

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

S.C. CONTINENTAL AUTOMOTIVE ROMANIA S.R.L.

PROIECT DE DIPLOMĂ

Coordonator:

Ș.L.dr.ing. Emanoil LINUL

Absolvent:

Cristina VĂLEAN

Din partea S.C. Continental Automotive Romania S.R.L.:

Dr.ing. Nicolae-Andrei CRIȘAN

Timișoara,
2017

**UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ
DEPARTAMENTUL DE MECANICĂ ȘI REZISTENȚA
MATERIALELOR
SPECIALIZAREA: INGINERIE MEDICALĂ**

S.C. CONTINENTAL AUTOMOTIVE ROMANIA S.R.L.

PROIECT DE DIPLOMĂ

**Acumulări de deformății plastice la cicluri de
temperatură pentru aliaje de lipit**

Coordonator:

Ș.L.dr.ing. Emanoil LINUL

Absolvent:

Cristina VĂLEAN

Din partea S.C. Continental Automotive Romania S.R.L.:

Dr.ing. Nicolae-Andrei CRIȘAN

**EVALUAREA PROIECTULUI DE DIPLOMĂ
DE CĂTRE CONDUCĂTORUL ȘTIINȚIFIC**

Numele și prenumele absolventului	VĂLEAN CRISTINA	
Tema proiectului	Acumulări de deformări plastice la cicluri de temperatură pentru aliaje de lipit	
Numele și prenumele conducătorului (conducătorii) proiectului	Ș.L. Dr. Ing. LINUL EMANOIL	
Lucrarea a fost elaborată pe baza unei colaborări contractuale	<input type="checkbox"/> DA	<input checked="" type="checkbox"/> NU
Proiectul are parte practică ¹ :	<input checked="" type="checkbox"/> DA	<input type="checkbox"/> NU
Aprecierea finalizării părții practice	<i>Absolventul a realizat un proiect de diplomă tehnic, de actualitate, inovativ și viabil.</i>	
A. Structura proiectului		
Proiectul respectă structura standard sau are o structură specială acceptată de conducător? (Se va preciza și motiva structura acceptată)	<i>Proiectul cuprinde 5 Capitle și Anexe, succesiunea lor conducând logic la realizarea temei propuse.</i>	(0-7 puncte) 7
Ponderea părților proiectului (se argumentează acceptarea lor)	<i>Ponderea părților proiectului este corespunzătoare importanței lor.</i>	(0-8 puncte) 8
Total A		15 puncte
B. Conținutul proiectului		
Evaluarea structurării capitolelor și paragrafelor (coerență, corectitudine, granulare)	<i>Proiectul este bine scris, bine structurat pe capitole, prezentat într-o manieră clară, cu multe exemplificări și susținut de multă muncă</i>	(0-10 puncte) 10
Evaluarea gradului și modului de utilizare a surselor bibliografice (existența acestora, actualitatea și importanța, modul de referire, măsura utilizării lor, folosirea standardelor, etc)	<i>Au fost utilizate surse bibliografice naționale și internaționale de actualitate din literatura de specialitate, acestea argumentând și prezentând exemple concrete ale problemelor identificate în explicitările teoretice și în practica aferentă domeniului studiat.</i>	(0-5 puncte) 5
Calitatea și utilitatea dezvoltărilor teoretice (consistență, claritate,	<i>Partea teoretică este clară și corect utilizată în calculele numerice și simulare. S-au realizat calcule de</i>	(0-20 puncte) 20

¹ Prin **parte practică** a unei lucrări de diplomă se înțelege rezultatul concret, finalizat (funcțional, cu diverse niveluri de perfectibilitate) al muncii absolventului și care se poate aplica/demonstra practic.

coerență, măsura în care acestea sunt folosite în partea aplicativă, etc.)	<i>analiză cu elemente finite pentru aliajele studiate, utilizând programul ANSYS.</i>	
Calitatea părții aplicative (consistența, corectitudine, mod de prezentare, experimente și rezultate experimentale, caracter inovativ)	<i>Calitatea părții aplicative este deosebită prin consistență și corectitudine, aceasta constând în obținerea și prezentarea unor rezultate numerice cu un puternic impact aplicativ.</i>	(0-30 puncte) 30
Calitatea elementelor complementare	<i>Desenele de ansamblu și desenul de execuție sunt corecte și realizate în PTC Creo 2.0.</i>	(0-10 puncte) 10
Total B		75 puncte
C. Forma proiectului		
Estetica proiectului (editare, capacitatea de evidențiere a rezultatelor și concluziilor)	<i>Proiectul este bine redactat, concis și evidențiază clar rezultatele și concluziile temei.</i>	(0-5 puncte) 5
Complexitatea și calitatea materialului grafic și modul în care acesta susține lucrarea	<i>Materialul grafic este corespunzător și executat pe calculator conform cerințelor.</i>	(0-5 puncte) 5
Total C		10 puncte
Total general N=A+B+C		100 puncte
Nota		
Evaluări suplimentare		
Măsura în care pentru elaborarea proiectului s-au folosit cunoștințe din cadrul procesului de învățământ	<i>Pentru rezolvarea temei s-au folosit cunoștințe din materiile parcurse în cadrul procesului de învățământ, ciclul licență, în special Metoda Elementului Finit.</i>	(0% - 100%) 100%
Gradul de independență demonstrat de absolvent în elaborarea proiectului	<i>Absolventul a dovedit inițiativă, interes și independență în rezolvarea temei și elaborarea proiectului propus.</i>	(0% - 100%) 100%
Conducătorul proiectului de diplomă a purtat o discuție finală cu absolventul?	<input checked="" type="checkbox"/> DA <i>De câte ori a fost nevoie, atât pe parcursul realizării proiectului cât și în faza finală, de predare, a fost o colaborare permanentă între coordonator și student.</i>	<input type="checkbox"/> NU

Data:

Semnătura conducătorului proiectului de diplomă,

Ș.L. Dr. Ing. Emanoil LINUL

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA

FACULTATEA DE MECANICĂ

PLAN TEMATIC

pentru proiectul de licență

Proiectul de diplomă dat studentului: **VĂLEAN CRISTINA**

1. Tema proiectului: Acumulări de deformății plastice la cicluri de temperatură pentru aliaje de lipit

2. Termenul de predare a proiectului: 19.06.2017

3. Elementele inițiale pentru proiect:

- Proprietăți de material pentru 60Sn40Pb;
- Modelul CAD al ansamblului.

4. Conținutul notei explicative de calcul (enumerarea problemelor care vor fi rezolvate):

- Introducere;
- Prezentarea generală a produsului;
- Noțiuni privind modelele de material utilizate;
- Noțiuni privind metoda elementelor finite;
- Analiza cu elemente finite pentru fiecare tip de aliaj de lipit utilizat, precum și pentru fiecare model de descriere a materialelor;
- Realizarea corelării între modelele de material folosite;
- Concluzii și direcții viitoare de cercetare.

5. Enumerarea materialului grafic:

- Imagini, grafice, desene de ansamblu și desen de execuție

6. Consultații pentru proiect: săptămânale - luni, orele 16-18, sala 202B, Departamentul de Mecanică și Rezistența Materialelor, Facultatea de Mecanică, UPT.

7. Data eliberării temei: 06.03.2017

Tema a fost primită pentru îndeplinire.

Data_____

Semnătură student_____

CONDUCĂTOR,

Ș.L. Dr. Ing. Emanoil LINUL

(semnătura)

Rezumat

Această lucrare prezintă un studiu al acumulării de deformății plastice la cicluri de temperatură pentru 4 tipuri de aliaje de lipit utilizate în electronică, și anume: 60Sn40Pb, 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag, respectiv 92.5Pb5Sn2.5Ag.

Studiul s-a efectuat pe un ansamblu care face parte dintr-o piesă electronică. Ansamblul analizat este format din placa de bază, scheletul de plastic, 10 pini, respectiv aliajul de lipit. Comportamentul cositorului s-a analizat numeric folosind metoda elementelor finite, utilizând programul Ansys. Studiul s-a efectuat pentru o variație termică de 165°C, în intervalul -40...+125°C.

Primul material (60Sn40Pb) s-a descris utilizând modelele elastic-plastic, Chaboche, respectiv Anand, care combină plasticitatea cu fluajul. Parametri de material ai cositorului, pentru modelele utilizate, au fost preluați din literatura de specialitate. În urma studiului efectuat pe primul tip de cositor, s-a realizat o corelare între modelul Anand și cel Elastic-Plastic, lucrul acesta obținându-se prin utilizarea unei constante. S-a observat faptul că factorul de corelare utilizat e în strânsă legătură cu un parametru al modelului Anand.

În continuare s-au investigat alte 3 tipuri de aliaje de lipit. Fiecare dintre acestea a fost descris atât cu modelul de material propus de Anand, cât și cu cel elasto-plastic. De asemenea, și pentru aceste tipuri de cositor, datele de material au fost preluate din literatura de specialitate. S-a urmărit posibilitatea corelării dintre cele două modele, precum și verificarea existenței unei legături între factorul de corelare utilizat și parametrul de material al modelului Anand, denumit *constanta de ecruisare*.

În urma acestor investigații s-a ajuns la concluzia că, pentru domeniul de încărcare termică studiat, modelele de material pot fi corelate. De asemenea, în 50% dintre cazuri, factorul de corelare are o legătură directă cu un parametru al modelului Anand.

Abstract

This following paper presents a study of plastic strain accumulation at thermal cycles for 4 types of solder alloys used in electronics, named: 60Sn40Pb, 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag and 92.5Pb5Sn2.5Ag, respectively.

The study was performed on an assembly that is part of an electronic piece. The analyzed assembly consist of a printing circuit board, plastic skeleton, 10 pins and the solder alloy, respectively. The behavior of the solder was numerically analyzed by means of the finite element method, using Ansys program. The study was carried out for a thermal variation of 165°C, in the range of -40...+125°C.

The first material (60Sn40Pb) was described using Elastic-Plastic, Chaboche and Anand models, which combine the plasticity with creep. The material parameters of the solder alloy were taken from the literature. Following the study of the first solder alloy, a correlation between the Anand model and the Elastic-Plastic one was proposed, this being obtained by using a numerical constant. It was observed that the proposed correlation factor is closely related to a parameter of the Anand model.

Following the first investigation, another 3 types of solder alloys were also analyzed. Each new material was described with both the Anand model and the Elastic-Plastic model. Also, for all three solder alloys the material parameters were taken from literature. The possibility of correlation between the two models, as well as the verification of the relationship between the used correlation factor and the material parameter of the Anand model, called *hardening constant*, were investigated.

Following these investigations, it was concluded that, for the investigated thermal field, the material models can be correlated. Also, for 50% of cases, the correlation factor is closely related with a parameter of the Anand model.

Cuprins

Rezumat	7
Abstract.....	8
1. Introducere	10
1.1. Descrierea problemei	10
1.2. Stadiul actual	11
2. Materiale	14
2.1. Materiale utilizate	14
2.2. Modele de material	14
2.2.1. Modelul Elastic-Plastic	14
2.2.2. Modelul Chaboche.....	16
2.2.3. Modelul Anand	17
3. Modelări numerice	20
3.1. Model analizat	20
3.2. Model simplificat.....	23
3.2.1. Analiza cu elemente finite.....	23
3.2.2. Rezultate pentru 60Sn40Pb	31
3.2.3. Rezultate pentru alte materiale	34
4. Concluzii.....	41
5. Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare.....	43
Anexe	45
Bibliografie.....	49

1. Introducere

1.1. Descrierea problemei

Materialele de lipit folosite în industria electronică sunt în mare parte aliaje de Sn și Pb. Acestea servesc drept materiale de structură pentru susținerea componentelor. Schimbarea temperaturii interioare și a celei din mediul înconjurător, în timpul funcționării unui pachet electronic, adesea cauzează tensiuni sau deformății în aliajele de lipit. Acestea sunt rezultate din diferențele dintre coeficienții de expansiune termică a componentelor, respectiv a plăcii de bază. În același timp, aliajele de lipit fiind supuse la temperaturi de funcționare ridicate, prezintă o gamă largă de comportamente dependente de aceste temperaturi. Acest lucru duce la probleme de fiabilitate la nivelul interconectării dintre pachetele microelectronice. Astfel, modelele ce descriu comportamentul viscoplastic al aliajelor de lipit, au cerințe mari de a descrie și prezice acest tip de comportament al cositorilor [1].

În ziua de azi, totul se încearcă a se automatiza. Așadar, fie ca vorbim de părți ale autovehiculelor, de aparate electrocasnice sau de aparatură medicală, aproape în fiecare dintre acestea se găsește un circuit electronic. În funcționare, fiecare componentă este supusă unor variații de temperatură. Indiferent cât de mici sau mari ar fi acestea, ele există. Aceste variații au un impact puternic asupra aliajului de lipit, care face legătura dintre piesele electronice și placa de bază.

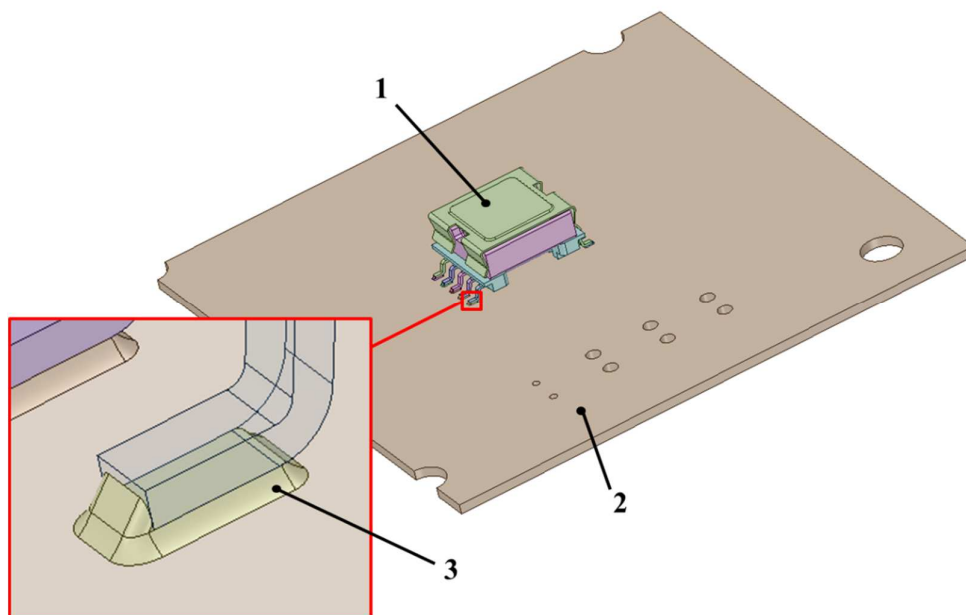


Figura 1.1 - Aliajul de lipit

În Figura 1.1 este prezentată legătura dintre o piesă electronică (1) și placa de bază (2). Aceasta se realizează prin intermediul aliajului de lipit, (3). Ansamblul reprezintă, de asemenea, și obiectul investigației din lucrarea de față.

Detalii legate de ansamblul studiat (dimensiuni, componente, etc.), se pot observa în desenul din Anexa 1.

Problema majoră care apare este dată de faptul că ciclurile de temperatură repetate la care este supus ansamblul duc la acumulări de deformății plastice în aliajul de lipit, apariția fisurilor, iar apoi la ruperea acestuia. Astfel, se ajunge la defecțiuni la nivelul conexiunii între componentele electronice, deci, la nefuncționalitatea piesei din care face parte ansamblul electronic.

