bine în interfața;

- o temperatură de topire similară, între materialele care urmează să fie sudate, este o cerință de bază pentru sudarea cu succes a pieselor rigide, pentru că o diferență de temperatură de 22 ° C poate fi suficientă pentru a împiedica sudabilitatea chiar și pentru o rășină din aceeași clasă. Materialul cu temperatura de topire mai mică se topește și curge prevenind generarea de căldură suficientă pentru a topi materialul cu temperatura de topire mai mare. De exemplu, un material acrilic de înaltă temperatură care are din proiectare o muchie directoare de energie iar celălalt material opus, se opune cu o suprafață paralela, un acrilic cu temperatură scăzută, suprafața sudurii pe partea acrilicului de mare temperatură nu va ajunge la temperatura necesară să se topească. Suprafața adversă va fi într-o stare topită înainte ca muchia directoare de energie să înceapă să se înmoaie, și dacă muchia nu reușește să se topească, rezistența îmbinării va fi imposibil de prezis [50, 56, 87].

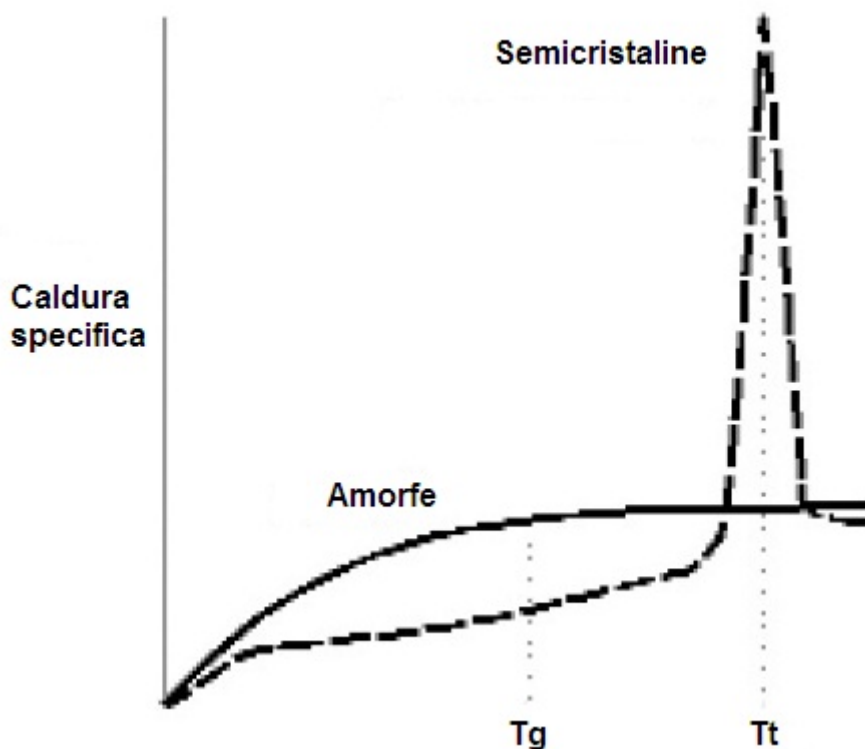


Figura 2.6 Temperaturile de tranziție ale materialelor termoplastice

### 2.1.5. Performante ale sudarii cu ultrasunete

Sudarea cu ultrasunete are o seria de avantaje:

- timp scurt de sudare, ce permite creșterea productivității;
- este un procedeu ușor de automatizat și controlat;
- permite obținerea mai ușoară de îmbinări disimilare;
- necesita consum redus de energie.

Dezavantajele sunt legate de:

- piesele ce se sudează intra în categoria subțiri și foarte subțiri;
- sonotrodă trebuie dimensionată pentru produs.

## 2.2. SUDAREA LASER

### 2.2.1. Principiul sudarii LASER

Principiul generării fascicului LASER consta în faptul că atomii eliberează energie sub forma de fotoni atunci când parcurg tranziția de pe un nivel de excitare metastabil spre un nivel de echilibru. Aceasta tranziție se face sub influența unui factor declanșator și de aceea emisia de energie se numește emisie stimulată sau emisie indusă. Odată pornită reacția aceasta se propaga sub forma piramidala astfel, un foton emis de un atom dezexcitat va declanșa reacția la altul, acesta la

rândul lui, va emite un foton și îl va elibera și pe cel incident. Avem doi fotoni care se vor înmulți exponențial. Astfel se produce o amplificare a radiației luminoase [4, 16, 20, 31, 51, 60].

### 2.2.2. Echipamentul sudării LASER

Echipamentul sudării laser are în componența sa următoarele subansamble, figura 2.7:

- dispozitivul LASER 1;
- colimator 2;
- oglinda scanare axa X, 3;
- oglinda scanare axa Y, 4;
- lentile plan, 5;
- lentilă protecție, 6;
- duză gaz de protecție 7;
- dispozitivul de poziționare a pieselor 8;
- aria capului de scanare, 9.

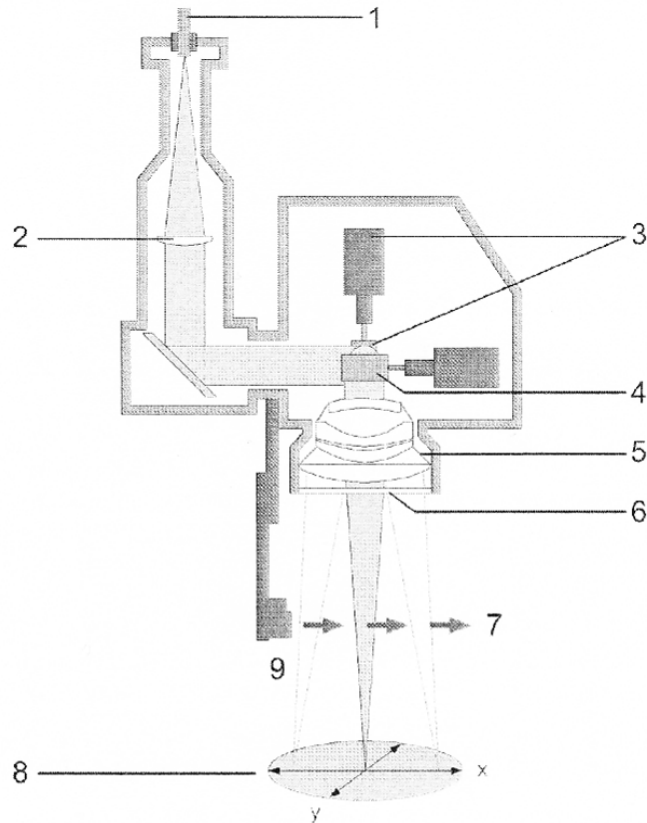


Figura 2.7 Schema de principiu a unui echipament de sudare cu fascicul LASER [4]

#### 2.2.2.1. Tipuri de dispozitive LASER

Părțile constituente ale unui dispozitiv LASER sunt:

- mediul activ;

- sistemul de excitare;
- rezonatorul optic.

Partea esențială a unui dispozitiv laser o constituie *mediul activ*, adică un mediu în care se găsesc atomii aflați într-o stare energetică superioară celei de echilibru. În acest mediu activ se produce amplificarea radiației luminoase (dacă avem o radiație luminoasă incidentă) sau chiar emisia și amplificarea radiației luminoase (dacă nu avem o radiație luminoasă incidentă).

*Sistemul de excitare* este necesar pentru obținerea de sisteme atomice cu mai mulți atomi într-o stare energetică superioară. Există mai multe moduri de a realiza excitarea atomilor din mediul activ, în funcție de natura mediului.

*Rezonatorul optic* este un sistem de lentile și oglinzi necesare pentru prelucrarea optică a radiației emise. Deși la ieșirea din mediul activ razele laser sunt aproape perfect paralele rezonatorul optic este folosit pentru colimarea mult mai precisă, pentru concentrarea razelor într-un punct calculat, pentru dispersia razelor sau alte aplicații necesare.

Clasificarea dispozitivelor LASER, figura 2.8, se poate face după:

- natura mediului activ solid, lichid, gazos;
- puterea emisă;
- domeniul de lungimi de undă al radiației emise;
- modul de funcționare continuă sau în impulsuri.

După natura mediului activ deosebim mai multe tipuri de laser: laserul cu rubin, la care se distinge bara de rubin- tratat drept mediul activ, iar ansamblul- sursa de lumină plus oglinzi- poartă rolul de sistem de excitare.

Laserul cu gaz folosește amestecuri de gaze rare (He, Ne, Ar, Kr) sau CO<sub>2</sub> drept mediu activ și o sursă de curent electric legată la doi electrozi cu rolul de sistem de excitare.

### 2.2.3. Parametrii procesului de sudare LASER

Principalii parametri ai procesului de sudare cu LASER sunt [108, 109]:

- *Puterea fasciculului*, reprezintă energia emisă de fascicul în unitatea de timp. Ea depinde de presiunea din cavitate și de condițiile de preionizare și descărcare a mediului. Reglarea puterii se face prin acționarea asupra acestor factori, fie în buclă deschisă, fie în buclă închisă, utilizând în cazul din urmă informațiile furnizate de fascicul la ieșirea din cavitate.

- *Distanța de lucru*

La un sistem optic dat, distanța focală este de asemenea dată. Schimbarea distanței de lucru se poate face numai prin apropierea sau depărtarea componentelor de sudat de focarul sistemului optic. În cazul în care componentele de sudat sunt voluminoase sau au forme complexe, o asemenea reglare prezintă dificultăți.

- *Frecvența fasciculului*

Mișcarea periodică - vibrarea - fasciculului în raport cu axa sa. Acest parametru, care este necesar în anumite aplicații, poate fi reglat prin vibrarea mecanică a oglinzilor, plasate convenabil pe parcursul fasciculului. Ținând însă seama de faptul că sistemul de vibrație folosit este mecanic, frecvențele obținute sunt relativ scăzute (de ordinul a 2000 cicluri/secundă).

- *Viteza de sudare*

Viteza de sudare este definită prin viteza relativă a fasciculului în raport cu componentele de sudat și se reglează prin sisteme clasice. Pentru o pătrundere de ~ 12 mm este necesar un fascicul laser cu o putere de ~ 10kW. O asemenea

pătrundere se poate obține dintr-o singură trecere cu o viteză de sudare de 90 cm/min. Micșorarea vitezei sub această valoare nu mărește pătrunderea, ci lărgeste doar zona topită. Mărirea puterii fasciculului la 20 kW mărește pătrunderea doar la 15mm. La pătrunderi sub 5 mm, laserul și fasciculul de electroni au performanțe similare la puteri egale. La grosimi ale componentelor de sudat peste 10 mm, pătrunderea fasciculului de electroni continuă să crească cu puterea fasciculului, în timp ce pătrunderea fasciculului laser pare să tindă la o valoare limită. Performanțele care se pot realiza la sudarea cu LASER depind, pe lângă parametrii fasciculului laser (putere, focalizare lungime de undă) și de proprietățile materialelor de sudat - reflectivitate, conductibilitate termică, grosime, starea suprafeței. Coeficientul de reflexie depinde atât de natura metalului de sudat, cât și de lungimea de undă a fasciculului LASER utilizat.

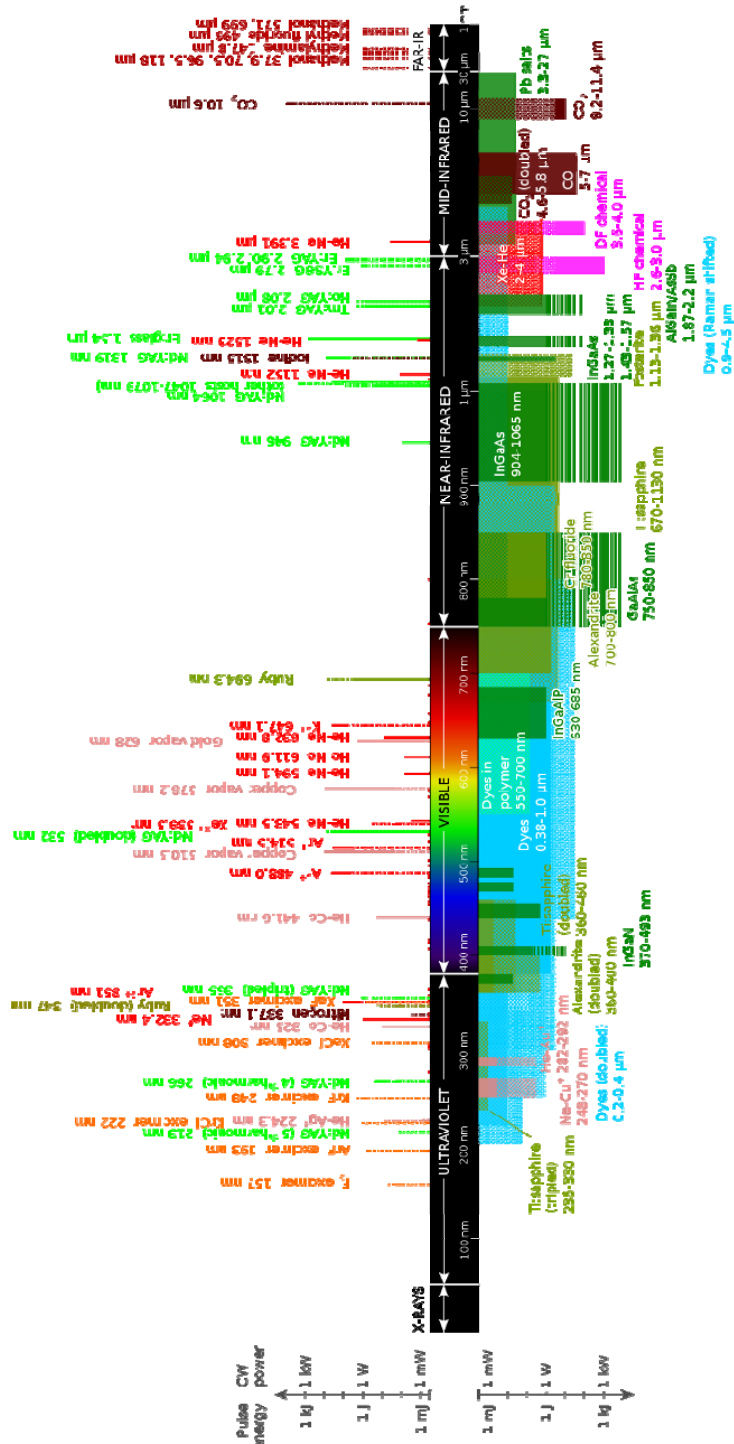


Figura 2.8 – Lungimea de unda si tipuri de medii active pentru laseri [20]

#### 2.2.4. Particularități ale sudării LASER a materialelor polimerice

Sudarea LASER a polimerilor folosind metoda prin transmisie este o metoda eficienta dar puțin cunoscuta, de îmbinare, spre deosebire de sudarea standard - unde energia este aplicata la suprafața materialelor. Astfel "laser plastic welding" este termenul cel mai folosit sa descrie aceasta tehnologie - sudare prin transmisie - "transmission welding" care este un termen mult mai descriptiv, precis si definitiv pentru acest proces. Sudarea prin transmisie urmărește sa aplice energia intre doua materiale plastice la interfața lor, figura 2.12. Eficienta o face necesara pentru aplicațiile unde se impune o cusătura sudată de înaltă calitate. La aceasta metoda de sudare, fasciculul 3 trece complet fără impedimente prin materialul de top transparent 1 pana la interfața de sudare unde este absorbit de materialul partener 2. Presiunea dispozitivului de clampare asigura conducția termica, figura 2.10, in materialul partener transmisiv, unde de altfel cauzează o plasticizare locală a polimerilor pentru a crea o îmbinare, figura 2.9 [14, 33, 34, 38, 46, 48].

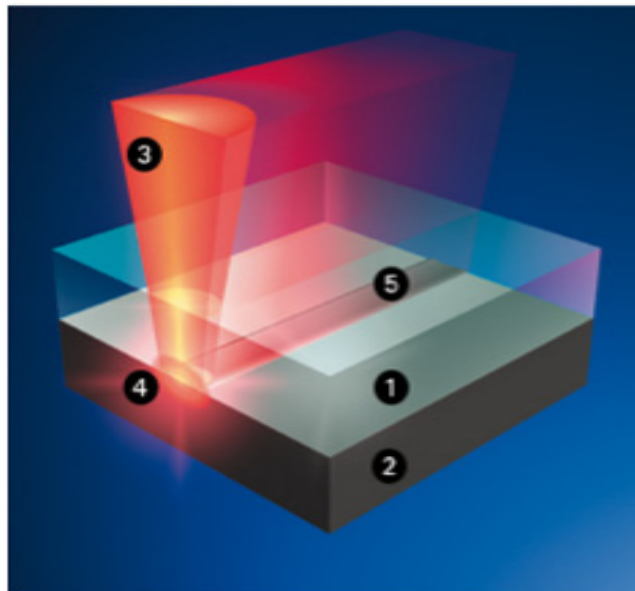


Figura 2.9 Principiul sudării LASER a materialelor termoplastice [113]  
1 material transmisiv; 2 material absorbant; 3 fascicul laser; 4 zona topită; 5 sudură

Sudarea materialelor plastice pentru industria constructoare de mașini si subansamble are cerințe speciale si stricte - raportate la culoarea materialelor, controlul procesului, documentația parametrilor de proces, etc. Folosirea laserului la îmbinarea plasticelor aduce in prim plan câteva aspecte care fac aceasta metoda de îmbinare - pentru aplicații particulare sau de serie avantajoasa in comparație cu metodele clasice de îmbinare [49, 52, 57, 90, 91, 92].

Câteva avantaje ale sudării LASER a materialelor plastice sunt:

- calitatea sudurii excelenta;
- zona de îmbinare protejata - inside welding;
- suprafața curata fără bavură;
- calitatea optica înalta a sudurii;



- tensiuni termice minime ale piesei sudate;
- design ușor și simplu, suprafețe plane;
- procesul de sudare fără contact fără deteriorarea calității îmbinării.

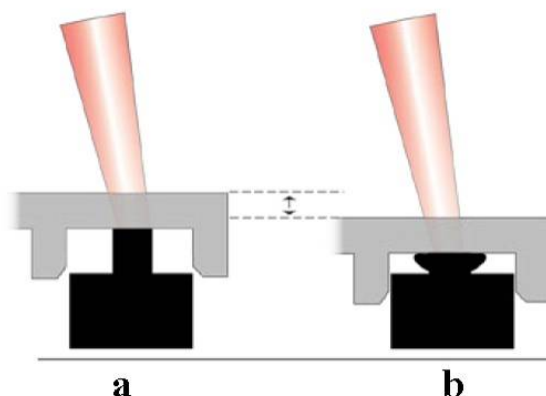


Figura 2.10 Etapa de încălzire – topire la sudarea LASER [116]

Culoarea materialelor de sudat determina gradul de complexitate a procesului in sine, figura 2.11. Exceptând sudarea a doua materiale transparente, toate celelalte combinații de materiale se îmbina ca un "sandwich" între laser – material transparent in partea de top și LASER – absorbant, in partea de jos ca in figura 2.12. Fasciculul LASERUL este folosit pentru a genera căldura și a forma o baie topita la interfața dintre materialele de îmbinat.

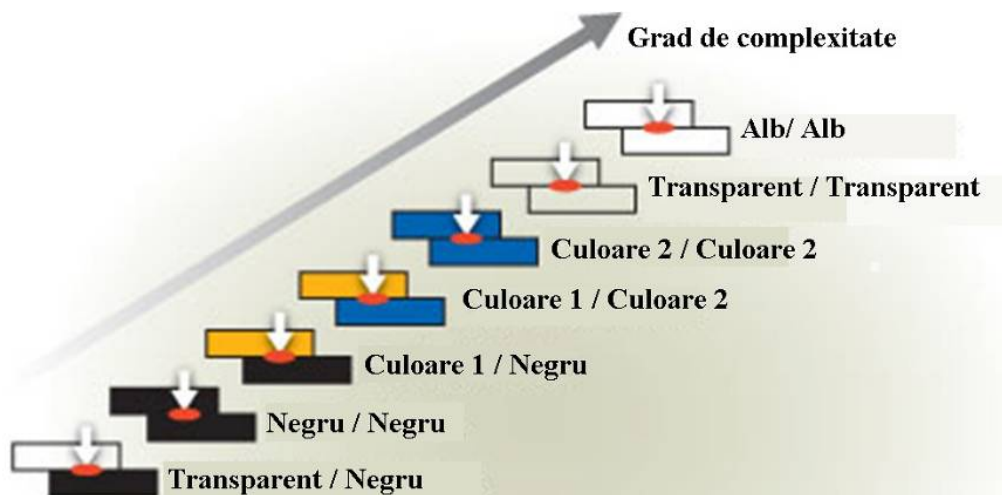


Figura 2.11 Gradul de complexitate la sudarea LASER folosind metoda prin transmisie [116, 107]

Fazele formarii îmbinării sudate cu LASER sunt ilustrate în figura 2.12

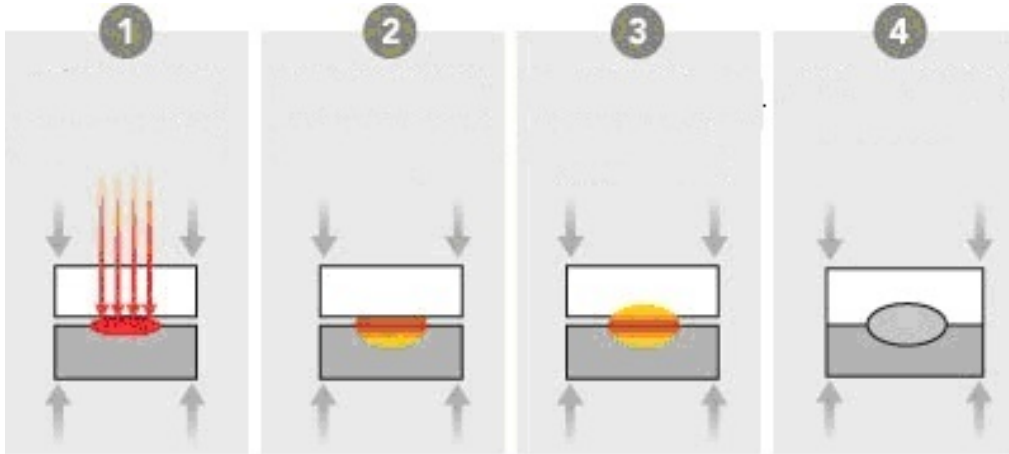


Figura 2.12 Etapele realizării îmbinării sudate [111, 113]:

1. absorbție de lumină; 2. generare baie topită; 3. amestec via conducție; 4. răcire

Referitor la materialele plastice termoplaste este de menționat că îmbinarea prin sudare cu LASER este posibilă pentru diverse combinații de materiale. Compatibilitatea materialelor utilizate determină calitatea îmbinării sudate, figura 2.13.

### 2.2.5. Performanțe ale sudării LASER

Sudarea cu fascicul laser este comparabilă cu sudarea cu fascicul de electroni. Există însă o serie de avantaje:

- posibilitatea dirijării fasciculului în zone greu accesibile;
- posibilitatea sudării la presiune atmosferică;
- lipsa radiației X;
- viteză mare de sudare;
- universalitatea materialelor sudate.

Dezavantajele sunt legate de:

- eficiența scăzută;
- consum mare de energie.



## 3. REPERE SEMNIFICATIVE DIN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

### 3.1. MODULUL DE CONTROL COMPUTERIZAT

#### 3.1.1. Descrierea componentelor

Modulul de control computerizat, figura 3.1, al funcțiilor secundare al unui autotren este unul din reperatele de bază. Modulul este format din doua cavități, capac și carcasă, în care se sudează cu ultrasunete o membrana din PTFE – politetrafluoretilenă. Carcasa este din PPE GF 30, polifenilen eter, armată cu fibre din sticlă, detaliu figura 3.2

Modulul de control este format din doua cavități:

- carcasa din PPE GF 30 având 2 socketi unde este necesar a se suda cu ultrasunete, doua membrane din PTFE;
- capacul din PPE GF 30.

Asamblarea celor doua cavități se face cu șuruburi în regim ermetic.

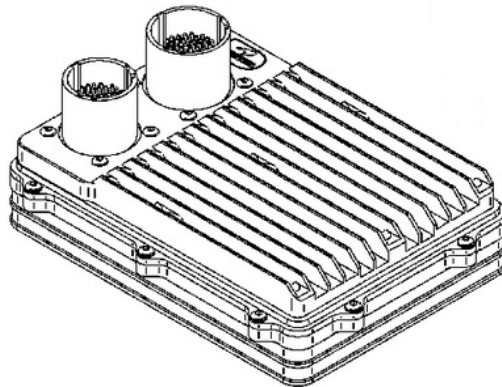


Figura 3.1 Prezentare de ansamblu al modulului de control computerizat

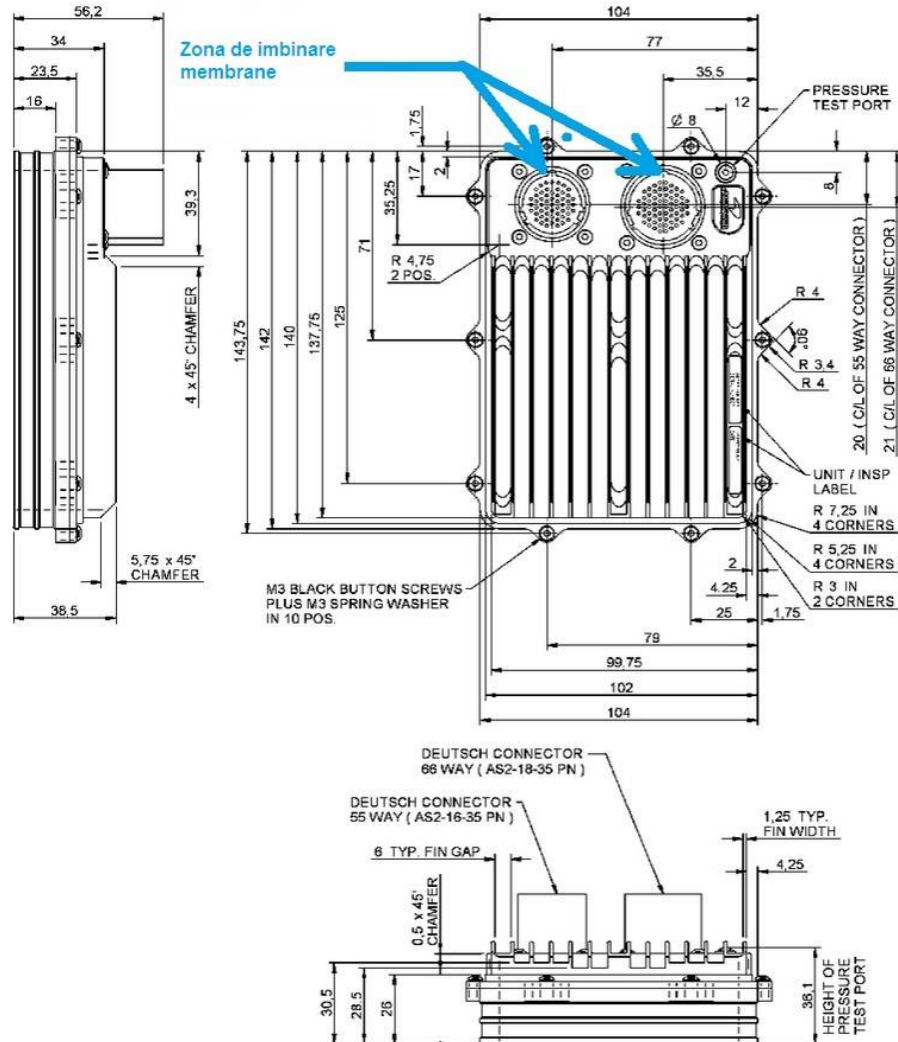


Figura 3.2 Detaliul modului de control computerizat

Toate tipurile de carcase electronice care sunt utilizate în aer liber sunt supuse unor fluctuații de temperatură, vânt, precipitații, și radiații solare. Aceste condiții de mediu pot compromite performanțele dispozitivului. Cel mai adesea, garnituri solide sunt utilizate la asamblarea de carcase pentru a proteja interiorul electronicelor sensibile. Cu toate acestea, schimbările bruște de temperatura pot provoca un vid în interiorul incintei. În figura 3.6 se arată modul de funcționare a membranei tip PTFE. Menținerea presiunii egale într-un dispozitiv este un element cheie care contribuie la durata de viață și la performanță. Membranele de ventilație / aerisire „Gore®” au rol de protecție a incintei electronice, permițând aerului și vaporilor de a circula liber în și din incinte închise. În același timp, ele servesc ca o barieră pentru a preveni contaminarea interioară, cum ar fi murdăria, praful și nisipul. În figura 3.3 se prezintă modul de lucru al PTFE în raport cu alte materiale termoplastice [192].

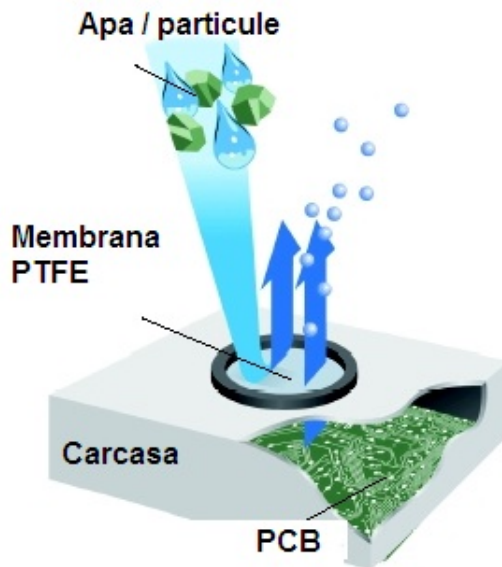


Figura 3.3 Modul de lucru al membranei

### 3.1.2. Rol funcțional

Unitatea de control electronic ECU este un sistem compact cu management propriu și baza de date pentru motoarele autovehiculelor de pasageri cu 6 cilindri. Unitatea este de sine stătătoare nemaivând nevoie de alte subsisteme.

Unitatea este dedicată pentru controlul sistemelor de admisie aer și combustibil, controlul tracțiunii, monitorizarea schimbării treptelor de viteză etc.

### 3.1.3. Materiale utilizate

Modulul de control computerizat este compus din două părți. Partea care prezintă interes este carcasa din PPE în care se sudează membrana PTFE.

#### 3.1.3.1. PTFE - Politetrafluoretilena

Fluoropolimerii împărtășesc proprietățile fluorocarburilor în sensul că acestea nu sunt la fel de sensibile la forțele van der Waals ca hidrocarburile. Acest lucru contribuie la proprietățile lor de neaderență și fricțiune. De asemenea, ele sunt stabile datorită stabilității multiplelor legături carbon - fluor prin adiție la un compus chimic. Fluoropolimerii pot fi caracterizați din punct de vedere mecanic și ca termorigide și ca sau termoplastice. Fluoropolimerii pot fi homopolimeri sau copolimeri [11, 37, 192].

Exemple de monomeri folosiți pentru a fabrica fluoropolimeri:

- etilenă E;
- propilena P;
- fluorură de vinil VF1;
- fluorură de viniliden VDF sau VF2;
- tetrafluoretilenă TFE;
- hexafluorpropilenă (FP);

- perfluoropropilvinileter PPVE;
- perfluorometilvinileter PMVE;
- clortrifluoretilenă CTFE.

Politetrafluoretilena, figura 3.4, denumita pe scurt PTFE, este un polimer fluorurat termoplastic, inert, având aspectul fildeșului. Formula chimică a PTFE :  $-(CF_2 - CF_2)_n$ . Atomii de fluor formează un înveliș protector în jurul scheletului format din atomii de carbon, înveliș care apără PTFE de atacul agenților chimici. Grupele fluor-carbon și carbon-carbon sunt cele mai puternice legături organice cunoscute până acum. Această structură conferă PTFE caracteristicile care fac din el un material remarcabil, am putea spune chiar unic, folosit pe scară largă în toate domeniile de activitate [50, 55, 87, .

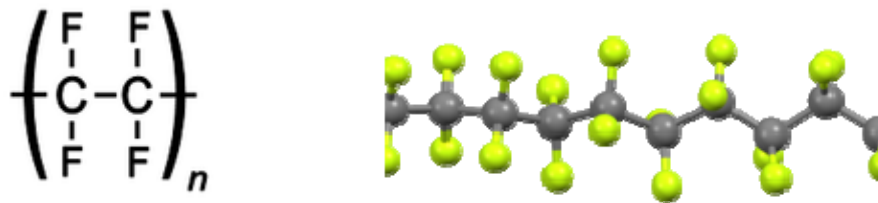


Figura 3.4 - Reprezentare chimică a PTFE

În figura 3.5 se poate observa microstructura PTFE, cu insule interconectate, aceste membrane combină înalta eficiență de filtrare a apei / vaporilor și particulelor. Principalele caracteristici dimensionale sunt:

- dimensiunea porilor: 0,2 – 5  $\mu\text{m}$ ;
- porozitatea: 5 - 95 %;
- grosimea porilor: 10 - 80  $\mu\text{m}$

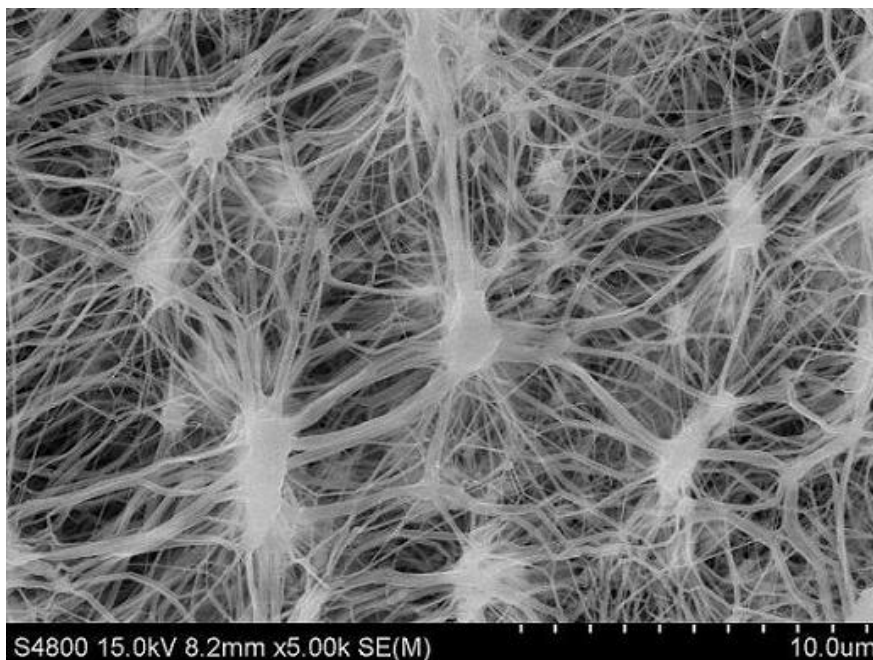


Figura 3.5 Secțiune PTFE

Denumiri comerciale ale PTFE: Fluon Anglia, Hostafion Germania, Teflon U.S.A., Algoflon Italia, Polyflon Japonia, etc.

În figura 3.6 se observă că PTFE poate fi utilizat la temperaturi mult superioare celorlalte mase plastice.