Ținând cont de toate aceste probleme care pot să apară pe durata funcționării unui produs (acumulări de deformății plastice, inițierea și propagarea fisurilor în cositor, respectiv ruperea acestuia), este absolut necesară realizarea unor investigații aprofundate asupra viscoplasticității acestor materiale, precum și asupra comportamentului lor la cicluri de temperatură. **Obiectivul principal** al lucrării de față este studiul comparativ al comportării unei componente electronice supusă la cicluri de temperatură. S-au folosit diverse modele de material, cum ar fi cel elastic-plastic cu ecruisare cinematică și izotropică, modelul Chaboche și modelul Anand. De asemenea, s-au studiat mai multe tipuri de cositor, și anume: 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag, respectiv 92.5Pb5Sn2.5Ag.

1.2. Stadiul actual

Pe durata ultimelor trei decenii s-au efectuat mai multe studii analitice, numerice și experimentale privind comportamentul viscoplastic al diferitelor tipuri de materiale ingineresti. În 1985, Anand [2], dezvoltă ecuații constitutive care descriu comportamentul elastic-viscoplastic al materialelor metalice, considerând deformății elastice mici și deformății plastice mari. Modelul de material dezvoltat nu necesită definirea unui criteriu de curgere și nici curbele de încărcare/descărcare. Mai mult, modelul are definit un singur parametru scalar (rezistența la deformare) care reprezintă rezistența de curgere plastică izotropică. Pe scurt, modelul propus de Anand combină plasticitatea cu fluajul, iar ecuația constitutivă a acestuia ține cont de 9 parametri de material. Ulterior, Brown și colaboratorii [3] dezvoltă modelul constitutiv, propus de Anand, pentru materialele metalice la temperaturi înalte. Aceștia ajung la concluzia că formele specifice ale ecuațiilor constitutive sunt aceleași pentru diferite materiale, atât timp cât mecanismele fizice operative

subadiacente sunt aceleași. Dat fiind faptul că acestea sunt în general asemănătoare, pentru o anumită clasă de material, într-un anumit interval de temperaturi și viteze de deformare, se consideră că ecuațiile propuse sunt aplicabile și pentru modelarea comportamentului de deformare a altor materiale cubice monofazate la temperaturi mai înalte decât jumătate din temperatura punctului de curgere (temperatura absolută). De asemenea, sunt aplicabile pentru viteze de deformare în intervalul 10^{-3} - 10^0 mm/s. Această gamă de temperatură și viteze de deplasare este de mare interes practic pentru numeroase procese de lucru la cald. Așadar, ecuațiile constitutive sunt utile în analiza unor astfel de procese de lucru la temperaturi înalte.

Cheng și colaboratorii [4] aplică modelul Anand pentru a studia deformațiile plastice la aliajele de lipire, efectuând și teste de laborator pentru determinarea parametrilor modelului. Simulările și verificările arată că există o bună concordanță între predicțiile modelului și datele experimentale. Se prezintă, de asemenea, și o discuție cu privire la acest model de material. Modelul propus de Anand unește plasticitatea și fluajul, iar acest model constitutiv viscoplastic, pentru aliaje de lipit, posedă unele avantaje față de cel în care plasticitatea și fluajul se tratează separat. Pentru cazurile studiate (4 tipuri de cositor), modelul de material s-a dovedit suficient de robust, arătând o bună corelare cu testele. Cheng și colaboratorii concluzionează asupra faptului că modelul propus de Anand ar putea fi recomandat ca model de material pentru aliaje de lipit. De asemenea, poate fi utilizat în simularea cu elemente finite a fiabilității îmbinărilor lipite, utilizate în electronică și în tehnologia montării pe suprafață.

Busso și colaboratorii [5] studiază procesele de deformare termo-mecanică în îmbinările de lipit ale pachetelor de circuite integrate (IC), cauzate de ciclul termic. Modelarea elementelor finite tridimensionale, utilizând un nou model constitutiv viscoplastic pentru aliajul de lipire, a fost utilizată pentru a prezice modul în care deformațiile plastice și microstructura evoluează în timpul ciclului termic. După analizele efectuate, se ajunge la concluzia că predicțiile, bazate pe analiză, ale locațiilor în care fisurile se pot declanșa sunt în concordanță cu dovezile experimentale. Pe scurt, în [5] se analizează un cositor aplicând cicluri de temperatură pentru a prezice modul în care evoluează deformația plastică și microstructura materialului.

Wang și colaboratorii [6] folosesc modelul dezvoltat de Anand pentru a studia comportamentul de deformare plastică a 4 aliaje de lipit, folosite la o serie de piese electronice. Parametri de material ai relațiilor constitutive, pentru toate cele 4 tipuri de cositor, au fost determinate din relații constitutive și rezultate experimentale. Modelul de

material propus de Anand a fost testat pentru o viteză de încărcare constantă, și pentru a se observa răspunsul tensiune-deformație la încărcări ciclice. Autorii concluzionează asupra faptului că acest model poate fi aplicat pentru reprezentarea comportamentului deformației plastice în cazul aliajelor de lipit, la temperaturi înalte. De asemenea, recomandă modelul Anand în simulările cu elemente finite pentru a se studia răspunsul tensiune-deformație al cositorului în funcționare.

Liu și colaboratorii [1] investighează comportamentul inelastic pentru 2 materiale de lipire. Acest lucru îl fac prin supunerea materialelor la teste de compresiune, pentru viteze de încărcare constante și temperaturi diferite. Autorii folosesc modelul constitutiv de material propus de Anand pentru a descrie comportamentul tensiune-deformație, precum și tensiunea de saturație pentru ambele aliaje de lipit investigate. De asemenea, determină și experimental cei 9 parametri de material ai modelului Anand. Se ajunge la concluzia că predicțiile făcute cu ajutorul modelului de material folosit, sunt într-o bună corelare cu rezultatele experimentale. Autorii afirmă, după studiile efectuate, că acest model de material este corespunzător pentru a descrie comportamentul aliajelor de lipit studiate. În urma studiului se confirmă încă o dată robustețea modelului de material propus de Anand.

Chen și colaboratorii [7] utilizează un model Anand modificat, pentru a descrie deformația plastică a aliajelor de lipit pe bază de Staniu, utilizate în electronică, la temperaturi cuprinse între -40 și 125°C. De asemenea, în cadrul articolului se realizează o comparație între rezultatele experimentale și cele analitice.

Modelul de material propus de Anand descrie foarte bine comportamentul viscoplastic al aliajelor de lipit, supuse la variații mari de temperatură. Un dezavantaj al folosirii acestui model în analiza cu elemente finite, este durata mare de rulare a unei analize. Așadar, *această lucrare are ca și scop* aflarea unei posibile corelări a modelului Anand cu un altul, care să faciliteze analizele comportamentului cositorilor la variații de temperatură, în cazul utilizării programelor bazate pe metoda elementului finit.

2. Materiale

2.1. Materiale utilizate

Investigațiile prezentului studiu s-au efectuat pe 4 tipuri de cositor. Pentru început, s-a folosit materialul 60Sn40Pb, urmând ca apoi să se continue studiile pe alte 3 tipuri de aliaje de lipit. Materialele folosite ulterior sunt: 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag, respectiv 92.5Pb5Sn2.5Ag.

2.2. Modele de material

Pentru fiecare tip de cositor prezentat în subcapitolul 2.1. s-au utilizat 2 modele de material, și anume: modelul Elastic-Plastic, respectiv modelul Anand. În plus, pentru materialul 60Sn40Pb s-a folosit și modelul de material Chaboche.

2.2.1. Modelul Elastic-Plastic

Unul dintre modelele de material utilizate în studiul de față este cel elstic-plastic, sau elasto-plastic.

În Figura 2.1 sunt reprezentate două tipuri de schematizări ale materialelor care prezintă un comportament elasto-plastic. În Figura 2.1a, este prezentat modelul în care materialul prezintă o zonă liniar-elastică, până în punctul de curgere $R_{p0.2}$, după care urmează o zonă de ecruisare (întărire a materialului). Modulul de elasticitate tangent, E_t , în cazul acestui model, este diferit de 0. Pe de altă parte, modelul de material din Figura 2.1b, se referă la materialele ideal elasto-plastice, și poartă denumirea de schematizarea lui Prandtl. În cazul acestuia, lungimea dreptei orizontale din diagramă, nu se limitează. Materialele ideal elasto-plastice au modulul de elasticitate tangent, $E_t=0$.

Pentru materialul 60Sn40Pb, utilizat în investigația de față, s-a folosit modelul de material elasto-plastic atât cu $E_t = 0$, cât și cu $E_t \neq 0$. Pentru toate celelalte 3 materiale s-a folosit doar modelul de material pentru care $E_t = 0$.

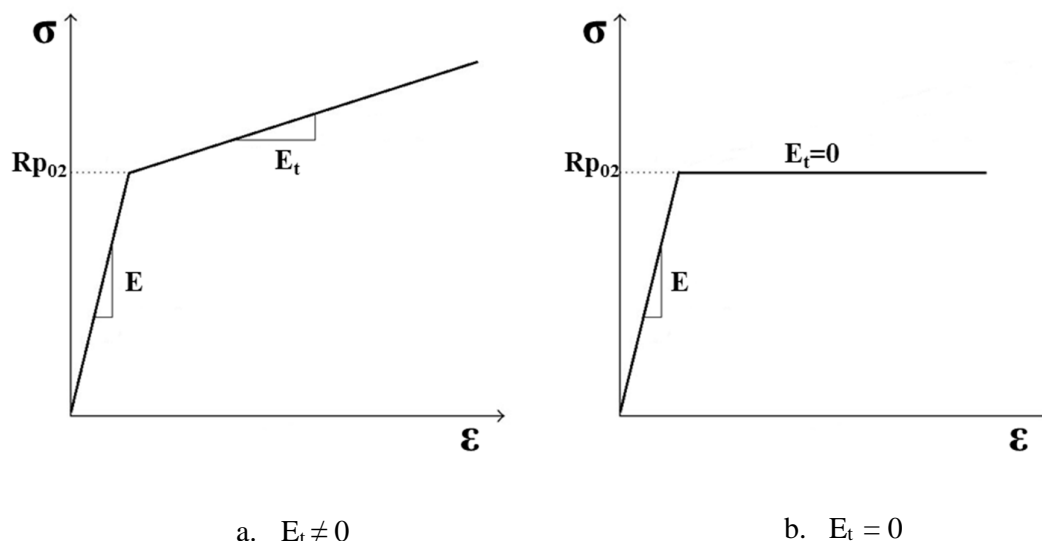


Figura 2.1 - Schematizări ale elasto-plasticității

În Tabelul 2.1 se poate observa faptul că, în cazul primului material modulul de elasticitate tangent, E_t , ia mai multe valori. Acestea au fost calculate după cum urmează:

- $E_t = 0 \text{ [MPa]}$;
- $E_t = \frac{E}{10\,000} = 3 \text{ [MPa]}$;
- $E_t = \frac{E}{100} = 300 \text{ [MPa]}$,

unde E – modulul de elasticitate longitudinal.

De asemenea, se poate observa faptul că, pentru același material, s-au utilizat două tipuri de ecruisări: izotropică și cinematică. Ecruisarea izotropică presupune faptul că tensiunea de curgere, atât la întindere, cât și la compresiune, este menținută constantă. În cazul ecruisării cinematische, intervalul de deformăție totală elastică este menținut constant în timpul deformării.

Datele de material, prezentate în Tabelul 2.1, pentru toate cele 4 aliaje de lipit au fost preluate din literatura de specialitate [8], [9].

Tabelul 2.1 - Date de material pentru modelul Elastic-Plastic

Cositor	ρ [kg/m ³]	α [C ⁻¹]	Rp02 [MPa]	ν [-]	E [MPa]	Et [MPa]			Ecrusare
60Sn40Pb	8 600	$2.4 \cdot 10^{-5}$	32	0.4	$3 \cdot 10^4$	0	3	300	Izotropică & Cinematică
62Sn36Pb2Ag	8 600	$2.45 \cdot 10^{-5}$	38	0.35	$3.44 \cdot 10^4$	0			Izotropică
96.5Sn3.5Ag	7 360	$2.185 \cdot 10^{-5}$	34	0.4	$5.27 \cdot 10^4$	0			Izotropică
92.5Pb5Sn2.5Ag	11 110	$2.95 \cdot 10^{-5}$	17	0.33	$1.38 \cdot 10^4$	0			Izotropică

Termenii utilizați în Tabelul 2.1 reprezintă:

- ρ - densitatea materialului;
- α - coeficientul de expansiune termală;
- Rp02 - limita de curgere;
- E - modulul de elasticitate longitudinal;
- Et - modulul de elasticitate tangent.

2.2.2. Modelul Chaboche

Modelul de material propus de Chaboche [10] permite definirea unui comportament combinat pentru ecruisarea izotropică și cinematică. Acest model este folosit pentru evaluarea efectelor încărcărilor ciclice și poate modela atât comportamente ca ecruisarea ciclică, cât și înmuierea materialului. Pentru a defini comportamentul materialului folosind modelul Chaboche, sunt necesare 3 constante de material, și anume:

- Limita de curgere, Rp02;
- Ecruisarea cinematică liniară, C;
- Coeficientul de recuperare dinamică, γ . Acest termen introduce neliniaritatea dintre tensiunea precedentă și deformația plastică la momentul respectiv.

Valorile pentru C și γ , în cazul materialului 60Sn40Pb, s-au preluat din articolul publicat de Basaran și colaboratorii [11].

- $R_{p02} = 32$ [MPa];
- $C = 13.6$ [MPa];
- $\gamma = 457.9$ [-].

2.2.3. Modelul Anand

Modelul de material propus de Anand are la bază un set simplu de ecuații constitutive [6] pentru deformații viscoplastice, izotropice mari și deformații elastice mici. Acest model folosește un singur scalar ca variabilă internă. De asemenea, are două caracteristici de bază. În primul rând, acest model nu necesită o condiție de curgere explicită și nici un criteriu de încărcare/descărcare. În al doilea rând, modelul Anand folosește un singur scalar ca variabilă internă, pentru a reprezenta rezistența izotropică la curgerea plastică oferită de starea internă a materialului. Această variabilă internă este notată cu s , are dimensiunea unei tensiuni și este denumită *rezistența la deformație*.

Variabila internă, s , reprezintă o rezistență izotropică medie la curgerea plastică oferită de mecanismele subadiacente de întărire izotropică, cum ar fi densitatea dislocării, consolidarea soluției solide, efectul dimensiunii grăunților, etc. Rezistența la deformație este proporțională cu tensiunea echivalentă, σ .

$$\sigma = c \cdot s; c < 1, \quad (2.1)$$

unde c este un parametru de material, definit ca:

$$c = \frac{1}{\xi} \sinh^{-1} \left[\left(\frac{\dot{\epsilon}_p}{A} e^{Q/RT} \right)^m \right], \quad (2.2)$$

unde: ξ - multiplicatorul de tensiune;

$\dot{\epsilon}_p$ - viteza de deformație plastică;

A - factorul pre-exponențial;

Q - energia de activare;

R - constanta universală a gazului;

T - temperatura absolută;

m - sensibilitatea la viteza de deformație [6].

Pentru a se vizualiza exact dependența de tensiune a vitezei la deformare la o structură constantă, s-a folosit următoarea formă funcțională a ecuației de curgere:

$$\dot{\varepsilon}_p = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \left[\sinh\left(\xi \frac{\sigma}{s}\right)\right]^{1/m}, \quad (2.3)$$

Este de observat faptul că variabila internă intră în ecuația de curgere numai ca raport cu tensiunea echivalentă. Evoluția ecuației, pentru variabila internă s , ia forma:

$$\dot{s} = g(\sigma, s, T) \dot{\varepsilon}_p, \quad (2.4)$$

unde funcția $g(\sigma, s, T)$ este asociată unui process dinamic, adică de ecrisare și recuperare dinamică [6].

O formă simplă a ecuației (2.4) este cea dezvoltată de Anand, și anume:

$$\dot{s} = \left\{ h_0 \left| 1 - \frac{s}{s^*} \right|^a \cdot \text{sign} \left(1 - \frac{s}{s^*} \right) \right\} \cdot \dot{\varepsilon}_p; \quad a > 1, \quad (2.5)$$

unde

$$s^* = \hat{s} \left[\frac{\dot{\varepsilon}_p}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \right]^n, \quad (2.6)$$

unde: h_0 - constanta de ecrisare/înmuire;

a - sensibilitatea ecrisării/înmuierii la viteza de deformare;

s^* - valoare saturată a lui s , asociată unui set dat de temperaturi și viteze de deformare, ecuația (2.6);

\hat{s} - coeficient de saturație a rezistenței la deformare;

n - sensibilitatea saturației la viteza de deformare. [6]

Din cele de mai sus se poate observa că modelul de material propus de Anand are la bază o ecuație care cuprinde 9 parametri:

- Rezistența la deformare inițială, s_0 , [MPa];
- Factorul pre-exponențial, A , [Hz];

- Multiplicatorul de tensiune, ξ , [-];
- Senzitivitatea tensiunii la viteza de deformare, m , [-];
- Constanta de ecruisare/înmuire, h_0 , [MPa];
- Coeficientul de saturație a rezistenței la deformare \hat{s} , [MPa];
- Senzitivitatea saturației la viteza de deformare, n , [-];
- Senzitivitatea ecruisării/înmuierii la viteza de deformare, a , [-];
- Energia de activare/Constanta universală a gazului, $\frac{Q}{R}$, [K].

Datele de material ale modelului Anand, pentru toate cele 4 aliaje de lipit utilizate în studiul de față, sunt prezentate în Tabelul 2.2. Datele au fost preluate din articolul publicat de Wang și colaboratorii [6].

Tabelul 2.2 - Date de material pentru modelul Anand

	60Sn40Pb	62Sn36Pb2Ag	96.5Sn3.5Ag	92.5Pb5Sn2.5Ag
s_0 [MPa]	56.330	42.320	39.090	33.070
A [Hz]	$1.49 \cdot 10^7$	$2.3 \cdot 10^7$	$3.3 \cdot 10^6$	$1.05 \cdot 10^5$
ξ [-]	11	11	6	7
m [-]	0.303	0.303	0.182	0.241
h_0 [MPa]	2 640.8	4 121.31	3 321.15	1 432
\hat{s} [MPa]	80.420	80.790	73.810	41.630
n [-]	0.0231	0.0212	0.018	0.002
a [-]	1.34	1.38	1.82	1.3
$\frac{Q}{R}$ [K]	10 830	11 262	8 900	11 010

3. Modelări numerice

3.1. Model analizat

Pentru investigația prezentului studiu s-a folosit piesa electronică prezentată în Figura 3.1. Desenul 2D al ansamblului studiat, este prezentat în Anexa 1.

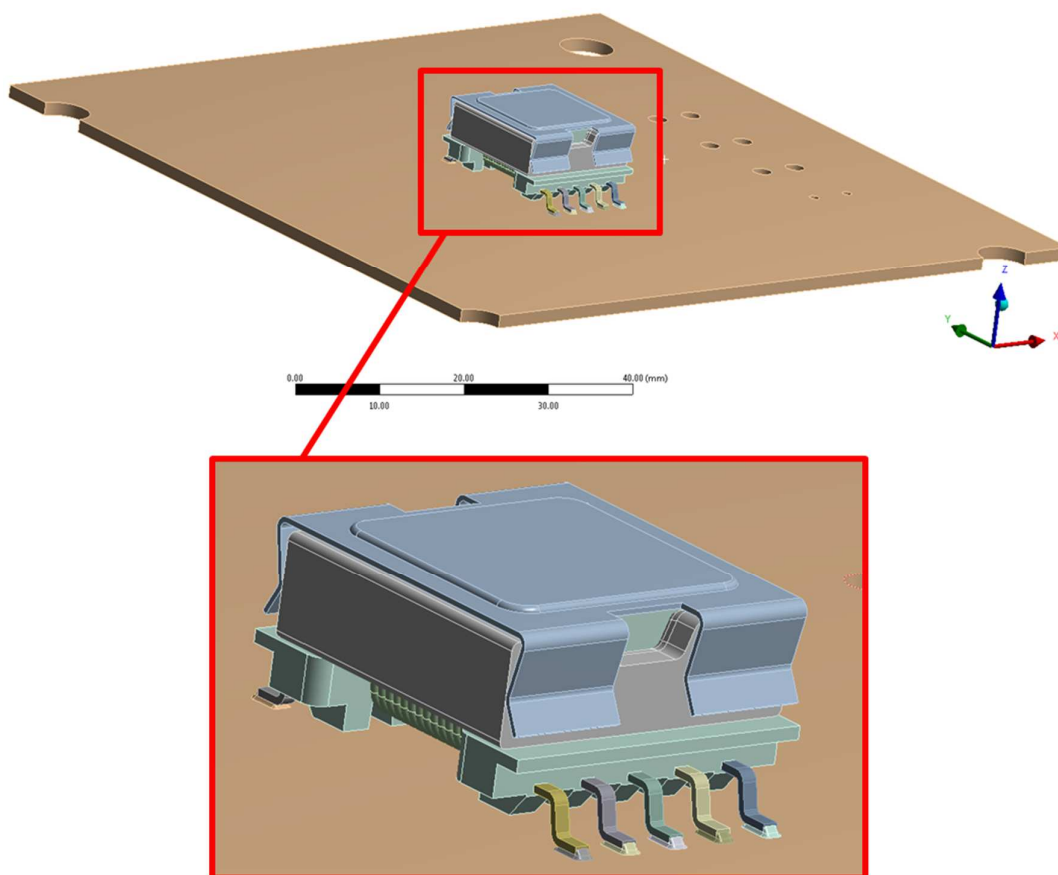


Figura 3.1 – Modelul CAD pentru analiză

Pentru a se putea observa mai bine componentele ansamblului din Figura 3.1, s-a realizat o vedere explodată. Aceasta este prezentată în Figura 3.2.

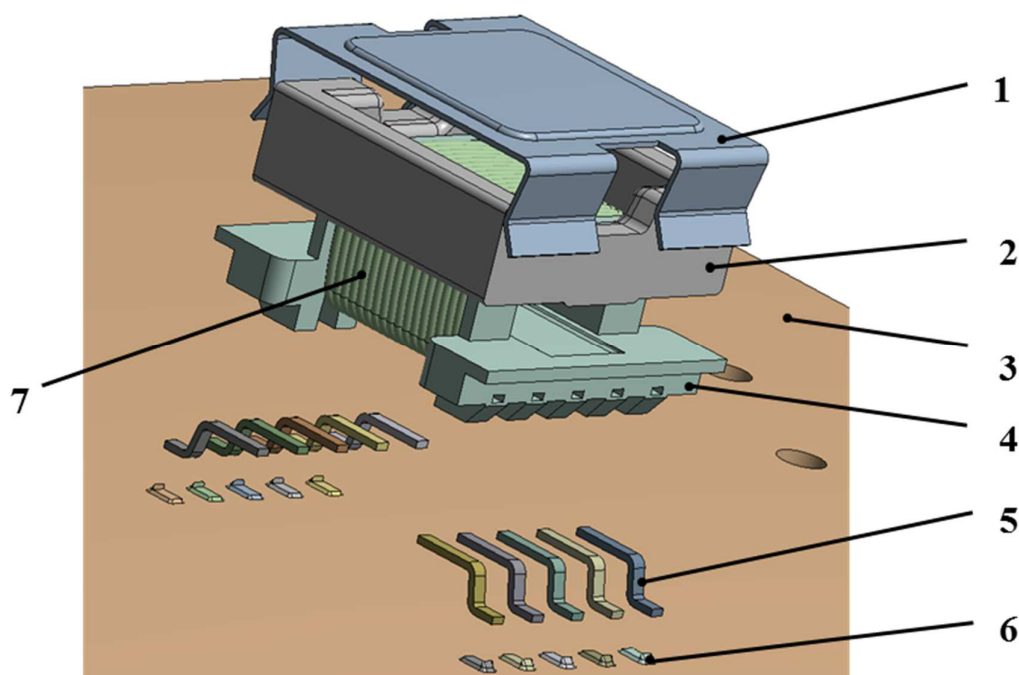


Figura 3.2 - Componentele modelului

Componentele ansamblului din Figura 3.2 sunt:

- 1 – Capac protecție;
- 2 – Miez de fier;
- 3 – Placă de bază (PCB);
- 4 – Schelet plastic;
- 5 – Pin;
- 6 – Cositor (aliaj de lipit);
- 7 – Conductor electric.

Dat fiind faptul că unele componente nu influențează în mod direct comportamentul cositorului, s-a recurs la simplificarea modelului CAD, prin înlăturarea unora dintre elemente. De asemenea, acest lucru a fost util și pentru a reduce considerabil timpul de rulare a analizei cu elemente finite. Ansamblul simplificat este prezentat în Figura 3.3.

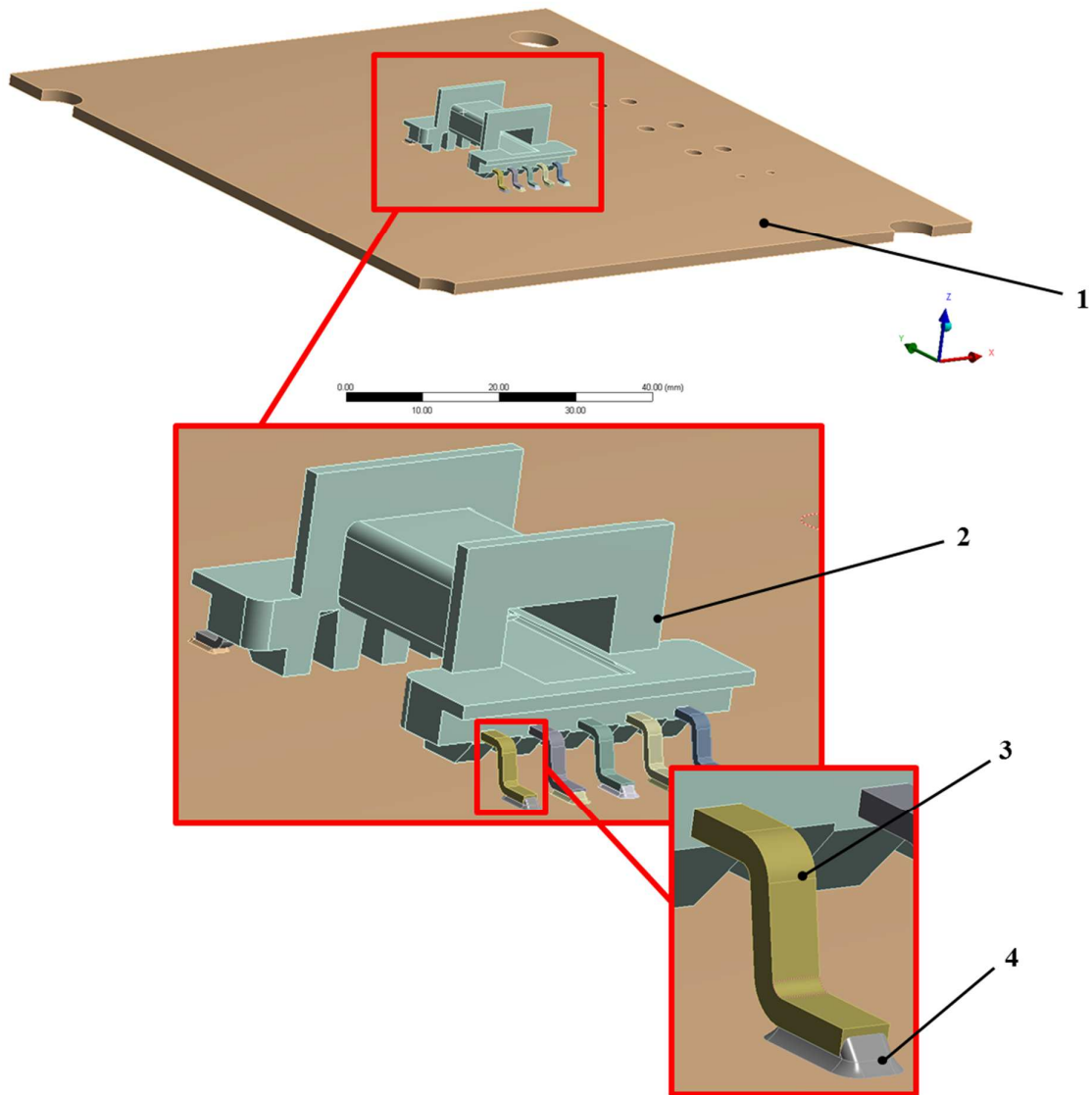


Figura 3.3 – Model CAD simplificat

Componentele rămase, după simplificare, sunt:

- 1 – Placă de bază (PCB);
- 2 – Schelet plastic;
- 3 – Pin;
- 4 – Cositor (aliaj de lipit).

3.2. Model simplificat

În cazul unei analize cu elemente finite, utilizând pentru cositor modelul de material propus de Anand, timpul de rulare este ridicat. Pentru a reduce timpul de rulare, toate analizele FEA s-au efectuat pe un subansamblu al ansamblului simplificat, prezentat în Figura 3.3. Luând în considerare faptul că simetria componentei permite, s-a secționat piesa de-a lungul liniei de simetrie. Mai apoi s-au îndepărtat părțile învecinate ale pinului central, urmând a se efectua studiile pe subansamblul rămas.

Subansamblul utilizat mai departe în investigație este prezentat în Figura 3.4. De asemenea detaliile acestuia sunt prezentate în Anexa 3, iar desenul de execuție al pinului - în Anexa 2.

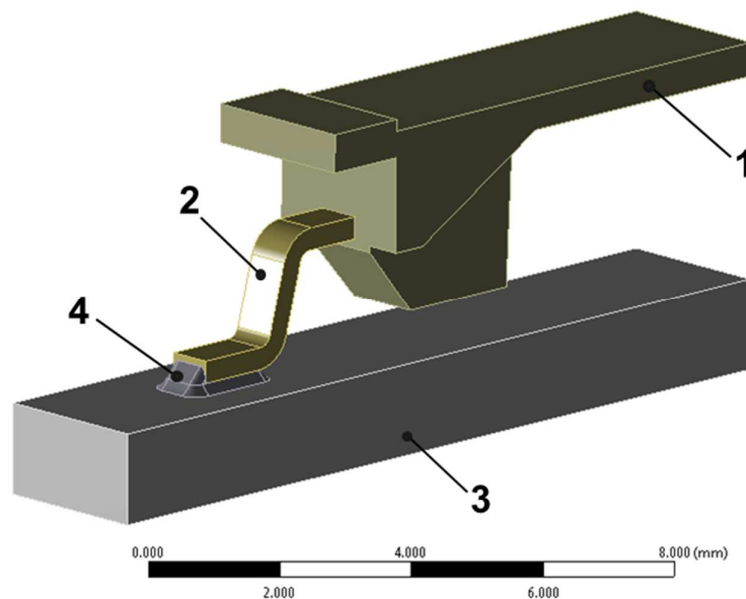


Figura 3.4 – Modelul CAD al subansamblului

Subansamblul analizat este compus dintr-un schelet de plastic (1) în care este introdus un pin (2). Legătura dintre pin și placa de bază (3) se realizează prin intermediul cositorului (4).