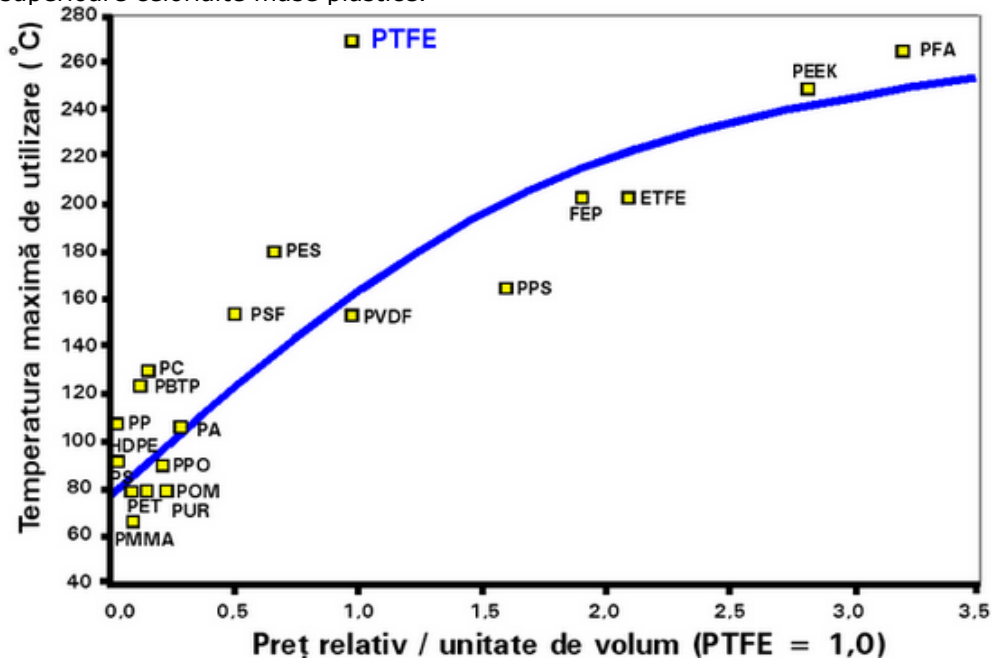


Figura 3.6 Preț versus temperatura de utilizare pentru PTFE

Proprietățile PTFE în comparație cu alte materiale plastice, rămân la un nivel de temperatură util într-un interval larg de temperatură de  $-73^{\circ}\text{C}$  la  $204^{\circ}\text{C}$ . Proprietățile mecanice sunt adesea îmbunătățite prin armarea cu fibre. PTFE au excelente proprietăți termice și electrice de izolare și un coeficient de frecare redus.

În figura 3.7 se prezintă performanțele PTFE în raport cu alte materiale termoplastice [192].



|                                    | Gore ePTFE | PEEK | PPS | LCP | Para-Amid | PBO | Meta-Amid | UHMWPE | Polyester | Nylon |
|------------------------------------|------------|------|-----|-----|-----------|-----|-----------|--------|-----------|-------|
| Rezistența chimică (Acizi)         | ●          | ●    | ●   | ●   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența chimică (Baze)          | ●          | ●    | ●   | ●   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența UV                      | ●          | ○    | ●   | ○   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența temperatură înaltă      | ●          | ●    | ●   | ●   | ●         | ●   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Inflamabilitate scăzută            | ●          | ●    | ●   | ●   | ●         | ●   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența la hidroliză            | ●          | ●    | ●   | ●   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența la abraziune            | ●          | ●    | ○   | ●   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Rezistența la solicitări variabile | ●          | ●    | ○   | ○   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |
| Coefficient de frecare             | ●          | ○    | ○   | ○   | ○         | ○   | ○         | ○      | ○         | ○     |

● Performant excelente      ● Performante bune      ○ Performante slabe

PEEK Polyetheretherketone  
 PPS Polyphenylene Sulfide  
 LCP Liquid crystal polymer  
 PBO Poly p-phenylene-2,6-benzobisoxazole

Figura 3.7 Performanțele PTFE versus alte termoplastice [192]

- **Proprietăți PTFE care o fac utilizabilă în folosirea membranelor sunt diverse**
  - *Proprietăți chimice.* PTFE poate fi considerat a fi neafectat atât fizic cât și chimic de toți solvenții și substanțele chimice folosite de obicei în industrie. De fapt PTFE este atacat de un mic număr de substanțe chimice rar folosite, cum ar fi metalele alcaline în stare topită, fluorul și unii compuși halogenați, la temperaturi

ridicate și presiune mare. PTFE este de asemenea rezistent la îmbătrânire, la acțiunea apei și este transparent față de radiațiile ultraviolete. Practic nu s-a găsit nici o substanță care să dizolve PTFE la o temperatură sub 300 °C.

- *Proprietăți electrice.* PTFE este un excelent izolator electric practic constant între -100 și + 300 °C și la frecvențe până la  $10^8$  cicluri. La temperatura de lucru, rezistivitatea volumică este mai mare de  $10^{18}$  ohm x cm.

- *Antiaderența.* Suprafața PTFE este atât de alunecoasă încât practic nici o substanță nu aderă la ea.

- *Coeficientul de frecare.* PTFE are cel mai scăzut (referitor la solide) coeficient de frecare, ce se mai poate compara cu cel dintre gheata umedă pe gheata umedă (aprox. 0,02).

- *Impermeabilitatea.* PTFE are permeabilitatea mai mică decât cea caracteristică celor mai multe materiale plastice

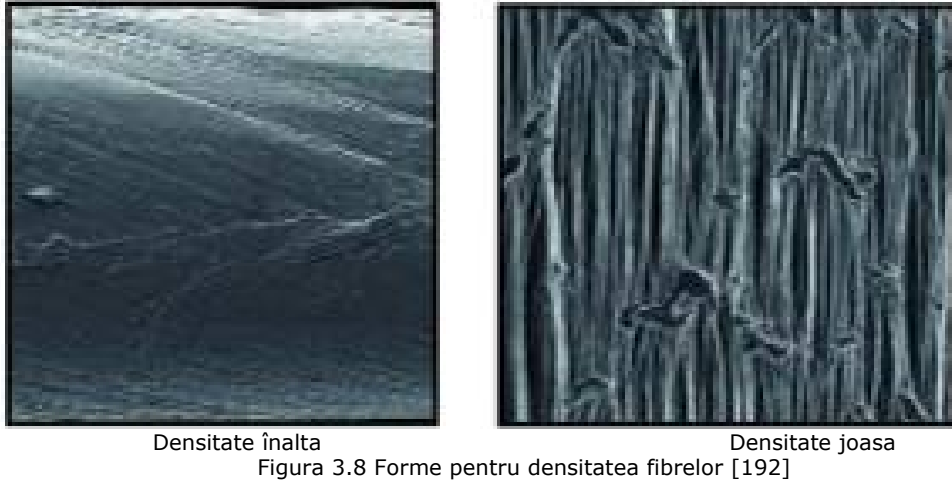
- *Stabilitatea termică.* PTFE poate fi utilizat în medii puternic corozive, la temperaturi cuprinse între - 240 °C și + 260 °C.

În tabelul 3.1 sunt prezentate sorturi de PTFE, cu principalele caracteristici.

Tabelul 3.1 Sorturi de PTFE. Principalele caracteristici

| Cod            | Descriere PTFE                      | Densitate<br>Kg / dm <sup>3</sup> | Duritate<br>Shore D | Rezistența la<br>tracțiune<br>Kgf/cm <sup>2</sup><br>[valori minime<br>acceptabile] | Alungire<br>%<br>[valori minime<br>acceptabile] |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---|---|
| PTFE P -NF     | Pur , pudra                         | 2,12 - 2,18                       | 55 - 58             | 250   | 250   |
| PTFE P-FF      | Pur , granulat                      | 2,12 - 2,18                       | 55 - 58             | 300   | 300   |
| PTFE P-R       | Pur , regenerat                     | 2,00 - 2,15                       | 54 - 58             | 150   | 120   |
| PTFE S 15      | Sticlă 15%                          | 2,16 - 2,22                       | 60 - 63             | 150   | 220   |
| PTFE S 25      | Sticlă 25%                          | 2,18 - 2,24                       | 63 - 66             | 150   | 210   |
| PTFE S 40      | Sticlă 40%                          | 2,18 - 2,24                       | 64 - 68             | 80  | 150   |
| PTFE S Mo 20-5 | 20% sticlă + 5%<br>MoS <sub>2</sub> | 2,22 - 2,28                       | 61 - 64             | 130   | 200   |
| PTFE SG 20-5   | 20% sticlă +<br>5% grafit           | 2,16 - 2,22                       | 59 - 64             | 130   | 200   |
| PTFE CG 22-3   | 22% carbon +<br>3% grafit           | 2,06 - 2,14                       | 62 - 67             | 90  | 60  |
| PTFE CG 32-3   | 32% carbon +<br>3% grafit           | 2,05 - 2,12                       | 64 - 69             | 60  | 30  |
| PTFEB 60       | Bronz 60%                           | 3,80 - 3,92                       | 66 - 70             | 140   | 150   |
| PTFE G-R       | Grafit, regenerat                   | 1,98 - 2,08                       | 58 - 65             | 50  | 30  |
| PTFE GP-R      | Grafit + pur,<br>regenerat          | 1,98 - 2,12                       | 55 - 65             | 50  | 30  |

În figurile 3.8 – 3.12, sunt prezentate caracteristici fizice și mecanice ale PTFE.



PTFE este un polimer termoplastic, care se găsește în stare solidă de culoare albă, la temperatura camerei, cu o densitate de aproximativ  $2,2 \text{ g/cm}^3$ . PTFE poate fi caracterizat ca un compus cu auto ungere, rezistent la aproape toate produsele și solvenții chimici și are o foarte mare stabilitate termică, de asemenea, e neinflamabil.

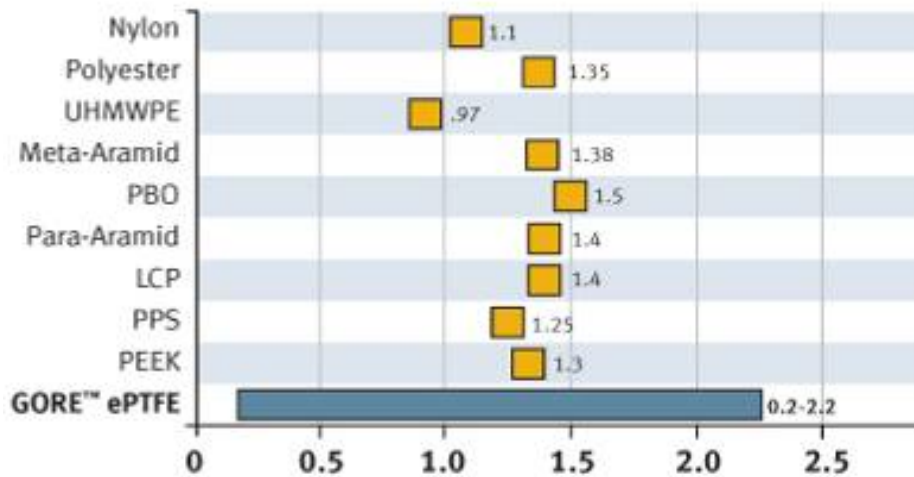


Figura 3.9 Comparăție densitatea tipică [ $\text{g/cm}^3$ ] a unor materiale plastice versus PTFE [192]

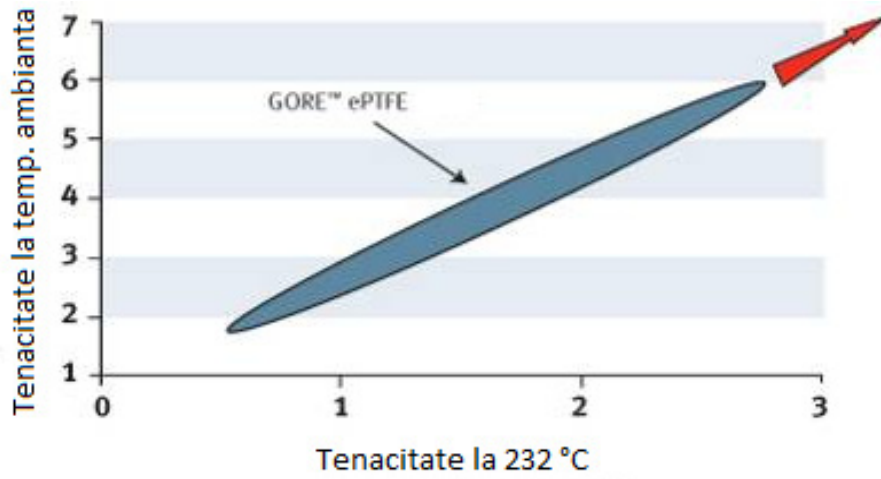


Figura 3.10 Rezistența la tracțiune la temperatura înaltă a PTFE [192]

În figurile 3.10 - 3.11 sunt exemplificate caracteristicile mecanice și fizice observându-se domeniul larg de păstrare a caracteristicilor specifice.

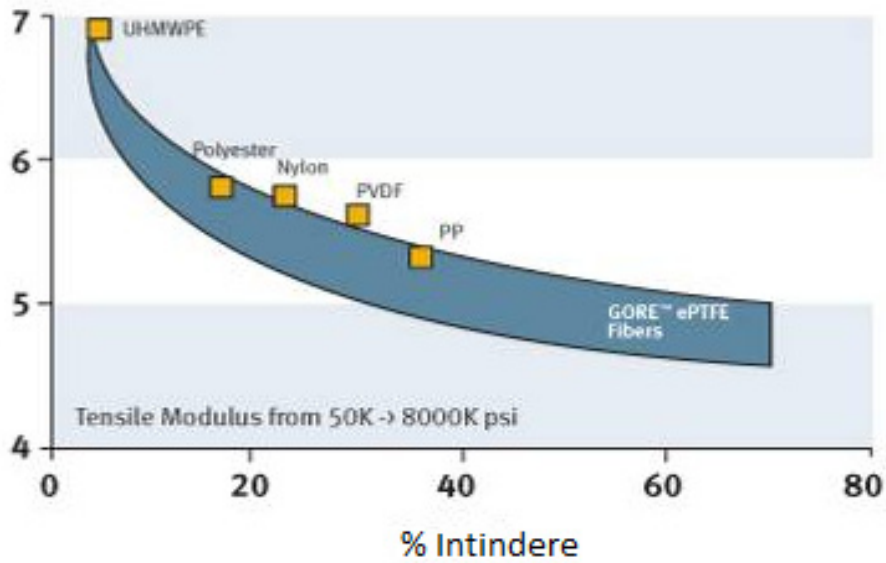


Figura 3.11 Modul de elasticitate a unor materiale plastice versus PTFE [192]

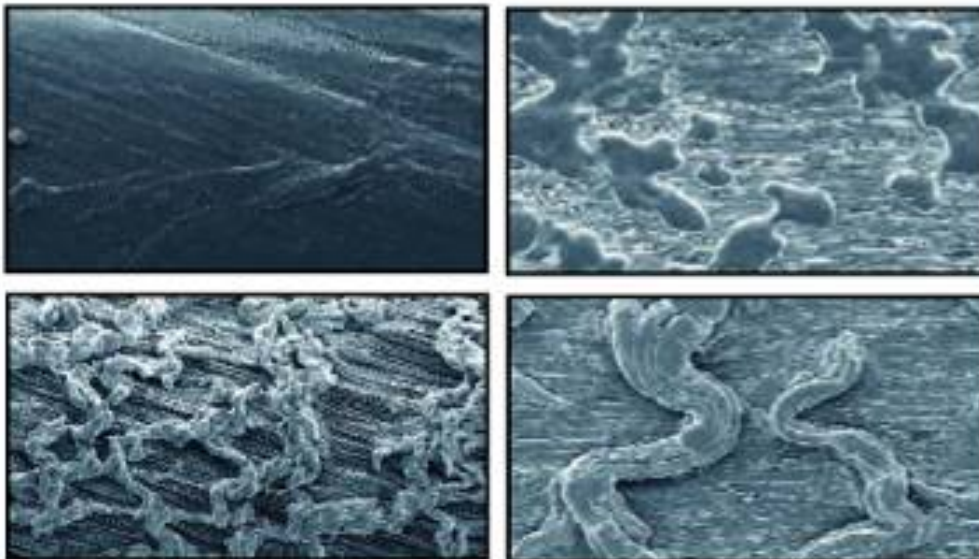


Figura 3.12 Textura suprafeței în funcție de cerința clientului [192]

- *Utilizare PTFE*

Datorita proprietăților sale, PTFE are o multitudine de aplicații în majoritatea domeniilor industriale. Cu toate că prețul este destul de ridicat, comparativ cu materialele plastice uzuale, există locuri din care PTFE nu poate lipsi. Prezentăm în continuare câteva din cele mai importante aplicații ale PTFE pur și aditivat.

- Garnituri de etanșare. Folosirea garniturilor de etanșare din PTFE este cerută în primul rând de tehnologiile moderne pentru care sunt concepute sisteme de etanșare complexe. Rezistența la temperaturi înalte, rezistența chimică și proprietatea acestuia de a umple neregularitățile suprafeței de etanșare, îndreptățesc folosirea lui pentru etanșări.

- Inele V - utilizate îndeosebi în aplicații dinamice precum tije de piston, pompe cu plunjer și valve, tije de robineti, având axe cu mișcare relativ înceată. De obicei într-o etanșare sunt combinate trei sau cinci garnituri. Ele pot fi utilizate la presiuni înalte (peste 1000 bar) doar la viteze de rotație a axelor relativ joase (se recomandă pentru gaze 0,5 m/s iar pentru lichide 5 m/s) . Se execută de obicei din PTFE aditivat cu carbon sau sticlă.

- Inele de piston pentru compresoare - se execută de regulă din PTFE aditivat cu grafit/carbon, MoS<sub>2</sub>,

- Segmenți de etanșare, benzi portante, etanșări de tija, pentru compresoare - se execută din PTFE aditivat cu grafit /carbon, MoS<sub>2</sub>, bronz, sticlă etc. În general se utilizează în cazurile în care :

- ✓ temperatura de lucru este foarte scăzută ( sub - 100 °C) sau este foarte ridicată, iar lubrifianții folosiți uzual se evaporă sau se degradează, se vehiculează substanțe ce nu trebuie să fie contaminate cu ulei sau care sunt foarte corozive;

- ✓ în cazul în care datorită poziției inaccesibile, nu se poate monta un sistem de ungere sau există cerința reducerii la minim a spațiului ocupat;

✓ la sarcini mari si viteze scăzute, când pelicula subțire de ulei nu poate fi păstrata intacta.

- Etanșări de axe - utilizate la motoare cu combustie, in industria chimica, petroliera, alimentara sau farmaceutica, acolo unde axele trebuie etanșate in condiții severe, cum ar fi: mediu de lucru agresiv chimic, lubrifiere limitata sau chiar absenta. Se folosesc variante cu arc de metal sau fără arc. Se executa din PTFE aditivat cu carbon, sticla sau MoS<sub>2</sub>.

- Scaune de supape - avantajul scaunelor de supape executate din PTFE aditivat cu sticla sau carbon, sunt: frecare mica, proprietăți antiadezive, rezistenta la atacul compușilor chimici agresivi, deformație redusa sub sarcina.

- Cuzineți si corpuri de cuzineți. Executarea cuzineților sau corpurilor de cuzineți din PTFE pur sau aditivat prezintă multe avantaje, dintre care putem enumera:

- ✓ cuplu la pornire scăzut;

- ✓ absenta aderentelor in mișcările de alunecare;

- ✓ pot fi executate ca izolatoare electrice sau bune conducătoare, după

necesitate;

- ✓ funcționare fără lubrifiere;

- ✓ utilizare intr-un domeniu de temperaturi intre - 200 °C si + 250 °C;

- ✓ utilizare in industria alimentara , textila, farmaceutica (acolo unde lubrifiantul poate produce contaminări);

- ✓ rezistenta in mediu coroziv;

- ✓ pot funcționa in vid absolut.

- Cuzineți pentru presiune înalta si viteza mica - utilizați in construcția podurilor, suportți pentru țevi la instalații cu subansamble grele, pentru lansarea navelor la apa. La aceste utilizări sunt recomandate sorturile de PTFE aditivate cu sticla.

- Compensatori - pentru compensarea dilatărilor provocate de temperaturi ridicate, abateri unghiulare, deplasări axiale sau radiale in instalații sau utilaje ce lucrează in mediu puternic coroziv si nu poate fi utilizat metalul.

- Placări (căptușeli cu PTFE) - pentru lagăre, țevi, recipiente etc., in medii corozive.

- Alte aplicații: palete pentru rotoare, membrane, tamburi pentru industria textila si tipografii, izolatori electrice, matrițe si filiere pentru industria alimentara etc.

### 3.1.3.2. **Polifenilen eter - PPE PA**

PPE este un polimer termoplastice rezistent la impact la temperaturi joase de - 40°C si stabil dimensional pana la 115°C, figura 3.13 [3, 25, 28, 44, 87, 92, 93, 107].

PPE este un plastic ușor cu grad scăzut de absorbție la umezeala, stabil dimensional si rezistent la hidroliza. PPE are tendințe de fluaj minim chiar si la temperatura crescuta si este rezistent la propagarea flăcării. Rășina obținuta din amestecul celor doua, PPE-PA GF 30, combina stabilitatea dimensionala, absorbția scăzuta de apa si rezistenta la căldura a polifenilen eter-ului cu rezistenta chimica si caracteristicile de curgere a poliamidei. În tabelul 3.2 sunt prezentate proprietățile tipice.

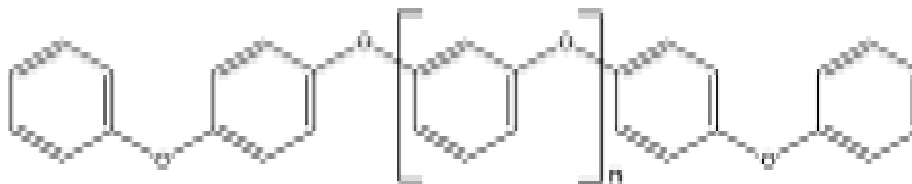


Figura 3.13 : Structura reprezentativa de polifenil eter – PPE [53]

Tabelul 3.2 Proprietăți tipice PPE-PA GF30 [6]

| Proprietăți                       | Metoda de test | Unități de măsură /<br>Specificație |
|-----------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| Generale                          |                |                                     |
| Aspect                            | -              | Neagra                              |
| Metoda de obținere                | -              | Injectie                            |
| Aplicații                         | -              | Industria de automobile             |
| Mecanice                          |                |                                     |
| Rezistența de rupere la tracțiune | D638           | 143 MPa                             |
| Alungirea la rupere               | D638           | 6 %                                 |
| Modul de încovoiere               | D790           | 7929 MPa                            |
| Fizice                            |                |                                     |
| Densitate (23°C)                  | D792           | 1.32 g/mm <sup>2</sup>              |
| Contractie                        | D955           | 0.003-0.005 mm                      |
| Duritate Rockwell                 | D785           | 120 R                               |
| Conținut fibre de armare          | -              | 30 %                                |
| Termice                           |                |                                     |
| Încovoierea sub temperatura       | D648           |                                     |
| 3.2 mm – 0.455 MPa                |                | 249 °C                              |
| 3.2 mm – 1.82 MPa                 |                | 237 °C                              |

Armarea cu 30% fibre de sticla si a nailonului stabilizat termic duce la:

- rezistența mecanică crescută;
- rigiditate crescută;
- rezistența la fluaj;
- stabilitate dimensională;
- rezistența la uzare;
- utilizabil în gama largă de temperaturi, -40 °C ÷ 115 °C;
- ușor de prelucrat / obținut;
- bună rezistența chimică;
- tendința scăzută la fluaj;
- rezistența mare la hidroliză;
- absorbție de apă foarte scăzută;
- stabilitate dimensională ridicată;
- rezistența mare la impact;
- rezistența mare la temperatura de până la 115 °C;

Componentele din PPE se folosesc ca și:

- fittinguri;
- carcase pentru electronica;
- supape pentru pistoane;
- elemente de angrenaj pentru aplicații domestice;
- componente pentru echipamente electrotehnice.

### 3.1.4. Condiții de exploatare

Unitatea de control electronica este recomandata a se folosi in următoarele condiții:

- umiditatea maxima 100%;
- temperatura minima de operare -45°C;
- temperatura interna sa nu depășească 90°C măsurata de senzorul interior de diagnoza;
- limitele vibrațiilor 100 - 1000Hz.

## 3.2. MODULUL DE DIAGNOZA SI LOGURI

### 3.2.1. Descrierea componentelor

Modulul de diagnoza si loguri este un subansamblu component al sistemului de diagnoza al autovehiculului, figura 3.14. Modulul este compus din doua componente o carcasa PA 66 +PA6 - GF 30 si un capac PA 66 +PA 6- GF 25. Asamblarea celor doua cavități se face ermetic prin sudare LASER [3, 5, 8, 12, 61, 70, 74].

### 3.2.2. Rol funcțional

Modulul de diagnoza si loguri asigura transmiterea / recepția din întreg sistemul de diagnoza al autovehiculului. Este indispensabil pentru unitatea de control electronic, ECU, la crearea, deschiderea / închiderea de fișiere si scrierea de informații in sistem.

Modulul de diagnoza si loguri este format din doua cavități:

- carcasa din PA 66 + GF 30
- capacul din PA 66 + GF 25

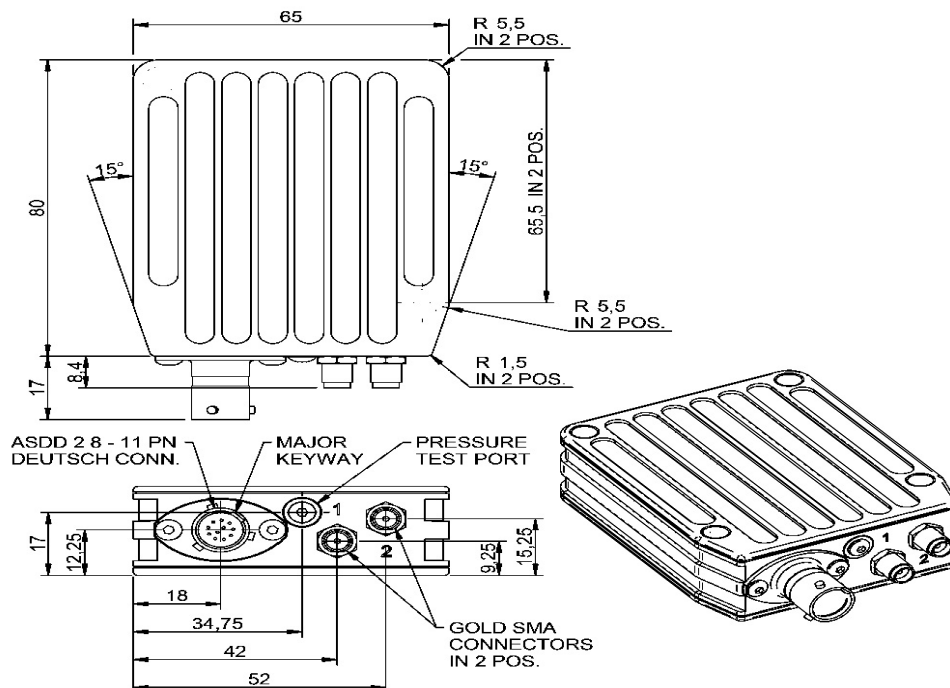


Figura 3.14 Modulul de diagnoza si loguri



### 3.2.3. Materiale utilizate

#### 3.2.3.1. PA - Poliamida

Așa cum s-a evidențiat anterior, materialele utilizate la confecționarea poliamidei de tip PA 66, aceasta este un polimer semicristalin de obicei de culoare albă lăptoasă sau gălbuie, care face parte din grupa de mase plastice tehnice cu rigiditate și rezistență ridicată. Poliamida 66 prezintă o combinație optimă de calitate: rezistență mecanică, rigiditate, rezistență la lovituri și proprietăți bune de alunecare.

În principiu, distingem câteva tipuri de poliamide diferite, în funcție de numărul de monomeri sau de metodele de polimerizare [3, 21, 50, 95, ]:

- PA 6 poliamida extrudată;
- PA 6 G poliamida turnată;
- PA 12;
- PA 66.

Avantajele oferite de poliamida PA 66 sunt:

- rigiditate ridicată și rezistență mecanică bună la temperaturi ridicate;
- reziliență la temperaturi joase;
- rezistență excelentă la îmbătrânire termică;
- rezistență foarte bună la uzură și abraziune;
- rezistență chimică;
- aspect excelent al suprafeței, în special la versiunile armate, în comparație cu tipurile similare de poliamide PA66;
- rezistență excelentă la sudură.

Poliamidele sunt cei mai versatili tehnopolimeri având proprietăți bine echilibrate. Acestea reprezintă soluția ideală pentru aplicații de înaltă performanță. Datorită caracterului robust, rigidității și rezistenței la temperaturi ridicate este materialul potrivit pentru aplicațiile auto, electrice și piese cu cerințe mecanice ridicate.

PA păstrează o bună rigiditate și rezistență mecanică chiar și la temperaturi de peste 100° C. Deși rigiditatea poliamidelor scade brusc în apropierea temperaturii de tranziție vitrosă  $T_g$ , nivelul acestuia se menține bun la puțin sub punctul de topire al polimerului, facilitând injectarea pieselor complexe.

Diferențele între cele două categorii de poliamide, fie ele ranforsate sau neranforsate, sunt nesemnificative până la atingerea temperaturii de deformare a PA 6. În cazul expunerii pe termen scurt la temperaturi de peste 200° C, se recomandă utilizarea PA66. În celelalte cazuri, PA6 reprezintă o opțiune mai bună și mai economică, datorită rezistenței termice mai bune pe termen lung, rezistenței mai ridicate la sudură, aspectului mult mai bun al suprafeței și a altor avantaje de prelucrare.

Poliamidele ranforsate prezintă o rezistență superioară la fluaj, chiar și la temperaturi ridicate. Piese produse din poliamida își păstrează integritatea dimensională în timp, chiar și sub acțiunea unor sarcini mari.

Oferă o rezistență remarcabilă la impact și șoc, până la temperaturi de -20° C (-4° F), chiar și în cazul pieselor injectate și nehidratate. Acesta este motivul pentru care poliamidele sunt preferate celorlalți tehnopolimeri. La temperaturi foarte scăzute (-40° C sau -40° F), piesele devin fragile, fiind posibilă fisurarea acestora la impact. Din acest motiv, familia de produse oferă tipuri modificate la impact pentru aplicațiile critice de siguranță, având o bună elasticitate și rezistență la fisurare chiar și la temperaturi extrem de scăzute.

Produsele injectate din PA pot fi prevăzute cu balamale și elemente cu închidere prin apăsare. De asemenea la aceste piese se pot monta inserții cu un risc redus de fisurare.

În condiții de sarcină dinamică și vibrații, produsele PA armate cu fibre de sticlă prezintă o rezistență de rupere la oboseală superioară celorlalți tehnopolimeri.

Domeniile principale de utilizare a poliamidelor sunt: construcția de mașini, utilaje, vehicule, medicina, industria alimentară, chimică, electronică și electrotehnică, înzestrarea laboratoarelor, construcția de pompe și armături, construcții de precizie și cu presiuni joase.

Materialul se poate prelucra prin așchiere, sudare, lipire, termoformare.

În cadrul fiecărui tip menționat sunt posibile variante cu proprietăți fizicomecanice diferite ceea ce determină diverse câmpuri de utilizare.

#### **3.2.4. Condiții de exploatare**

Modulul de diagnoză și loguri este recomandat să se folosească în următoarele condiții:

- umiditatea maximă 100%;
- temperatura minimă de operare -45°C;
- temperatura internă să nu depășească 70°C măsurată de senzorul interior de diagnoză;
- limitele vibrațiilor 100 – 1000Hz.

## 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA UNOR SUBANSAMBLE DIN COMPONENTA SISTEMULUI DE GESTIUNE ȘI DIAGNOZĂ - UTILIZATE ÎN INDUSTRIA AUTOMOTIVE

### 4.1. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SUDAREA CU ULTRASUNETE A MODULULUI DE CONTROL COMPUTERIZAT

#### 4.1.1. Echipamentul specific utilizat

Pentru experimentări s-a folosit un echipament HiQ EVOLUTION - HERRMANN care este primul și singurul producător de echipamente care a implementat funcția de auto-start în regim de siguranță și securitate pentru operator. Activarea manuală a butonului de start de către operator nu mai este necesară, astfel reducându-se timpii neproductivi. Operatorul se poate concentra doar la pregătirea, încărcarea, descărcarea etc. În tabelul 4.1 se prezintă datele tehnice ale echipamentului, iar în figura 4.1 echipamentul [5, 8, 28, 40, 44, 50, 53, 54, 55, 64, 98].

Performanțele oferite de echipamentul de sudare HiQ EVOLUTION se referă la:

- controlul procesului de sudare;
- PC industrial cu SO Windows;
- controlul vitezei programabil;
- profil flexibil pentru forța de sudare;
- măsurarea poziției foarte precisă [191];
- monitorizarea calității cu memorarea logurilor și a parametrilor;
- concept de siguranță;
- categoria 4 de siguranță prin bariere tip cortină.

Tabelul 4.1 Date tehnice ale echipamentului de sudare US HiQ EVOLUTION

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Puterea generatorului [W]                     | 1200                  |
| Forța de sudare min/max* [N] la 8 bar         | 10-580                |
| Cursa sonotrodei [mm]                         | 100                   |
| Dimensiunile mașinii ( w x h* x d) [mm]       | 850 / 1545 / 800      |
| Lungimea cuplajului cu sonotrodă [mm]         | 250                   |
| Ajustarea pe înălțime [mm]                    | 350                   |
| Panou de control                              | 15"-Touchscreen color |
| Moduri de sudare                              | 6                     |
| Numărul de cicluri memorate                   | 1000                  |
| Numărul de cicluri memorate (date și grafice) | 300                   |



Figura 4.1 Echipamentul de sudare US EVOLUTION – HERRMANN

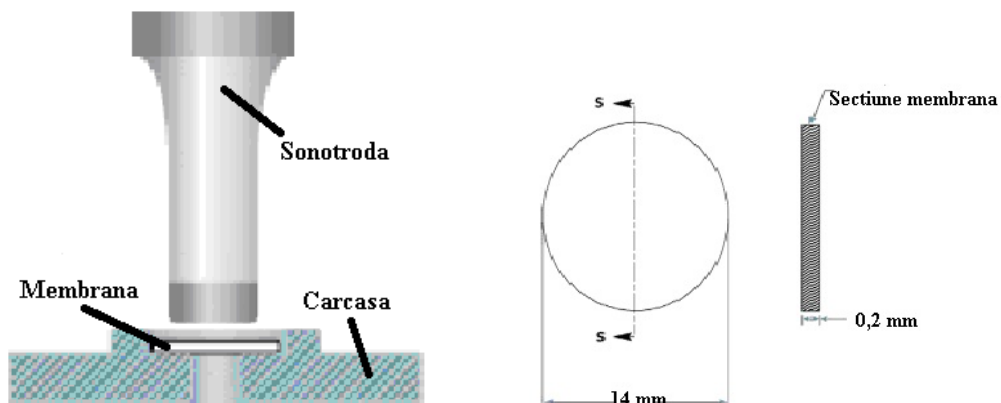
#### 4.1.2. Regimuri de sudare utilizate

În cadrul programului experimental s-au utilizat următorii parametri pentru definitivarea și acceptanța condițiilor de calitate [185, 186, 188]:

- forța de sudare: 50N; 85N; 100N; 150N;
- energia: 25J; 30J; 35J;
- frecvența 35 KHz ;
- timpul de sudare: min 0.1 – max 0,2 secunde;
- amplitudinea: 18  $\mu\text{m}$ ;

Se observa că s-au variat forța de sudare și energia introdusă iar ceilalți parametri de sudare au rămas constanți, prin această influențându-se esențial pătrunderea sudurii.

Au fost salvate datele de la fiecare variație a forței pentru 50 de repere în parte. Datele sunt prezentate în anexele 1-4. În figura 4.2 este prezentată poziția și modul în care se face asamblarea



a. Detaliu poziție de sudare US;

Figura 4.2

b Aspect membrana și secțiune;

Rezultate ale încercărilor efectuate la valoarea forței de sudare  $F=50\text{N}$  sunt prezentate în figura 4.3. Se observă că la valori ale timpului de 20 ms nu apare îmbinarea sudată. După depășirea valorii de 40 ms începe formarea sudurii proces care se sfârșește la valoarea de 160 ms. Creșterea timpului de sudare nu mai influențează penetrarea ca valoare, ambele devenind relativ asimptotice.