3.2.1. Analiza cu elemente finite

Pentru fiecare analiză care a fost rulată s-au folosit aceleași condiții pe contur. De asemenea, contactele, discretizarea și încărcările au fost similare pentru toate analizele.

Singurele schimbări care au fost efectuate, s-au realizat la nivelul materialelor, respectiv la modul de descriere a acestora.

Condiții pe contur – dat fiind faptul că subansamblul este parte a piesei electronice prezentată în Figura 3.1, condițiile pe contur trebuie alese astfel încât să considere părțile lipsă ale ansamblului. Așadar, pentru fețele laterale s-a folosit un suport fără frecare, acesta permițând lunecarea în planul suportului.

Pentru a fi împiedicată mișcarea de corp rigid a subansamblului, unei muchii orizontale i s-a suprimat deplasarea pe axa Z.

Condițiile pe contur impuse sunt reprezentate în Figura 3.5.

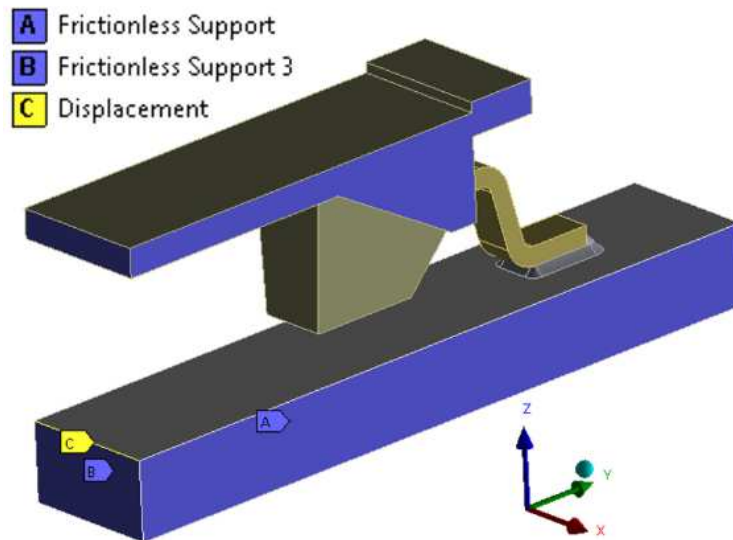


Figura 3.5 – Condiții pe contur

Contacte – pentru a se asigura legătura dintre componente, ca tip de contact s-a folosit "bonded", care semnifică "lipirea" acestora. Respectându-se notațiile elementelor din Figura 3.4, s-au setat contacte între piesele 1-2, 2-4, respectiv 4-3. În Figura 3.6 este reprezentat un model bidimensional al subansamblului studiat, în care se pot observa contactele menționate.

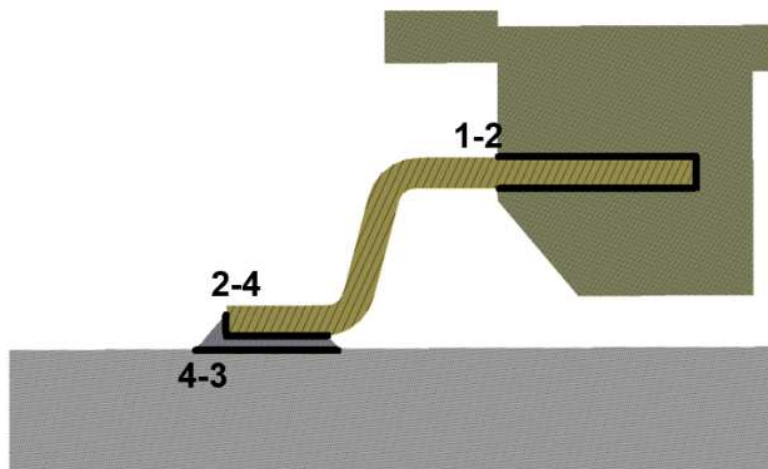


Figura 3.6 - Contacte

Discretizarea modelului – Dat fiind faptul că obiectul prezentului studiu este cositorul, care are dimensiuni foarte mici, s-a folosit o discretizare fină a acestuia. Pentru celelalte componente, s-a folosit o discretizare cu elemente de dimensiuni mai mari pentru a reduce timpul de analiză.

Pentru scheletul de plastic s-a folosit o discretizare cu elemente 3D tetraedrice cu latura de 0.3 mm. Componenta discretizată este prezentată în Figura 3.7.

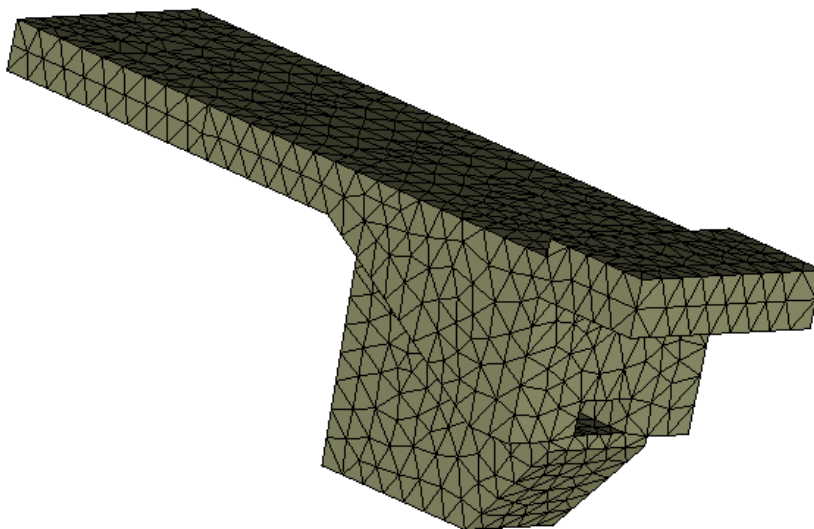


Figura 3.7 – Scheletul de plastic discretizat

Pentru pin s-a folosit o discretizare de tip "Multi Zone", cu o lungime minimă a laturilor elementelor de 0.2618 mm. Componenta discretizată este prezentată în Figura 3.8.

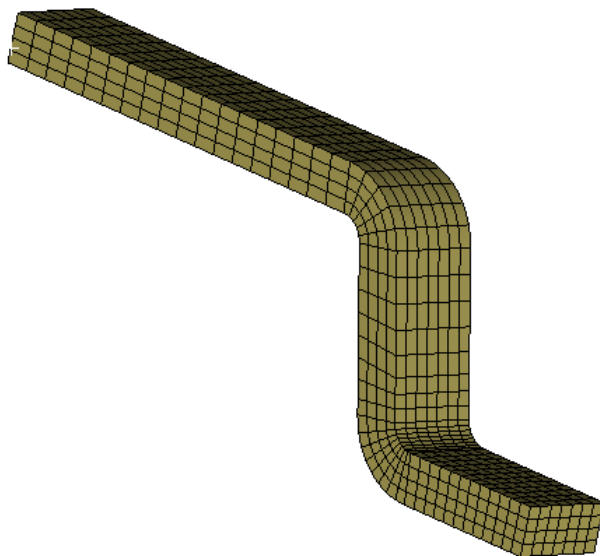
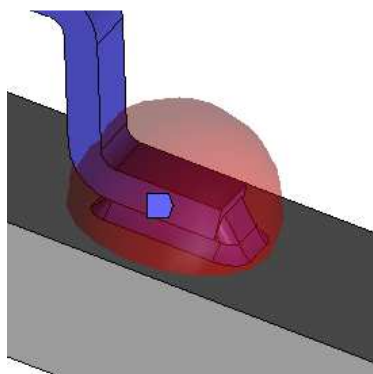
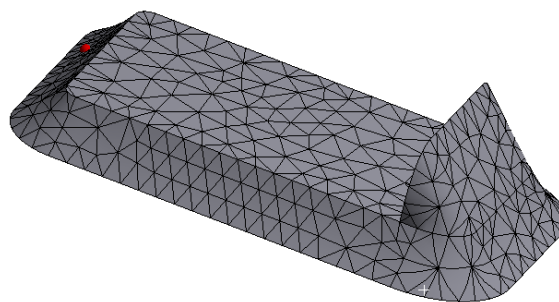


Figura 3.8 – Pinul discretizat

Pentru cositor s-a folosit o discretizare cu elemente tetraedrice, cu dimensiunea elementelor de 0.1 mm. De asemenea s-a folosit și o sferă de influență cu raza de 1.1 mm. Sfera de influență se poate observa în Figura 3.9a, iar cositorul discretizat - în Figura 3.9b.



a. Sfera de influență



b. Cositor discretizat

Figura 3.9 – Discretizarea cositorului

Pentru discretizarea plăcii de bază, s-au folosit elemente cu o dimensiune de 0.25 mm. S-a folosit metoda "sweep" după fața superioară, setându-se un număr de 3 elemente pe grosimea PCB-ului. Discretizarea componentei se poate observa în Figura 3.10.

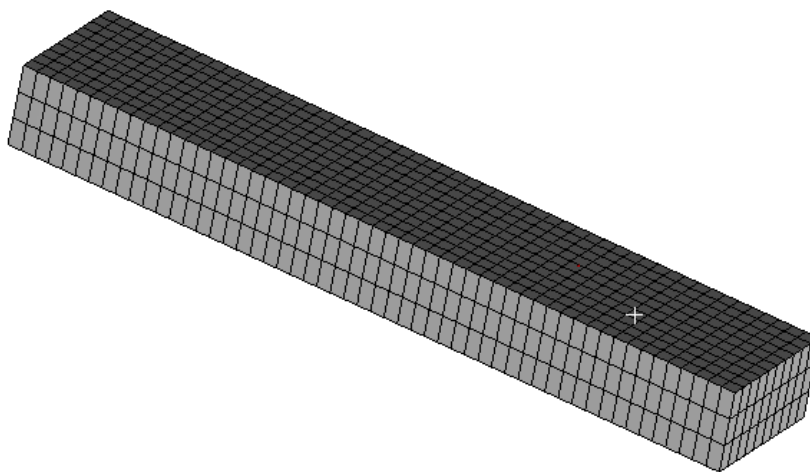


Figura 3.10 – PCB discretizat

În Figura 3.11 este prezentată discretizarea întregului subansamblu. Se poate observa faptul că obiectul prezentului studiu (cositorul) are discretizarea cea mai fină.

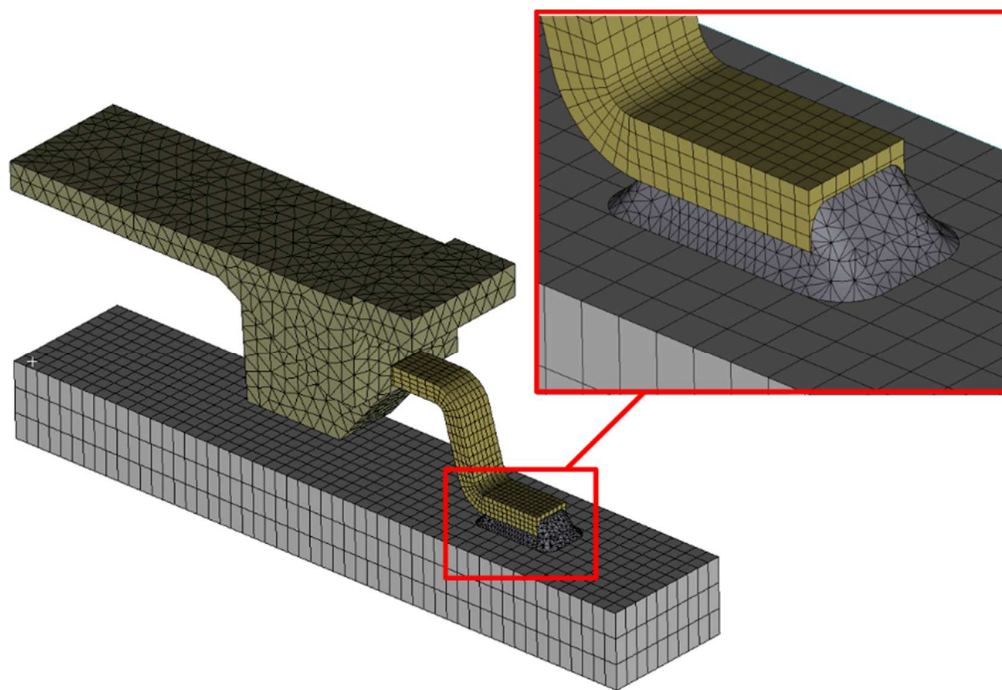


Figura 3.11 – Discretizarea subansamblului

Pentru discretizarea întregului model, s-au folosit 13 535 elemente, respectiv 33 734 noduri.

Încărcarea – Întregului subansamblu i s-a impus o condiție termică, având schema de încărcare prezentată în Figura 3.12. Temperatura variază între -40 și 125°C , timpul de încărcare fiind de 300 s (5 minute), iar menținerea de 1 500 s (25 de minute). Așadar, întregul subansamblu este supus unor cicluri de temperatură cu o variație de 165°C .

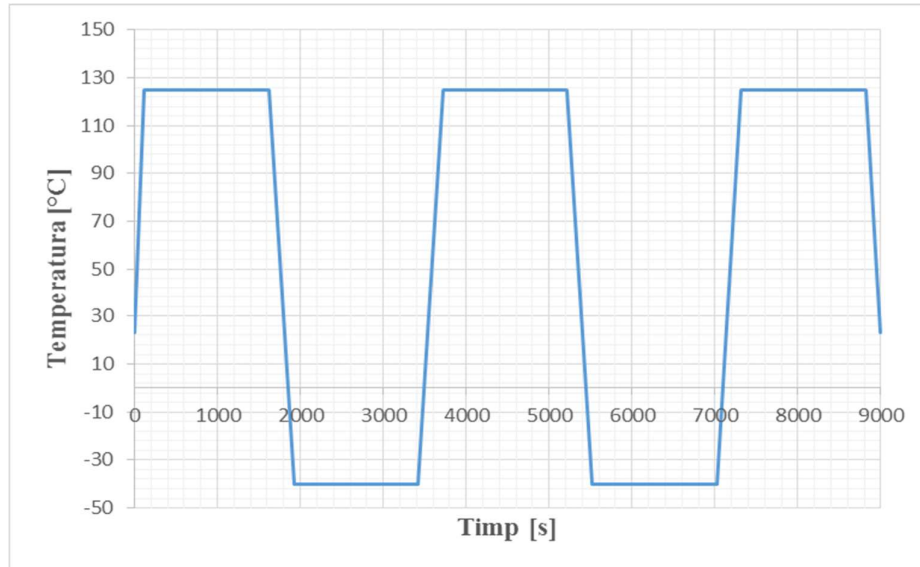


Figura 3.12 – Schema de încărcare termică

Analiza prin metoda elementului finit – Pentru fiecare tip de material al cositorului s-a rulat o analiză static structurală, având impuse condițiile pe contur, contactele, discretizările și încărcarea prezentate mai sus. Pentru fiecare tip de aliaj de lipit s-a rulat câte o analiză pentru descrierea materialului utilizând modelul de material propus de Anand, respectiv câte una folosind modelul elasto-plastic. Excepție face 60Sn40Pb, pentru care s-au propus mai multe modele de material, și anume:

- Modelul de material propus de Chaboche;
- Modelul de material propus de Anand;
- 6 modele Elastic-Plastic, cu două tipuri de ecrisări:
 - Ecrisare izotropică
 - ~ $E_t = 0$ [MPa];
 - ~ $E_t = 3$ [MPa];

$$\sim E_t = 300 \text{ [MPa]}.$$

- Ecrusare cinematică

$$\sim E_t = 0 \text{ [MPa]};$$

$$\sim E_t = 3 \text{ [MPa]};$$

$$\sim E_t = 300 \text{ [MPa]},$$

unde E_t – modulul de elasticitate tangent.