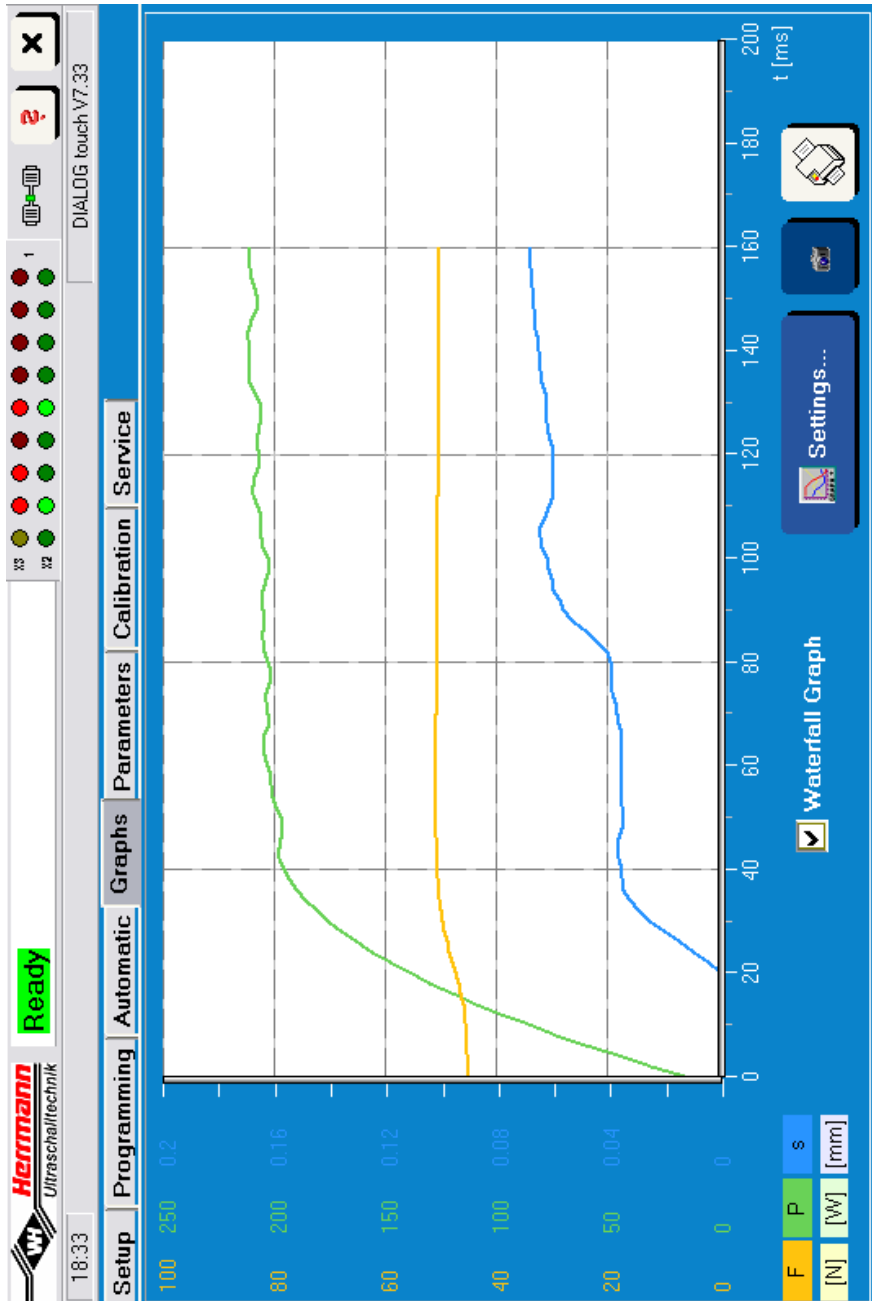


Figura 4.3 Alura curbelor pentru forță, putere și penetrare

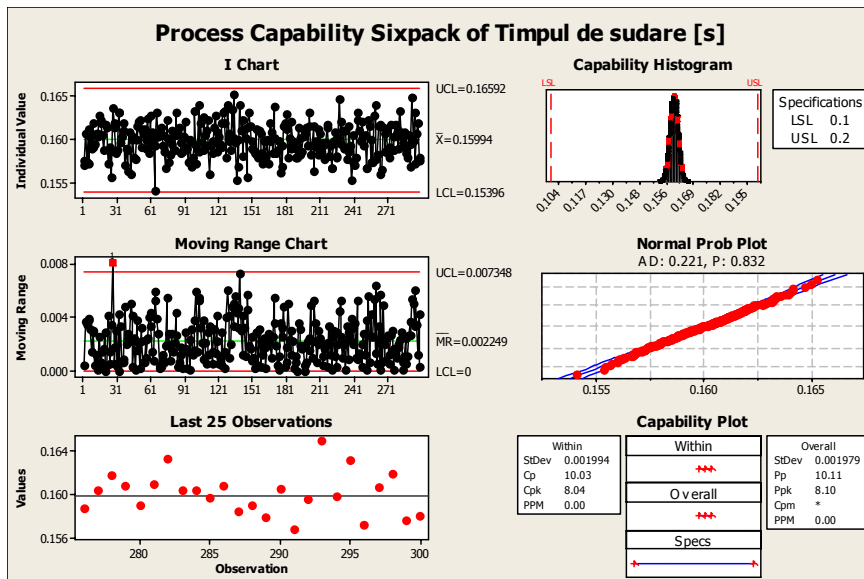


Figura 4.4 Capabilitatea procesului pentru timpul de sudare

Din analiza datelor colectate rezulta un proces capabil si stabil pentru parametrul – timp de sudare. Media valorilor obținute este de 0.15994 secunde / îmbinare, cu valoarea minima de 0.15396 si maxima de 0.16592 secunde, figura 4.4. Pentru parametrul – pătrundere media valorilor obținute este de 0.07025 mm, aflându-se sub limita minima de 0.1 mm, figura 4.5

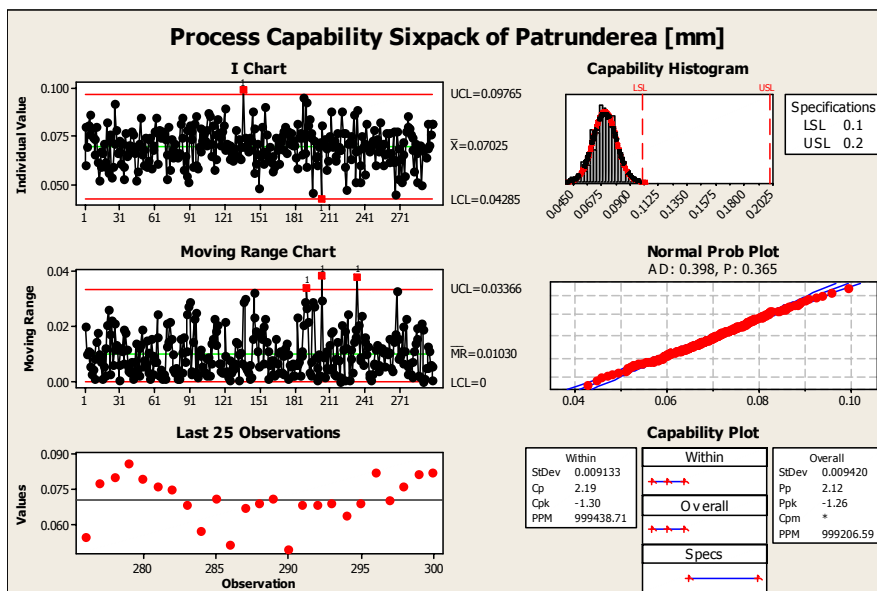


Figura 4.5 Capabilitatea procesului pentru pătrundere

Analizând datele colectate pentru realizarea capabilității procesului pentru parametrul – putere, a rezultat ca media valorilor obținute este de 217.86 W / îmbinare, cu valoarea minima de 204.76 W si maxima de 230.97 W, valori care se încadrează in limitele de calitate, figura 4.6. Chiar daca nu este centrat procesul este stabil si capabil având in vedere specificul tehnologiei de sudare.

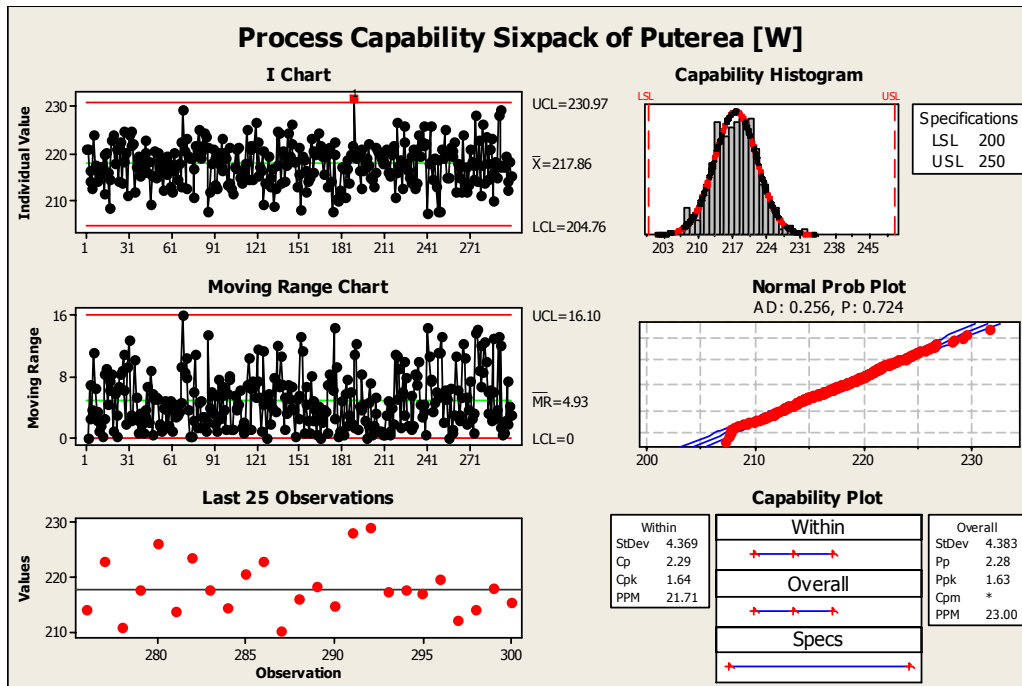


Figura 4.6 Capabilitatea procesului pentru puterea de sudare

Rezultate ale încercărilor efectuate la valoarea forței de sudare F=85N sunt prezentate in figura 4.7. Se observa ca la valori ale timpului de 40 ms începe formarea sudurii proces care se sfârșește la valoarea de 120 ms.

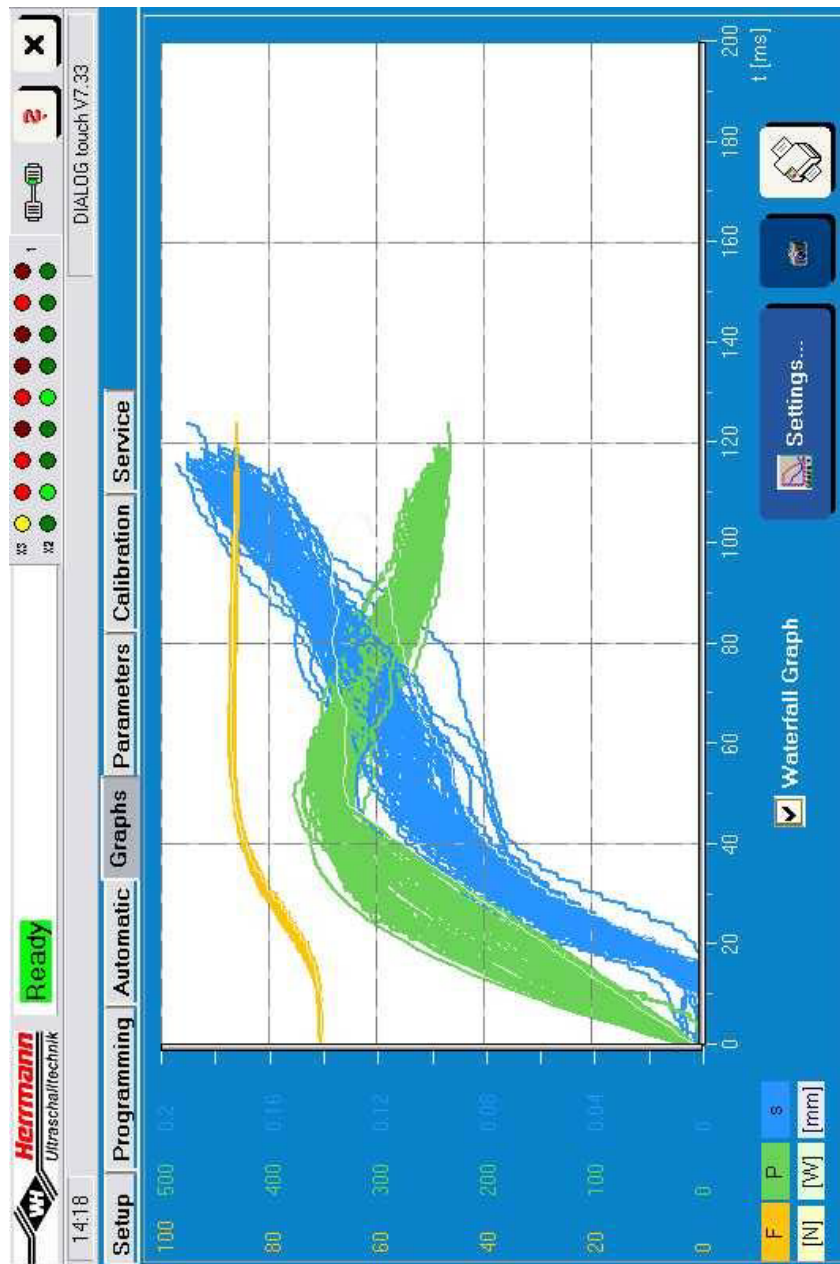


Figura 4.7 Alura curbelor pentru forță, putere și penetrare



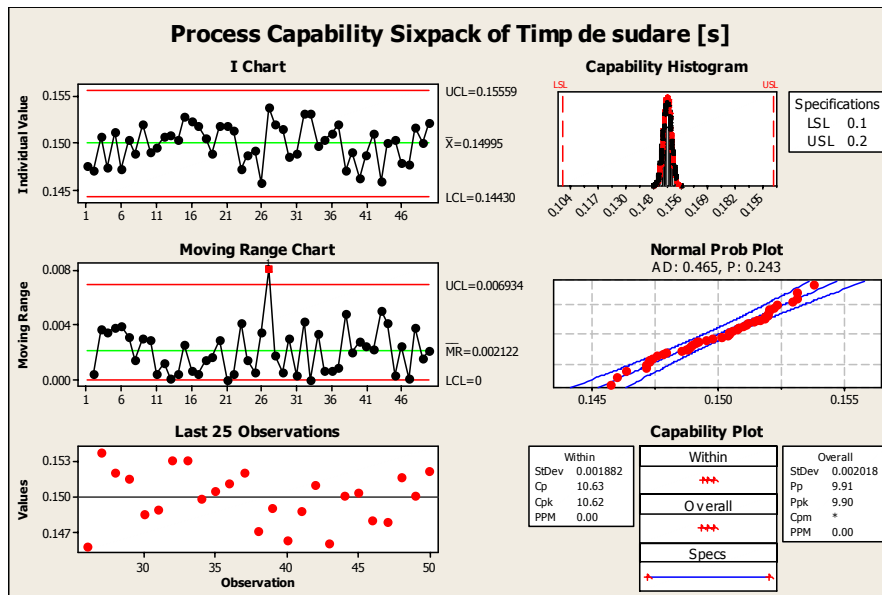


Figura 4.8 Capabilitatea procesului pentru timpul de sudare

Din analiza datelor colectate rezulta un proces capabil si stabil pentru parametrul – timp de sudare. Media valorilor obținute este de 0.14995 secunde / îmbinare, cu valoarea minima de 0.14430 si maxima de 0.15559 secunde, figura 4.8. Pentru parametrul – pătrundere media valorilor obținute este de 0.14022 mm, figura 4.9

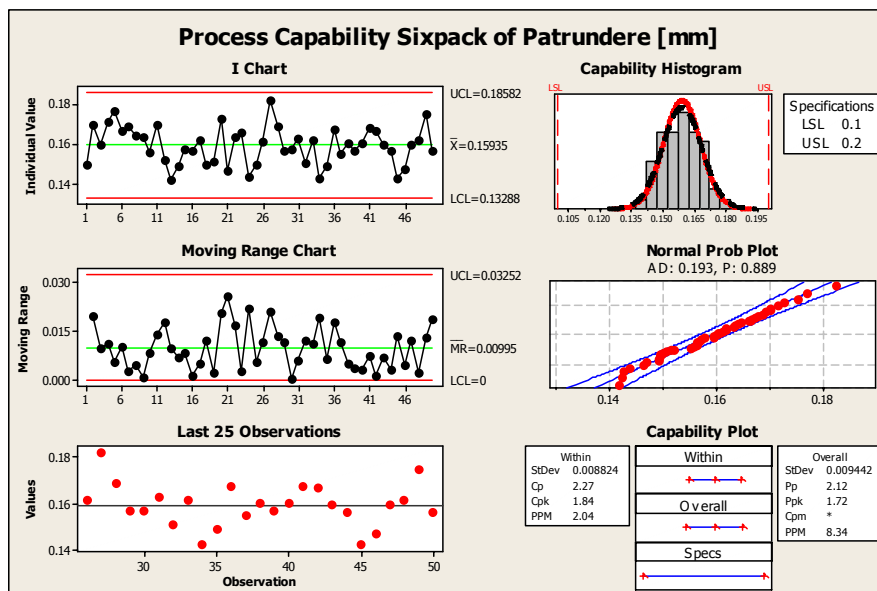


Figura 4.9 Capabilitatea procesului pentru pătrundere

Analizând datele colectate pentru realizarea capabilității procesului pentru parametrul – putere, a rezultat ca media valorilor obținute este de 302,8 W per îmbinare, cu valoarea minima de 290,04 W si maxima de 315,58 W, valori care se încadrează in limitele de calitate, figura 4.10.

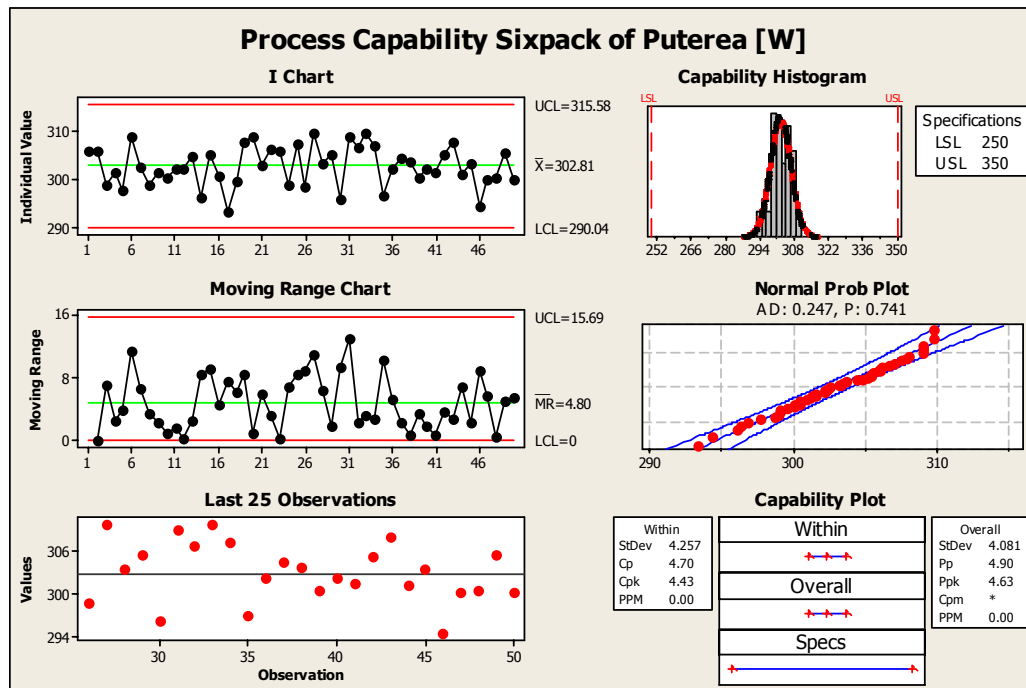


Figura 4.10 Capabilitatea procesului pentru puterea de sudare

Rezultate ale încercărilor efectuate la valoarea forței de sudare  $F=100\text{N}$  sunt prezentate în figura 4.11. Se observa că la valori ale timpului de 20 ms începe formarea sudurii proces care se sfârșește la valoarea aproximativă de 120 ms.



Figura 4.11 Alura curbelor pentru forță, putere și penetrare

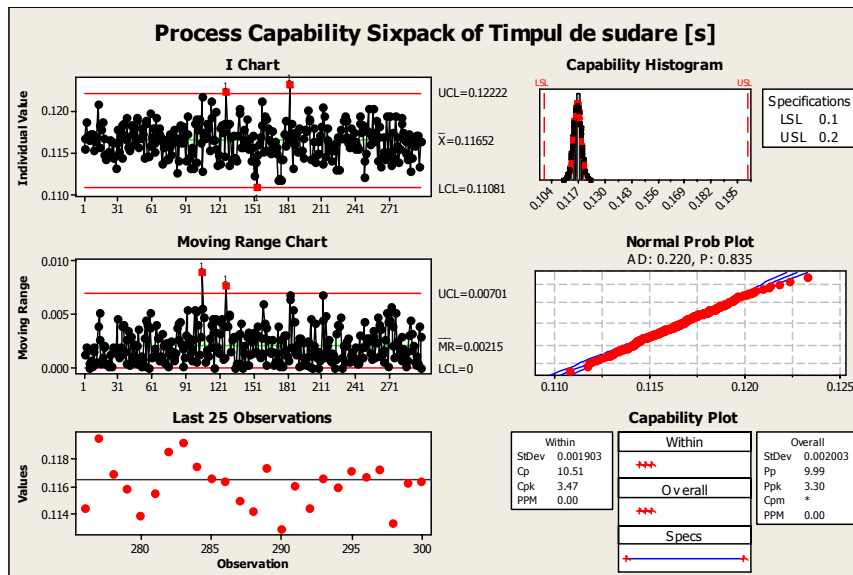


Figura 4.12 Capabilitatea procesului pentru timpul de sudare

Din analiza datelor colectate rezulta un proces capabil si stabil pentru parametrul – timp de sudare. Media valorilor obținute este de 0.11652 secunde / îmbinare, cu valoarea minima de 0.11081 si maxima de 0.12222 secunde, figura 4.12. Pentru parametrul – pătrundere media valorilor obținute este de 0.14022 mm, figura 4.13

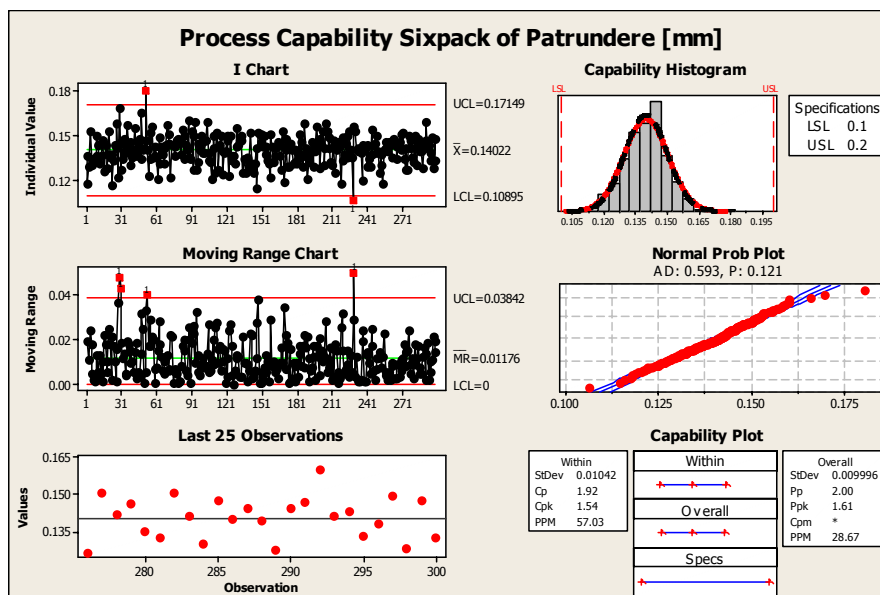


Figura 4.13 Capabilitatea procesului pentru pătrundere

Analizând datele colectate pentru realizarea capabilității procesului pentru parametrul – putere, a rezultat ca media valorilor obținute este de 325,8 W per îmbinare, cu valoarea minima de 263,8 W si maxima de 387,8 W, valori care se încadrează in limitele de calitate. Procesul este centrat, stabil si capabil având in vedere specificul tehnologiei de sudare, figura 4.14.

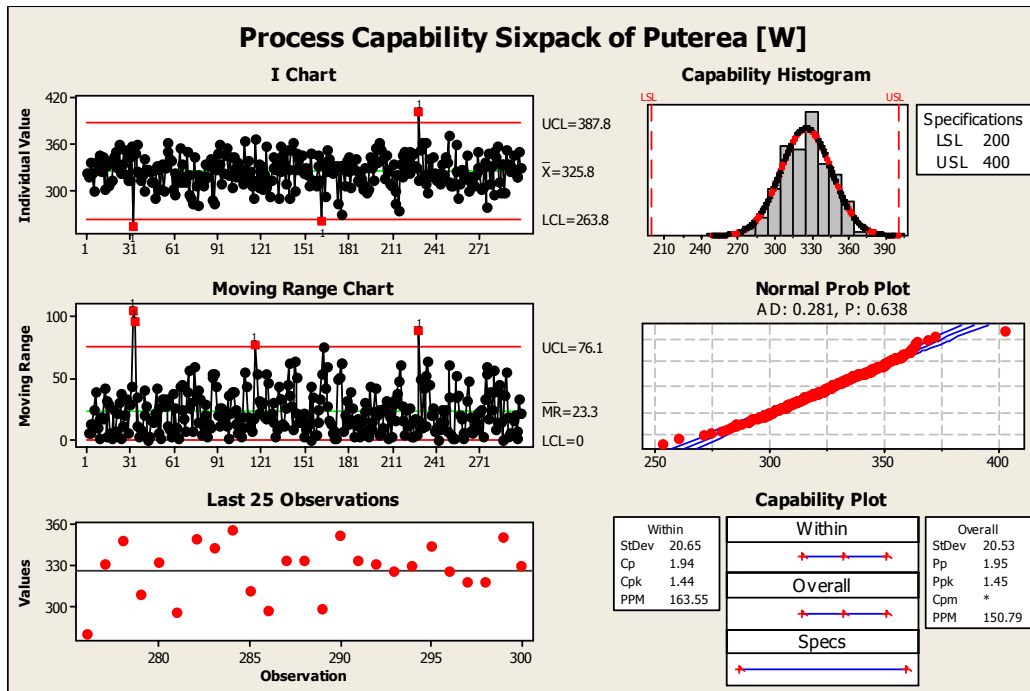


Figura 4.14 Capabilitatea procesului pentru puterea de sudare

Rezultate ale încercărilor efectuate la valoarea forței de sudare  $F=150\text{N}$  sunt prezentate în figura 4.15. Se observă că la valori ale timpului de 10 ms începe formarea sudurii proces care se sfârșește la valoarea de 70 ms.

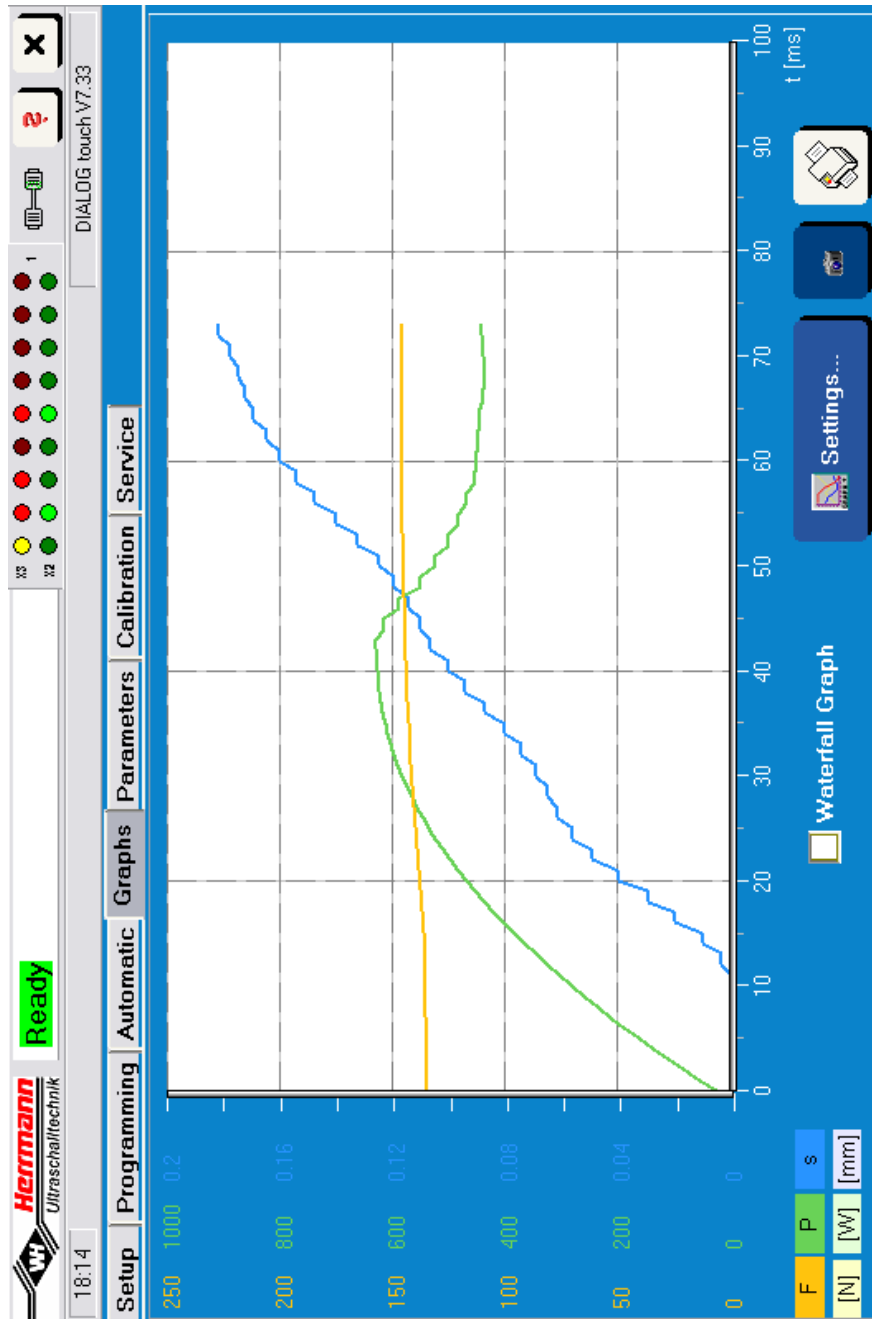


Figura 4.15 Alura curbelor pentru forță, putere și penetrare

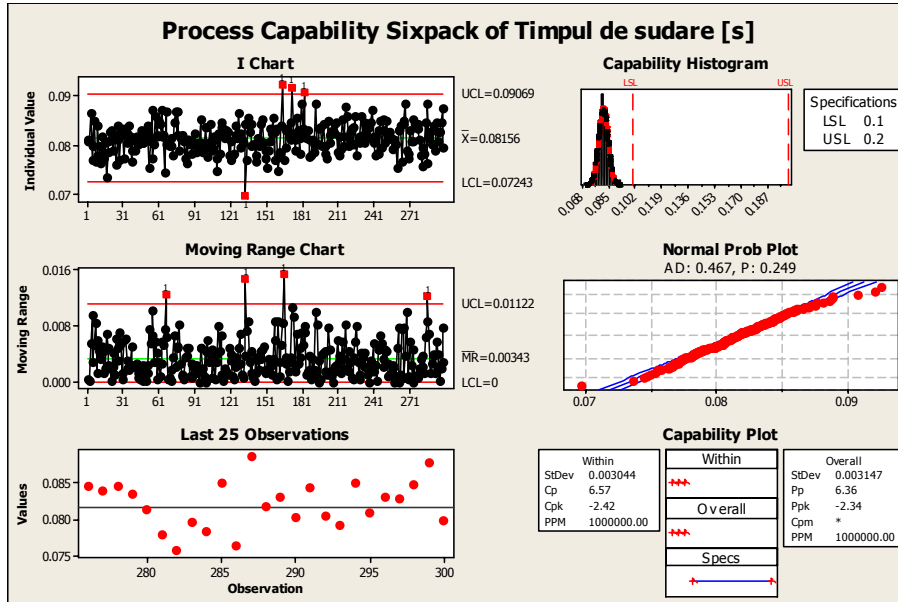


Figura 4.16 Capabilitatea procesului pentru timpul de sudare

Din analiza datelor colectate rezulta un proces care nu este capabil pentru parametrul – timp de sudare. Media valorilor obținute este de 0.08156 secunde / îmbinare, cu valoarea minima de 0.07248 si maxima de 0.09069 secunde, figura 4.16. Pentru parametrul – pătrundere media valorilor obținute este de 0.12045 mm, dar existând si valori sub limita minima admisa de 0,1 mm, figura 4.17

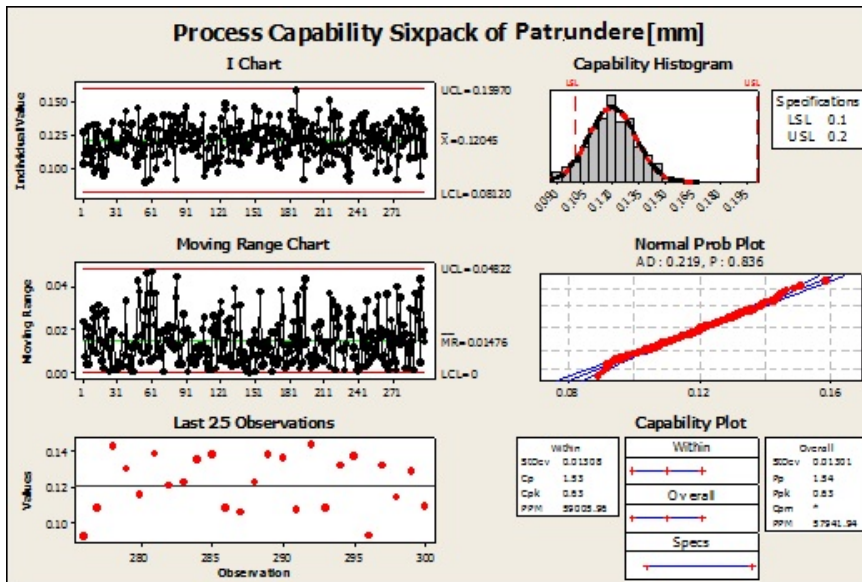


Figura 4.17 Capabilitatea procesului pentru pătrundere

Analizând datele colectate pentru realizarea capabilității procesului pentru parametrul – putere, a rezultat ca media valorilor obținute este de 462 W per îmbinare, cu valoarea minima de 408,2 W si maxima de 515,9 W, valori care se încadrează in limitele procesului pentru o îmbinare de calitate - figura 4.18. Capabilitatea procesului releva ca procesul pentru acest parametru nu este centrat, având in vedere specificul tehnologiei de sudare.

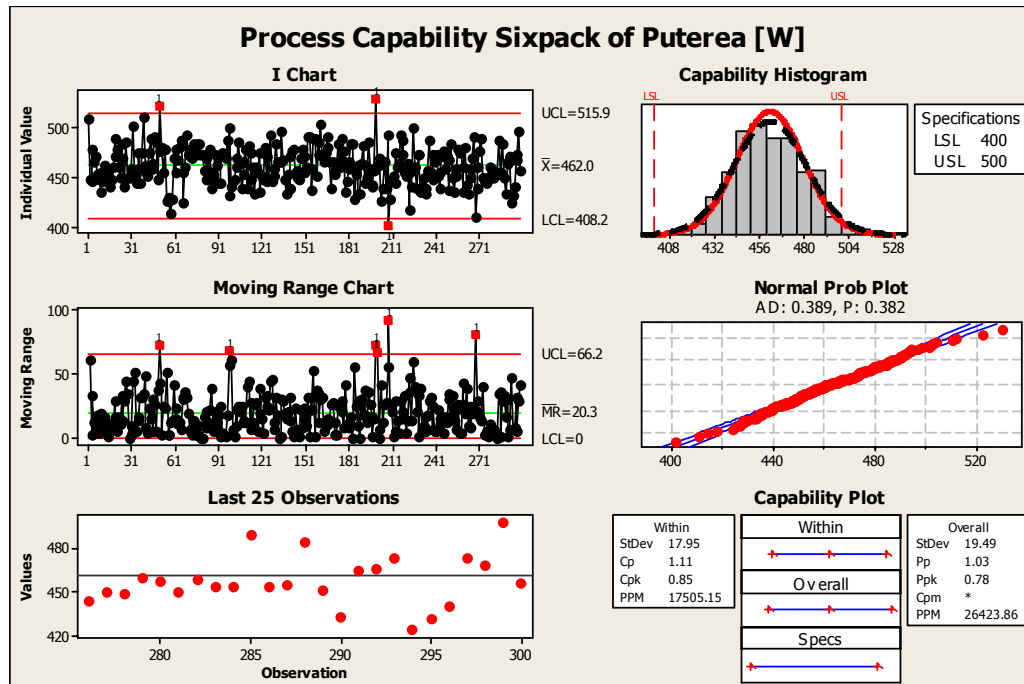


Figura 4.18 Capabilitatea procesului pentru puterea de sudare

Analizând variația energiei la 25J, 30J si 35J a fost posibilă obținerea următoarelor informații prezentate in figurile 4.19-4.21. Datorita faptului ca sunt multe informații, capabilitatea procesului s-a efectuat numai pentru parametrul – pătrundere. Detalii ale valorilor se pot obține din anexele 5-7.