Așadar, a fost rulat un număr de 14 simulări de tip static structural.

Fiecare analiză a fost rulată în 12 pași, care au fost definiți în punctele de schimbare a temperaturii. Pentru toți pașii s-a setat o valoare minimă a subpașilor de 10, iar maximă de 100 000. Pentru pașii în care s-a realizat încărcarea termică, s-a setat o valoare inițială a subpașilor de 100. În schimb, pentru cei în care temperatura s-a menținut constantă, valoarea inițială a subpașilor a fost de 10.

În Tabelul 3.1 au fost definite materialele pentru celelalte componente ale subansamblului, și anume: scheletul de plastic, pinul, respectiv placa de bază.

Tabelul 3.1 – Date de material pentru componente

Componenta	Material	E [MPa]	ν [-]
Schelet de plastic	PM-9630	15 700	0.43
Pin	CuSn6	$10\,200 \cdot 10^4$	0,34
Placă de bază	FR4	20 000	0.25

Trebuie luat în considerare faptul că în programul de analiză cu elemente finite, Ansys [12], conversia dintre sistemele de unități de măsură, în cazul modelului de material Anand, nu se face automat. Așadar trebuie avut în vedere faptul că, atunci când se introduc valorile pentru cei 9 parametri de material, trebuie verificat sistemul de măsură folosit. În cazul în care valorile sunt trecute în alt sistem, conversia automată este imposibilă, urmând a se relua manual introducerea valorilor. De asemenea, sistemul de unități de măsură folosit în descrierea materialului trebuie să coincidă cu cel folosit în fereastra de rulare a analizei. În cazul în care acest lucru nu este îndeplinit, se va afișa o eroare, iar analiza nu va rula.

Pentru a se obține acumularea de deformății plastice în analiza static structurală, din cadrul programului Ansys, trebuie folosită comanda "User Defined Results". În cadrul acesteia, utilizatorul definește exact ce rezultat dorește. Pentru aceasta, trebuie urmați pașii prezentați în Figura 3.13. În detaliile acetsui rezultat definit de utilizator, la nivelul definirii expresiei se va introduce comanda "NLEPEQ", specifică pentru obținerea acumulării deformățiilor plastice.

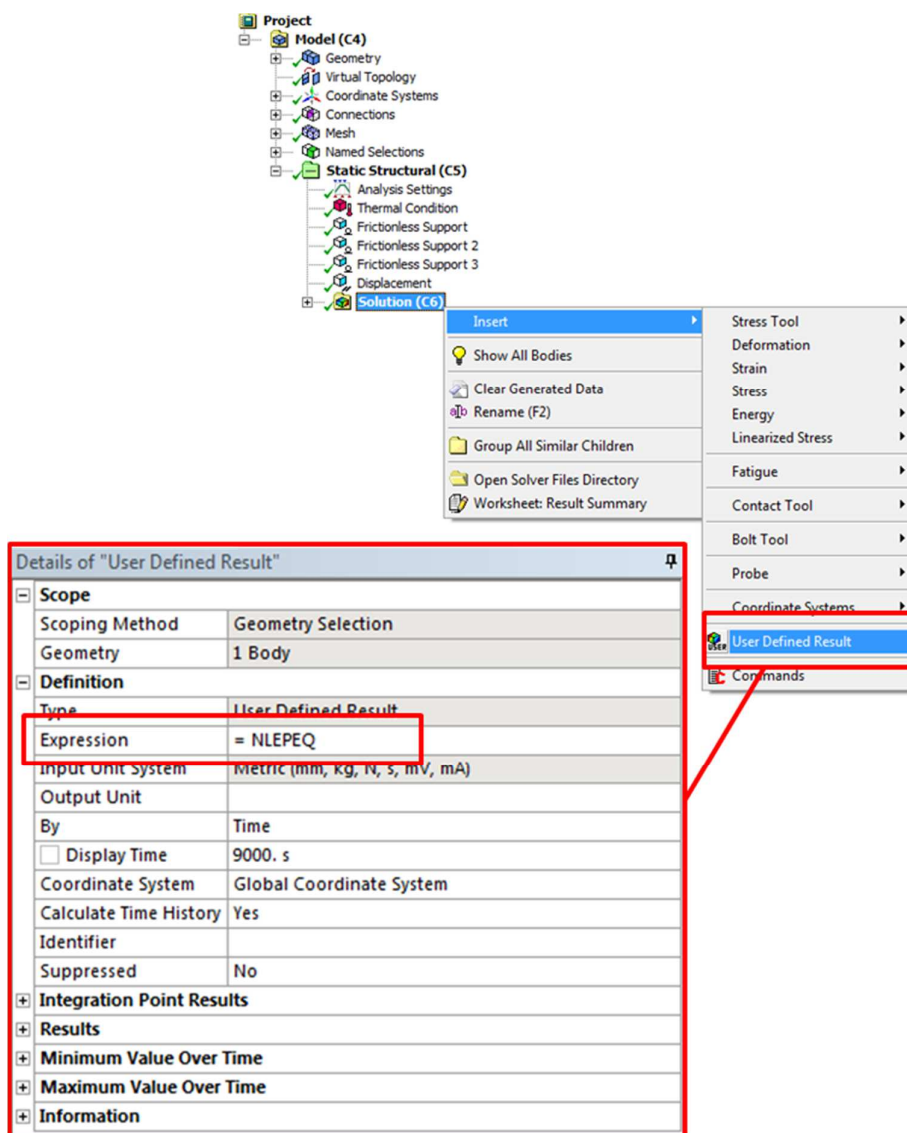


Figura 3.13 – Pașii pentru obținerea acumulării de deformății plastice

3.2.2. Rezultate pentru 60Sn40Pb

Trebuie menționat faptul că timpul de rulare al unei analize cu elemente finite, în programul Ansys, pentru modelul de material Anand este de aproximativ 8 ori mai mare decât în cazul celorlalte modele.

Acest lucru se poate observa în Figura 3.14, unde este reprezentat timpul de rulare al unei analize utilizând modelul de material propus de Anand, modelul Elastic-Plastic, respectiv Chaboche. Datele prezentate în graficul Figura 3.14 sunt utilizate ca model și depind de resursele unității de calcul. Utilizând un calculator mai bun, evident, timpul de rulare al fiecărei analize va scădea, dar diferența va avea aceeași amploare: timpul pentru modelul Anand va fi de aproximativ 8 ori mai mare decât pentru celelalte modele.

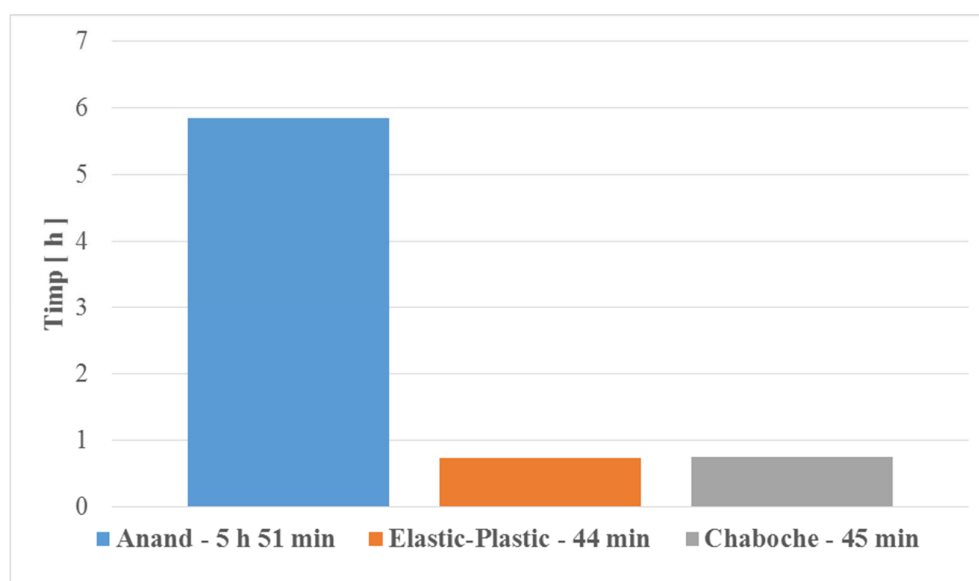


Figura 3.14 – Timpul de rulare al analizelor

Figura 3.15 prezintă grafic valorile pentru modelul Anand, Chaboche, respectiv Elastic-Plastic cu ecrisare cinematică și izotropică ($E_t = 0$ [MPa] și $E_t = 300$ [MPa]). Pentru $E_t = 0$ [MPa], modelul de material care folosește ecrisarea cinematică și cea izotropică prezintă același comportament. S-a omis reprezentarea grafică a modelului Elastic-Plastic cu ecrisare cinematică și izotropică, pentru $E_t = 3$ [MPa], întrucât nu s-au observat diferențe considerabile comparativ cu modelul pentru care $E_t = 0$ [MPa].

În urma analizelor efectuate pe modelul Anand, s-a obținut o acumulare de deformății plastice de 0.2 [mm/mm], pentru un interval de timp analizat de 9 000 s. De asemenea, s-a

propus o relație de legătură între modelul Chaboche și Anand, respectiv modelul Elastic-Plastic cu $E_t=0$ [MPa] și Anand, pentru intervalul de timp studiat.

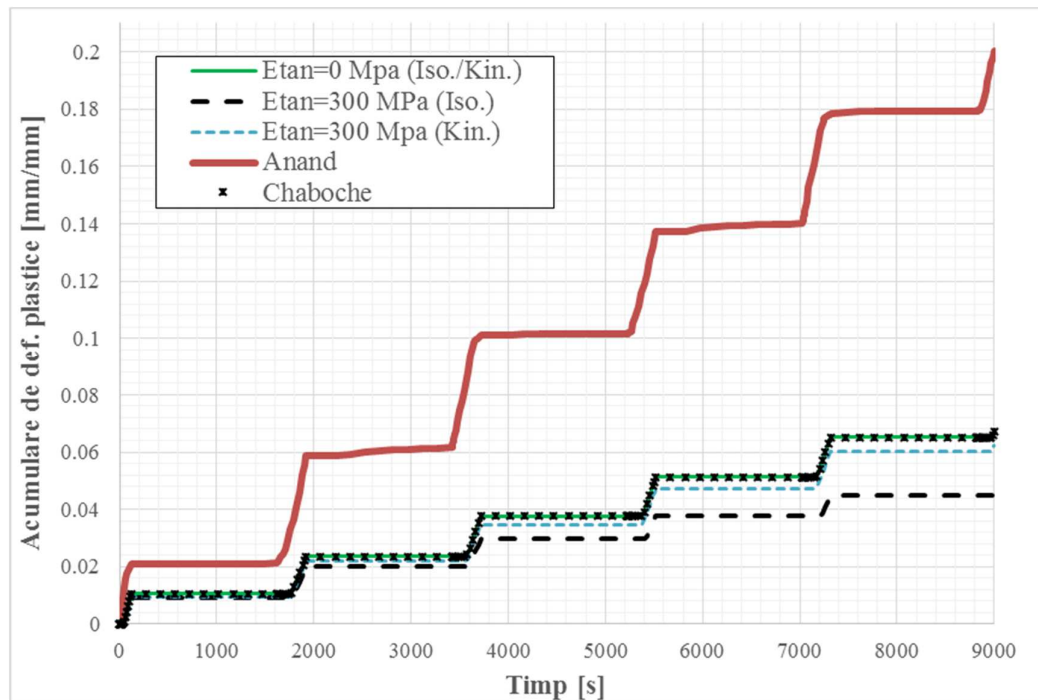


Figura 3.15 – Acumularea de deformății plastice pentru 60Sn40Pb

În urma investigațiilor efectuate și a interpretării rezultatelor, s-a observat că prin înmulțirea valorilor modelelor cu o constantă egală cu 2.7, atât modelul Elastic-Plastic, pentru care $E_t = 0$ [MPa] (Figura 3.16a), cât și modelul Chaboche (Figura 3.16b), se apropie considerabil de modelul de referință Anand pe diferite domenii ale graficului. Pe de altă parte, acest lucru nu se întâmplă, însă, și în cazul modelelor Elastic-Plastic pentru care $E_t = 300$ [MPa] (Figura 3.16c, d), acestea din urmă prezentând diferențe semnificative pe intervalul de timp analizat, de până la 40%, în termenii deformăției plastice acumulate. De asemenea se poate observa o strânsă legătură între factorul de corelare folosit (2.7) și valoarea constantei de ecruisare, h_0 .