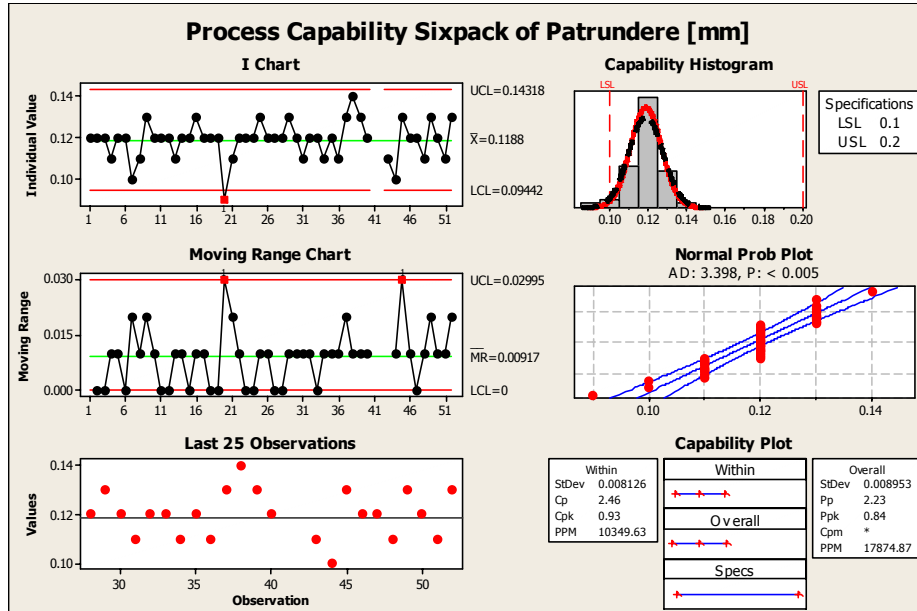


Figura 4.19 Capabilitatea procesului pentru pătrundere-energia de 25J

Din analiza datelor colectate când energia introdusa a fost de 25J, rezulta un proces care nu este capabil pentru parametrul – pătrundere, figura 4.19. Când energia introdusa a fost de 30J, pentru parametrul – pătrundere media valorilor obținute este de 0.15548 mm, obținându-se un proces capabil si centrat figura 4.20

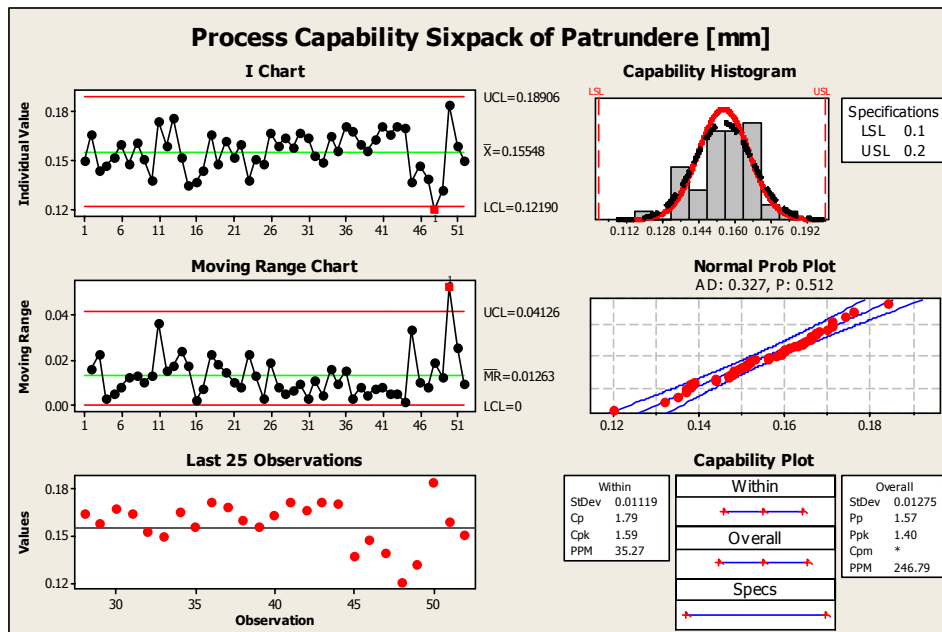


Figura 4.20 Capabilitatea procesului pentru pătrundere-energia de 30J

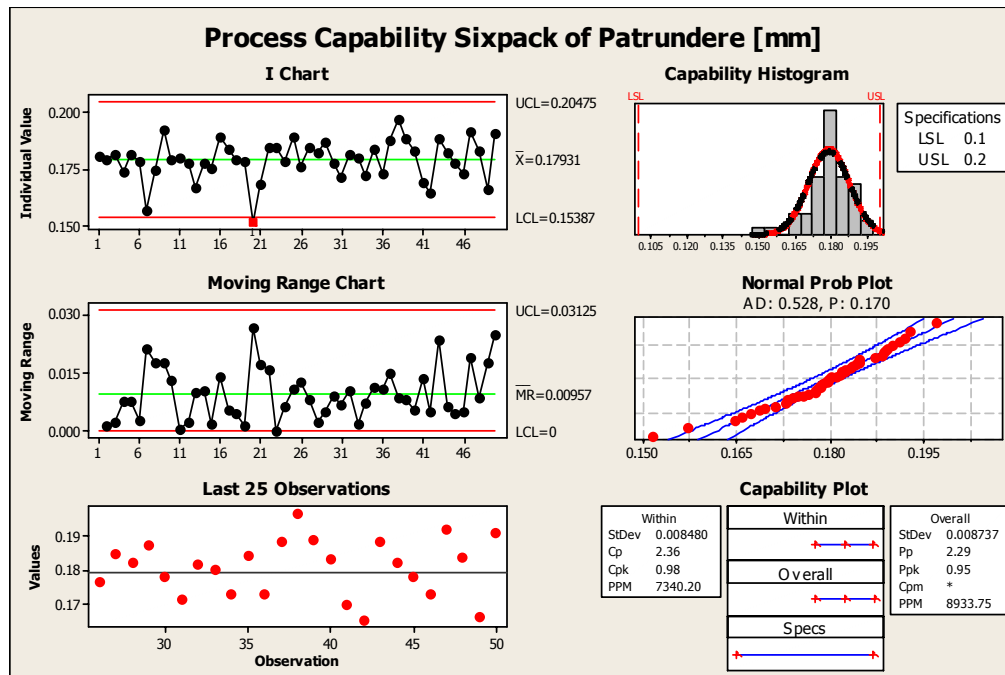


Figura 4.21 Capabilitatea procesului pentru pătrundere-energia de 35J

Pentru energia introdusa de 35J, pentru parametrul – pătrundere au fost obținute datele prezentate in figura 4.21, unde media valorilor obținute a fost de 0.17931 mm, obținându-se un proces care nu este capabil si centrat



Figura 4.22 Aspect vizual al sudării cu ultrasunete membrana PTFE cu carcasa din PPE

#### 4.1.3. Controlul procesului la sudarea cu ultrasunete

Momentan nu sunt metode non-distructive pentru inspectarea componentelor sudate cu ultrasunete ale termoplasticelelor. De aceea, este important ca parametrii procesului de sudare sa fie monitorizați și controlați. De la apariția echipamentelor controlate de microprocesor, majoritatea echipamentelor de sudură cu ultrasunete sunt capabile de a monitoriza parametrii esențiali, precum energia introdusa in îmbinare, timp de sudare, grosimea îmbinării și puterea de sudare. Unele echipamente au si un proces de control statistic - SPC, software, care permite pana la 200000 de înregistrări să fie colectate și stocate. Acest lucru este util pentru monitorizarea tendințelor și abaterilor datelor din proces atunci când sunt implicate loturi mari de componente.

Atunci când un echipament de sudare cu ultrasunete este setat inițial pentru sudare, este important să se definească un criteriu de acceptare pentru componentă.

Acest lucru va fi, de obicei, o rezistență la rupere particulară, test de etanșare sau aspectul. Odată ce acest lucru este definit, un lot de componente, în general, de la 50 la 300, ar trebui să fie fabricate și monitorizate parametrii de sudare, ca de exemplu: timpul, energia de sudare și grosimea îmbinării pot fi monitorizate.

#### **4.1.4. Concluzii referitoare la sudarea cu ultrasunete a modului de control computerizat**

Cercetările experimentale efectuate referitor la sudarea cu ultrasunete a modului de control computerizat a permis următoarele concluzii:

- vibrațiile în exces ar trebui evitate;
- frecvența înaltă și amplitudinea mică este de preferat;
- geometria ansamblului și a membranei sunt critici pentru o îmbinare de calitate;
- carcasa din PPE trebuie să fie fixată în timpul procesului astfel încât energia să fie direcționată în zona îmbinării;
- având în vedere că echipamentul permitea, s-a folosit un parametru – prag de distanță, astfel încât au fost evitate sudurile neconforme datorită asperităților sau defectelor de injecție;
- forța este critică; prea mare – va cauza o vibrație în componente comportându-se ca un singur sistem, fără generare de căldură, sau prea mică – neasigurându-se contact de frecare destul și căldura;
- condițiile optime de sudare depind preponderent de caracteristicile de compoziție și geometrie ale membranei.

## **4.2. CERCETĂRI PRIVIND SUDAREA CU LASER A MODULULUI DE DIAGNOZĂ ȘI CONTROL**

### **4.2.1. Echipamentul specific utilizat**

Echipamentul de sudare laser LQ-Power este ultima evoluție a echipamentelor de sudare pentru plastice și este munca inginerilor de la firma LaserQuipment cu 10 ani experiență în optimizarea procesului, fundamental pentru componentele din industria medicală, aerospațială, automotive, etc. Echipamentul întrunește cele mai riguroase cerințe de calitate din industria de asamblare. Echipamentul LQ-Power este destinat de a lucra cu piese de gabarit de până la 160 x 160 x 100mm. Configurația de lucru este ideală pentru încărcarea manuală a componentelor ce se sudează, dar poate să fie configurată pentru sistem automat de încărcare printr-un sistem „pick & place”.

Principalele caracteristici ale echipamentului LQ-Power sunt prezentate în tabelul 4.2, figura 4.23 oferind o vedere frontală a sa [113]



Figura 4.23 Echipamentul de sudare LASER LQ Power

Tabelul 4.2 Specificații tehnice ale echipamentului de sudare LQ Power [113]

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Sursa fascicul laser            | Laser dioda cu fibra răcita cu apa<br>Lungimea de unda: 980 nm<br>Putere Laser: 30-150 W<br>Diametrul fibrei optice: 0.3 mm cu monitorizarea temperaturii  |
| Aria de lucru                   | 45 x 45 mm, 110 x 110 mm, 154 x 154 mm   |
| Tehnologia de clampare          | Clampare pneumatica sus-jos<br>Supervizare electronica a poziției de final<br>Sistem de măsurare inductiv pentru memorarea parametrilor de proces<br>Placi adaptoare pentru o varietate de sisteme de clampare |
| Controlul sistemului            | Siemens 315 F cu microprocesor<br>Siemens TP 1708 panou touch<br>Managementul parametrilor<br>PC industrial pentru arhivarea datelor de proces   |
| Software                        | ProSeT - LQ pentru programarea conturului de sudare  |
| Monitorizarea procesului ONLINE | Monitorizarea procesului prin timp și distanța de îmbinat  |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Interfețe                     | 24 V control I/O, Ethernet, RD-232, PROFIBUS, Anybus                               |
| Necesar punere în funcționare | Tensiune 240V/20A<br>Curent: max. 3 KW<br>Presiune aer: 6 bar                      |
| Condiții de mediu             | Temperatura maxima de operare: 40° C<br>Umiditatea: 80% la 25° C                   |
| Sistemul de răcire            | Unitate integrată de răcire apa / aer  |
| Dimensiuni                    | Dulapul de control: 800 x 800 x 2,000 mm<br>Unitatea de sudare: 400 x 700 x 650 mm |

#### 4.2.2. Regimuri de sudare utilizate

În cadrul programului experimental s-au efectuat următoarele experimentări în următoarele condiții:

- pătrunderea: 0.2 mm;
- timpul de sudare: max 9 secunde;
- puterea fasciculului: 85W; 100W; 125W;
- forța de presare: 2100N.

Se observa ca principalii parametri de sudare: pătrundere, forța de presare și timpul de sudare s-au păstrat constant. Singurul parametru variat a fost puterea fasciculului LASER [107, 108, 109].

Au fost salvate datele de la fiecare variație a puterii pentru 50 de repere în parte. Datele sunt prezentate în anexele 9-11.

Alături de proprietățile optice, stabilitatea dimensională și calitatea suprafețelor materialelor de îmbinat poate de asemenea să influențeze sudarea LASER. Proprietățile suprafeței partenerului transmisiv influențează reflecția fasciculului când este penetrat de asemenea și ieșirea fasciculului spre zona de separație a componentelor. Ar putea exista o creștere a reflecțiilor la locul de ejecție din matrița. Stabilitatea dimensională a componentei este un factor critic pentru contactul termic al partenerului de îmbinare.

Dacă nu se poate asigura fixarea componentelor în dispozitivul de fixare, atunci conducția termică va fi defectuoasă în acele puncte cauzând arsuri.

Un efect similar apare atunci când există creștături în unul dintre partenerii de asamblare. Probleme de acest tip pot fi cauzate de exemplu, prin manipularea necorespunzătoare în timpul transportului și a proceselor de asamblare, care pot avea loc în amonte procesului de sudare. Efectele pot fi determinate de acumularea de căldură locală, de supraîncălzirea partenerului inferior, de aderare, rezultând o cusătura necorespunzătoare și etanșare defectuoasă.

În vederea selectării regimurilor optime de sudare cele obținute prin încercări cu variația parametrilor au fost prelucrate statistic folosindu-se un software dedicat – Minitab, corespunzător fiecărui parametru al regimului de sudare, rezultatele fiind prezentate în figurile 4.24 – 4.26

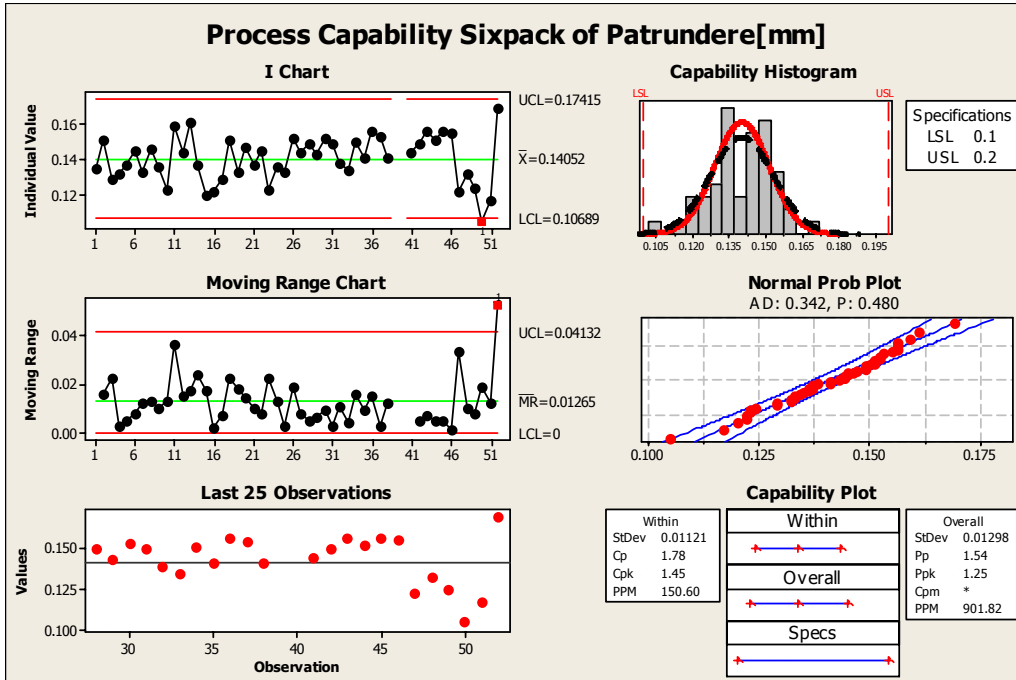


Figura 4.24 Capabilitatea procesului pentru parametrul pătrundere la puterea de 85 W

Din analiza datelor colectate rezulta un proces care este capabil si centrat pentru parametrul – pătrundere, figura 4.24.

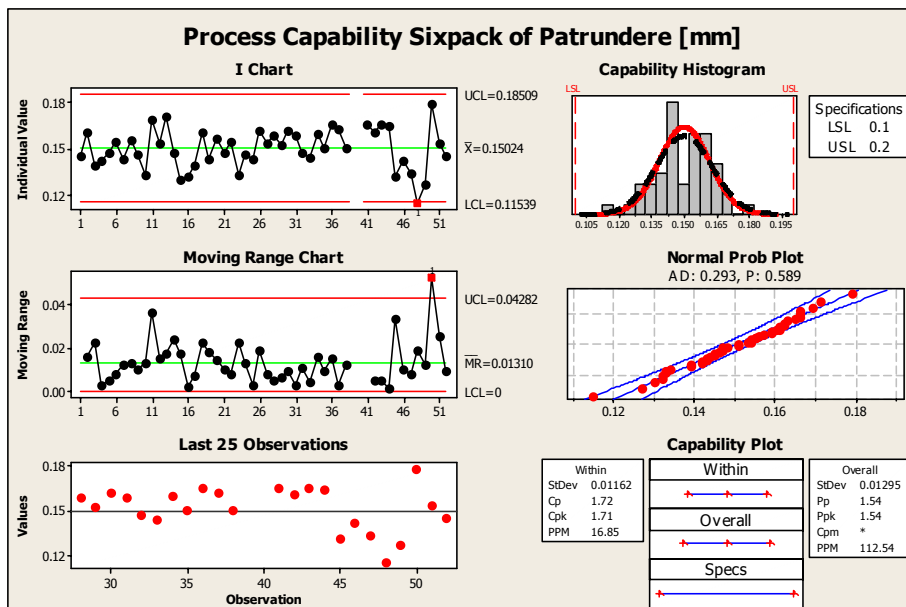


Figura 4.25 Capabilitatea procesului pentru parametrul pătrundere la puterea de 100 W

Din analiza datelor colectate rezulta un proces care este capabil si centrat pentru parametrul – pătrundere. , figura 4.25 Pentru cazul când puterea fascicului LASER a fost de 125 W , procesul nu este capabil si centrat

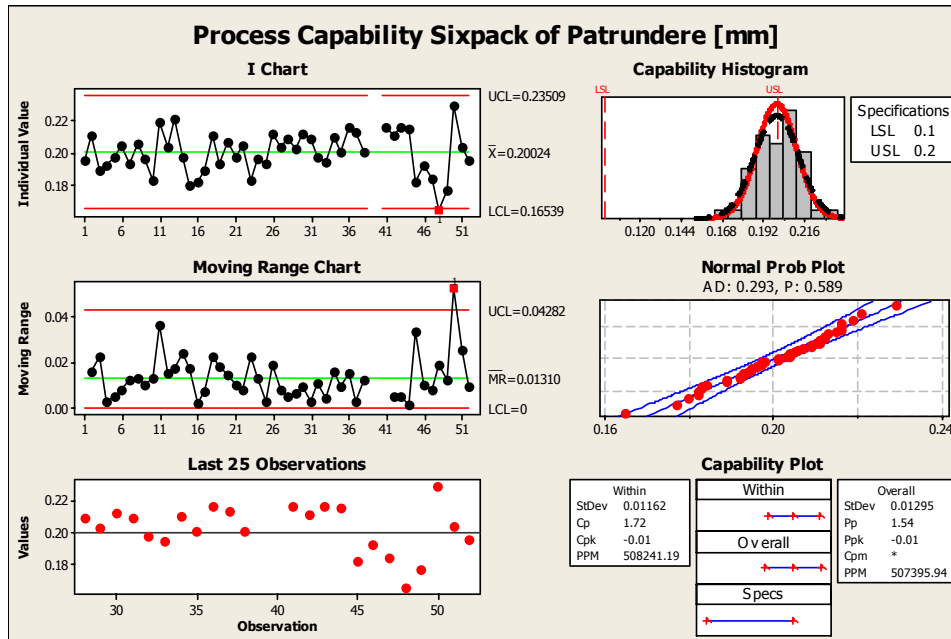


Figura 4.26 Capabilitatea procesului pentru parametrul pătrundere la puterea de 125 W

### 4.2.3. Controlul procesului

Sudarea LASER a componentelor din plastic este preferata de obicei pentru precizie și capabilitatea procesului. Multe dintre componentele în cauză au cerințe ridicate de calitate și toleranțe strânse, de aceea, asigurarea calității și validarea trebuie să fie în conformitate și cât mai precise, iar sistemul de măsurare integrat trebuie să fie capabil să măsoare cele mai mici abateri de toleranță.

În sine, procesul de sudare cu LASER a componentelor din plastic este extrem de fiabil și repetabil. Cu toate acestea, procesul poate fi instabil datorită unor abateri dimensionale mici ale pieselor care urmează să fie sudate. Cele două cauze de îngrijorare sunt abateri geometrice și optice.

Există cinci tipuri diferite de tehnici de monitorizare a procesului de sudare cu laser a plasticelor, asigurându-se că orice abatere, geometrică și/sau optică, este în măsură să fie monitorizată în mod eficient. Aceste cinci tehnici sunt:

- monitorizarea distanței de topire;
- pirometrie;
- reflecție;
- detecția arsurilor;
- sistem camera video.

Monitorizarea distanței de topire este cea mai robustă și de multe ori cea mai folosită metodă de monitorizare a procesului. Aceasta tehnica face uz de convergență naturală a componentelor care sunt presate sub forța de clampare.



De obicei componentele inferioare absorbante sunt proiectate cu o nervura. Aceasta nervura odată topită și presată va forma baia comuna cu componenta superioară transmisivă. Măsurarea distanței de topire poate fi utilizată pentru a determina calitatea sudurii. Procesul de sudare cu LASER în sine este extrem de fiabil, dar chiar și cele mai mici abateri de la dimensiunile componentelor poate duce la suduri de proastă calitate. Dacă cele două componente ce urmează a fi sudate sunt ușor deformabile, acest lucru poate duce la lipsa de pătrundere. Lipsa de pătrundere mai mare de 0,05 mm degradează în mod semnificativ calitatea sudurii. Proiectarea componentei cu nervuri de o valoare mai mare decât dublul toleranței poate asigura că distanța de topire va depăși toleranțele și sudura va fi în conformitate.

Odată ce distanța de topire adecvată este determinată în testare, parametrii sunt introduși în sistem. În cazul în care piesa asamblată nu întrunește limitele impuse din sistem, în timpul producției, aceasta va fi marcată și respinsă și toate datele vor fi stocate pentru o evaluare ulterioară. Dispozitivul care măsoară distanța de topire este cunoscut ca un traductor de tensiune liniară pentru distanță. Acuratețea este de mai puțin de 0,01 mm, care este nejustificată, deoarece chiar și procesele cele mai precise de turnare prin injecție sunt incapabile de a produce în toleranțe dimensionale de mai puțin de 0,02 mm.

#### **4.2.4. Concluzii referitoare la sudarea cu LASER a modulului de diagnoză și control**

Analizând datele obținute prin prelucrarea statistică se poate concluziona că există trei categorii de factori care joacă un rol important în calitatea sudurii:

- Materialele care se diferențiază prin:
  - temperatura de topire;
  - compatibilitatea chimică;
  - gradul de armare cu fibre;
  - compatibilitatea, amorfe vs. semi-cristaline;
  - aditivii;
  - culorile-gradul de dificultate.
- Componenta/geometria prin următoarele caracteristici:
  - grosimea stratului superior;
  - muchia de îmbinare;
  - toleranțele componentei;
  - accesul la sudare.
- Procesul de sudare, diferențiat de:
  - există patru tipuri majore de procese: sudarea pe contur, sudura contur simultană, cvasi-simultană și sudarea hibrid;
    - lungimea de undă - materialele termoplastice sunt transmisive între 808 - 1070 nm, cu diferențele dintre tipurile de materiale
    - puterea LASER /energia;
    - echipamentul de clampare;
    - poziționarea grupată.

## 5. CERCETARI PRIVIND CALITATEA ÎMBINĂRILOR SUDATE REALIZATE IN CADRUL PROGRAMULUI EXPERIMENTAL

### 5.1. ASPECTE GENERALE

Având în vedere că reperele fac parte din industria automotive iar cerințele de calitate și fiabilitate sunt foarte mari – 2ppm, și echipamentele destinate asamblării sunt optimizate astfel încât să se poată obține subansamble la standardele de calitate și fiabilitate necesare.

Echipamentele sunt optimizate pentru a nu lăsa posibilitate operatorului de a face greșeli.

### 5.2. CALITATEA IMBINARILOR SUDATE CU ULTRASUNETE A MODULULUI DE CONTROL COMPUTERIZAT

#### 5.2.1. Verificarea etanșeității

Pentru asigurarea calității procesului piesele sudate au fost testate la etanșare. Este un test nondistructiv bazat pe rata de curgere a aerului. Testul constă în umplerea volumului modulului cu un volum de aer și verificarea după 10 secunde dacă sunt scăpări. Testarea cu aer detectează scurgerile mici, și elimină nevoia de uscare. Testarea se face prin membrana sudată ultrasonic din PTFE. Echipamentul de test este CETA- figura 5.1

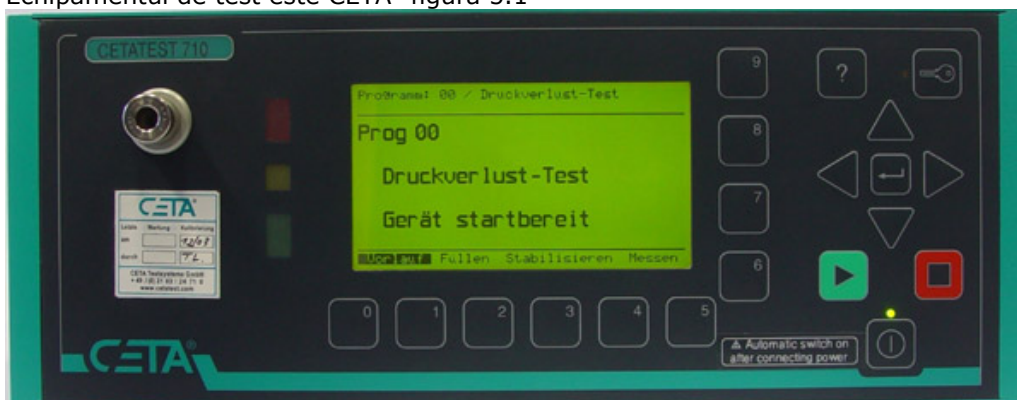


Figura 5.1 Echipament de testare etanșeitate CETA

Secvența de test este următoarea:

- presurizarea componentei de testat la presiunea de 50 mbar și închiderea supapei;
- stabilizarea presiunii timp de 10 sec;
- deschiderea supapei și analiza volumului scurs din cavitate;
- compararea valorilor cu a limitelor de scurgere;

5.2 - Calitatea imbinarilor sudate cu ultrasunete a modulului de control computerizat 107

Limitele de verificare au fost: max. 50 mbar si min 35 mbar. Din totalul de 300 componente sudate cu ultrasunete în cadrul programului experimental nu au existat suduri neconforme. In figura 5.2 se poate observa capabilitatea procesului la testarea membranei sudate cu ultrasunete.

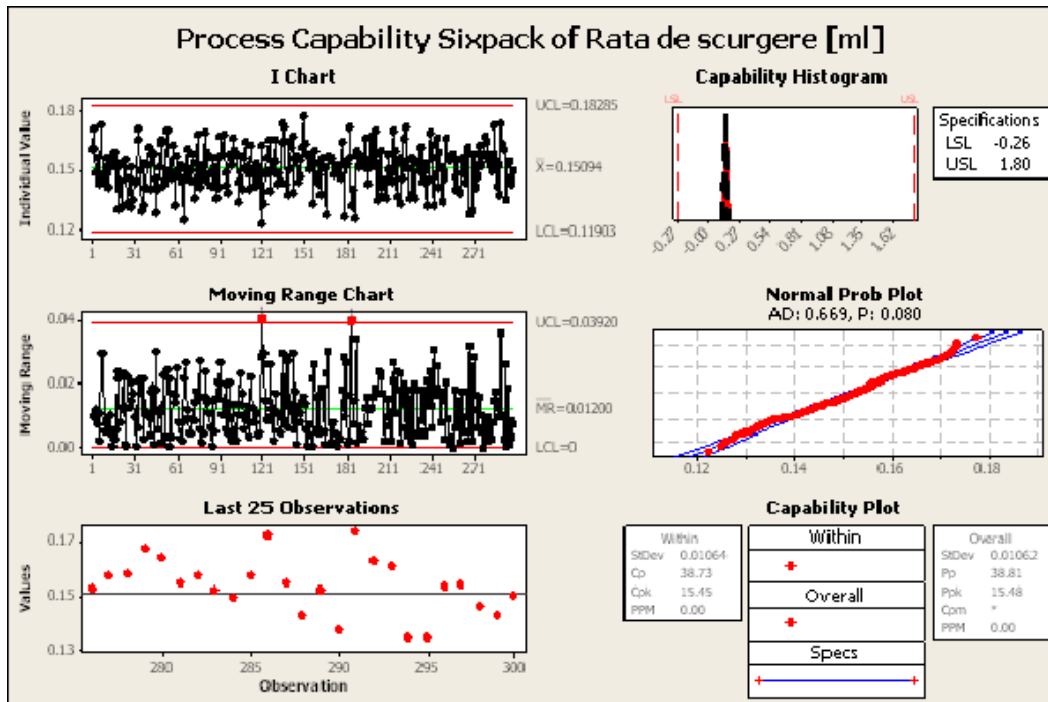


Figura 5.2 Capabilitatea procesului la testarea etansșeității membranei sudate cu ultrasunete

Din analiza datelor colectate pentru realizarea capabilității procesului pentru parametrul - rata de scurgere, a rezultat ca media valorilor obținute este de 0,15094 per componenta testata, cu valoarea minima de 0,11903 ml si maxima de 0,18285 ml, valori care certifica procesul si calitatea îmbinării membranei - figura 5.2. Datele pentru aceasta capabilitate sunt prezentate in anexa numărul 8.

**5.2.2. Încercări materialografice**

Îmbinările sudate la parametrii optimi de proces stabiliți pe cale experimentală au fost supuse unor investigații macro si micrografice. Figurile 5.3-exemplifica cateva imagini reprezentative pentru cuplurile de material considerate.

În figurile 5.3-5.23 Macro si micrografia îmbinărilor realizate cu variația forței la sudarea cu ultrasunete : (1-50N) (2-100N) (3-150N), precum sudarea laser.