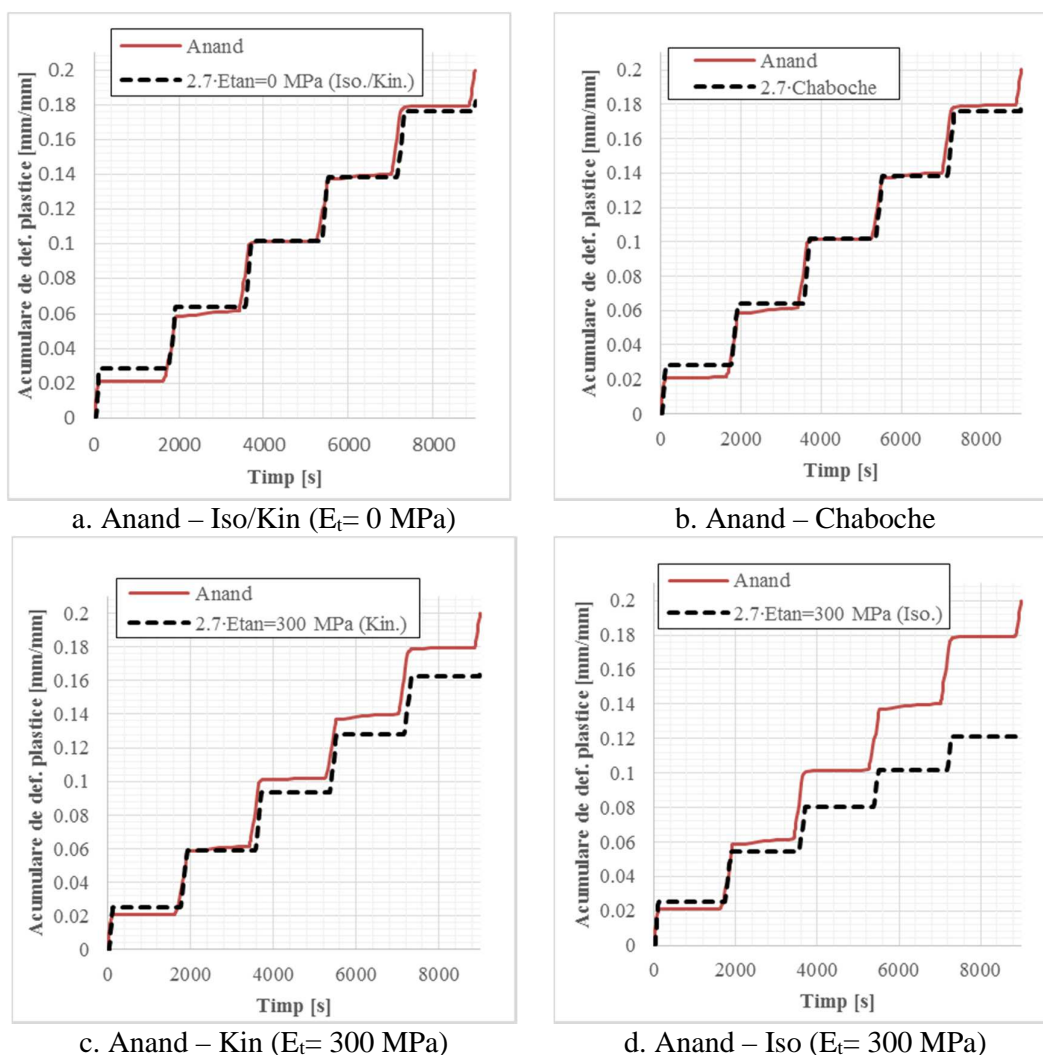


Figura 3.16 – Corelări între Anand și celelalte modele

În Figura 3.17 este reprezentată distribuția acumulării de deformății plastice în cositor, pentru cazul în care materialul 60Sn40Pb a fost descris cu ajutorul modelului Anand (Figura 3.17a), Chaboche (Figura 3.17b) și Elastic-Plastic, cu $E_t = 0$ [MPa] (Figura 3.17c).

Se poate observa faptul că distribuția în cazul modelului Chaboche, respectiv Elastic-Plastic, diferă considerabil de cea a modelului Anand. Acesta este un motiv de a continua cercetările și în direcția aceasta.

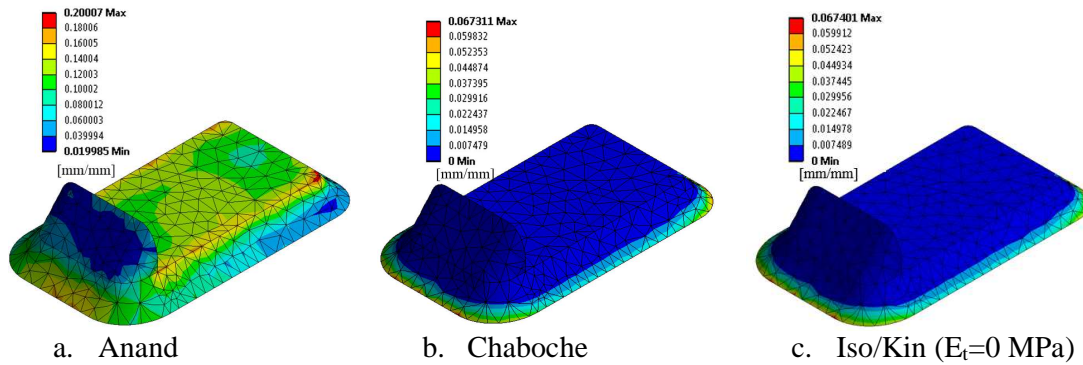


Figura 3.17 – Distribuția acumulării de deformări plastice în cositor

3.2.3. Rezultate pentru alte materiale

În continuare, se prezintă rezultatele pentru investigațiile efectuate pe celelalte 3 tipuri de cositor, cum a fost menționat anterior, și nume: 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag, respectiv 92.5Pb5Sn2.5Ag.

Pentru toate analizele ce au fost rulate s-a menținut geometria prezentată în Figura 3.4. De asemenea, s-au utilizat aceleași condiții pe contur, discretizări, contacte, respectiv aceeași schemă de încărcare termică.

S-a urmărit posibilitatea corelării modelului Elastic-Plastic, pentru care $E_t=0$ [MPa], cu modelul de material propus de Anand. De asemenea, s-a verificat și existența unei legături între constanta de ecruisare h_0 , a modelului Anand, și factorul de corelare folosit. Acest lucru s-a realizat pentru fiecare tip de material în parte.

- **62Sn36Pb2Ag**

În Figura 3.18 sunt prezentate acumulările de deformări plastice pentru cazul în care s-a folosit modelul de material Anand, respectiv cel elasto-plastic. În Figura 3.19 se poate observa corelarea făcută între modele. Este evident faptul că pe intervalul de timp studiat, corelarea este bună. Factorul de multiplicare folosit în cazul acestui aliaj de lipit este constanta "2.9".

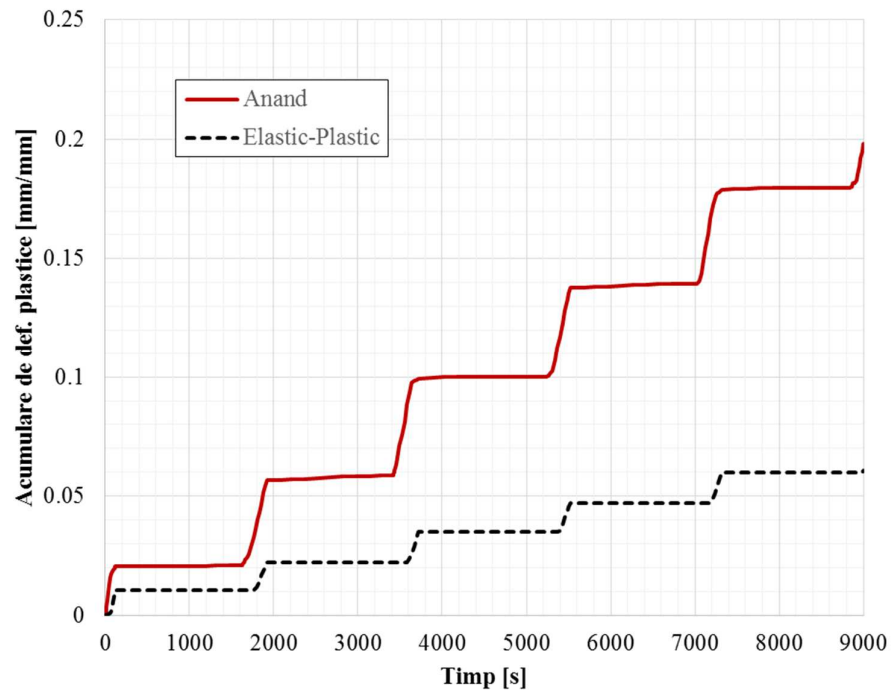


Figura 3.18 – Acumularea de deformății plastice pentru 62Sn36Pb2Ag

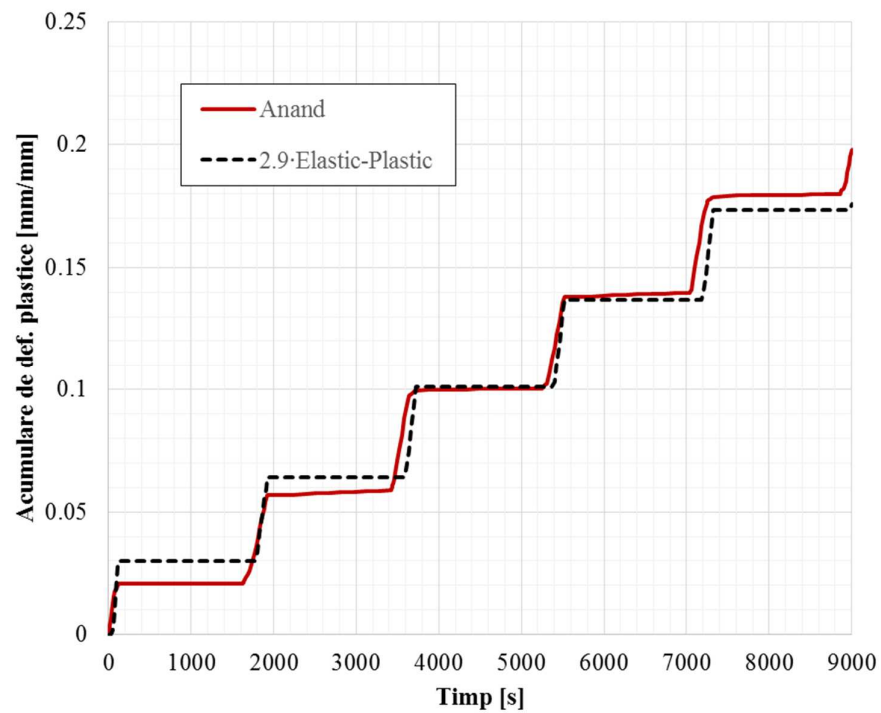


Figura 3.19 – Corelări între modele pentru 62Sn36Pb2Ag

Pentru materialul studiat inițial, și anume 60Sn40Pb, s-a observat faptul că factorul de corelare este aproximativ egal cu $\frac{h_0}{1\,000}$. Acest lucru nu se poate spune, însă și despre materialul 62Sn36Pb2Ag, pentru care factorul de corelare este egal cu 2.9, iar $h_0 = 4\,121.31$ [MPa].

În Figura 3.20 se poate observa distribuția de acumulare de deformăție plastică pentru cazul în care s-a folosit modelul Anand (Figura 3.20a), respectiv cel elasto-plastic (Figura 3.20b).

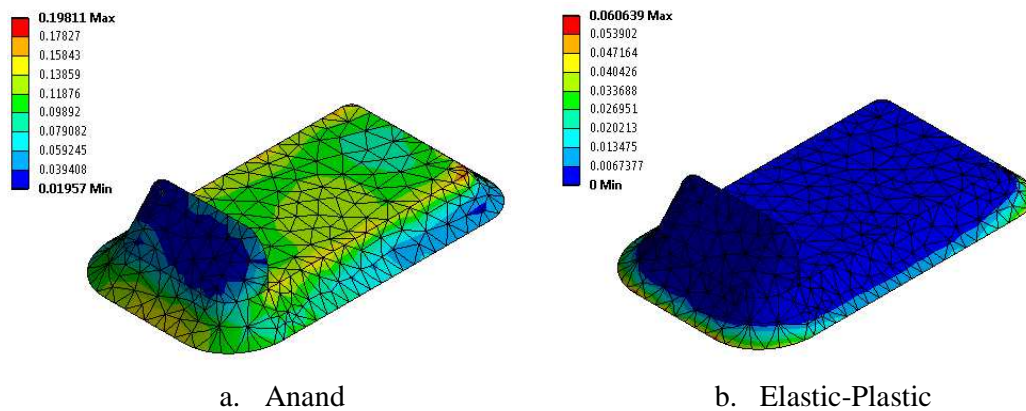


Figura 3.20 – Distribuția acumulării de deformății plastice în cositor

- **96.5Sn3.5Ag**

La fel ca în cazul materialului precedent, și pentru 96.5Sn3.5Ag s-a reprezentat grafic acumularea de deformăție plastică, pentru ambele tipuri de modele de material. Acest lucru se poate observa în Figura 3.21. De asemenea, în Figura 3.22, este reprezentată corelarea dintre modelul Anand și cel Elastic-Plastic. Constanta folosită pentru a face legătura dintre cele două are valoarea "3.3".

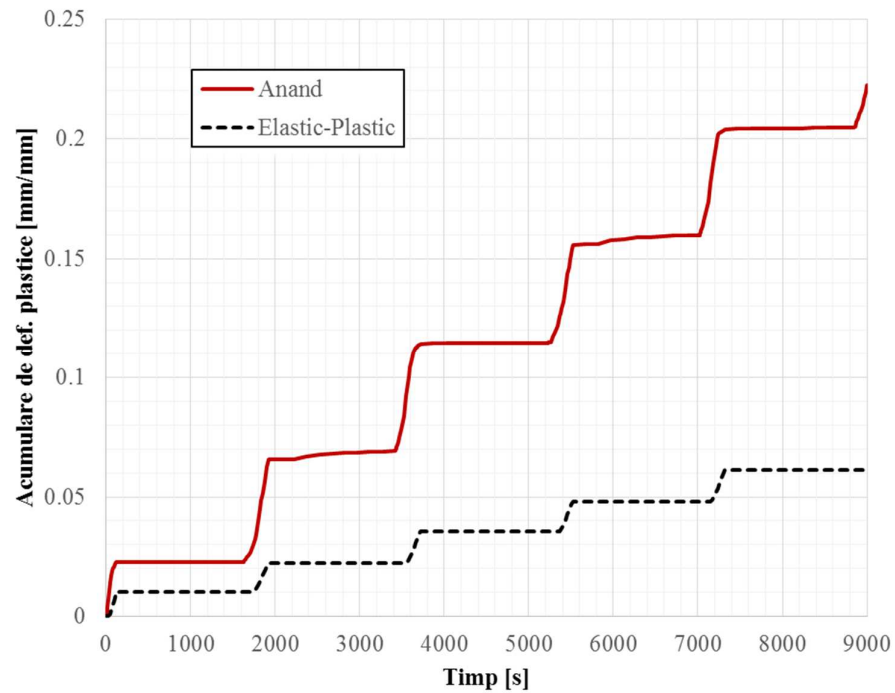


Figura 3.21 – Acumularea de deformății plastice pentru 96.5Sn3.5Ag

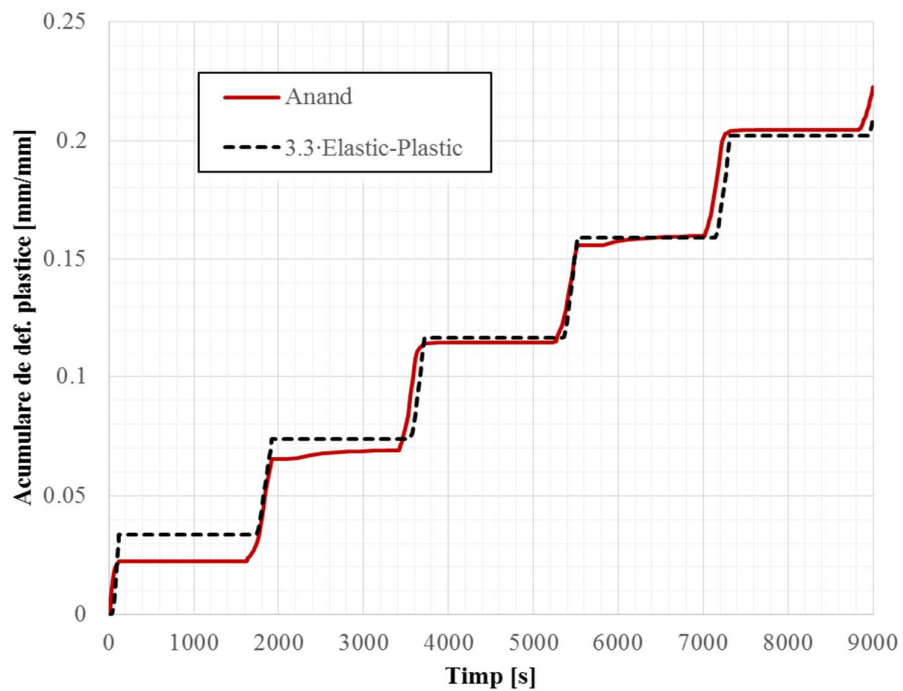


Figura 3.22 – Corelări între modele pentru 96.5Sn3.5Ag

În cazul acestui tip de cositor, se poate afirma faptul că factorul de corelare utilizat, este în strânsă legătură cu h_0 (constanta de ecruisare – parametru al modelului Anand). Acest factor este aproximativ egal cu $\frac{h_0}{1\,000}$. Constanta de ecruisare, h_0 , pentru acest material are valoarea 3 321.15 [MPa].