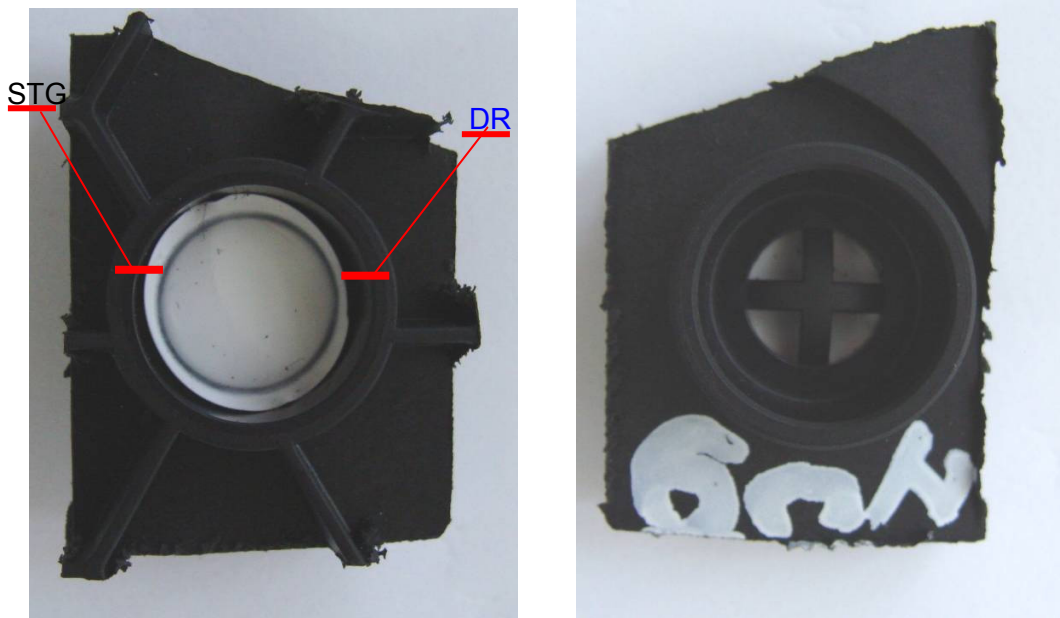


Figura 5.3 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 50N)  
A- Avers ; B- Revers

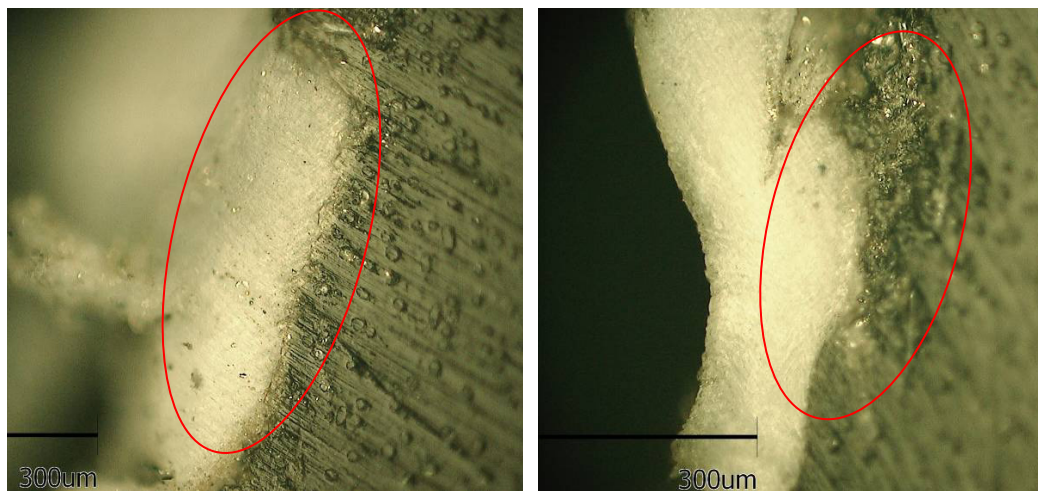


Figura 5.4 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 50N)  
Microscopie optica A- Secțiune STG ; B- Secțiune DR; X- Îmbinare sudata

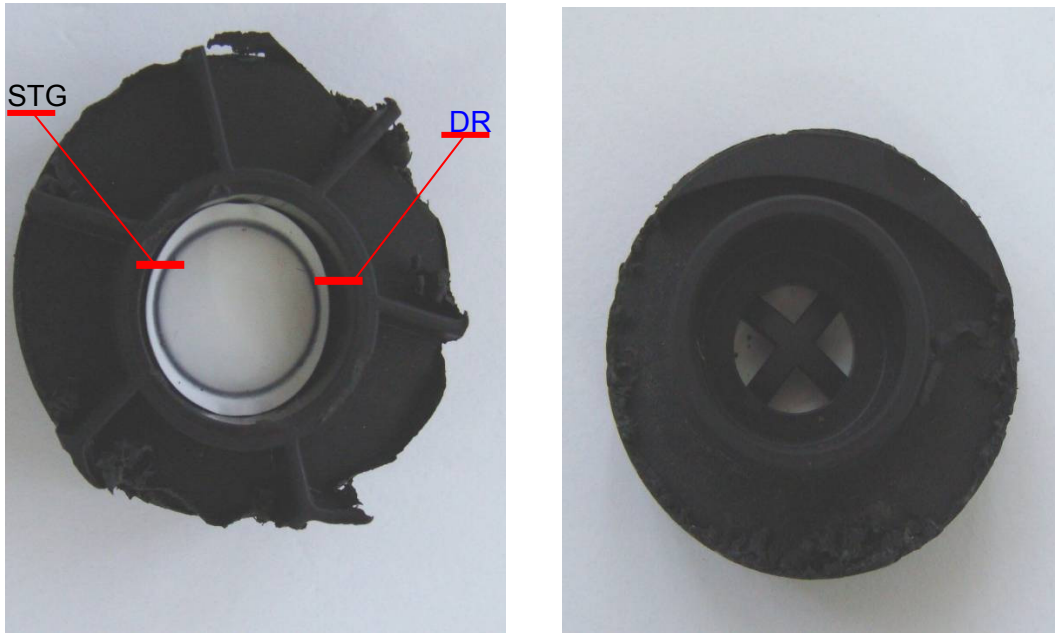


Figura 5.5 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 100N)  
A- Avers ; B- Revers

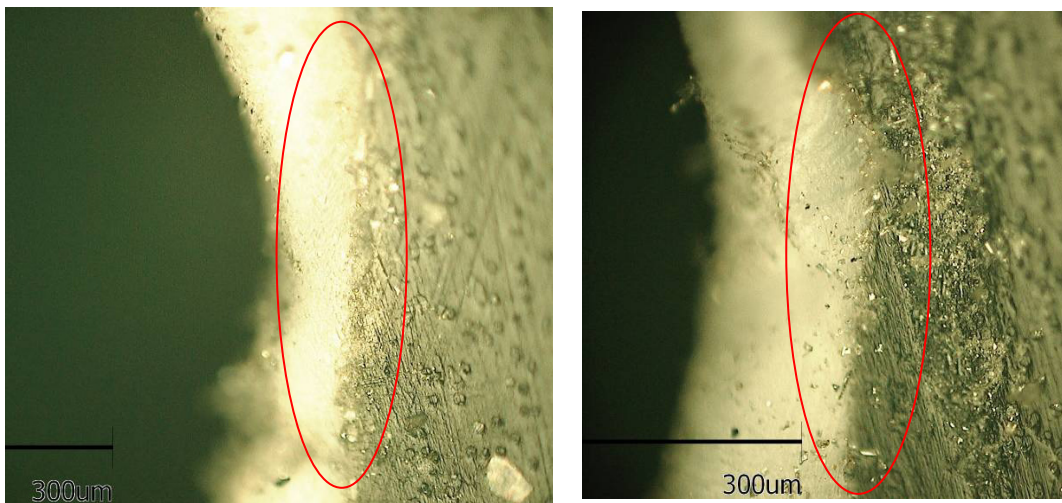


Figura 5.6 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 100N)  
Microscopie optica A- Secțiune STG ; B- Secțiune DR; X- îmbinare sudata

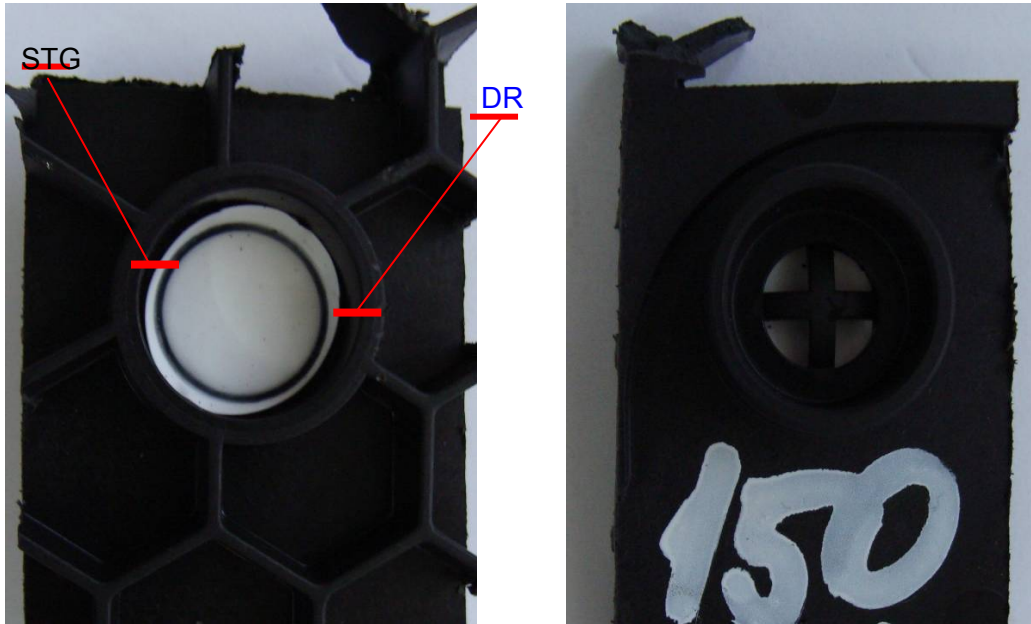


Figura 5.7 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 150N)  
A- Avers ; B- Revers

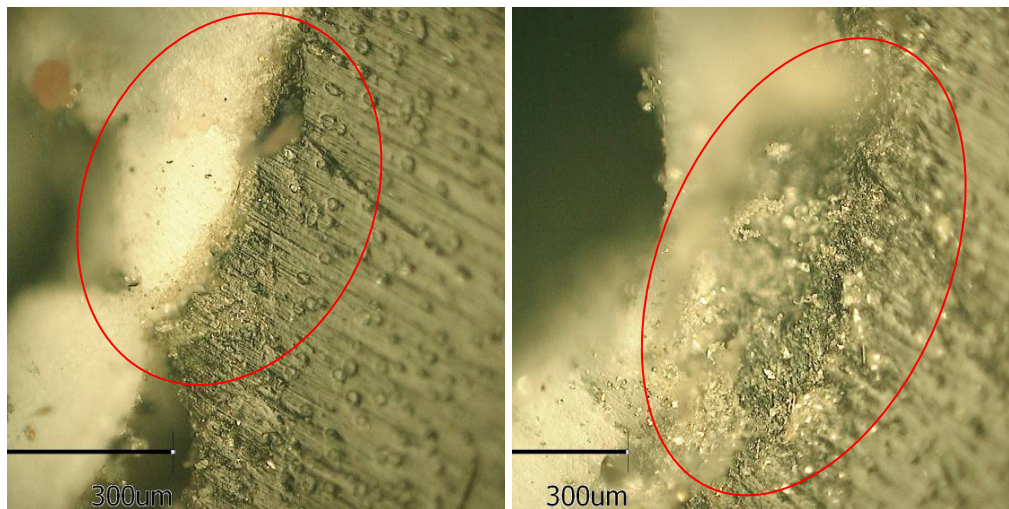


Figura 5.8 Sudare ultrasonica membrană PTFE pe suport PPE-PA GF 30 forța de sudare 150N)  
Microscopie optica - Secțiune STG ; Secțiune DR;

Ele demonstrează ca regimul tehnologiilor propus asigura realizarea de suduri fără defecte geometrice si de continuitate a materialului. Acțiunea ultrasunetelor se manifesta printr-o creștere a capabilității de deformare plastica a celor doua materiale, evitându-se apariția unor fenomene de fisurare sau de rupere. In plus, temperatura dezvoltata în cursul procesului de sudare fiind mai mica decât cea de topire nu se semnalizează prezenta unei zone influențate tremo-mecanic cu

## 5.2 - Calitatea imbinarilor sudate cu ultrasunete a modulului de control computerizat 111

extindere mare. In consecința, proprietățile din zona sudurii nu se modifica semnificativ fata de cele ale materialelor de baza.

Examinarea la microscopul electronic cu baleiaj a secțiunilor transversale prin îmbinările sudate realizate pune in lumina schimbările structurale induse in materialul din zona sudurii ca urmare a concentrării si focalizării energiei ultrasonice intr-un spațiu extrem de îngust.

Eforturile mecanice de valori mari dezvoltate la propagarea undelor provoacă o fărâmițare parțială a fibrelor scurte de sticla cu distribuție întâmplătoare in matricea de polimer. In funcție de intensitatea ultrasunetelor si de timpul de activare apare o încălzire locala pe interfața fibra - matrice fenomen favorabil pentru păstrarea unei legături puternice intre acestea. Acest fapt permite un transfer corespunzător al solicitărilor mecanice de la matrice la fibre, respectiv materialul compozit va poseda o rezistenta mecanica apropiata de a fibrelor fără a prezenta fragilitatea acestora.

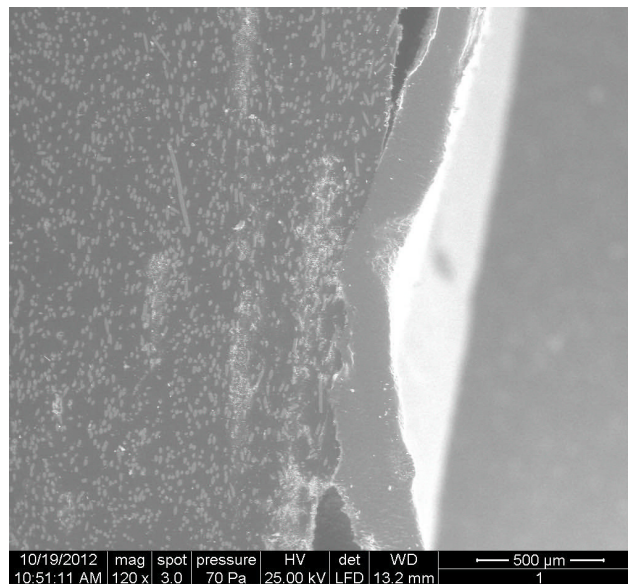


Figura 5.9 Microstructura îmbinare sudată cu ultrasunete PPE-PTFE

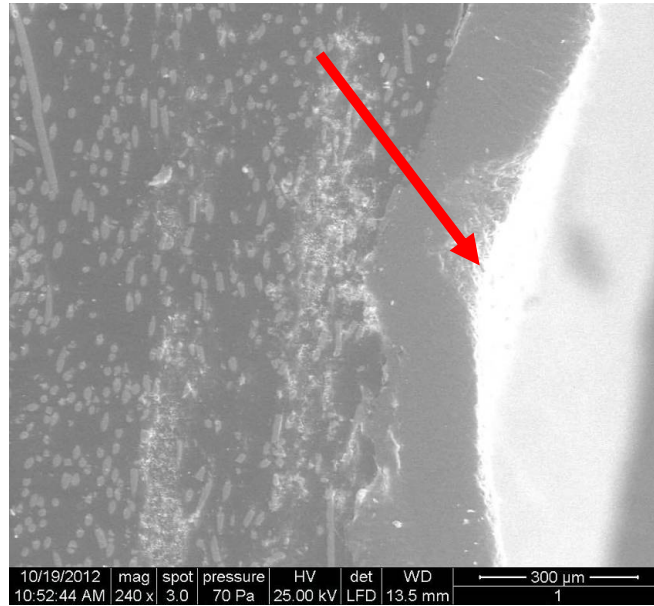


Figura 5.10 Detaliu microstructura îmbinare sudată cu ultrasunete PPE-PTFE

În figurile 5.10-5.11 se observa nodurile spiralate ale PTFE care converg într-o rețea de insule și fibre. Rețeaua poate conține cca. 70% aer, în funcție de condițiile de expandare.

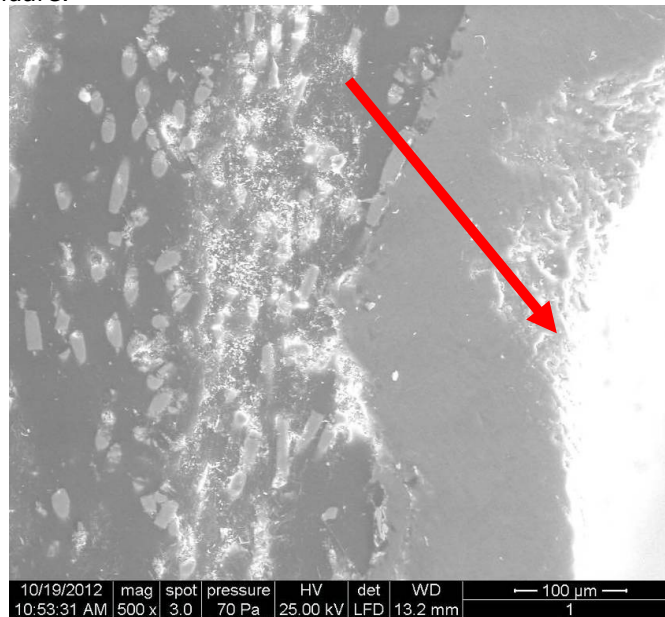


Figura 5.11 Microstructura îmbinare sudată cu ultrasunete PPE-PTFE



5.2 - Calitatea imbinarilor sudate cu ultrasunete a modulului de control computerizat 113

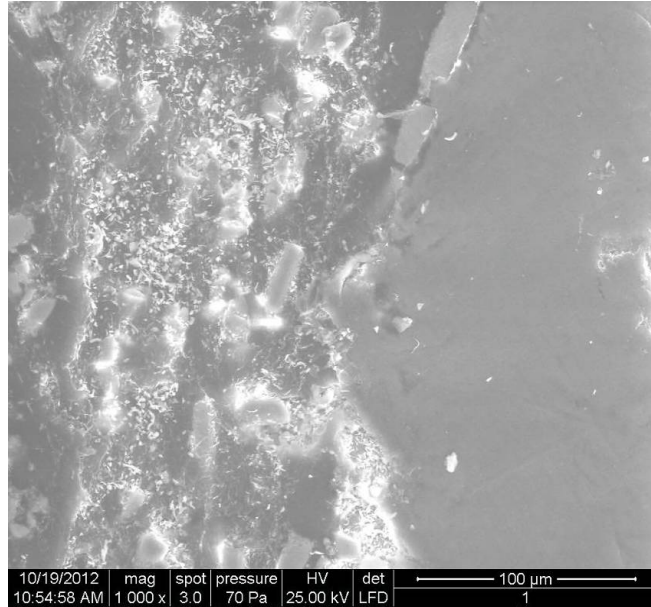


Figura 5.12 Microstructura îmbinare sudată

Detalii la magnitudinea de 1000X si 2000X se pot observa in figurile 5.12 si 5.13, unde fibrele de armare precum si interfața cu membrana sunt mai ușor vizibile si clar detaliate.

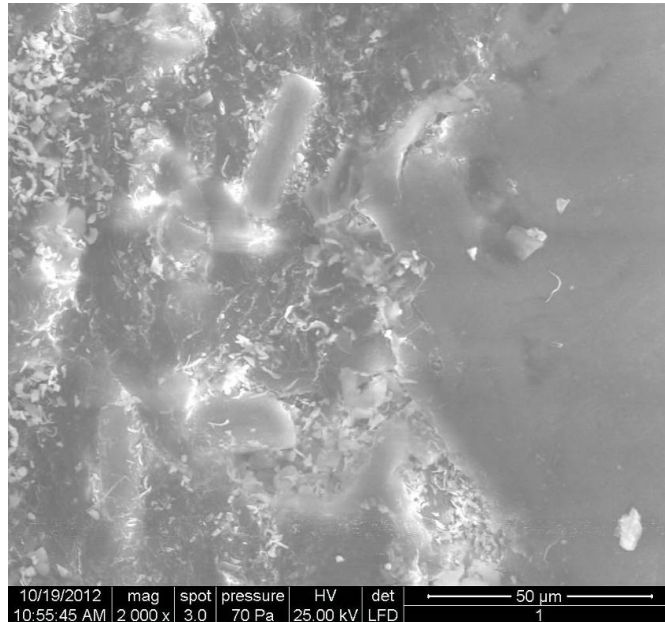


Figura 5.13 Microstructura îmbinare sudată

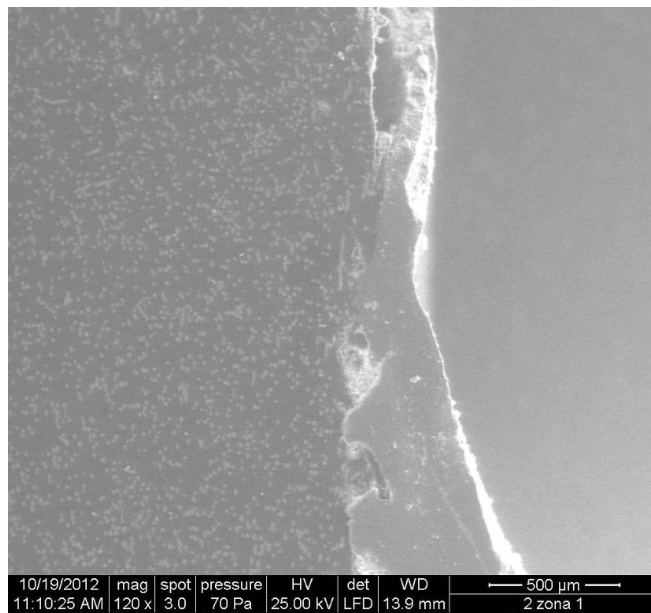


Figura 5.14 Microstructura îmbinare sudată

Din figurile 5.14-5.17, se poate observa buna distribuție a fibrelor de armare și o excelentă legătură în zona de interfață dintre PPE-PTFE.

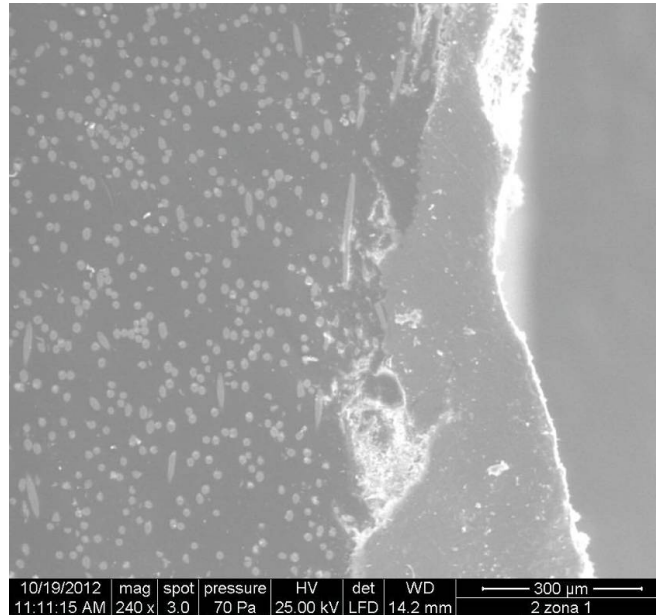


Figura 5.15 Microstructura îmbinare sudată

5.2 - Calitatea îmbinarilor sudate cu ultrasunete a modului de control computerizat 115

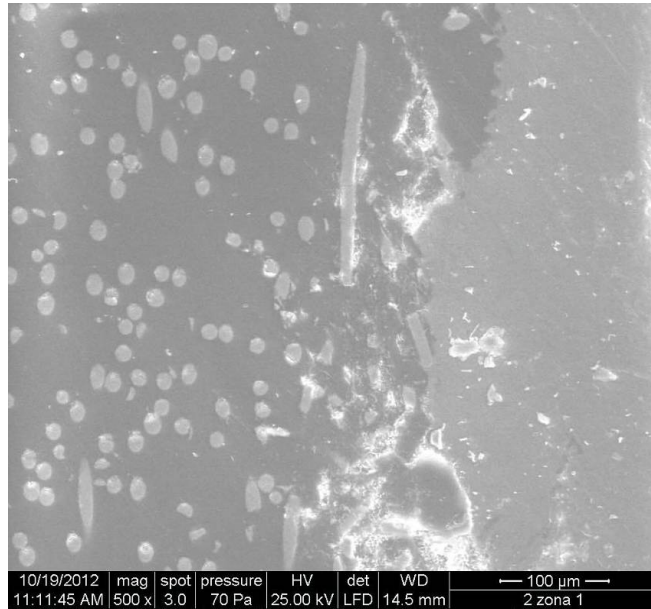


Figura 5.16 Microstructura îmbinare sudată

Din figurile 5.16-5.17 se poate observa ca nu exista fisuri sau lipsa de legătura între fibrele de armare și matricea polimerică.

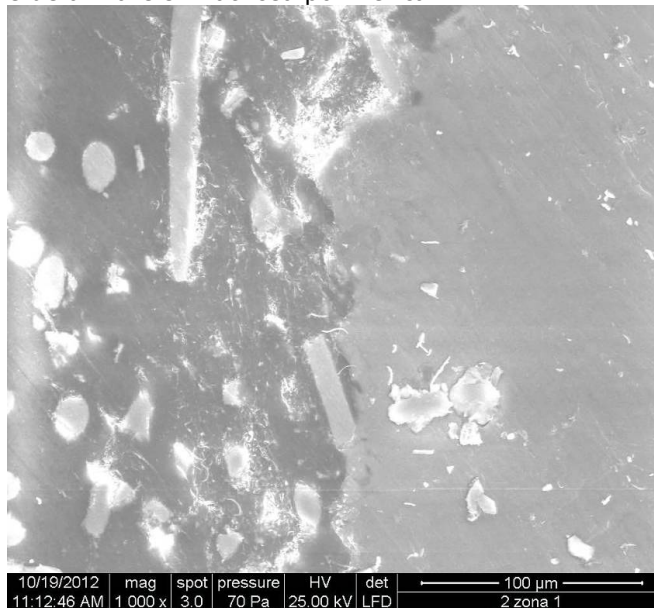


Figura 5.17 Microstructura îmbinare sudată

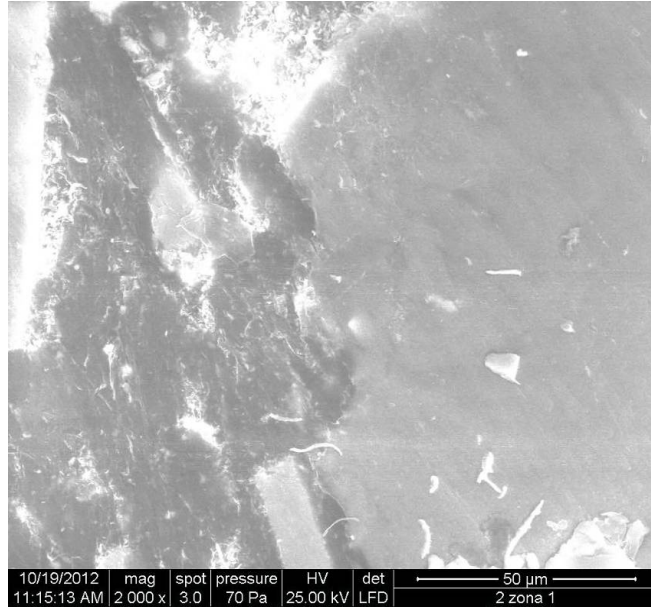


Figura 5.18 Microstructura îmbinare sudată

Detaliile obținute la microscopul electronic arata ca suprafața fibrelor de sticla nu prezintă fisuri iar legătura cu matricea polimerică nu este afectată.

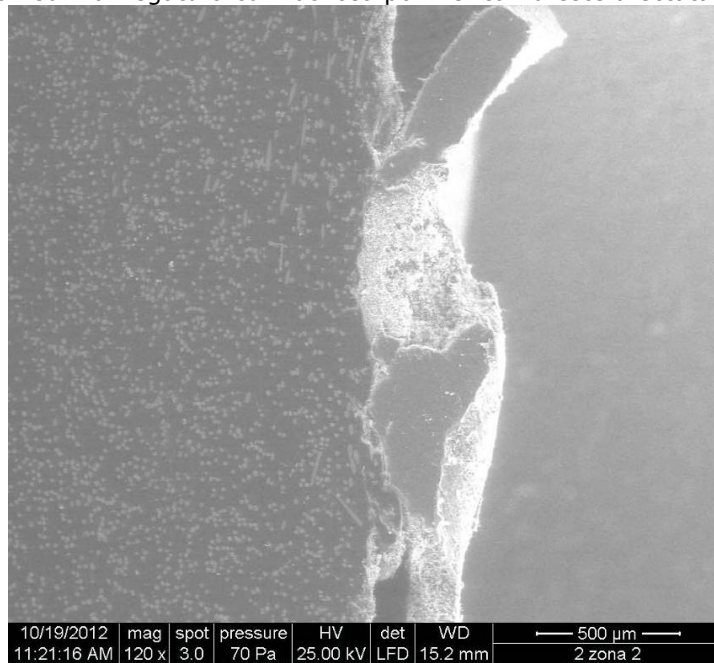


Figura 5.19 Microstructura îmbinare sudată

5.2 - Calitatea imbinarilor sudate cu ultrasunete a modului de control computerizat 117

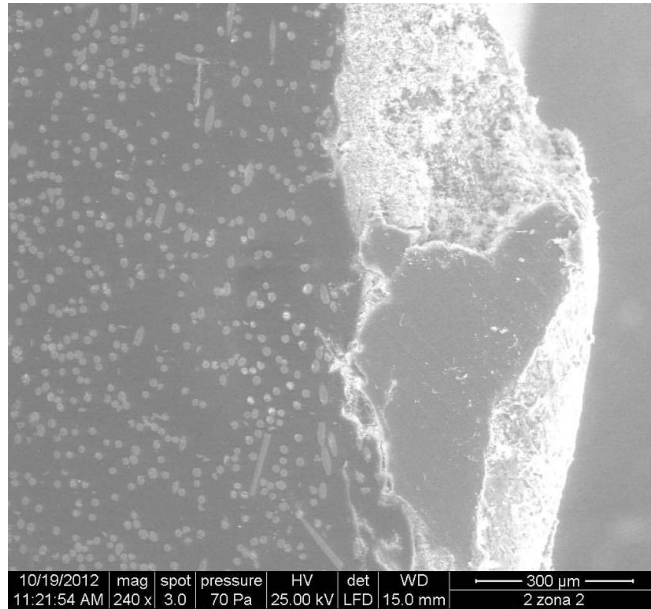


Figura 5.20 Microstructura îmbinare sudată

Detalii la magnitudinea de 240X si 500X se pot observa in figurile 5.20 si 5.21, unde interfața matricei polimerice - membrana este clar detaliata.

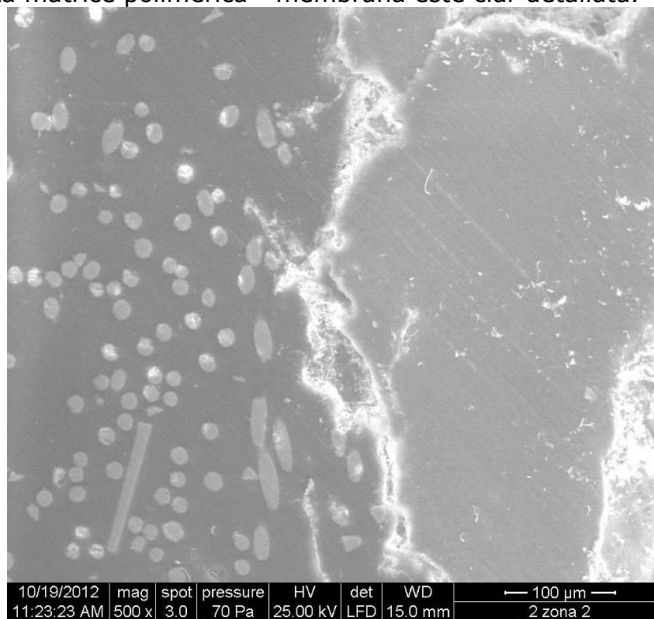


Figura 5.21 Microstructura îmbinare sudată

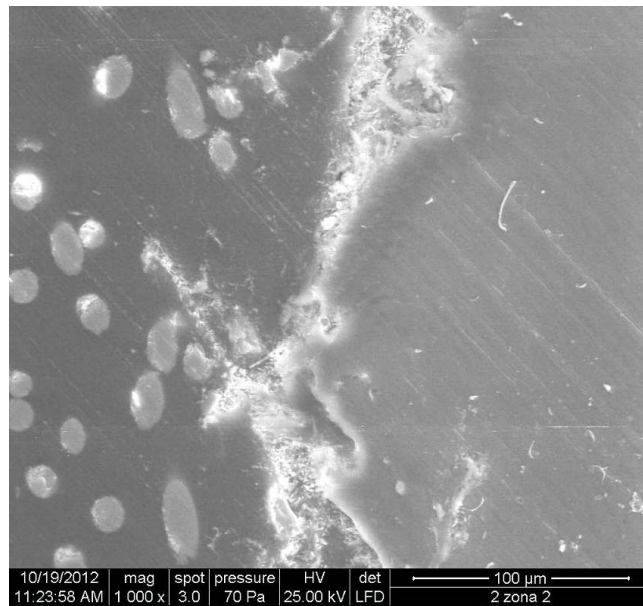


Figura 5.22 Microstructura îmbinare sudată

Având în vedere detaliile microscopice, se poate observa în figurile 5.20-5.21 că presiunea ultrasunetelor produce o condensare la interfața sudurii iar fibrele sunt mai bine integrate în matricea polimerică ducând la creșterea proprietăților mecanice ale compozitului.

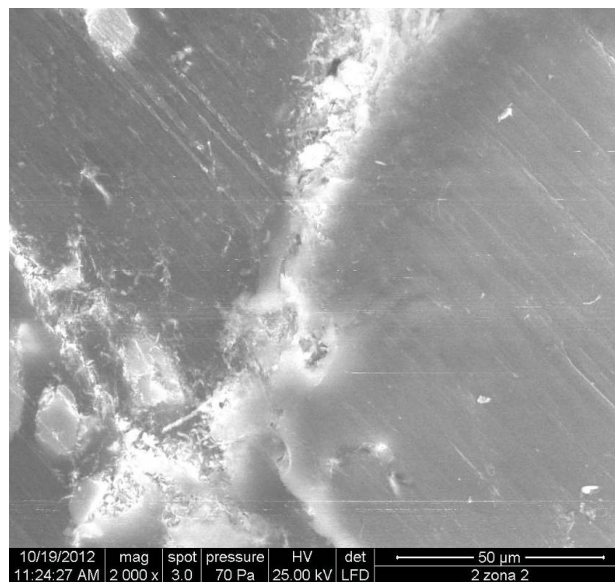


Figura 5.23 Microstructura îmbinare sudată

### **5.2.3. Concluzii referitoare la sudarea cu ultrasunete a modulului computerizat.**

Sudarea cu ultrasunete este una din cele mai comune și utilizate tehnici de îmbinare ale materialelor termoplastice, iar datorită parametrizării se pot îmbina și materialele termoplastice compozite disimilare. Principalele avantaje fiind timpii mici de sudare și costul echipamentului, rezultă posibilitatea de a obține productivitate mare cu costuri energetice scăzute.

Regimul optim de sudare ales a permis obținerea de îmbinări sudate continue fără fisuri la interfața de sudare dintre cele două materiale de bază - termoplastice disimilare.

Se observă că la creșterea forței de presare de la 50N la 150N, în condițiile păstrării constante a celorlalți parametri zona sudată este mai lată și evidentă ca și colorit.

## **5.3. CALITATEA ÎMBINARILOR SUDATE LASER A MODULULUI DE DIAGNOZĂ ȘI LOGURI**

### **5.3.1. Verificarea etanșeității**

Pentru verificarea etanșeității, s-au făcut teste de rupere prin explozie la presiuni variabile cu apă.

Eșantioanele au fost selectate aleator din probele executate în cadrul programului experimental. Parametrii sunt validați dacă ruperea se produce astfel:

- în carcasă, presiunea apei peste 4 bar;
- în sudură, presiunea apei peste 6 bar.

Testele de etanșitate efectuate au permis valori ale presiunii apei între 6 și 10 bar, valori la care s-a produs ruperea carcasei modulului –figurile 5.22-5.23. Este de remarcat că, pentru oricare dintre reperele încercate, ruperea s-a produs în materialul de bază, îmbinarea sudată fiind intactă.

În urma testelor valorile obținute s-au situat între 6-10 bar fără rupere în sudură, figurile 5.24-5.25



Figura 5.24 Detalii subansamble în urma testului de presiune

În figura 5.25 se observă ruperea în materialul de bază la două capace supuse la presiuni la un ordin de mărime superior, confirmă cele afirmate anterior.



Figura 5.25 Detaliu capac in urma testului de presiune

### 5.3.2. Încercări materialografice

Examinarea cu microscopul optic in astfel de situații nu permite observații performante. Din acest motiv pentru examinarea metalografica ale îmbinărilor sudate cu LASER a modulului de diagnoza si loguri s-a apelat la microscopia electronica cu baleiaj.

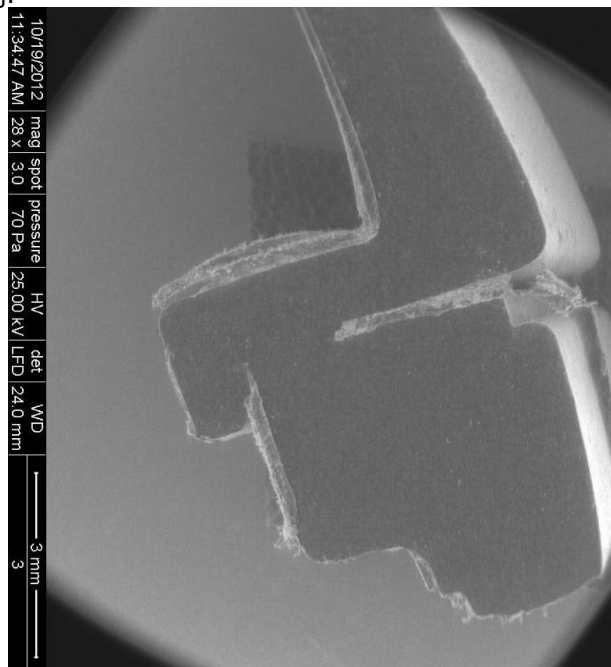


Figura 5.26 Macrostructura îmbinare sudată LASER



Examinarea la microscopul electronic cu baleiaj a secțiunilor transversale prin îmbinările sudate realizate, pune în lumină schimbările structurale induse în materialul din zona sudurii.

Figura 5.26 releva la scara mai mare-3 mm, secțiunea ansamblului sudat dintre materialul capacului superior transmisiv LASER și materialul carcasei inferioare absorbanta LASER.



Figura 5.27 Microstructura îmbinare sudată LASER. Marcaj-sudura materialelor

Spre deosebire de cele relevate în figura 5.26, în figura 5.27 axată pe detaliile la interfața celor două materiale se poate decela chiar și gradul de armare dintre cele două materiale cu diferența de 5%.

### 5.3.3. Concluzii referitoare la sudarea LASER a modulului de diagnoză și loguri

Este important să subliniem că o mare varietate de factori care iau parte la calitatea unei îmbinări, fac dificilă formularea unor aserțiuni universale cu privire la factorii care determină ca o îmbinare să fie în conformitate sau nu. Toți acești factori ar trebui luați în considerare, însă nu toți sunt necesari a fi aplicați.

## 6. MODELAREA TERMODINAMICA LA SUDAREA CU LASER

Obiectivul principal pentru modelarea termică a procesului de sudare LASER este de a estima distribuția temperaturii în materialele care urmează să fie sudate și mai ales pentru a calcula volumul de material topit, în scopul de a estima dimensiunea zonei îmbinării sudate pentru diferite valori ale parametrilor de sudare: putere LASER, viteza de sudare, numărul de scanări etc. Modelarea mărimii și distribuției zonei topite este importantă, pentru că este unul dintre principalii factori care definesc rezistența sudurii.

Modelarea e bazată pe analiza termică tranzitorie cu element finit și fasciculul LASER ca o sursă de căldură în mișcare. Modelarea s-a realizat folosind un software comercial, Ansys, versiunea 10.0. Soluția Ansys are capacități speciale de scripting și modelul a fost construit în așa fel, încât toate variabilele relevante: dimensiuni de eșantion, parametri de discretizare, parametri LASER, parametri de materiale etc., să fie controlați de variabile de intrare, care pot fi modificate cu ușurință. Mulți dintre parametri pot fi, de asemenea, introduși ca variabile, astfel încât este ușor a rula multiple cazuri în mod automat, iar rezultatele sunt, fiind de asemenea, colectate ca fișiere separate [25, 42, 62, 95]

În model, energia LASER este aplicată numai la materialul componentei inferioare și absorbția de energie este supună legii Lambert-Beer de descompunere exponențială, cu un coeficient de absorbție constant.

Din cauza pierderilor în energia fasciculului, precum și din cauza reflecției și a absorbției în materialul componentei superioare și de reflecție între componente, doar aproximativ 70% din puterea LASER nominală ar trebui să ajungă în cele din urmă la interfața materialului componentei inferioare. Fluxul de energie în model și parametrii de control sunt prezentați în figura 6.1.

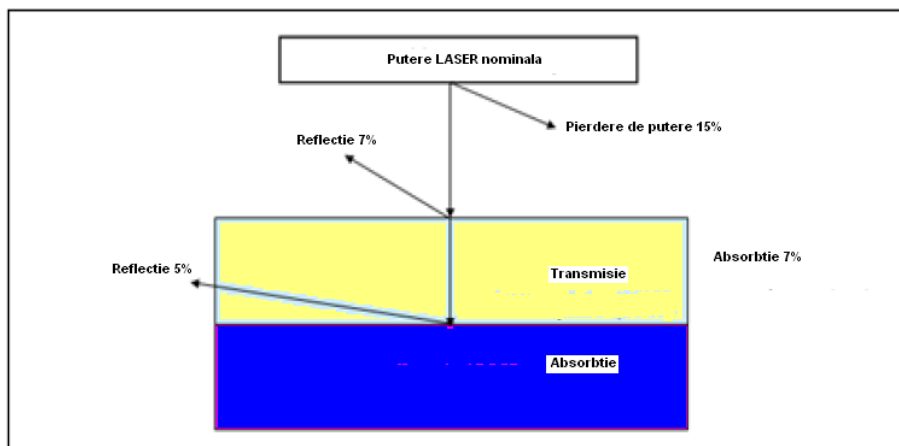


Figura 6.1 Fluxul de energie LASER în model

Modelarea pasului de timp a fost stabilită astfel încât sursa de căldură este întotdeauna în mișcare decalată cu mărimea diametrului fasciculului LASER. După fiecare pas, valorile care cauzează producere de energie termică în noduri au fost stabilite doar la acele noduri care se afla în zona fasciculului LASER, ca sursa de

căldura. Intensitatea fascicului LASER s-a considerat a fi constantă în întreaga zonă și, în consecință, valorile de producere a energiei termice în noduri depinde numai de distanța de la linia de centru a fascicului; segmentele exterioare fiind mai scurte, sunt acoperite de fascicului LASER pentru un timp mai scurt și pe adâncimea măsurată din suprafața componente, legea Lambert-Beer. Sistemul de mișcare a sursei de căldură este prezentat în figura 6.2.

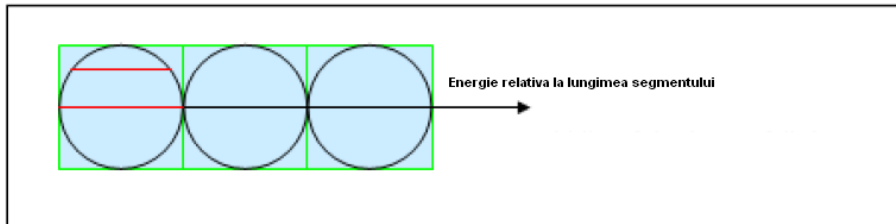


Figura 6.2 Modelul de deplasare a sursei termice

Doar o secțiune mică din lungimea conturului a fost modelată în modelul cu element finit. Secțiunea modelată a fost de 4 mm lungime și 4 mm lățime. Pentru fascicului LASER de 1 mm, acest lucru înseamnă că patru etape de generare de căldură trebuie să fie aplicate la nodurile modelului în timpul fiecărei scanări. Restul conturului de sudare a fost modelat ca un pas de răcire unic, astfel încât fiecare scanare necesită cinci pași de timp. Modelul este considerat a fi simetric la linia de centru a fascicului, astfel încât lățimea modelului final este de 2 mm și, prin urmare, jumătate din fascicului LASER acoperă 0,5 mm din lățimea materialului componente. Conturul și zona de modelat sunt prezentate în figura 6.3

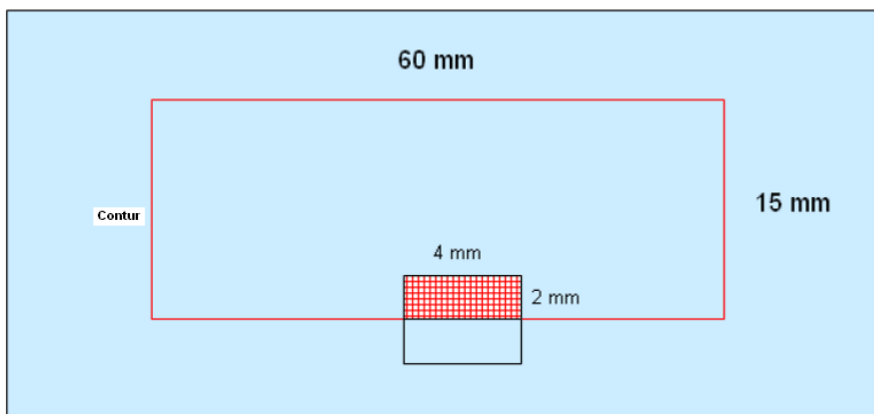


Figura 6.3 Conturul și zona modelată supusă investigației

Modelul a fost discretizat cu elemente liniare, aproximativ 80000, iar rețeaua a fost mai densă la linia de simetrie și între componente unde dimensiunea elementului a fost de aproximativ 25-30  $\mu\text{m}$ . O soluție pentru modelarea termică a fost de aproximativ 10 minute pe pas de timp pe un PC standard tactat la 3GHz. Modelul elementului finit este prezentat în figura 6.4. În partea stângă este planul de simetrie și liniile trasate peste ochiurile de rețea care descriu zona dintre componentele sudate și fascicului LASER în exterior.

Modelul a fost analizat considerându-se inexistența bulelor de aer la interfața componentelor de sudat; ca atare, modelul de ansamblu a fost considerat un singur bloc solid.

Suprafața superioară a componentei transmisive și suprafața inferioară a componentei absorbante au fost modelate ca și limite de convecție, pentru care transferul căldurii este disipat natural către exterior la temperatura ambianta.

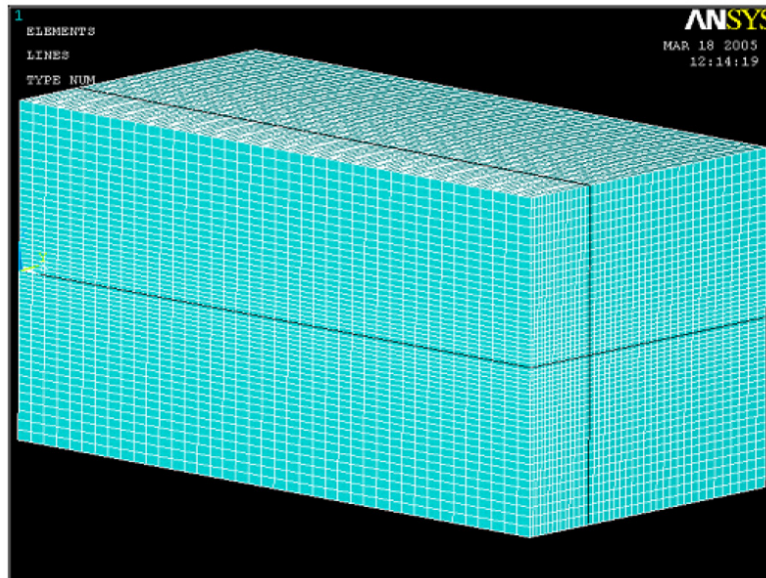


Figura 6.4 Modelul generat în ANSYS

La toate limitele dimensionale, fluxul de căldură a fost setat să fie zero, ca și în cazul în care acestea au fost limite pur simetrice. Acest lucru nu corespunde realității, pentru toate aceste suprafețe, dar, din cauza conductivității termice foarte reduse a materialului, acest lucru a fost considerat ca o aproximare acceptabilă. Pentru a minimiza erorile, toate rezultatele modelării au fost luate în considerare în secțiunea de mijloc a modelului.

Atunci când radiația LASER este absorbită de materialul componentei inferioare ea este treptat transformată în căldură. Microscopic, aceasta este o chestiune complicată, iar procesul de interacțiune, lumina – material este foarte dificil de modelat. Cu toate acestea, radiația poate fi descrisă în mod eficient, macroscopic, printr-un proces de absorbție simplificat, în care caz, un singur parametru, coeficientul de absorbție, este necesar.

Dacă intensitatea fasciculului LASER de la suprafața componentei inferioare este  $I_0$ , în  $W/m^2$  și  $a$  este coeficientul de absorbție, în  $1/m$ , în funcție de legea Lambert-Beer intensitatea puterii la adâncimea  $z$ , în  $m$  de la suprafața este în conformitate cu relația 6.1:

$$I_z = I_0 e^{-az} \quad (6.1)$$

Coeficientul de absorbție este o proprietate specifică materialului și depinde în special de conținutul de carbon negru al polimerului. Inversa coeficientului de absorbție se numește adâncime de penetrare optică și este determinată de adâncimea la care fasciculul LASER poate pătrunde în material înainte de a fi

absorbit. Conform legii Lambert-Beer, aproape două treimi din energie este absorbită la prima scanare pe contur, iar după 3 scanări aproximativ 95% din energie este absorbită.

Pentru modelarea termică, o valoare corectă a coeficientului de absorbție este relativ esențială. Unele valori de referință pentru poliamida au fost disponibile din literatura de specialitate, dar, în scopul de a obține caracteristicile pentru probele de poliamida utilizate în cadrul cercetărilor efectuate în teza, unele măsurători ale coeficientului de absorbție au fost făcute de către producătorul echipamentului de sudare LQ-Power. Valorile măsurate conform, LQ-Power și valorile din literatura de specialitate [62] sunt reprezentate în figura 6.5. În aceeași nota este prezentată curba pe relație invers proporțională între adâncimea penetrării și conținutul de carbon negru, proporția în % de negru de fum. Deoarece coeficientul de absorbție este inversul adâncimii de penetrare, se poate concluziona că valoarea coeficientului de absorbție depinde liniar de conținutul de carbon negru, cel puțin atunci când conținutul este mai mic cu câteva procente în proporție.

În modelare, valoarea adâncimii de pătrundere a fost stabilită la 25 de  $\mu\text{m}$  și aceasta corespunde conținutului de negru de fum de circa 1,0 % pentru poliamida.

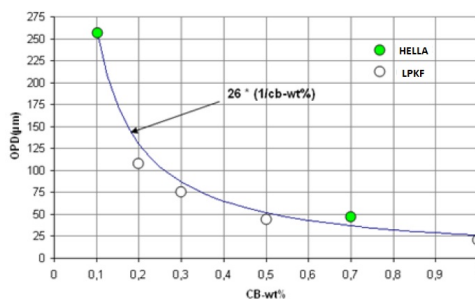


Figura 6.5 Curba pentru adâncimea de pătrundere la poliamidă

Alți parametri importanți pentru caracterizarea materialului compozit polimeric pentru modelarea termică tranzitorie sunt: conductivitatea termică și densitatea.

Conductivitatea termică a materialelor plastice este, în general, destul de scăzută. În literatura de specialitate valorile conductivității pentru poliamida sunt, de obicei, în intervalul de 0,2-0,3 W / mK. Cu toate acestea, în modelarea actuală o valoare constantă de 0,25 W / mK a fost folosită în toate simulările.

Densitatea poliamidei este dependentă de temperatură și acest lucru a fost luat în considerare în procesul de modelare. Curba capacității de căldură este prezentată în figura 7.6, unde efectul puternic de schimbare de fază în jurul valorii temperaturii de topire, aproximativ 160 °C, este vizibil. Pentru a modela efectele schimbărilor de fază, au fost folosite metode de entalpie și curba de entalpie a fost calculată luând în considerare dependența capacității termice în funcție de densitate. Figurile 6.7 și 6.8 exemplifică practic modelarea.

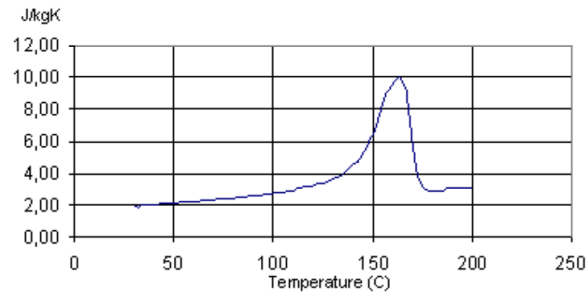


Figura 6.6 Capacitatea termica a poliamidei PA-66 + GF

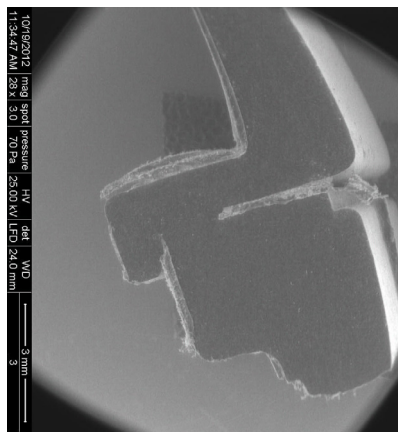


Figura 6.7 Detaliu macroscopic  
îmbinării LASER

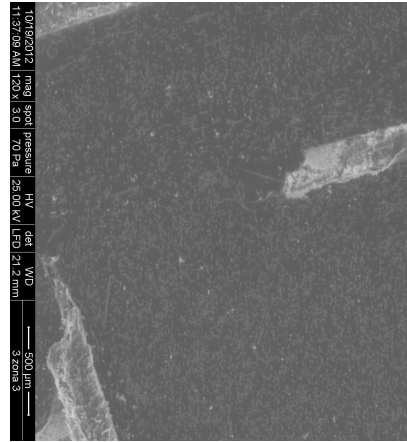


Figura 6.8 Detaliul microscopic a

## 7. CONCLUZII SI CONTRIBUȚII PERSONALE

### 7.1. CONCLUZII

Înlocuirea metalelor și nemetalelor cu polimeri pentru încapsularea componentelor electronice active și pasive este un domeniu de larg interes pentru departamentele de cercetare și dezvoltare. Avantajele pe care le oferă polimerii pentru aceste aplicații includ: ușurința de fabricație, greutatea scăzută, flexibilitate, izolare electrică și termică combinate cu izolarea electromagnetică, precum și avantajele legate de costul scăzut. Provocările care trebuie să fie abordate pentru realizarea de îmbinări etanșe în industria automotive sunt metodele fiabile pentru realizarea, cu mijloace simple și eficiente, în condiții de siguranță și consum de materiale scăzut în acord cu protecția mediului. Metodele directe de realizare a îmbinărilor materialelor termoplastice au potențialul de a schimba industria automotive, dar tehnologiile de îmbinare vor trebui validate folosind regimuri riguroase de test combinate cu testarea în timp real pentru a stabili longevitatea integrității din punct de vedere structural.

Materialele avansate pot fi definite în nenumărate moduri, definiția cea mai larg răspândită, este referirea la toate materialele care reprezintă avans tehnologic față de materialele tradiționale care au fost folosite de sute sau chiar mii de ani. Din acest punct de vedere materiale avansate se referă la toate materialele noi și modificările materialelor existente pentru a obține performanțe superioare pentru una sau mai multe caracteristici care sunt critice pentru aplicația în cauză. O abordare mai detaliată a materialelor avansate este aceea de a lua în considerare materialele care sunt folosite pentru un nou ciclu de viață - tehnologic și de producție. Cu alte cuvinte, există o marjă semnificativă de creștere în ceea ce privește îmbunătățirea caracteristicilor și performanța tehnologică, ciclul de viață al produsului etc.

Cele mai frecvente materiale compozite avansate sunt materialele compozite cu matrice polimerică constând dintr-un polimer, de exemplu, epoxidice, poliester, poliuretanic, armat cu fibre subțiri cu diametrul fibrei de ordin micrometric, grafit, aramida, bor etc. Materialele compozite grafit / epoxy sunt de aproximativ cinci ori mai rezistente decât oțelul la aceeași greutate. Motivele pentru care acestea sunt considerate compozitele cele mai frecvent utilizate se datorează costului lor scăzut, înaltei rezistențe mecanice și chimice dar și principiilor simple de fabricație. Principalele dezavantaje ale materialelor compozite cu matrice polimerică sunt datorate temperaturilor scăzute de funcționare, coeficienților mari de expansiune termică și de umiditate dar și proprietăților elastice scăzute în anumite direcții. Fibrele cele mai des utilizate sunt din sticlă, grafit și Kevlar.

O înțelegere a procesului de sudare cu ultrasunete și a modului în care parametrii de proces afectează sudura și zona adiacentă, a început să evolueze în ultima decadă, în strânsă relație cu utilizarea, tot mai intensă, a acestei tehnici de îmbinare și cu folosirea mai largă a termoplasticelelor în locul materialelor tradiționale. Deosebit de importantă este și dezvoltarea materialelor termoplastice existente, în corelație cu scăderea prețului. Se observă că, în ciuda crizei se preconizează o creștere anuală de 6% a utilizării termoplasticelelor la nivel mondial-figura 7.1.

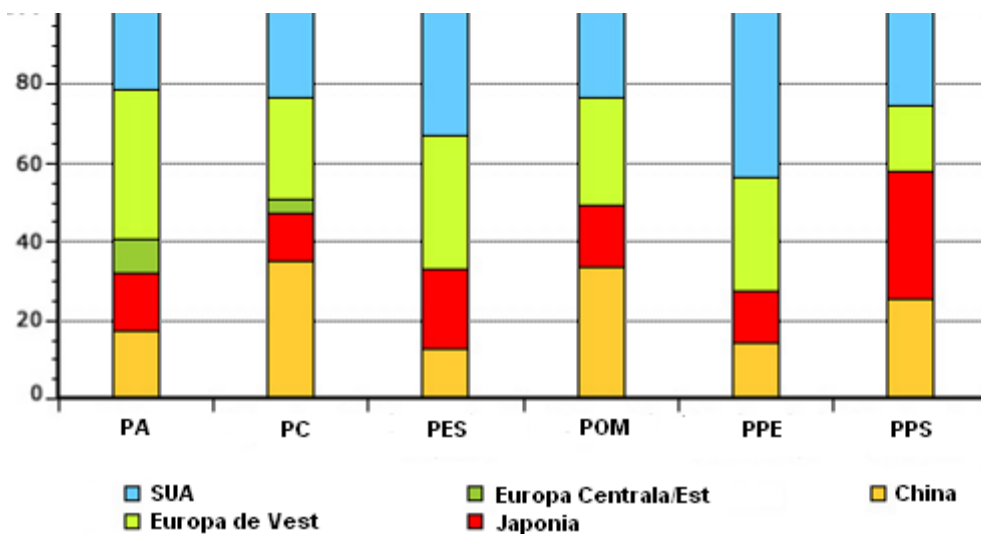


Figura 7.1 Gradul de utilizare a termoplasticelor la nivel mondial [156]

Sudarea cu ultrasunete a materialelor termoplastice armate este un proces cu un grad mare de interes în industria constructoare de mașini și nu numai. Informațiile care guvernează fenomenele termo-mecanice la interfața sudurii nu sunt atât de vaste ca la sudarea termoplasticelor ne-armate. Prin cercetările efectuate în scopul valorificării lor în teză, s-a încercat găsirea unor răspunsuri la sudabilitate prin analiza eșantioanelor supuse sudării și testării.

Alături de sudarea cu ultrasunete, o alta posibilitate de îmbinare a materialelor compozite este și sudarea LASER. Sudarea cu fascicul LASER oferă avantaje tehnice specifice procesului in comparație cu alte tehnologii convenționale de îmbinare, dar nu va putea înlocui tehnologiile existente si va fi o tehnologie complementară, cu avantajele și dezavantajele sale. Exploataând numeroasele avantaje, câteva cerințe trebuie îndeplinite: design adaptat procesului de sudare, compatibilitate optica, proprietăți similare ale materialelor, garantarea poziției de clampare în timpul procesului de topire / solidificare și asigurarea unei poziții accesibile pentru fasciculul LASER la zona de îmbinare.

## 7.2. CONTRIBUTII PERSONALE

Cercetările efectuate in cadrul tezei de doctorat au permis o serie de concluzii originale. Printre contribuțiile personale rezultate amintesc:

- creșterea nivelului de maturitate pentru sudarea cu ultrasunete a compozitelor termoplastice armate;
- rezultatele experimentale au permis stabilirea curbelor - forța de sudare, putere, pătrundere, care pot fi folosite ca baza de pornire pentru setarea parametrilor de proces pentru materialele de îmbinare compatibile;
- implementarea metodelor statistice avansate pe eșantioane de volum mare pentru acuratețe și pentru verificarea capabilității proceselor și validarea parametrilor de proces;
- buna calitate a procesului de sudare cu ultrasunete a fost demonstrat pentru cele doua materiale de sudat disimilare: PPE GF30 și ePTFE;



- buna calitate a procesului de sudare cu LASER prin metoda "Transmisiva" folosind procedeul cvasi-simultan a fost demonstrat pentru cele doua materiale de sudat PA 66 GF 25/30;
- la sudarea laser, s-au observat diferențe la pătrundere datorita nuanței rezultate din absorbția de apă a poliamidei, figura 7.2, ducând la lipsa pătrunderii sau creșterea timpului de sudare, capacul comportându-se ca un absorbant de căldură și nu un transmisiv;
- sudarea laser este influențată de gradul de armare cu fibre de sticlă, având repercusiuni asupra timpului de sudare si pătrunderii;
- datorită investigațiilor si analizei s-a ajuns la reducerea ratei de rejecții in timpul procesului de 1,2 % pe schimb și o creștere a productivității de 0,5 %.



Figura 7.2 Diferențe de nuanță ale capacului

### 7.3.DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Consider ca provocări imperative pentru viitor, posibil de abordat în centrele de cercetare și dezvoltare, extinderea proceselor de sudare cu ultrasunete și LASER pentru componentele realizate din materiale compozite miniaturizate, componentele de compoziție similară /disimilară și / sau nuanțele de culori care să fie îmbinate, pentru componentele de gabarit mare, vizând obținerea de microsuduri pentru realizarea de microaplicații, folosind diferite metode de sudare și surse pentru a obține fasciculul LASER, precum și pentru îmbunătățirea monitorizării procesului pre, on-line si post sudare.

Totodată este interesantă abordarea procedeeleor de sudare unde se asigură dozarea precisă a energiei indrodusă la locul îmbinării realizându se calitatea bună a îmbinării.

## BIBLIOGRAFIE

1. Abed, S Development of simultaneous laser welding process applied to thermoplastic polymers. Proceedings of the 23rd International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics, 2004
2. Arndt, K.F., Schroder, E., and Korner, A. Studien zur Verzweigung von Kettenmolekülen. Acta Polymerica, 32 (10), pp. 620–625, (1981)
3. Avramova, N. and Fakirov, S. Melting behaviour of drawn and undrawn annealed nylon 6. Acta Polymerica, 32, pp. 318–322, (1981)
4. Bachmann, F., Loosen, P., Poprawe, R. High Power Diode Lasers, Springer, New York, 2007
5. Bates, P., Couzens, D. Kendall, J. Vibration Welding of Highly Reinforced Thermoplastics Composites. In: Proceedings of the American Society for Composites – 15th Technical Conference, 1993, pp. 221–228.
6. Batzer, C. PolymereWerkstoffe Bd.1, Chemie Und Physik, G. Thieme Verlag, Stuttgart, (1985)
7. Becker,W. and Braun, D Kunststoff - Handbuch, Bd. 2 Teil 1: Polyvinylchlorid, 2. Auflage, C. Hanser-Verlag, Munchen, (1985)
8. Benatar, A. and Gutowski, T.G. Methods for Fusion Bonding Thermoplastic Composites, SAMPE Quarterly., 1992, 18(1): 35–42.
9. **Berger, E.** L''utilisation des matériaux composites pour l'ameublement et matériel de bureau, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, May 2004, CD-ROM Edition, pp. 99, ISSN 1582-3431
10. **Berger, E.,** Miloş L. Cercetări privind sudarea cu LASER a reperului, Modul de diagnoză și control din componența sistemului de siguranță al autovehiculului, Revista de Chimie, nr 50, 2013 în curs de publicare
11. Bhowmick, A.K. Stephens, H.L. Handbook of Elastomers, 2nd edn, CRC-Press, Boca Raton, US, (2000)
12. Boehm, A.J. NIR radiation management part III – rational design of novel NIR absorbers for plastics. Proceedings Antec, 2006
13. Boehm, A.J. Edison, M Laser Transmission Welding Of Plastics In Medical Device Manufacturing – How To Choose The Right Laser Additive, SPE-TopCon, 2005
14. Boehm, A.J. Edison, M. The Quaterrylimides – Highly Efficient Nir Absorbers for Laser transmission Welding of Plastics, SPE-TopCon, 2005
15. Boehm, A.J. Glaser, A. The quaterrylimides – highly efficient NIR absorbers for plastics. Proceedings Antec, 2004
16. Breck Hitz, C., Ewing, J.J., Hecht, J Introduction to Laser Technology, J. Wiley & Sons, New York, 2001

17. Budău, V., Crăciunescu, M.C. Un material în pragul secolului XXI-Aliajele cu memoria formei, ed. Marineasa – Timișoara 1994
18. Bykovskii, O., Tkachenko, V. Akad. Nauk. USSR. Metally, No. 3, p. 116, 1989.
19. Cola, M.J., Lienert, T.J., Gould, J.E., Hurley, J.P. Laser welding of a SiC particulate reinforced aluminum metal matrix composite, Materials science and technology, 1994, vol 10-5, pp 297-301
20. Diehl, R. High-Power Diode Laser – Fundamentals, Technology, Application, Springer, Berlin, 2000
21. DIN EN ISO 1133:2005-09 (D); Kunststoffe - Bestimmung der Schmelze-Masseflussrate (MFR) und der Schmelze-Volumenflussrate (MVR) von Thermoplasten (ISO 1133:2005); Deutsche Fassung EN ISO 1133:2005; Beuth Verlag GmbH, Berlin.
22. Dragulescu, D., Demian, C., Belu, R., **Berger, E.** Problèmes posés par le comportement à la corrosion des matériaux composites métalliques (MCM) ayant la matrice en alliages d'aluminium, Annals of the Oradea University Fascicle of Management and Technological Engineering, pp 540-543, 2005
23. Drăgulescu, D., Popescu, M. Materiale compozite metalice – Prezent cu perspective, ed. Orizonturi universitare – Timișoara, 1999
24. Dumbravă, D., Safta, V., **Berger, E.**, Șipețan, R., Costache, D. Analytical and experimental method to determine the thermal efficiency in arc welding, Sudura printing house – 2006
25. Eiermann, K. Modellmassige deutung der wärmeleitfähigkeit von hochpolymeren, teil 2: verstreckte amorphe hochpolymere. Kolloid-Zeitschrift Zeitschrift fur Polymere, 199 (2), pp. 125–128, 1964
26. Etzrodt, G. Die Farbenwelt der Kunststoffe, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech, 2003
27. Frank, A. Kunststoffkompendium, Vogel-Buchverlag, Würzburg, (1984)
28. Froment, Ian, D. Vibration Welding Nylon 6 and Nylon 66 – A Comparative Study, SPE/Antec'95 Conference Proceedings, Vol. 1, pp. 1285–1289.
29. Glaser, S., Ebenhöf, M. Farbmittel und Additive zum Laserschweißen von Kunststoffe, in Kunststoffe in der Medizintechnik, VDI-Verlag, Dusseldorf, 2008
30. Hagiopol, C. Copolymerization, Springer Press, 2000
31. Hecht, J. Understanding Lasers, J. Wiley & Sons, 2001
32. Henrici-Olive, G. and Olive, S. Molecular interactions and macroscopic properties of polyacrylonitrile and model substances, in Advances in Polymer Science, Springer Verlag, Berlin, (1979)

33. Herziger, G.      Werkstoffbearbeitung MIT Laserstrahlung, C. Hanser, Munchen, 1993
34. Hesse, M.,      Spektroskopische Methoden in der Organischen  
Meier, H., Zeeh, Chemie, Georg Thieme  
B      Verlag, Stuttgart, 2005
35. Hesse, M.,      Spektroskopische Methoden in Der Organischen  
Meier, H., Zeeh, Chemie, Georg Thieme  
B.      Verlag, Stuttgart, 2005
36. Hinotani, S.      The Sumitomo Search, 1990, No. 44, pp. 346-351.
37. Holden, G.,      Thermoplastic Elastomers, 3rd edn, Hanser Verlag,  
Kricheldorf,      2004  
H.R., and Quirk,  
R.P.
38. Horn, W.      Ein vielversprechendes Werkzeug. Laser Technik  
Journal, 1/2005,  
Wiley VCH Verlag, Weinheim, pp. 41–43, 2005
39. Hoult, A.P.,      The effect of diode laser wavelength on the clearweld  
Burrell, M.      welding process. Proceedings ICALEO, 2002
40. Howard, C.      Modern Welding Technology, 5th Ed ASM, 1994
41. Ifflander, R.      Solid-State Lasers for Material Processing, Springer,  
New York, 2001
42. Jarecki, L.      Thermodynamics of deformation of an isolated  
polymer chain.  
Colloid Polym. Sci., 257, 711–719. (1979)
43. Jefferson, J.      Welding's Engineering Data Sheets, 9th Ed ASTM, 1998
44. Kagan, V.A.      Forward to Better Understanding of Optimized  
Performance of Welded Joints: Local Reinforcement  
and Memory Effects for Polyamides, Automotive  
Plastics: Components, Processes, and  
Technology", 1996 SP-1575, p. 14, SAE International  
– Society of Automotive Engineers, Detroit, MI.
45. Kaufmann, H.      Grundlagen Der  
Organischen Chemie, 8. Auflage,  
Birkhäuser Verlag, Basel, (1988)
46. Klein, H.M.      Laser Beam Welding of Plastics in Micro Technology,  
Thesis, RWTH Aachen, 2001
47. Klein, J. Kraus,      Ist Laserstrahlschweißen wirtschaftlich? Kunststoffe,  
A.      7/2004, C. Hanser Verlag, Munchen, 2004
48. Klein, R.      Laserstrahlschweißen transparenter und farbiger  
Kunststoffe. Laser Tech. Journal, Sept. 2007 No. 4,  
Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2007
49. Klein, R.,      Welding and marking of plastics with lasers. Laser  
Wissemborski, Technik Journal,  
R.      No. 5, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2010
50. Knappe, W.      Wärmeleitung in Polymeren. Adv. Polym. Sci., 7,  
477–535, 1971
51. Koechner, W.      Solid-State Laser Engineering, Springer, New York,  
2006
52. Kujanpää, V.      Flexible Laser Welding Of Plastics With Ultra High  
Speeds, Final project report, Lappeenranta University  
of Technology, 2008

53. Lin, C.B.  
Wu, L.C. Friction Welding of Similar and Dissimilar Materials: PMMA and PVC. *Polymer Engineering and Science.*, 1998, 40(8)
54. Liu, S.-J.,  
Chang, I.-T.  
Hung, S.-W. Factors Affecting the Joint Strength of Ultrasonically Welded Polypropylene Composites, *Polymer Engineering and Science.* 2001, 22(1): 132–141.
55. Maguire, D.M. Joining Thermoplastic Composites, *SAMPE Journal.*, 1997, 11–14.
56. Marlow, F. *Welding Fabrication and Repair: Questions & Answers*, AWS, 1999
57. Marquardt, J. Nah-Infrarot- Spektroskopie für die schnelle Polymeranalytik und die zerstörungsfreie Evaluierung von Materialeigenschaften, Dissertation Albert-Ludwigs-Universität Freiburg I. Br., 2003
58. Marquardt, J. Nah-Infrarot- Spektroskopie für die schnelle Polymeranalytik und die zerstörungsfreie Evaluierung von Materialeigenschaften, Thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br., 2003
59. Menges, G.,  
Haberstroh, E.,  
Michaeli, W., and  
Schmachtenberg  
, E. *Werkstoffkunde Kunststoffe*, 5. Auflage, C. Hanser-Verlag, München, (2002)
60. Merck KGaA *When Light Welds - laser Welding of Plastics*, company product brochure June 2009.
61. Midwinter, J.E. *Optical Fibers for Transmission*, J. Wiley & Sons, New York, 2001
62. Milos, L.,  
**Berger, E.** ANSYS analyses of composite pipe welding processes (Part I), - ISIM International Conference, Timisoara Romania, 2008
63. Milos, L.,  
**Berger, E.** Laser welding process optimization for automotive Oil Level Switch sensor, ICWET12, ISI Proceedings, Ankara Turkey 2012
64. Miloş, L. *Bazele proceselor de sudare*, ed. Politehnica – Timisoara, 2003
65. Mitelea, I.  
Radu, B. *Selecția și utilizarea materialelor ingineresti*, ed Politehnica, Timisoara, 2004
66. Mocuța, E.G.,  
**Berger, E.** The in-situ reconditioning of tram rails with worn channels, 3-rd Conference with international participation, Bucharest University, 28-29 Oct, 2004, Mirton Publishing House, Timișoara, ISBN 97-3-585-926-2, pp. 1-6
67. Murr, L.E.  
Liu, G.,  
McClure J.C. A TEM study of precipitation and related microstructures in friction-stir-welded 6061 aluminum, *Journal of Materials Science* , 1998, vol 33, pp1243-1251
68. Murr, L.E.  
Liu, G.,  
McClure J.C.,  
Vega, F.R. Microstructural aspects of the friction-stir welding of 6061-T6 aluminum, *Scripta Mat*, 1997, vol 33-3, pp 355-361

69. Negoitescu, S., **Berger, E.**, Belu, R. Resistance spot welding of metallic composite materials with stainless steel fibres reinforced aluminium alloy matrix, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, pp 291-296, 2005
70. Nilsson, J. High Power Fiber Lasers: New Developments, Technical Papers from SPI-Lasers, Southampton UK, 2003
71. Niu J.T., Lai Z.H., Wang M.Z., Liu L.M. and Wu L., Study on laser welding of Al composite [J], J. Mater. Sci. Technol., 2001, **1**: 173.
72. Niu J.T., Liu L.M., Zhai J.P., Yu J. and Zhang X.M., Study on diffusion welding of aluminum matrix composite [J], Acta Metallurgica Sinica, 2000, **1**: 12.
73. Niu J.T., Tian Y.H., Li B.Y., Xu J.J. and Liu L.M., Age strengthening of diffusion welded joint of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>p/6061Al composite [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2000, **1**: 18.
74. O'Neill, W. High power high brightness industrial fiber laser technology. Proceedings ICALEO Conference, 2004
75. Perța, Gh. Tehnologii de sudare prin presiune, ed UTT, 1993
76. Pistor, C.M. Laser Assisted Tape Winding of Thermoplastic Composites: A new Process for Fabricating a Variety of Ceramic Parts, Materials Technology. ASM, 1996, 11(3): 101–103.
77. Polmear I.J. Light alloys, American Society for Metals (ASM) publication, 1982, pp 75
78. Popescu, M. Îmbinarea materialelor avansate - \*Materiale compozite, ed. Eurostampa, - Timișoara, 2002
79. Popescu, M. Îmbinarea materialelor avansate - \*\*Materiale ceramice, ed. Eurostampa, - Timișoara, 2002
80. Popescu, M., Radescu, D., Milos, L., **Berger, E.**, Magda, A., Sav, A. The "in situ" rehabilitation of the tram rails using MIG/MAG welding equipment, international conference on Integrated Engineering c2i, 2005 Timisoara
81. Popescu, M., **Berger, E.**, Argesanu, V., Lapadat, M. Fusion splicing fiber optics, Annals of the Oradea University Fascicle of Management and Technological Engineering, pp 1189-1196, 2006
82. Popescu, M., Miloș, L., Marta, C. Îmbinarea materialelor avansate - \*\*\*Aliaje cu memoria formei, ed. Eurostampa, - Timișoara, 2002
83. Popescu, M., Mușat, L., Cărbunaru, T., **Berger, E.** Tendances dans l'élargissement d'utilisation des tuyaux en polyéthylène dans le transport d'eau et gaz naturel, rapportés aux tendances existantes dans le monde, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, May 2004, CD-ROM Edition, pp 144, ISSN 1582-3431

84. Poprawe, R. Lasertechnik I-II, lecture script on DVD, LLT an der RWTH Aachen, 2003
85. Potente, H. Fügen von Kunststoffen, C. Hanser Verlag, München, 2004
86. Potente, H., Uebbing, M. The Vibration Welding of Polyamide 66, Journal of Thermoplastic Composite Materials, Welding Handbook, 1999, 6: 2–17.
87. Robeson, L.M. Polymer Blends: A Comprehensive Review, Hanser Verlag, 2007
88. Rosenberger, S., Hopfner, M. Kunststoffe und Pigmentierungen für das Beschriften und Schweißen MIT Laser. Proceedings Wolf Technologieseminar, Freudenstadt, 2005
89. Rudolf, R., Mitschang, P., Neitzel, M. Welding of High-Performance Thermoplastic Composites, Polymer and Polymer Composites, ASM, Welding Handbook 1996, 309–315.
90. Russek, U.A. Prozesstechnische Aspekten des Laserdurchstrahlschweißens von Thermoplasten, ShakerVerlag, Aachen, 2006
91. Russek, U.A., Anwenderhandbuch zum Laserschweißen von Kunststoffen, BMBFF orderprojekt □ Verfahrensoptimierte Werkstoffpaarungen zum Kunststoffschiweißen mit Laserstrahlung, FKZ 03N3116, 2007
92. Schulz, J.E. Material, Process and Component Investigations at Laser Beam Welding of Polymers, Thesis, RWTH Aachen, 2002
93. Silverman, E.M., Griese, R.A. Joining Methods for Graphite/PEEK Thermoplastic Composites, SAMPE Journal., 2001, 25(5): 34–38.
94. Skovranek, D.J., Painter, P.C., and Coleman, M.M. Hydrogen bonding in polymers, 2. Infrared temperature studies of nylon 11. Macromolecules, 19, 699–705, (1986).
95. Staub, H. Experimenteller Vergleich des Konturund Simultanfugens von Thermoplasten mittels Hochleistungsdiodenlaserstrahlung hinsichtlich Fugbarkeit und Spaltüberbrückbarkeit, Diplomarbeit, Fachhochschule Würzburg-Schweinfurt, 2001
96. Steele, R.V. Laser market place 2007: Diode-laser market takes a breather, in LaserFocusWorld, vol. 43/2, PennWell Press, 2007
97. Stelwag Jr W., Lienert T.J. Friction stir welding of aluminum metal-matrix composites, Cooperative research program (CRP), Progress report PR0109, May 2001, (Edison Welding Institute Columbus, Ohio)
98. Stokes, V. Assessment of Geometries for Determining Strength of Thermoplastic Vibration Welds, Journal of Material Science, 2000, 35: 2393–2403.
99. Stokes, V.K. Joining Methods for Plastics and Plastic Composites: An Overview, Polymer Engineering and Science, 2001, 29(19): 1310–1324.