În Figura 3.23 este reprezentată distribuția de acumulare de deformăție plastică în cositor, pentru cazul în care materialul a fost descris cu modelul propus de Anand (Figura 3.23a), respectiv cu cel în care s-a folosit modelul elasto-plastic (Figura 3.23b).

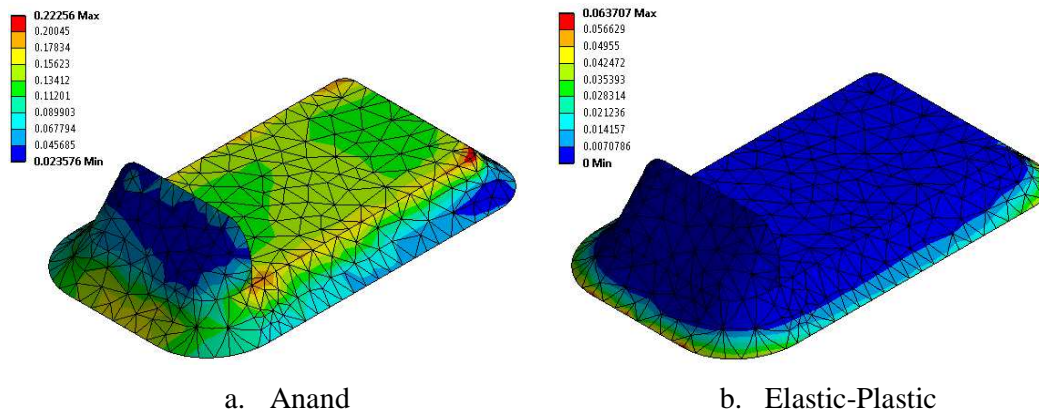


Figura 3.23 – Distribuția acumulării de deformății plastice în cositor

• 92.5Pb5Sn2.5Ag

Ultimul material studiat a fost aliajul de lipit 92.5Pb5Sn2.5Ag. Ca și în cazurile precedente s-a urmărit acumularea de deformății plastice în cositor, pentru cele două tipuri de descriere a materialului.

În Figura 3.24 este prezentată acumularea de deformăție plastică pentru ambele cazuri de descriere (Anand și elasto-plastic).

Apoi, în Figura 3.25 se prezintă corelarea dintre cele două modele. Factorul de corelare utilizat, a fost constanta "2.3". În cazul acestui tip de cositor nu se poate afirma faptul că între factorul de corelare și constanta de ecruisare există o legătură, dat fiind faptul că aceasta din urmă are valoarea de 1 432 [MPa].

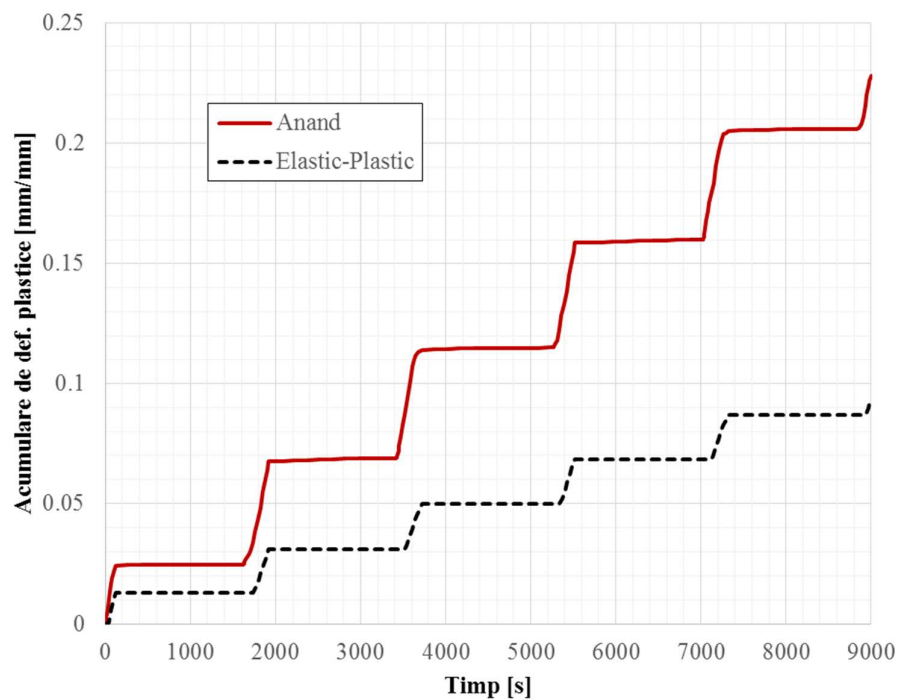


Figura 3.24 – Acumularea de deformății plastice pentru 92.5Pb5Sn2.5Ag

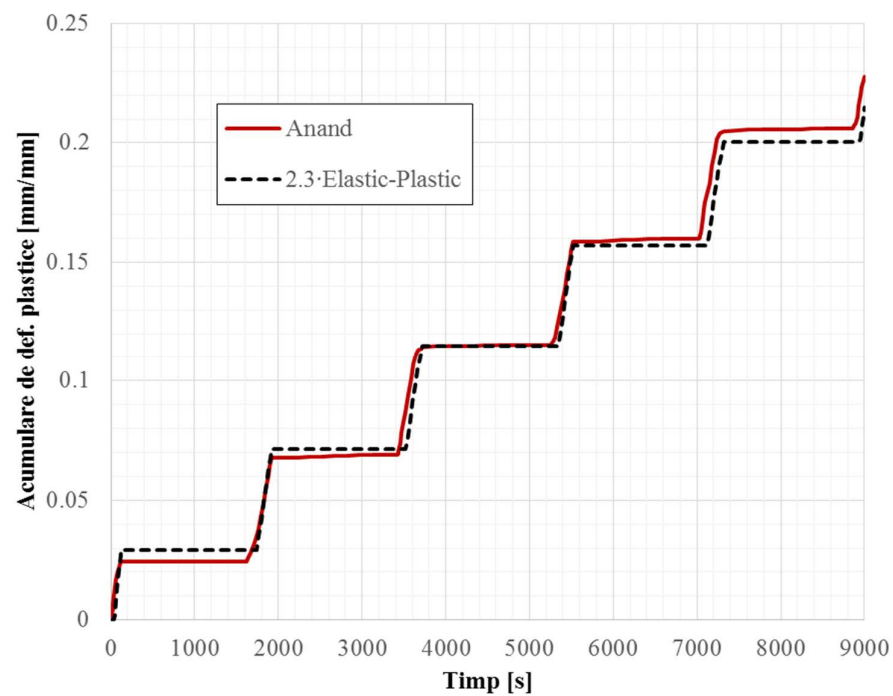


Figura 3.25 – Corelări între modele pentru 92.5Pb5Sn2.5Ag

Figura 3.26 prezintă distribuția acumulării de deformăție plastică în cositor, pentru materialul 92.5Pb5Sn2.5Ag. În Figura 3.26a este reprezentată distribuția în cazul utilizării modelului de material propus de Anand, iar în Figura 3.26b – în cazul utilizării modelului elasto-plastic.

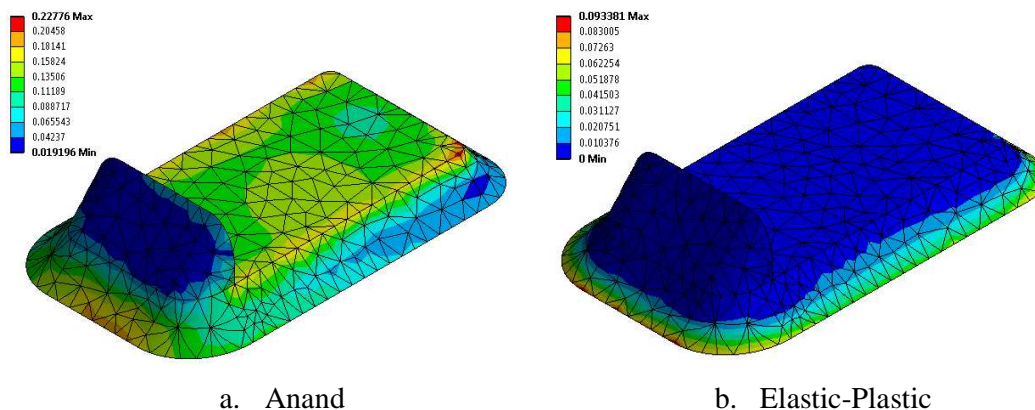


Figura 3.26 – Distribuția acumulării de deformății plastice în cositor

4. Concluzii

Lucrarea de față prezintă rezultatele unei investigații efectuate pentru caracterizarea comportamentului la cicluri termice a 4 aliaje de lipit, și anume 60Sn40Pb, 62Sn36Pb2Ag, 96.5Sn3.5Ag, respectiv 92.5Pb5Sn2.5Ag. Pe parcursul studiului s-a urmărit acumularea de deformății plastice la cicluri de temperatură a aliajelor de lipit, prin utilizarea a 3 modele de material. Studiul s-a efectuat pentru o variație termică de 165°C, în intervalul -40...+125°C (Figura 3.12). Pentru primul tip de cositor (60Sn40Pb) s-au folosit modelele Elastic-Plastic, Chaboche, respectiv modelul de material propus de Anand. Celelalte 3 materiale s-au descris doar prin intermediul modelelor Elastic-Plastic și Anand.

Timpul de rulare a unei analize numerice, pentru fiecare dintre cele 3 modele de materiale folosite, este diferit. În cazul modelului Anand timpul de rulare ajunge să fie de aproximativ 8 ori mai mare decât în cazul celorlalte două modele (Figura 3.14). Din cauza acestei probleme, s-a studiat posibilitatea unei corelări între modelul Anand și Chaboche, respectiv Anand și Elastic-Plastic.

Pentru primul material investigat s-a propus o relație de legătură între modelele studiate. Valoarea factorului de corelare, în cazul acestui material, a fost constanta 2.7. S-a observat că folosind acest tip de corelare, modelul de material propus de Anand poate fi aproximat prin cel Elastic-Plastic, pentru care $E_t=0$. Între factorul de corelare și valoarea constantei de ecruisare, h_0 , s-a observat o legătură strânsă, potrivit relației $\frac{h_0}{1\ 000}$.

S-a considerat că pentru a putea identifica dacă între aceste valori există o corelare directă sunt necesare investigații pe alte materiale. Așadar, s-au studiat celelalte 3 materiale menționate. În Tabelul 4.1 se pot observa atât valorile constantei de ecruisare, cât și cele ale factorilor de corelare utilizați.

Tabelul 4.1 – Constanta de ecruisare și factorul de corelare

Cositor	Constanta de ecruisare h_0 [MPa]	Factor de corelare
60Sn40Pb	2 640.8	2.7
62Sn36Pb2Ag	4 121.31	2.9
96.5Sn3.5Ag	3 321.15	3.3
92.5Pb5Sn2.5Ag	1 432	2.3

Se observă că pentru materialele 60Sn40Pb și 96.5Sn3.5Ag legătura dintre constanta de ecruisare și factorul de corelare se poate realiza cu relația $\frac{h_0}{1\,000}$. Acest lucru nu este, însă, valabil și pentru 62Sn36Pb2Ag și 92.5Pb5Sn2.5Ag.

Așadar, se poate afirma că pentru 50% dintre cazurile studiate, factorul de corelare este în strânsă legătură cu parametrul modelului propus de Anand, și anume constanta de ecruisare, h_0 .

În urma tuturor investigațiilor efectuate, se poate concluziona asupra faptului că pentru domeniul de încărcare termică studiat, modelele de material pot fi corelate, iar pentru 50% dintre cazuri, factorul de corelare are o legătură directă cu un parametru al modelului Anand.

5. Contribuții personale și direcții viitoare de cercetare

În cadrul lucrării de față contribuțiile personale se rezumă la:

- Elaborarea unei sinteze bibliografice amănunțite asupra modelului de material propus de Anand, precum și a aplicațiilor în care a fost utilizat pentru a i se confirma robustețea;
- Realizarea modelului CAD simplificat pentru reducerea timpului de rulare a analizelor;
- Analiza cu elemente finite a comportamentului unui aliaj de lipit la cicluri de temperatură în vederea obținerii acumulării de deformări plastice;
- Propunerea utilizării a 3 modele de material pentru a descrie aliajul de lipit, și anume: modelul de material propus de Anand, modelul Chaboche, respectiv modelul Elastic-Plastic;
- Realizarea unei comparații privind timpul de rulare al analizelor, pentru cele 3 modele de material folosite pentru descrierea aliajelor de lipit;
- Propunerea efectuării corelării dintre cele 3 modele, în vederea folosirii modelului Elastic-Plastic pentru a se reduce timpul de analiză;
- Efectuarea propriu-zisă a corelării între cele 3 modele de material, prin intermediul unui factor de corelare;
- Observarea legăturii între factorul de corelare folosit și constanta de ecruisare, h_0 , care este un parametru de material al modelului propus de Anand;
- Propunerea investigării a altor 3 aliaje de lipit;
- Investigația celorlalte 3 aliaje de lipit propuse, în vederea observării relației de legătură dintre factorul de corelare și constanta de ecruisare;
- Efectuarea propriu-zisă a corelării dintre modelul Elastic-Plastic și modelul propus de Anand, pentru celelalte 3 tipuri de aliaje de lipit;
- Realizarea, în total, a 14 simulări cu elemente finite pentru toate cele 4 tipuri de cositor, cu cele 3 modele de descriere a materialului;
- Preluarea și interpretarea rezultatelor finale, precum și scrierea concluziilor privitoare la întreaga investigație prezentată în lucrarea de față.