100. Şerban, A.,V. Elemente de ştiinţa şi ingineria materialelor\*\*, ed. Politehnica – Timişoara, 1998
101. Todd, S.M. Joining Thermoplastic Composites, 22nd International SAMPE Technical Conference, 1999, pp. 383–392.
102. Tunnermann, A. Novel developments and potentials of fiber laser technology. Proceedings of 2. Internationaler Workshop Faserlaser, Fraunhofer-IWS, Dresden, 2006
103. Junea, D., Popescu, M., **Berger, E.** Peculiarities of mechanized filler metal feeding in the WIG welding process, International Conference - High Productivity Welding Processes, ISIM Timişoara, 10-11 June 2004, CD-ROM Edition, pp. 1-3, ISBN 973-83-59-21-x
104. W. A. Bowditch Welding Technology Fundamentals, ed. Goodheart-Willcox, 1996
105. K. E. Bowditch Laserschweissen – neue Möglichkeiten in der Verbindungstechnik, in Kunststoffe in der Medizintechnik, VDI-Verlag, Dusseldorf, 2008
106. Wenzlau, C. Welding Essentials: Questions & Answers , Welding Handbook, 1997
107. William L., Galvery Jr., Marlow, F. Hochtransparente Kunststoffe Dauerhaft Beschriften; Kunststoffe, 9/2005, Carl Hanser Verlag, München, 2005
108. Wolff, W. A study of the effect of weld parameters on strengths of clearwelded thermoplastics. Proceedings ICALEO, 2003
109. Woosman, N.M. Achievable weld strengths for various thermoplastics using the clearweld process. Proceedings Antec, 2003
110. Sallavanti, R.A. XXX [http://pagead2.googlesyndication.com/pagead/ads?client=ca-bnpmedia\\_120x600&dt=1096465085843&adsafe=high&format=120x600\\_pas\\_abgc&output=html&url=http%3A%2F%2Fwww.ceramicindustry.com%2FCDA%2FArticleInformation%2Ffeatures%2FBNP\\_\\_Features\\_\\_Item%2F0%2C2710%2C61633%2C00.html&color\\_bg=E6EEF7&color\\_text=000000&color\\_link=6666cc&color\\_border=9FB4C9&u\\_h=864&u\\_w=1152&u\\_ah=800&u\\_aw=1152&u\\_cd=32&u\\_tz=180&u\\_java=true&u\\_nplug=18&u\\_nmime=181](http://pagead2.googlesyndication.com/pagead/ads?client=ca-bnpmedia_120x600&dt=1096465085843&adsafe=high&format=120x600_pas_abgc&output=html&url=http%3A%2F%2Fwww.ceramicindustry.com%2FCDA%2FArticleInformation%2Ffeatures%2FBNP__Features__Item%2F0%2C2710%2C61633%2C00.html&color_bg=E6EEF7&color_text=000000&color_link=6666cc&color_border=9FB4C9&u_h=864&u_w=1152&u_ah=800&u_aw=1152&u_cd=32&u_tz=180&u_java=true&u_nplug=18&u_nmime=181)
111. XXX Welding of Plastics, Company brochure, Laserline, Muhlheim-Karlich, 2008
112. XXX Polar Uses Cencorps Laser Welding System in the Manufacturing of Top Heart Rate Monitoring Products, Press release, Cencorp, 2009
113. XXX Laserstrahlschweissen Von Kunststoffen, Company brochure, Leister, Sarnen, 2004
114. XXX Press Release Materials for K-Show, bielomatik, Neuffen, 2007
115. XXX Optotools Diode Laser, Company product brochure, 2008



- 
116. XXX Albis Guide Chart, Application and Processing of Selected Thermoplastics, company brochure, Albis Plastic GmbH, Hamburg.
117. XXX ALLOD Werkstoff GmbH & Co. KG; GRUNDLAGEN TPE, 2009
118. XXX <http://www.teamafw.com/apps.htm#>
119. XXX <http://www.tecna.net>
120. XXX <http://www.ceaweld.it>
121. XXX <http://www.thompsonfrictionwelding.com>
122. XXX <http://www.welding.org>
123. XXX <http://www.twi.co.uk/j32k/index.xtp>
124. XXX <http://www.weldtechnology.com/>
125. XXX <http://www.nsrw.com/>
126. XXX [http://www.unitekmiyachi.com/Resources\\_Node\\_View.asp?id=601](http://www.unitekmiyachi.com/Resources_Node_View.asp?id=601)
127. XXX <http://www.ewi.org/technologies/resistance/resistance.asp>
128. XXX <http://frisch-gmbh.de/diffusion-e.htm>
129. XXX Applications of aluminum matrix composites [J], Key Engineering Materials, 1995, **1**: 3.
130. XXX Welding Handbook, Vol3 [M], American Welding Society, 8th Edition, Miami, 1996.
131. XXX <http://www.memorymetale.de>
132. XXX Shape memory effect: mechanism, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1987, 46.
133. XXX Deformation behaviour of Cu-Zn-Si alloys, Acta Metall., 25, 1977
134. XXX <http://www.coorsceramics.com/about/amazing08.asp>
135. XXX <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9602/Scala-9602.html#ToC1>
136. XXX <http://www.compositetechcorp.com./enercable.htm>
137. XXX <http://www accuratus.com/silicar.html>
138. XXX <http://www.acpt.com/driveshaft/index.html>
139. XXX [http://www.wtec.org/loyola/polymers/c1\\_s1.htm](http://www.wtec.org/loyola/polymers/c1_s1.htm)
140. XXX <http://www.aremco.com/macor.html>
141. XXX <http://www.keramverband.de/brevier/werkstoffe/index.html>
142. XXX [http://www.carttech.com/epg\\_certech/materials.html?leftn=cartech&lefto=empty&lefti=empty](http://www.carttech.com/epg_certech/materials.html?leftn=cartech&lefto=empty&lefti=empty)
143. XXX <http://www.geocities.com/capecanaveral/1614/ceramic.html>
144. XXX [http://www.tedpella.com/dissect\\_html/scissor6.htm#anchor1336](http://www.tedpella.com/dissect_html/scissor6.htm#anchor1336)
145. XXX [http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band\\_1/aero\\_index.html](http://www.twi.co.uk/j32k/unprotected/band_1/aero_index.html)
146. XXX [http://www.wtec.org/loyola/polymers/c2\\_s3.htm#t2\\_2](http://www.wtec.org/loyola/polymers/c2_s3.htm#t2_2)
147. XXX <http://www.aviation-history.com/theory/composite.htm>
148. XXX <http://www.coorsceramics.com/products/defense.asp>
149. XXX <http://www.coorsceramics.com/products/aerospace.asp>

- 
150. XXX <http://www.coorsceramics.com/materials/ceramics/carbides.asp>
151. XXX <http://www.epp.goodrich.com/fyreroc/data.shtml#mech>
152. XXX [http://www.reports.eads.net/eads/ar\\_2003\\_en/pages/master.php?id=c\\_1\\_1\\_1\\_6#strategy](http://www.reports.eads.net/eads/ar_2003_en/pages/master.php?id=c_1_1_1_6#strategy)
153. XXX [http://engineeringatboeing.com/home\\_engpapers.html](http://engineeringatboeing.com/home_engpapers.html)
154. XXX <http://www.ueet.nasa.gov/StudentSite/engines.html>
155. XXX <http://www.ceramicindustry.com/CDA/searchresults/1,2704,,00.asp>
156. XXX <http://www.e-composites.com/Marketcarbon.htm>
157. XXX <http://www.harperintl.com/advanced.htm>
158. XXX <http://www.jeccomposites.com/>
159. XXX <http://www.hpcoatings.com/industrial.htm>
160. XXX [http://www.eng.nsf.gov/iucrc/directory/iucrc\\_h.htm](http://www.eng.nsf.gov/iucrc/directory/iucrc_h.htm)
161. XXX <http://www.kemet.com/kemet/web/homepage/kecho.me.nsf/vabypagename/ceramic>
162. XXX [http://www.limousin.drire.gouv.fr/di/anglais/Ceramics\\_in\\_Limousin/accueil.htm](http://www.limousin.drire.gouv.fr/di/anglais/Ceramics_in_Limousin/accueil.htm)
163. XXX <http://www.precision-ceramics.co.uk/munique.htm>
164. XXX <http://www.mse.cornell.edu/courses/engri111//ceramic.htm>
165. XXX <http://www.npl.co.uk/npl/cmmt/programmes/mppinfo.html>
166. XXX <http://www.free-soft.ro/resources/Peter%20Spitz/Ceramic+Glass+Plastics+Rubber.html>
167. XXX <http://projects.bre.co.uk/composites/links.html>
168. XXX <http://global.kyocera.com/>
169. XXX <http://www accuratus.com/materials.html>
170. XXX <http://www.goodrich.com>
171. XXX [http://engineeringatboeing.com/home\\_engpapers.html](http://engineeringatboeing.com/home_engpapers.html)
172. XXX <http://www.accessmarkets.com/servlets/Home>
173. XXX <http://www.keramverband.de/brevier/werkstoffe/gruppen.html>
174. XXX [http://www.sma-inc.com/html/johnson\\_matthey\\_home\\_page.html](http://www.sma-inc.com/html/johnson_matthey_home_page.html)
175. XXX <http://www.forbes.com/markets/>
176. XXX <http://www.memagazine.org/about/about.html>
177. XXX <http://www.robotstore.com/mwfaq.asp>
178. XXX <http://www.tepia.or.jp/16th/en/p1/02-02.html>
179. XXX [http://www.memory-metalle.de/html/04\\_applications/03\\_other.htm](http://www.memory-metalle.de/html/04_applications/03_other.htm)
180. XXX Assembly Magazine (2007). Welding Still Ensures High-Strength Joints, Ultrasonic Welding
181. XXX American Welding Society (1997). Jefferson's Welding Encyclopedia. USA: American Welding Society. ISBN 0-87171-506-6

- 
182. XXX American Welding Society (2001). Welding Handbook: Welding Science and Technology. USA: American Welding Society. ISBN 0-87171-657-7
183. XXX New Developments in Advanced Welding. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
184. XXX Plastics and Composites Welding Handbook. Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, Inc.
185. XXX Optimization of the Ultrasonic Welding of PEEK-Carbon Composites.
186. XXX Plastics Design Library (1997). Handbook of Plastics Joining: A Practical Guide. Norwich, New York: Plastics Design Library
187. XXX Plastics Technology (2008). Close Up on Technology: Top 50 Update -Who Was First In Hot Runners, Ultrasonic Welding & PET
188. XXX The Welding Institute (2007). Ultrasonic Welding Technique
189. XXX Polytec Technical Paper (2009). <http://www.ipn.mx/MX/Revistas/Polytec/PDF/FPP2009/Ultrasonic%20Welding.pdf> Innovative Bonding Techniques]
190. XXX Ultrasonic welding of aluminum: a practical study in consistency, part marking and control modes.
191. XXX Investigation of heat generation in ultrasonic metal welding using micro sensor arrays.
192. XXX Fluoroplastics: Vol. 2: Melt Processible Fluoropolymers - User's Guide
193. Zellmer, H. Der Faserlaser – Strahlquelle für viele Anwendungen. Laser Technik Journal, 2/2006, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 52–55, 2006
194. Zellmer, H., Nolte, S., Tunnermann, A. Faserlaser. Physik Journal, 4 (6), 29–34, 2005

## ANEXE

### ANEXA 1

VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORȚA DE SUDARE 50 N SI ENERGIA 30J

| Nr crt. | Timp de sudare [s] | Patrunderea [mm] | Energia [J] | Timp de refulare [s] | Forța de sudare [N] | Puterea max [P] | Prag de distanță [mm] | Distanța totală [mm] |
|---------|--------------------|------------------|-------------|----------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | 0.158              | 0.06             | 30          | 1.67                 | 50                  | 221             | 21.97                 | 22.03                |
| 2       | 0.157              | 0.08             | 30          | 1.79                 | 50                  | 221             | 21.85                 | 21.93                |
| 3       | 0.161              | 0.07             | 30          | 1.75                 | 50                  | 214             | 21.85                 | 21.92                |
| 4       | 0.157              | 0.08             | 30          | 1.61                 | 50                  | 216             | 21.83                 | 21.77                |
| 5       | 0.161              | 0.09             | 30          | 1.75                 | 50                  | 213             | 21.97                 | 21.94                |
| 6       | 0.157              | 0.08             | 30          | 1.78                 | 50                  | 224             | 21.89                 | 21.94                |
| 7       | 0.160              | 0.08             | 30          | 1.81                 | 50                  | 218             | 21.98                 | 21.93                |
| 8       | 0.159              | 0.07             | 30          | 1.71                 | 50                  | 214             | 21.91                 | 21.99                |
| 9       | 0.162              | 0.07             | 30          | 1.72                 | 50                  | 216             | 21.83                 | 22.06                |
| 10      | 0.159              | 0.07             | 30          | 1.75                 | 50                  | 215             | 21.90                 | 21.88                |
| 11      | 0.159              | 0.08             | 30          | 1.72                 | 50                  | 217             | 21.95                 | 21.96                |
| 12      | 0.161              | 0.06             | 30          | 1.82                 | 50                  | 217             | 21.90                 | 21.95                |
| 13      | 0.161              | 0.05             | 30          | 1.76                 | 50                  | 220             | 21.91                 | 21.96                |
| 14      | 0.160              | 0.06             | 30          | 1.61                 | 50                  | 211             | 22.04                 | 22.08                |
| 15      | 0.163              | 0.07             | 30          | 1.69                 | 50                  | 220             | 21.80                 | 21.97                |
| 16      | 0.162              | 0.07             | 30          | 1.59                 | 50                  | 216             | 21.92                 | 21.89                |
| 17      | 0.162              | 0.07             | 30          | 1.74                 | 50                  | 208             | 21.91                 | 21.99                |
| 18      | 0.161              | 0.06             | 30          | 1.79                 | 50                  | 215             | 21.92                 | 21.86                |
| 19      | 0.159              | 0.06             | 30          | 1.76                 | 50                  | 223             | 21.85                 | 21.91                |
| 20      | 0.162              | 0.08             | 30          | 1.70                 | 50                  | 224             | 21.94                 | 21.90                |
| 21      | 0.162              | 0.06             | 30          | 1.62                 | 50                  | 218             | 21.99                 | 21.96                |
| 22      | 0.161              | 0.07             | 30          | 1.81                 | 50                  | 221             | 21.87                 | 21.90                |
| 23      | 0.157              | 0.08             | 30          | 1.74                 | 50                  | 221             | 21.82                 | 22.02                |
| 24      | 0.159              | 0.05             | 30          | 1.53                 | 50                  | 214             | 21.86                 | 22.04                |
| 25      | 0.159              | 0.06             | 30          | 1.70                 | 50                  | 223             | 21.99                 | 21.90                |
| 26      | 0.156              | 0.07             | 30          | 1.79                 | 50                  | 214             | 21.83                 | 21.95                |
| 27      | 0.164              | 0.09             | 30          | 1.79                 | 50                  | 225             | 21.95                 | 22.02                |
| 28      | 0.162              | 0.08             | 30          | 1.83                 | 50                  | 218             | 21.94                 | 21.95                |
| 29      | 0.161              | 0.07             | 30          | 1.64                 | 50                  | 220             | 21.87                 | 22.00                |
| 30      | 0.159              | 0.07             | 30          | 1.85                 | 50                  | 211             | 21.86                 | 21.94                |
| 31      | 0.159              | 0.07             | 30          | 1.62                 | 50                  | 224             | 21.95                 | 22.04                |
| 32      | 0.163              | 0.06             | 30          | 1.85                 | 50                  | 222             | 21.87                 | 21.93                |
| 33      | 0.163              | 0.07             | 30          | 1.58                 | 50                  | 225             | 21.88                 | 22.02                |
| 34      | 0.160              | 0.05             | 30          | 1.72                 | 50                  | 222             | 21.93                 | 22.05                |

|    |       |      |    |      |    |     |       |       |
|----|-------|------|----|------|----|-----|-------|-------|
| 35 | 0.160 | 0.06 | 30 | 1.59 | 50 | 212 | 21.93 | 21.99 |
| 36 | 0.161 | 0.08 | 30 | 1.72 | 50 | 217 | 21.95 | 22.02 |
| 37 | 0.162 | 0.07 | 30 | 1.68 | 50 | 219 | 21.95 | 22.00 |
| 38 | 0.157 | 0.07 | 30 | 1.64 | 50 | 219 | 21.96 | 21.91 |
| 39 | 0.159 | 0.07 | 30 | 1.75 | 50 | 215 | 22.03 | 21.88 |
| 40 | 0.156 | 0.07 | 30 | 1.55 | 50 | 217 | 21.87 | 22.00 |
| 41 | 0.159 | 0.08 | 30 | 1.67 | 50 | 216 | 21.94 | 22.00 |
| 42 | 0.161 | 0.08 | 30 | 1.71 | 50 | 220 | 21.80 | 21.89 |
| 43 | 0.156 | 0.07 | 30 | 1.78 | 50 | 223 | 21.92 | 21.88 |
| 44 | 0.160 | 0.07 | 30 | 1.70 | 50 | 216 | 21.89 | 21.91 |
| 45 | 0.160 | 0.05 | 30 | 1.61 | 50 | 218 | 21.96 | 21.83 |
| 46 | 0.158 | 0.06 | 30 | 1.80 | 50 | 209 | 21.89 | 21.91 |
| 47 | 0.158 | 0.07 | 30 | 1.83 | 50 | 215 | 22.01 | 21.94 |
| 48 | 0.162 | 0.07 | 30 | 1.63 | 50 | 215 | 21.92 | 21.92 |
| 49 | 0.160 | 0.09 | 30 | 1.58 | 50 | 221 | 21.98 | 22.03 |
| 50 | 0.162 | 0.07 | 30 | 1.66 | 50 | 215 | 21.85 | 21.94 |

**ANEXA 2**VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORTA DE SUDARE 85 N SI ENERGIA 30J

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [s]</b> | <b>Patrundera [mm]</b> | <b>Energia [J]</b> | <b>Timp de refulare [s]</b> | <b>Forta de sudare [N]</b> | <b>Puterea max [P]</b> | <b>Prag de distanta [mm]</b> | <b>Distanta totala [mm]</b> |
|----------------|---------------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1              | 0.148                     | 0.15                   | 30                 | 1.77                        | 85                         | 306                    | 22.01                        | 22.08                       |
| 2              | 0.147                     | 0.17                   | 30                 | 1.89                        | 85                         | 306                    | 21.89                        | 21.98                       |
| 3              | 0.151                     | 0.16                   | 30                 | 1.85                        | 85                         | 299                    | 21.89                        | 21.97                       |
| 4              | 0.147                     | 0.17                   | 30                 | 1.71                        | 85                         | 301                    | 21.87                        | 21.82                       |
| 5              | 0.151                     | 0.18                   | 30                 | 1.85                        | 85                         | 298                    | 22.01                        | 21.99                       |
| 6              | 0.147                     | 0.17                   | 30                 | 1.88                        | 85                         | 309                    | 21.93                        | 21.99                       |
| 7              | 0.150                     | 0.17                   | 30                 | 1.91                        | 85                         | 303                    | 22.02                        | 21.98                       |
| 8              | 0.149                     | 0.16                   | 30                 | 1.81                        | 85                         | 299                    | 21.95                        | 22.04                       |
| 9              | 0.152                     | 0.16                   | 30                 | 1.82                        | 85                         | 301                    | 21.87                        | 22.11                       |
| 10             | 0.149                     | 0.16                   | 30                 | 1.85                        | 85                         | 300                    | 21.94                        | 21.93                       |
| 11             | 0.149                     | 0.17                   | 30                 | 1.82                        | 85                         | 302                    | 21.99                        | 22.01                       |
| 12             | 0.151                     | 0.15                   | 30                 | 1.92                        | 85                         | 302                    | 21.94                        | 22.00                       |
| 13             | 0.151                     | 0.14                   | 30                 | 1.86                        | 85                         | 305                    | 21.95                        | 22.01                       |
| 14             | 0.150                     | 0.15                   | 30                 | 1.71                        | 85                         | 296                    | 22.08                        | 22.13                       |
| 15             | 0.153                     | 0.16                   | 30                 | 1.79                        | 85                         | 305                    | 21.84                        | 22.02                       |
| 16             | 0.152                     | 0.16                   | 30                 | 1.69                        | 85                         | 301                    | 21.96                        | 21.94                       |
| 17             | 0.152                     | 0.16                   | 30                 | 1.84                        | 85                         | 293                    | 21.95                        | 22.04                       |
| 18             | 0.151                     | 0.15                   | 30                 | 1.89                        | 85                         | 300                    | 21.96                        | 21.91                       |
| 19             | 0.149                     | 0.15                   | 30                 | 1.86                        | 85                         | 308                    | 21.89                        | 21.96                       |
| 20             | 0.152                     | 0.17                   | 30                 | 1.80                        | 85                         | 309                    | 21.98                        | 21.95                       |
| 21             | 0.152                     | 0.15                   | 30                 | 1.72                        | 85                         | 303                    | 22.03                        | 22.01                       |
| 22             | 0.151                     | 0.16                   | 30                 | 1.91                        | 85                         | 306                    | 21.91                        | 21.95                       |
| 23             | 0.147                     | 0.17                   | 30                 | 1.84                        | 85                         | 306                    | 21.86                        | 22.07                       |
| 24             | 0.149                     | 0.14                   | 30                 | 1.63                        | 85                         | 299                    | 21.90                        | 22.09                       |
| 25             | 0.149                     | 0.15                   | 30                 | 1.80                        | 85                         | 308                    | 22.03                        | 21.95                       |
| 26             | 0.146                     | 0.16                   | 30                 | 1.89                        | 85                         | 299                    | 21.87                        | 22.00                       |
| 27             | 0.154                     | 0.18                   | 30                 | 1.89                        | 85                         | 310                    | 21.99                        | 22.07                       |
| 28             | 0.152                     | 0.17                   | 30                 | 1.93                        | 85                         | 303                    | 21.98                        | 22.00                       |
| 29             | 0.151                     | 0.16                   | 30                 | 1.74                        | 85                         | 305                    | 21.91                        | 22.05                       |
| 30             | 0.149                     | 0.16                   | 30                 | 1.95                        | 85                         | 296                    | 21.90                        | 21.99                       |
| 31             | 0.149                     | 0.16                   | 30                 | 1.72                        | 85                         | 309                    | 21.99                        | 22.09                       |
| 32             | 0.153                     | 0.15                   | 30                 | 1.95                        | 85                         | 307                    | 21.91                        | 21.98                       |
| 33             | 0.153                     | 0.16                   | 30                 | 1.68                        | 85                         | 310                    | 21.92                        | 22.07                       |
| 34             | 0.150                     | 0.14                   | 30                 | 1.82                        | 85                         | 307                    | 21.97                        | 22.10                       |
| 35             | 0.150                     | 0.15                   | 30                 | 1.69                        | 85                         | 297                    | 21.97                        | 22.04                       |
| 36             | 0.151                     | 0.17                   | 30                 | 1.82                        | 85                         | 302                    | 21.99                        | 22.07                       |

|    |       |      |    |      |    |     |       |       |
|----|-------|------|----|------|----|-----|-------|-------|
| 37 | 0.152 | 0.16 | 30 | 1.78 | 85 | 304 | 21.99 | 22.05 |
| 38 | 0.147 | 0.16 | 30 | 1.74 | 85 | 304 | 22.00 | 21.96 |
| 39 | 0.149 | 0.16 | 30 | 1.85 | 85 | 300 | 22.07 | 21.93 |
| 40 | 0.146 | 0.16 | 30 | 1.65 | 85 | 302 | 21.91 | 22.05 |
| 41 | 0.149 | 0.17 | 30 | 1.77 | 85 | 301 | 21.98 | 22.05 |
| 42 | 0.151 | 0.17 | 30 | 1.81 | 85 | 305 | 21.84 | 21.94 |
| 43 | 0.146 | 0.16 | 30 | 1.88 | 85 | 308 | 21.96 | 21.93 |
| 44 | 0.150 | 0.16 | 30 | 1.80 | 85 | 301 | 21.93 | 21.96 |
| 45 | 0.150 | 0.14 | 30 | 1.71 | 85 | 303 | 22.00 | 21.88 |
| 46 | 0.148 | 0.15 | 30 | 1.90 | 85 | 294 | 21.93 | 21.96 |
| 47 | 0.148 | 0.16 | 30 | 1.93 | 85 | 300 | 22.05 | 21.99 |
| 48 | 0.152 | 0.16 | 30 | 1.73 | 85 | 300 | 21.96 | 21.97 |
| 49 | 0.150 | 0.18 | 30 | 1.68 | 85 | 306 | 22.02 | 22.08 |
| 50 | 0.152 | 0.16 | 30 | 1.76 | 85 | 300 | 21.89 | 21.99 |

**ANEXA 3****VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORTA DE SUDARE 100N SI ENERGIA 30J**

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [s]</b> | <b>Patrundera [mm]</b> | <b>Energia [J]</b> | <b>Refulare [mm]</b> | <b>Fora de sudare [N]</b> | <b>Puterea max [P]</b> | <b>Prag de distanta [mm]</b> | <b>Distanta totala [mm]</b> |
|----------------|---------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1              | 0.116                     | 0.137                  | 30                 | 0.179                | 100                       | 324                    | 22.10                        | 22.25                       |
| 2              | 0.117                     | 0.118                  | 30                 | 0.178                | 100                       | 318                    | 22.11                        | 22.22                       |
| 3              | 0.119                     | 0.129                  | 30                 | 0.191                | 100                       | 323                    | 22.12                        | 22.24                       |
| 4              | 0.117                     | 0.153                  | 30                 | 0.208                | 100                       | 336                    | 22.11                        | 22.24                       |
| 5              | 0.117                     | 0.135                  | 30                 | 0.196                | 100                       | 323                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 6              | 0.117                     | 0.130                  | 30                 | 0.197                | 100                       | 300                    | 22.11                        | 22.26                       |
| 7              | 0.117                     | 0.132                  | 30                 | 0.185                | 100                       | 338                    | 22.07                        | 22.23                       |
| 8              | 0.117                     | 0.133                  | 30                 | 0.185                | 100                       | 328                    | 22.10                        | 22.27                       |
| 9              | 0.115                     | 0.137                  | 30                 | 0.186                | 100                       | 346                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 10             | 0.117                     | 0.150                  | 30                 | 0.200                | 100                       | 345                    | 22.10                        | 22.22                       |
| 11             | 0.116                     | 0.144                  | 30                 | 0.200                | 100                       | 327                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 12             | 0.117                     | 0.131                  | 30                 | 0.167                | 100                       | 344                    | 22.10                        | 22.23                       |
| 13             | 0.121                     | 0.136                  | 30                 | 0.198                | 100                       | 302                    | 22.09                        | 22.24                       |
| 14             | 0.116                     | 0.146                  | 30                 | 0.223                | 100                       | 334                    | 22.09                        | 22.24                       |
| 15             | 0.118                     | 0.147                  | 30                 | 0.168                | 100                       | 337                    | 22.13                        | 22.23                       |
| 16             | 0.118                     | 0.126                  | 30                 | 0.196                | 100                       | 308                    | 22.11                        | 22.23                       |
| 17             | 0.119                     | 0.143                  | 30                 | 0.190                | 100                       | 313                    | 22.10                        | 22.25                       |
| 18             | 0.117                     | 0.138                  | 30                 | 0.211                | 100                       | 314                    | 22.11                        | 22.24                       |
| 19             | 0.115                     | 0.128                  | 30                 | 0.178                | 100                       | 339                    | 22.08                        | 22.26                       |
| 20             | 0.114                     | 0.153                  | 30                 | 0.206                | 100                       | 345                    | 22.12                        | 22.25                       |
| 21             | 0.115                     | 0.135                  | 30                 | 0.199                | 100                       | 352                    | 22.10                        | 22.25                       |
| 22             | 0.115                     | 0.137                  | 30                 | 0.190                | 100                       | 330                    | 22.12                        | 22.27                       |
| 23             | 0.115                     | 0.116                  | 30                 | 0.222                | 100                       | 361                    | 22.08                        | 22.25                       |
| 24             | 0.117                     | 0.133                  | 30                 | 0.194                | 100                       | 323                    | 22.12                        | 22.25                       |
| 25             | 0.116                     | 0.144                  | 30                 | 0.181                | 100                       | 324                    | 22.12                        | 22.23                       |
| 26             | 0.114                     | 0.142                  | 30                 | 0.170                | 100                       | 335                    | 22.10                        | 22.22                       |
| 27             | 0.116                     | 0.158                  | 30                 | 0.195                | 100                       | 355                    | 22.09                        | 22.25                       |
| 28             | 0.115                     | 0.122                  | 30                 | 0.186                | 100                       | 321                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 29             | 0.113                     | 0.170                  | 30                 | 0.182                | 100                       | 315                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 30             | 0.118                     | 0.127                  | 30                 | 0.195                | 100                       | 344                    | 22.10                        | 22.26                       |
| 31             | 0.116                     | 0.146                  | 30                 | 0.170                | 100                       | 315                    | 22.08                        | 22.24                       |
| 32             | 0.115                     | 0.134                  | 30                 | 0.232                | 100                       | 358                    | 22.07                        | 22.25                       |
| 33             | 0.117                     | 0.148                  | 30                 | 0.197                | 100                       | 254                    | 22.10                        | 22.24                       |
| 34             | 0.118                     | 0.143                  | 30                 | 0.181                | 100                       | 349                    | 22.07                        | 22.24                       |



|    |       |       |    |       |     |     |       |       |
|----|-------|-------|----|-------|-----|-----|-------|-------|
| 35 | 0.115 | 0.139 | 30 | 0.180 | 100 | 361 | 22.07 | 22.24 |
| 36 | 0.119 | 0.158 | 30 | 0.217 | 100 | 326 | 22.11 | 22.25 |
| 37 | 0.117 | 0.140 | 30 | 0.157 | 100 | 323 | 22.06 | 22.23 |
| 38 | 0.117 | 0.130 | 30 | 0.212 | 100 | 315 | 22.10 | 22.20 |
| 39 | 0.119 | 0.146 | 30 | 0.169 | 100 | 321 | 22.10 | 22.26 |
| 40 | 0.116 | 0.135 | 30 | 0.178 | 100 | 341 | 22.10 | 22.24 |
| 41 | 0.115 | 0.141 | 30 | 0.177 | 100 | 301 | 22.10 | 22.23 |
| 42 | 0.118 | 0.156 | 30 | 0.182 | 100 | 328 | 22.11 | 22.24 |
| 43 | 0.117 | 0.137 | 30 | 0.195 | 100 | 328 | 22.10 | 22.23 |
| 44 | 0.118 | 0.139 | 30 | 0.174 | 100 | 326 | 22.11 | 22.24 |
| 45 | 0.116 | 0.145 | 30 | 0.183 | 100 | 311 | 22.11 | 22.25 |
| 46 | 0.117 | 0.148 | 30 | 0.201 | 100 | 327 | 22.08 | 22.25 |
| 47 | 0.119 | 0.134 | 30 | 0.172 | 100 | 313 | 22.12 | 22.24 |
| 48 | 0.119 | 0.166 | 30 | 0.203 | 100 | 291 | 22.09 | 22.25 |
| 49 | 0.116 | 0.141 | 30 | 0.195 | 100 | 333 | 22.09 | 22.24 |
| 50 | 0.117 | 0.142 | 30 | 0.202 | 100 | 328 | 22.10 | 22.26 |

**ANEXA 4****VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORTA DE SUDARE 150N SI ENERGIA 30J**

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [s]</b> | <b>Patrunderea [mm]</b> | <b>Energia [J]</b> | <b>Refulare [mm]</b> | <b>Fora de sudare [N]</b> | <b>Puterea max [P]</b> | <b>Prag de distanta [mm]</b> | <b>Distanta totala [mm]</b> |
|----------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1              | 0.081                     | 0.127                   | 30                 | 0.177                | 150                       | 510                    | 22.24                        | 22.38                       |
| 2              | 0.081                     | 0.103                   | 30                 | 0.187                | 150                       | 449                    | 22.28                        | 22.34                       |
| 3              | 0.081                     | 0.110                   | 30                 | 0.239                | 150                       | 446                    | 22.25                        | 22.38                       |
| 4              | 0.087                     | 0.115                   | 30                 | 0.168                | 150                       | 479                    | 22.21                        | 22.36                       |
| 5              | 0.077                     | 0.132                   | 30                 | 0.162                | 150                       | 466                    | 22.22                        | 22.39                       |
| 6              | 0.080                     | 0.111                   | 30                 | 0.108                | 150                       | 472                    | 22.23                        | 22.35                       |
| 7              | 0.085                     | 0.115                   | 30                 | 0.169                | 150                       | 454                    | 22.29                        | 22.37                       |
| 8              | 0.077                     | 0.103                   | 30                 | 0.232                | 150                       | 449                    | 22.23                        | 22.37                       |
| 9              | 0.078                     | 0.133                   | 30                 | 0.179                | 150                       | 436                    | 22.24                        | 22.35                       |
| 10             | 0.084                     | 0.107                   | 30                 | 0.145                | 150                       | 456                    | 22.24                        | 22.36                       |
| 11             | 0.080                     | 0.097                   | 30                 | 0.226                | 150                       | 446                    | 22.31                        | 22.35                       |
| 12             | 0.077                     | 0.124                   | 30                 | 0.188                | 150                       | 464                    | 22.24                        | 22.34                       |
| 13             | 0.082                     | 0.132                   | 30                 | 0.186                | 150                       | 454                    | 22.18                        | 22.37                       |
| 14             | 0.077                     | 0.101                   | 30                 | 0.183                | 150                       | 456                    | 22.23                        | 22.36                       |
| 15             | 0.078                     | 0.128                   | 30                 | 0.262                | 150                       | 452                    | 22.26                        | 22.35                       |
| 16             | 0.081                     | 0.113                   | 30                 | 0.164                | 150                       | 441                    | 22.29                        | 22.35                       |
| 17             | 0.074                     | 0.107                   | 30                 | 0.117                | 150                       | 448                    | 22.24                        | 22.35                       |
| 18             | 0.079                     | 0.094                   | 30                 | 0.168                | 150                       | 461                    | 22.25                        | 22.34                       |
| 19             | 0.081                     | 0.096                   | 30                 | 0.151                | 150                       | 490                    | 22.23                        | 22.35                       |
| 20             | 0.083                     | 0.124                   | 30                 | 0.154                | 150                       | 473                    | 22.27                        | 22.37                       |
| 21             | 0.083                     | 0.099                   | 30                 | 0.206                | 150                       | 479                    | 22.21                        | 22.35                       |
| 22             | 0.079                     | 0.115                   | 30                 | 0.194                | 150                       | 461                    | 22.20                        | 22.35                       |
| 23             | 0.081                     | 0.127                   | 30                 | 0.205                | 150                       | 451                    | 22.23                        | 22.36                       |
| 24             | 0.082                     | 0.128                   | 30                 | 0.192                | 150                       | 484                    | 22.22                        | 22.37                       |
| 25             | 0.076                     | 0.118                   | 30                 | 0.137                | 150                       | 471                    | 22.26                        | 22.37                       |
| 26             | 0.081                     | 0.116                   | 30                 | 0.185                | 150                       | 441                    | 22.28                        | 22.37                       |
| 27             | 0.084                     | 0.134                   | 30                 | 0.124                | 150                       | 486                    | 22.29                        | 22.35                       |
| 28             | 0.077                     | 0.115                   | 30                 | 0.162                | 150                       | 451                    | 22.22                        | 22.36                       |
| 29             | 0.083                     | 0.113                   | 30                 | 0.171                | 150                       | 450                    | 22.24                        | 22.35                       |
| 30             | 0.082                     | 0.115                   | 30                 | 0.180                | 150                       | 460                    | 22.24                        | 22.34                       |
| 31             | 0.083                     | 0.117                   | 30                 | 0.165                | 150                       | 457                    | 22.19                        | 22.37                       |
| 32             | 0.077                     | 0.112                   | 30                 | 0.161                | 150                       | 502                    | 22.24                        | 22.35                       |
| 33             | 0.084                     | 0.117                   | 30                 | 0.159                | 150                       | 450                    | 22.24                        | 22.37                       |
| 34             | 0.080                     | 0.134                   | 30                 | 0.077                | 150                       | 445                    | 22.29                        | 22.35                       |
| 35             | 0.082                     | 0.117                   | 30                 | 0.183                | 150                       | 459                    | 22.23                        | 22.36                       |
| 36             | 0.084                     | 0.120                   | 30                 | 0.207                | 150                       | 476                    | 22.26                        | 22.37                       |
| 37             | 0.082                     | 0.128                   | 30                 | 0.134                | 150                       | 444                    | 22.22                        | 22.38                       |
| 38             | 0.077                     | 0.143                   | 30                 | 0.160                | 150                       | 476                    | 22.28                        | 22.35                       |
| 39             | 0.079                     | 0.109                   | 30                 | 0.179                | 150                       | 512                    | 22.24                        | 22.38                       |
| 40             | 0.081                     | 0.122                   | 30                 | 0.135                | 150                       | 463                    | 22.27                        | 22.37                       |

---

|    |       |       |    |       |     |     |       |       |
|----|-------|-------|----|-------|-----|-----|-------|-------|
| 41 | 0.079 | 0.125 | 30 | 0.222 | 150 | 456 | 22.25 | 22.36 |
| 42 | 0.082 | 0.132 | 30 | 0.177 | 150 | 452 | 22.25 | 22.36 |
| 43 | 0.080 | 0.133 | 30 | 0.184 | 150 | 475 | 22.25 | 22.36 |
| 44 | 0.081 | 0.121 | 30 | 0.164 | 150 | 491 | 22.25 | 22.36 |
| 45 | 0.082 | 0.120 | 30 | 0.133 | 150 | 460 | 22.22 | 22.37 |
| 46 | 0.083 | 0.107 | 30 | 0.220 | 150 | 465 | 22.25 | 22.35 |
| 47 | 0.081 | 0.119 | 30 | 0.166 | 150 | 493 | 22.22 | 22.37 |
| 48 | 0.081 | 0.102 | 30 | 0.125 | 150 | 486 | 22.25 | 22.34 |
| 49 | 0.082 | 0.145 | 30 | 0.201 | 150 | 449 | 22.26 | 22.36 |
| 50 | 0.082 | 0.107 | 30 | 0.183 | 150 | 522 | 22.24 | 22.36 |

**ANEXA 5**

VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORȚA DE SUDARE 85 N SI ENERGIA 25J

| Nr crt. | Timp de sudare [s] | Patrundera [mm] | Energia [J] | Timp de refulare [s] | Forța de sudare [N] | Puterea max [P] | Prag de distanta [mm] | Distanța totală [mm] |
|---------|--------------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 252             | 22.08                 | 22.20                |
| 2       | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 360             | 22.07                 | 22.19                |
| 3       | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 226             | 22.09                 | 22.20                |
| 4       | 0.09               | 0.11            | 25.00       | 0.16                 | 85                  | 300             | 22.08                 | 22.20                |
| 5       | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 251             | 22.07                 | 22.20                |
| 6       | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.19                 | 85                  | 324             | 22.08                 | 22.19                |
| 7       | 0.09               | 0.10            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 292             | 22.06                 | 22.20                |
| 8       | 0.09               | 0.11            | 25.00       | 0.22                 | 85                  | 304             | 22.06                 | 22.19                |
| 9       | 0.09               | 0.13            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 254             | 22.07                 | 22.20                |
| 10      | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 283             | 22.08                 | 22.20                |
| 11      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 267             | 22.06                 | 22.19                |
| 12      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.19                 | 85                  | 283             | 22.08                 | 22.18                |
| 13      | 0.08               | 0.11            | 25.00       | 0.16                 | 85                  | 318             | 22.10                 | 22.19                |
| 14      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 339             | 22.09                 | 22.19                |
| 15      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 318             | 22.07                 | 22.19                |
| 16      | 0.08               | 0.13            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 349             | 22.06                 | 22.19                |
| 17      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.15                 | 85                  | 332             | 22.06                 | 22.19                |
| 18      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.19                 | 85                  | 323             | 22.07                 | 22.19                |
| 19      | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.21                 | 85                  | 372             | 22.07                 | 22.19                |
| 20      | 0.09               | 0.09            | 25.00       | 0.19                 | 85                  | 311             | 22.08                 | 22.19                |
| 21      | 0.08               | 0.11            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 321             | 22.07                 | 22.20                |
| 22      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.16                 | 85                  | 280             | 22.08                 | 22.19                |
| 23      | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 309             | 22.09                 | 22.19                |
| 24      | 0.08               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 318             | 22.09                 | 22.19                |
| 25      | 0.09               | 0.13            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 316             | 22.08                 | 22.19                |
| 26      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 290             | 22.07                 | 22.19                |
| 27      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 277             | 22.07                 | 22.20                |
| 28      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.19                 | 85                  | 345             | 22.07                 | 22.19                |
| 29      | 0.09               | 0.13            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 308             | 22.08                 | 22.19                |
| 30      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 342             | 22.08                 | 22.20                |
| 31      | 0.09               | 0.11            | 25.00       | 0.20                 | 85                  | 331             | 22.07                 | 22.20                |
| 32      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 306             | 22.07                 | 22.19                |
| 33      | 0.10               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 292             | 22.07                 | 22.18                |
| 34      | 0.09               | 0.11            | 25.00       | 0.17                 | 85                  | 274             | 22.07                 | 22.20                |
| 35      | 0.09               | 0.12            | 25.00       | 0.18                 | 85                  | 350             | 22.07                 | 22.20                |

|    |      |      |       |      |    |     |       |       |
|----|------|------|-------|------|----|-----|-------|-------|
| 36 | 0.08 | 0.11 | 25.00 | 0.17 | 85 | 259 | 22.08 | 22.19 |
| 37 | 0.08 | 0.13 | 25.00 | 0.19 | 85 | 362 | 22.06 | 22.19 |
| 38 | 0.08 | 0.14 | 25.00 | 0.17 | 85 | 297 | 22.07 | 22.19 |
| 39 | 0.09 | 0.13 | 25.00 | 0.20 | 85 | 346 | 22.07 | 22.20 |
| 40 | 0.09 | 0.12 | 25.00 | 0.19 | 85 | 338 | 22.08 | 22.19 |
| 41 | 0.09 | 0.11 | 25.00 | 0.16 | 85 | 294 | 22.06 | 22.19 |
| 42 | 0.08 | 0.10 | 25.00 | 0.17 | 85 | 315 | 22.06 | 22.19 |
| 43 | 0.08 | 0.13 | 25.00 | 0.20 | 85 | 324 | 22.07 | 22.19 |
| 44 | 0.09 | 0.12 | 25.00 | 0.19 | 85 | 283 | 22.06 | 22.20 |
| 45 | 0.09 | 0.12 | 25.00 | 0.20 | 85 | 294 | 22.08 | 22.19 |
| 46 | 0.08 | 0.11 | 25.00 | 0.20 | 85 | 262 | 22.08 | 22.20 |
| 47 | 0.08 | 0.13 | 25.00 | 0.18 | 85 | 297 | 22.07 | 22.21 |
| 48 | 0.08 | 0.12 | 25.00 | 0.20 | 85 | 277 | 22.07 | 22.19 |
| 49 | 0.09 | 0.11 | 25.00 | 0.21 | 85 | 339 | 22.08 | 22.19 |
| 50 | 0.09 | 0.13 | 25.00 | 0.17 | 85 | 322 | 22.08 | 22.19 |

**ANEXA 6**

VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORȚA DE SUDARE 85 N SI ENERGIA 30J

| Nr crt. | Timp de sudare [s] | Patrundera [mm] | Energia [J] | Timp de refulare [s] | Forța de sudare [N] | Putere a max [P] | Prag de distanta [mm] | Distanta totala [mm] |
|---------|--------------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | 0.102              | 0.15            | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 282              | 21.98                 | 22.09                |
| 2       | 0.103              | 0.166           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 380              | 21.97                 | 22.08                |
| 3       | 0.104              | 0.144           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 246              | 21.99                 | 22.09                |
| 4       | 0.104              | 0.147           | 30.00       | 0.22                 | 85                  | 320              | 21.98                 | 22.09                |
| 5       | 0.102              | 0.152           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 271              | 21.97                 | 22.09                |
| 6       | 0.102              | 0.16            | 30.00       | 0.25                 | 85                  | 344              | 21.98                 | 22.08                |
| 7       | 0.104              | 0.148           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 312              | 21.96                 | 22.09                |
| 8       | 0.101              | 0.161           | 30.00       | 0.28                 | 85                  | 324              | 21.96                 | 22.08                |
| 9       | 0.104              | 0.151           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 274              | 21.97                 | 22.09                |
| 10      | 0.103              | 0.138           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 303              | 21.98                 | 22.09                |
| 11      | 0.103              | 0.174           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 287              | 21.96                 | 22.08                |
| 12      | 0.105              | 0.159           | 30.00       | 0.25                 | 85                  | 303              | 21.98                 | 22.07                |
| 13      | 0.105              | 0.176           | 30.00       | 0.22                 | 85                  | 338              | 22.00                 | 22.08                |
| 14      | 0.104              | 0.152           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 359              | 21.99                 | 22.08                |
| 15      | 0.103              | 0.135           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 338              | 21.97                 | 22.08                |
| 16      | 0.106              | 0.137           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 369              | 21.96                 | 22.08                |
| 17      | 0.107              | 0.144           | 30.00       | 0.21                 | 85                  | 352              | 21.96                 | 22.08                |
| 18      | 0.11               | 0.166           | 30.00       | 0.25                 | 85                  | 343              | 21.97                 | 22.08                |
| 19      | 0.11               | 0.148           | 30.00       | 0.27                 | 85                  | 392              | 21.97                 | 22.08                |
| 20      | 0.11               | 0.162           | 30.00       | 0.25                 | 85                  | 331              | 21.98                 | 22.08                |
| 21      | 0.11               | 0.152           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 341              | 21.97                 | 22.09                |
| 22      | 0.108              | 0.16            | 30.00       | 0.22                 | 85                  | 300              | 21.98                 | 22.08                |
| 23      | 0.109              | 0.138           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 329              | 21.99                 | 22.08                |
| 24      | 0.107              | 0.151           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 338              | 21.99                 | 22.08                |
| 25      | 0.11               | 0.148           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 336              | 21.98                 | 22.08                |
| 26      | 0.109              | 0.167           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 310              | 21.97                 | 22.08                |
| 27      | 0.109              | 0.159           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 297              | 21.97                 | 22.09                |
| 28      | 0.109              | 0.164           | 30.00       | 0.25                 | 85                  | 365              | 21.97                 | 22.08                |
| 29      | 0.109              | 0.158           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 328              | 21.98                 | 22.08                |
| 30      | 0.108              | 0.167           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 362              | 21.98                 | 22.09                |
| 31      | 0.109              | 0.164           | 30.00       | 0.26                 | 85                  | 351              | 21.97                 | 22.09                |
| 32      | 0.109              | 0.153           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 326              | 21.97                 | 22.08                |
| 33      | 0.109              | 0.149           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 312              | 21.97                 | 22.07                |
| 34      | 0.105              | 0.165           | 30.00       | 0.23                 | 85                  | 294              | 21.97                 | 22.09                |
| 35      | 0.106              | 0.156           | 30.00       | 0.24                 | 85                  | 370              | 21.97                 | 22.09                |

|    |       |       |       |      |    |     |       |       |
|----|-------|-------|-------|------|----|-----|-------|-------|
| 36 | 0.109 | 0.171 | 30.00 | 0.23 | 85 | 279 | 21.98 | 22.08 |
| 37 | 0.108 | 0.168 | 30.00 | 0.25 | 85 | 382 | 21.96 | 22.08 |
| 38 | 0.109 | 0.15  | 30.00 | 0.23 | 85 | 317 | 21.97 | 22.08 |
| 39 | 0.109 | 0.166 | 30.00 | 0.26 | 85 | 366 | 21.97 | 22.09 |
| 40 | 0.109 | 0.144 | 30.00 | 0.25 | 85 | 358 | 21.98 | 22.08 |
| 41 | 0.108 | 0.16  | 30.00 | 0.22 | 85 | 314 | 21.96 | 22.08 |
| 42 | 0.108 | 0.156 | 30.00 | 0.23 | 85 | 335 | 21.96 | 22.08 |
| 43 | 0.11  | 0.163 | 30.00 | 0.26 | 85 | 344 | 21.97 | 22.08 |
| 44 | 0.11  | 0.171 | 30.00 | 0.25 | 85 | 303 | 21.96 | 22.09 |
| 45 | 0.108 | 0.166 | 30.00 | 0.26 | 85 | 314 | 21.98 | 22.08 |
| 46 | 0.108 | 0.171 | 30.00 | 0.26 | 85 | 282 | 21.98 | 22.09 |
| 47 | 0.108 | 0.17  | 30.00 | 0.24 | 85 | 317 | 21.97 | 22.10 |
| 48 | 0.109 | 0.137 | 30.00 | 0.26 | 85 | 297 | 21.97 | 22.08 |
| 49 | 0.109 | 0.147 | 30.00 | 0.27 | 85 | 359 | 21.98 | 22.08 |
| 50 | 0.106 | 0.139 | 30.00 | 0.23 | 85 | 342 | 21.98 | 22.08 |

## ANEXA 7

VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
FORTA DE SUDARE 85 N SI ENERGIA 35J

| Nr crt. | Timp de sudare [s] | Patrundera [mm] | Energia [J] | Timp de refulare [s] | Forta de sudare [N] | Puterea max [P] | Prag de distanta [mm] | Distanta totala [mm] |
|---------|--------------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 257             | 22.09                 | 22.21                |
| 2       | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 365             | 22.08                 | 22.20                |
| 3       | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 231             | 22.10                 | 22.21                |
| 4       | 0.17               | 0.12            | 35.00       | 0.20                 | 85                  | 305             | 22.09                 | 22.21                |
| 5       | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 256             | 22.08                 | 22.21                |
| 6       | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 329             | 22.09                 | 22.20                |
| 7       | 0.17               | 0.11            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 297             | 22.07                 | 22.21                |
| 8       | 0.17               | 0.12            | 35.00       | 0.26                 | 85                  | 309             | 22.07                 | 22.20                |
| 9       | 0.17               | 0.14            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 259             | 22.08                 | 22.21                |
| 10      | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 288             | 22.09                 | 22.21                |
| 11      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 272             | 22.07                 | 22.20                |
| 12      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 288             | 22.09                 | 22.19                |
| 13      | 0.16               | 0.12            | 35.00       | 0.20                 | 85                  | 323             | 22.11                 | 22.20                |
| 14      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 344             | 22.10                 | 22.20                |
| 15      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 323             | 22.08                 | 22.20                |
| 16      | 0.16               | 0.14            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 354             | 22.07                 | 22.20                |
| 17      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.19                 | 85                  | 337             | 22.07                 | 22.20                |
| 18      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 328             | 22.08                 | 22.20                |
| 19      | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.25                 | 85                  | 377             | 22.08                 | 22.20                |
| 20      | 0.17               | 0.10            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 316             | 22.09                 | 22.20                |
| 21      | 0.16               | 0.12            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 326             | 22.08                 | 22.21                |
| 22      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.20                 | 85                  | 285             | 22.09                 | 22.20                |
| 23      | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 314             | 22.10                 | 22.20                |
| 24      | 0.16               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 323             | 22.10                 | 22.20                |
| 25      | 0.17               | 0.14            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 321             | 22.09                 | 22.20                |
| 26      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 295             | 22.08                 | 22.20                |
| 27      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 282             | 22.08                 | 22.21                |
| 28      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 350             | 22.08                 | 22.20                |
| 29      | 0.17               | 0.14            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 313             | 22.09                 | 22.20                |
| 30      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 347             | 22.09                 | 22.21                |
| 31      | 0.17               | 0.12            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 336             | 22.08                 | 22.21                |
| 32      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 311             | 22.08                 | 22.20                |
| 33      | 0.18               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 297             | 22.08                 | 22.19                |
| 34      | 0.17               | 0.12            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 279             | 22.08                 | 22.21                |
| 35      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.22                 | 85                  | 355             | 22.08                 | 22.21                |
| 36      | 0.16               | 0.12            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 264             | 22.09                 | 22.20                |
| 37      | 0.16               | 0.14            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 367             | 22.07                 | 22.20                |
| 38      | 0.16               | 0.15            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 302             | 22.08                 | 22.20                |
| 39      | 0.17               | 0.14            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 351             | 22.08                 | 22.21                |
| 40      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 343             | 22.09                 | 22.20                |
| 41      | 0.17               | 0.12            | 35.00       | 0.20                 | 85                  | 299             | 22.07                 | 22.20                |
| 42      | 0.16               | 0.11            | 35.00       | 0.21                 | 85                  | 320             | 22.07                 | 22.20                |
| 43      | 0.16               | 0.14            | 35.00       | 0.24                 | 85                  | 329             | 22.08                 | 22.20                |
| 44      | 0.17               | 0.13            | 35.00       | 0.23                 | 85                  | 288             | 22.07                 | 22.21                |



|    |      |      |       |      |    |     |       |       |
|----|------|------|-------|------|----|-----|-------|-------|
| 45 | 0.17 | 0.13 | 35.00 | 0.24 | 85 | 299 | 22.09 | 22.20 |
| 46 | 0.16 | 0.12 | 35.00 | 0.24 | 85 | 267 | 22.09 | 22.21 |
| 47 | 0.16 | 0.14 | 35.00 | 0.22 | 85 | 302 | 22.08 | 22.22 |
| 48 | 0.16 | 0.13 | 35.00 | 0.24 | 85 | 282 | 22.08 | 22.20 |
| 49 | 0.17 | 0.12 | 35.00 | 0.25 | 85 | 344 | 22.09 | 22.20 |
| 50 | 0.17 | 0.14 | 35.00 | 0.21 | 85 | 327 | 22.09 | 22.20 |

**ANEXA 8**

VARIATIA PARAMETRILOR DE SUDARE PENTRU  
TESTUL DE ETANSEITATE A MEMBRANEI SUDATE CU ULTRASUNETE

| <b>Nr crt.</b> | <b>Presiunea de umplere [mbar]</b> | <b>Timp de umplere membrana [sec]</b> | <b>Presiunea de stabilizare [mbar]</b> | <b>Timp de umplere cavitate [sec]</b> | <b>Rata de scurgere [ml]</b> |
|----------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------|
| 1              | 184                                | 0,5                                   | 38                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 2              | 190                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.17                         |
| 3              | 183                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 4              | 177                                | 0,5                                   | 37                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 5              | 181                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 6              | 186                                | 0,5                                   | 36                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 7              | 178                                | 0,5                                   | 37                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 8              | 180                                | 0,5                                   | 40                                     | 5                                     | 0.17                         |
| 9              | 186                                | 0,5                                   | 36                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 10             | 186                                | 0,5                                   | 39                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 11             | 179                                | 0,5                                   | 40                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 12             | 185                                | 0,5                                   | 38                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 13             | 186                                | 0,5                                   | 37                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 14             | 184                                | 0,5                                   | 42                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 15             | 188                                | 0,5                                   | 39                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 16             | 186                                | 0,5                                   | 40                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 17             | 181                                | 0,5                                   | 40                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 18             | 180                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 19             | 179                                | 0,5                                   | 42                                     | 5                                     | 0.13                         |
| 20             | 181                                | 0,5                                   | 46                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 21             | 189                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 22             | 184                                | 0,5                                   | 35                                     | 5                                     | 0.13                         |
| 23             | 185                                | 0,5                                   | 42                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 24             | 188                                | 0,5                                   | 44                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 25             | 187                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.16                         |
| 26             | 185                                | 0,5                                   | 34                                     | 5                                     | 0.13                         |
| 27             | 188                                | 0,5                                   | 36                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 28             | 183                                | 0,5                                   | 43                                     | 5                                     | 0.13                         |
| 29             | 187                                | 0,5                                   | 38                                     | 5                                     | 0.15                         |
| 30             | 175                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.13                         |
| 31             | 183                                | 0,5                                   | 42                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 32             | 187                                | 0,5                                   | 41                                     | 5                                     | 0.14                         |
| 33             | 183                                | 0,5                                   | 37                                     | 5                                     | 0.16                         |

---

|    |     |     |    |   |      |
|----|-----|-----|----|---|------|
| 34 | 180 | 0,5 | 41 | 5 | 0.17 |
| 35 | 179 | 0,5 | 44 | 5 | 0.15 |
| 36 | 186 | 0,5 | 43 | 5 | 0.13 |
| 37 | 184 | 0,5 | 43 | 5 | 0.13 |
| 38 | 183 | 0,5 | 40 | 5 | 0.15 |
| 39 | 187 | 0,5 | 38 | 5 | 0.14 |
| 40 | 183 | 0,5 | 41 | 5 | 0.15 |
| 41 | 182 | 0,5 | 40 | 5 | 0.16 |
| 42 | 180 | 0,5 | 43 | 5 | 0.16 |
| 43 | 185 | 0,5 | 37 | 5 | 0.14 |
| 44 | 187 | 0,5 | 48 | 5 | 0.16 |
| 45 | 189 | 0,5 | 42 | 5 | 0.16 |
| 46 | 186 | 0,5 | 41 | 5 | 0.13 |
| 47 | 183 | 0,5 | 41 | 5 | 0.15 |
| 48 | 181 | 0,5 | 38 | 5 | 0.14 |
| 49 | 182 | 0,5 | 41 | 5 | 0.15 |
| 50 | 181 | 0,5 | 39 | 5 | 0.16 |

**ANEXA 9****VARIATIA PARAMETRILOR LA SUDAREA LASER  
PENTRU PUTEREA NOMINALA DE 85 W**

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [sec]</b> | <b>Forța de presare [N]</b> | <b>Patrunderea [mm]</b> | <b>Puterea laser [W]</b> |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1              | 12.4                        | 1945                        | 0.135                   | 88.3                     |
| 2              | 13.7                        | 1973                        | 0.151                   | 90.3                     |
| 3              | 12.4                        | 2055                        | 0.129                   | 84.8                     |
| 4              | 15.4                        | 2098                        | 0.132                   | 95.0                     |
| 5              | 13.3                        | 1997                        | 0.137                   | 91.5                     |
| 6              | 12.7                        | 2111                        | 0.145                   | 84.1                     |
| 7              | 13.7                        | 2218                        | 0.133                   | 75.1                     |
| 8              | 13.0                        | 2054                        | 0.146                   | 93.5                     |
| 9              | 12.9                        | 1940                        | 0.136                   | 79.6                     |
| 10             | 12.6                        | 2109                        | 0.123                   | 81.8                     |
| 11             | 12.8                        | 1987                        | 0.159                   | 75.7                     |
| 12             | 13.0                        | 1866                        | 0.144                   | 82.5                     |
| 13             | 14.7                        | 1915                        | 0.161                   | 85.7                     |
| 14             | 12.8                        | 1939                        | 0.137                   | 77.5                     |
| 15             | 13.1                        | 2139                        | 0.120                   | 81.6                     |
| 16             | 13.5                        | 2060                        | 0.122                   | 75.3                     |
| 17             | 11.4                        | 1986                        | 0.129                   | 72.9                     |
| 18             | 13.1                        | 1816                        | 0.151                   | 79.0                     |
| 19             | 12.9                        | 1945                        | 0.133                   | 89.9                     |
| 20             | 12.3                        | 2043                        | 0.147                   | 83.3                     |
| 21             | 13.9                        | 2062                        | 0.137                   | 90.1                     |
| 22             | 13.3                        | 1874                        | 0.145                   | 93.4                     |
| 23             | 12.5                        | 2055                        | 0.123                   | 82.6                     |
| 24             | 12.7                        | 2011                        | 0.136                   | 88.1                     |
| 25             | 12.3                        | 1884                        | 0.133                   | 88.1                     |
| 26             | 12.6                        | 2042                        | 0.152                   | 76.3                     |
| 27             | 12.6                        | 2126                        | 0.144                   | 89.9                     |
| 28             | 12.7                        | 2069                        | 0.149                   | 86.7                     |
| 29             | 12.7                        | 1891                        | 0.143                   | 74.7                     |
| 30             | 13.7                        | 2070                        | 0.152                   | 96.1                     |
| 31             | 14.9                        | 1871                        | 0.149                   | 89.0                     |
| 32             | 12.6                        | 1983                        | 0.138                   | 89.6                     |
| 33             | 12.8                        | 2109                        | 0.134                   | 81.7                     |
| 34             | 11.7                        | 1813                        | 0.150                   | 88.2                     |

---

|    |      |      |       |      |
|----|------|------|-------|------|
| 35 | 12.4 | 1867 | 0.141 | 87.2 |
| 36 | 12.4 | 2001 | 0.156 | 83.1 |
| 37 | 12.2 | 1855 | 0.153 | 84.8 |
| 38 | 13.6 | 1933 | 0.141 | 94.6 |
| 39 | 12.6 | 2031 | 0.144 | 88.4 |
| 40 | 13.1 | 2002 | 0.149 | 83.0 |
| 41 | 13.4 | 1881 | 0.156 | 78.6 |
| 42 | 13.3 | 1930 | 0.151 | 87.7 |
| 43 | 11.6 | 1875 | 0.156 | 89.8 |
| 44 | 12.4 | 1952 | 0.155 | 76.3 |
| 45 | 12.8 | 1942 | 0.122 | 80.4 |
| 46 | 12.3 | 2113 | 0.132 | 76.3 |
| 47 | 11.9 | 2133 | 0.124 | 82.6 |
| 48 | 12.9 | 1897 | 0.105 | 83.5 |
| 49 | 12.3 | 2082 | 0.117 | 69.9 |
| 50 | 13.3 | 1891 | 0.169 | 93.8 |

**ANEXA 10****VARIATIA PARAMETRILOR LA SUDAREA LASER  
PENTRU PUTEREA NOMINALA DE 100 W**

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [sec]</b> | <b>Fora de presare [N]</b> | <b>Patrunderea [mm]</b> | <b>Puterea laser [W]</b> |
|----------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1              | 8.9                         | 1970                       | 0.145                   | 103.3                    |
| 2              | 10.2                        | 1998                       | 0.161                   | 105.3                    |
| 3              | 8.9                         | 2080                       | 0.139                   | 99.8                     |
| 4              | 11.9                        | 2123                       | 0.142                   | 110.0                    |
| 5              | 9.8                         | 2022                       | 0.147                   | 106.5                    |
| 6              | 9.2                         | 2136                       | 0.155                   | 99.1                     |
| 7              | 10.2                        | 2243                       | 0.143                   | 90.1                     |
| 8              | 9.5                         | 2079                       | 0.156                   | 108.5                    |
| 9              | 9.4                         | 1965                       | 0.146                   | 94.6                     |
| 10             | 9.1                         | 2134                       | 0.133                   | 96.8                     |
| 11             | 9.3                         | 2012                       | 0.169                   | 90.7                     |
| 12             | 9.5                         | 1891                       | 0.154                   | 97.5                     |
| 13             | 11.2                        | 1940                       | 0.171                   | 100.7                    |
| 14             | 9.3                         | 1964                       | 0.147                   | 92.5                     |
| 15             | 9.6                         | 2164                       | 0.130                   | 96.6                     |
| 16             | 10.0                        | 2085                       | 0.132                   | 90.3                     |
| 17             | 7.9                         | 2011                       | 0.139                   | 87.9                     |
| 18             | 9.6                         | 1841                       | 0.161                   | 94.0                     |
| 19             | 9.4                         | 1970                       | 0.143                   | 104.9                    |
| 20             | 8.8                         | 2068                       | 0.157                   | 98.3                     |
| 21             | 10.4                        | 2087                       | 0.147                   | 105.1                    |
| 22             | 9.8                         | 1899                       | 0.155                   | 108.4                    |
| 23             | 9.0                         | 2080                       | 0.133                   | 97.6                     |
| 24             | 9.2                         | 2036                       | 0.146                   | 103.1                    |
| 25             | 8.8                         | 1909                       | 0.143                   | 103.1                    |
| 26             | 9.1                         | 2067                       | 0.162                   | 91.3                     |
| 27             | 9.1                         | 2151                       | 0.154                   | 104.9                    |
| 28             | 9.2                         | 2094                       | 0.159                   | 101.7                    |
| 29             | 9.2                         | 1916                       | 0.153                   | 89.7                     |
| 30             | 10.2                        | 2095                       | 0.162                   | 111.1                    |
| 31             | 11.4                        | 1896                       | 0.159                   | 104.0                    |
| 32             | 9.1                         | 2008                       | 0.148                   | 104.6                    |
| 33             | 9.3                         | 2134                       | 0.144                   | 96.7                     |
| 34             | 8.2                         | 1838                       | 0.160                   | 103.2                    |

---

|    |      |      |       |       |
|----|------|------|-------|-------|
| 35 | 8.9  | 1892 | 0.151 | 102.2 |
| 36 | 8.9  | 2026 | 0.166 | 98.1  |
| 37 | 8.7  | 1880 | 0.163 | 99.8  |
| 38 | 10.1 | 1958 | 0.151 | 109.6 |
| 39 | 9.9  | 1906 | 0.166 | 93.6  |
| 40 | 9.8  | 1955 | 0.161 | 102.7 |
| 41 | 8.1  | 1900 | 0.166 | 104.8 |
| 42 | 8.9  | 1977 | 0.165 | 91.3  |
| 43 | 9.3  | 1967 | 0.132 | 95.4  |
| 44 | 8.8  | 2138 | 0.142 | 91.3  |
| 45 | 8.4  | 2158 | 0.134 | 97.6  |
| 46 | 9.4  | 1922 | 0.115 | 98.5  |
| 47 | 8.8  | 2107 | 0.127 | 84.9  |
| 48 | 9.8  | 1916 | 0.179 | 108.8 |
| 49 | 9.1  | 2056 | 0.154 | 103.4 |
| 50 | 8.9  | 1970 | 0.145 | 103.3 |

**ANEXA 11****VARIATIA PARAMETRIILOR LA SUDAREA LASER  
PENTRU PUTEREA NOMINALA DE 125 W**

| <b>Nr crt.</b> | <b>Timp de sudare [sec]</b> | <b>Forța de presare [N]</b> | <b>Patrunderea [mm]</b> | <b>Puterea laser [W]</b> |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1              | 5.9                         | 1995                        | 0.195                   | 128.3                    |
| 2              | 7.2                         | 2023                        | 0.211                   | 130.3                    |
| 3              | 5.9                         | 2105                        | 0.189                   | 124.8                    |
| 4              | 8.9                         | 2148                        | 0.192                   | 135.0                    |
| 5              | 6.8                         | 2047                        | 0.197                   | 131.5                    |
| 6              | 6.2                         | 2161                        | 0.205                   | 124.1                    |
| 7              | 7.2                         | 2268                        | 0.193                   | 115.1                    |
| 8              | 6.5                         | 2104                        | 0.206                   | 133.5                    |
| 9              | 6.4                         | 1990                        | 0.196                   | 119.6                    |
| 10             | 6.1                         | 2159                        | 0.183                   | 121.8                    |
| 11             | 6.3                         | 2037                        | 0.219                   | 115.7                    |
| 12             | 6.5                         | 1916                        | 0.204                   | 122.5                    |
| 13             | 8.2                         | 1965                        | 0.221                   | 125.7                    |
| 14             | 6.3                         | 1989                        | 0.197                   | 117.5                    |
| 15             | 6.6                         | 2189                        | 0.180                   | 121.6                    |
| 16             | 7.0                         | 2110                        | 0.182                   | 115.3                    |
| 17             | 4.9                         | 2036                        | 0.189                   | 112.9                    |
| 18             | 6.6                         | 1866                        | 0.211                   | 119.0                    |
| 19             | 6.4                         | 1995                        | 0.193                   | 129.9                    |
| 20             | 5.8                         | 2093                        | 0.207                   | 123.3                    |
| 21             | 7.4                         | 2112                        | 0.197                   | 130.1                    |
| 22             | 6.8                         | 1924                        | 0.205                   | 133.4                    |
| 23             | 6.0                         | 2105                        | 0.183                   | 122.6                    |
| 24             | 6.2                         | 2061                        | 0.196                   | 128.1                    |
| 25             | 5.8                         | 1934                        | 0.193                   | 128.1                    |
| 26             | 6.1                         | 2092                        | 0.212                   | 116.3                    |
| 27             | 6.1                         | 2176                        | 0.204                   | 129.9                    |
| 28             | 6.2                         | 2119                        | 0.209                   | 126.7                    |
| 29             | 6.2                         | 1941                        | 0.203                   | 114.7                    |
| 30             | 7.2                         | 2120                        | 0.212                   | 136.1                    |
| 31             | 8.4                         | 1921                        | 0.209                   | 129.0                    |
| 32             | 6.1                         | 2033                        | 0.198                   | 129.6                    |
| 33             | 6.3                         | 2159                        | 0.194                   | 121.7                    |
| 34             | 5.2                         | 1863                        | 0.210                   | 128.2                    |



---

|    |     |      |       |       |
|----|-----|------|-------|-------|
| 35 | 5.9 | 1917 | 0.201 | 127.2 |
| 36 | 5.9 | 2051 | 0.216 | 123.1 |
| 37 | 5.7 | 1905 | 0.213 | 124.8 |
| 38 | 7.1 | 1983 | 0.201 | 134.6 |
| 39 | 6.9 | 1931 | 0.216 | 118.6 |
| 40 | 6.8 | 1980 | 0.211 | 127.7 |
| 41 | 5.1 | 1925 | 0.216 | 129.8 |
| 42 | 5.9 | 2002 | 0.215 | 116.3 |
| 43 | 6.3 | 1992 | 0.182 | 120.4 |
| 44 | 5.8 | 2163 | 0.192 | 116.3 |
| 45 | 5.4 | 2183 | 0.184 | 122.6 |
| 46 | 6.4 | 1947 | 0.165 | 123.5 |
| 47 | 5.8 | 2132 | 0.177 | 109.9 |
| 48 | 6.8 | 1941 | 0.229 | 133.8 |
| 49 | 6.1 | 2081 | 0.204 | 128.4 |
| 50 | 5.9 | 1995 | 0.195 | 128.3 |