Tema investigată este de o extremă complexitate. În lucrarea de față s-au realizat primii pași în direcția investigației acumulării de deformări plastice pentru aliaje de lipit, respectiv în direcția realizării unei corelări a modelelor de descriere a materialelor. Desigur, tema necesită investigații ulterioare, iar printre acestea se includ:

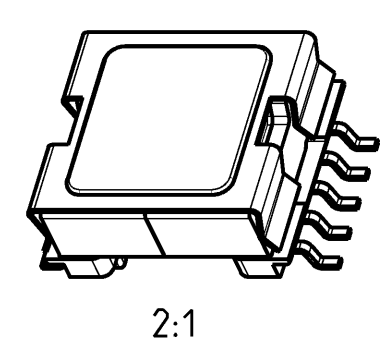
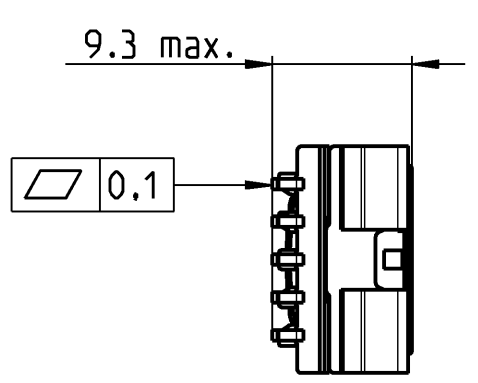
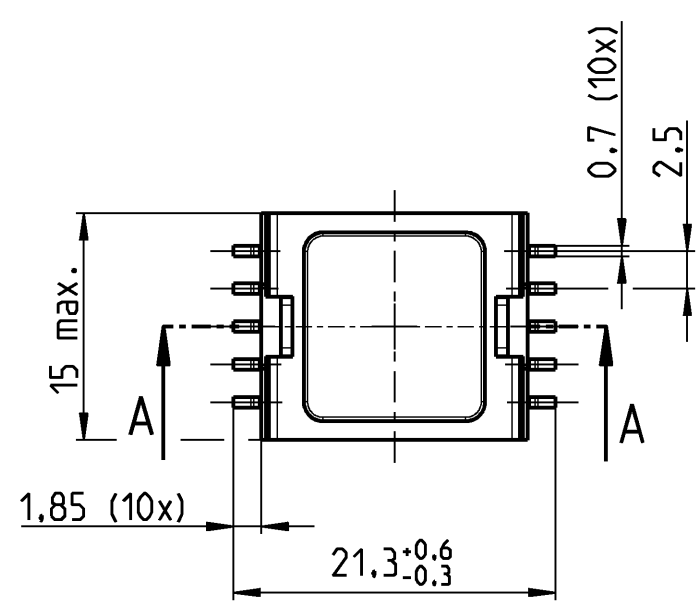
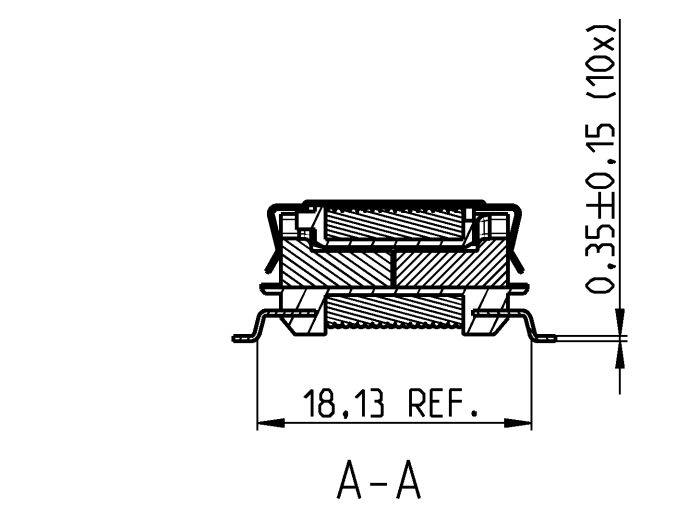
- Efectuarea unor teste de laborator pentru corelarea rezultatelor numerice;
- Extinderea bazei de date cu rezultate pentru întreg modelul CAD;
- Investigații numerice care să conțină geometrii diferite;
- Utilizarea mai multor scheme de încărcare termică, precum și simularea mai multor cicluri de încărcare;
- Efectuarea unei aproximări a acumulării de deformări plastice cu o curbă, în vederea estimării apariției fisurii în aliajul de lipit, precum și a duratei de viață a acestuia.

Mulțumiri

Autorul este recunoscător pentru sprijinul acordat și adresează mulțumiri deosebite coordonatorului științific Ș.L.dr.ing. Emanoil Linul, din cadrul Facultății de Mecanică a Universității Politehnica Timișoara, echipei P S&A, din cadrul Continental Automotive Romania, Timișoara, reprezentată prin domnul ing. Mihai Lukacs, echipei FEA, reprezentată prin domnul dr.ing. Răzvan Curtean, precum și domnului dr. ing. Nicolae Andrei Crișan.

Anexe

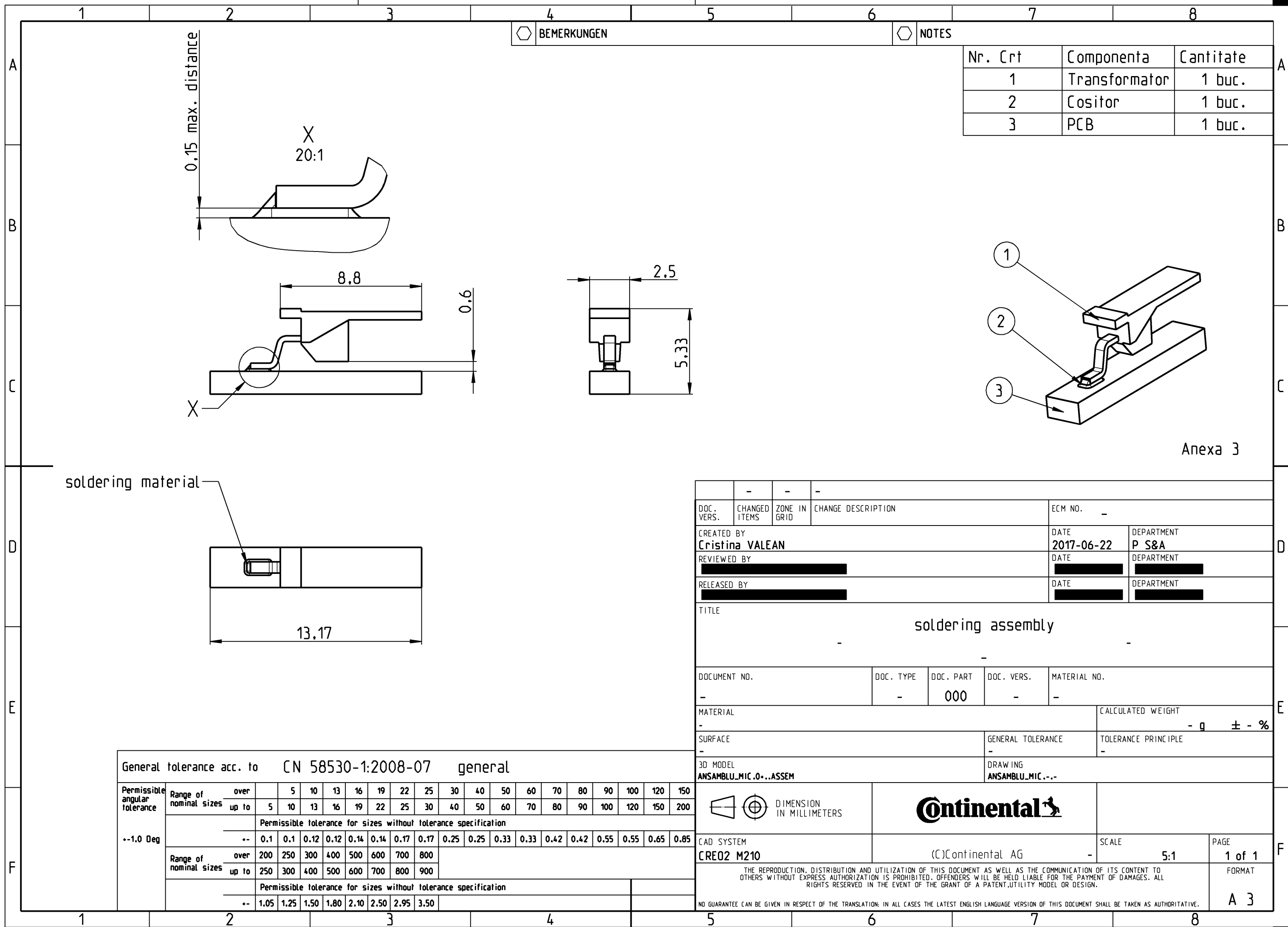
1		2		3		4		5		6		7		8																																																																																																																																																																	
Nr. Crt		Componenta		Cantitate		BEMERKUNGEN						NOTES																																																																																																																																																																			
1		Capac		1 buc.																																																																																																																																																																											
2		Miez de fier		2 buc.																																																																																																																																																																											
3		Conductor electric		1 buc.																																																																																																																																																																											
4		Pini		10 buc.																																																																																																																																																																											
5		Schelet plastic		1 buc.																																																																																																																																																																											
						Anexa 1																																																																																																																																																																									
<table><tr><td colspan="2">General tolerance acc. to</td><td colspan="2">CN 58530-1:2008-07</td><td colspan="2">general</td></tr><tr><td rowspan="4">Permissible angular tolerance</td><td>Range of nominal sizes</td><td>over</td><td>5</td><td>10</td><td>13</td><td>16</td><td>19</td><td>22</td><td>25</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>80</td><td>90</td><td>100</td><td>120</td><td>150</td></tr><tr><td></td><td>up to</td><td>5</td><td>10</td><td>13</td><td>16</td><td>19</td><td>22</td><td>25</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td><td>70</td><td>80</td><td>90</td><td>100</td><td>120</td><td>150</td><td>200</td></tr><tr><td colspan="19">Permissible tolerance for sizes without tolerance specification</td></tr><tr><td>--</td><td>0.1</td><td>0.1</td><td>0.12</td><td>0.12</td><td>0.14</td><td>0.14</td><td>0.17</td><td>0.17</td><td>0.25</td><td>0.25</td><td>0.33</td><td>0.33</td><td>0.42</td><td>0.42</td><td>0.55</td><td>0.55</td><td>0.65</td><td>0.85</td></tr><tr><td rowspan="4">--1.0 Deg</td><td>Range of nominal sizes</td><td>over</td><td>200</td><td>250</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>600</td><td>700</td><td>800</td><td colspan="9"></td></tr><tr><td></td><td>up to</td><td>250</td><td>300</td><td>400</td><td>500</td><td>600</td><td>700</td><td>800</td><td>900</td><td colspan="9"></td></tr><tr><td colspan="19">Permissible tolerance for sizes without tolerance specification</td></tr><tr><td>--</td><td>1.05</td><td>1.25</td><td>1.50</td><td>1.80</td><td>2.10</td><td>2.50</td><td>2.95</td><td>3.50</td><td colspan="10"></td></tr></table>						General tolerance acc. to		CN 58530-1:2008-07		general		Permissible angular tolerance	Range of nominal sizes	over	5	10	13	16	19	22	25	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150		up to	5	10	13	16	19	22	25	30	40	50	60	70	80	90	100	120	150	200	Permissible tolerance for sizes without tolerance specification																			--	0.1	0.1	0.12	0.12	0.14	0.14	0.17	0.17	0.25	0.25	0.33	0.33	0.42	0.42	0.55	0.55	0.65	0.85	--1.0 Deg	Range of nominal sizes	over	200	250	300	400	500	600	700	800											up to	250	300	400	500	600	700	800	900										Permissible tolerance for sizes without tolerance specification																			--	1.05	1.25	1.50	1.80	2.10	2.50	2.95	3.50																			
General tolerance acc. to		CN 58530-1:2008-07		general																																																																																																																																																																											
Permissible angular tolerance	Range of nominal sizes	over	5	10	13	16	19	22	25	30	40		50	60	70	80	90	100	120	150																																																																																																																																																											
		up to	5	10	13	16	19	22	25	30	40		50	60	70	80	90	100	120	150	200																																																																																																																																																										
	Permissible tolerance for sizes without tolerance specification																																																																																																																																																																														
	--	0.1	0.1	0.12	0.12	0.14	0.14	0.17	0.17	0.25	0.25	0.33	0.33	0.42	0.42	0.55	0.55	0.65	0.85																																																																																																																																																												
--1.0 Deg	Range of nominal sizes	over	200	250	300	400	500	600	700	800																																																																																																																																																																					
		up to	250	300	400	500	600	700	800	900																																																																																																																																																																					
	Permissible tolerance for sizes without tolerance specification																																																																																																																																																																														
	--	1.05	1.25	1.50	1.80	2.10	2.50	2.95	3.50																																																																																																																																																																						
<table><tr><td colspan="2">3D MODEL</td><td colspan="2">41016983_CAD_000..0..ASSEM</td><td colspan="2">DRAWING</td><td colspan="2">41016983_DRW_000..--</td></tr><tr><td colspan="2">DOC. VERS.</td><td colspan="2">CHANGED ITEMS</td><td colspan="2">ZONE IN GRID</td><td colspan="2">CHANGE DESCRIPTION</td><td colspan="2">ECM NO.</td><td colspan="2">-</td></tr><tr><td colspan="2">CREATED BY</td><td colspan="2">Cristina VALEAN</td><td colspan="2">DATE</td><td colspan="2">2017-06-22</td><td colspan="2">DEPARTMENT</td><td colspan="2">P S&A</td></tr><tr><td colspan="2">REVIEWED BY</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">DATE</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">DEPARTMENT</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">RELEASED BY</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">DATE</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">DEPARTMENT</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">TITLE</td><td colspan="2">TEFD 310-15SMD-01</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">TEFD 310-15SMD-01</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">DOCUMENT NO.</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">DOC. TYPE</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">DOC. PART</td><td colspan="2">000</td><td colspan="2">DOC. VERS.</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">MATERIAL NO.</td><td colspan="2">-</td></tr><tr><td colspan="2">MATERIAL</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">CALCULATED WEIGHT</td><td colspan="2">5.2 g</td><td colspan="2">± 5 %</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">SURFACE</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">GENERAL TOLERANCE</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">TOLERANCE PRINCIPLE</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2">CAD SYSTEM</td><td colspan="2">CRE02 M210</td><td colspan="2">(C)Continental AG</td><td colspan="2">2016</td><td colspan="2">SCALE</td><td colspan="2">2:1</td><td colspan="2">PAGE</td><td colspan="2">1 of 1</td><td colspan="2">FORMAT</td><td colspan="2">A 3</td></tr><tr><td colspan="2">NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITY.</td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr></table>						3D MODEL		41016983_CAD_000..0..ASSEM		DRAWING		41016983_DRW_000..--		DOC. VERS.		CHANGED ITEMS		ZONE IN GRID		CHANGE DESCRIPTION		ECM NO.		-		CREATED BY		Cristina VALEAN		DATE		2017-06-22		DEPARTMENT		P S&A		REVIEWED BY				DATE				DEPARTMENT				RELEASED BY				DATE				DEPARTMENT				TITLE		TEFD 310-15SMD-01		-		TEFD 310-15SMD-01		-				DOCUMENT NO.		-		DOC. TYPE		-		DOC. PART		000		DOC. VERS.		-		MATERIAL NO.		-		MATERIAL		-		CALCULATED WEIGHT		5.2 g		± 5 %										SURFACE		-		GENERAL TOLERANCE		-		TOLERANCE PRINCIPLE		-								CAD SYSTEM		CRE02 M210		(C)Continental AG		2016		SCALE		2:1		PAGE		1 of 1		FORMAT		A 3		NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITY.																									
3D MODEL		41016983_CAD_000..0..ASSEM		DRAWING		41016983_DRW_000..--																																																																																																																																																																									
DOC. VERS.		CHANGED ITEMS		ZONE IN GRID		CHANGE DESCRIPTION		ECM NO.		-																																																																																																																																																																					
CREATED BY		Cristina VALEAN		DATE		2017-06-22		DEPARTMENT		P S&A																																																																																																																																																																					
REVIEWED BY				DATE				DEPARTMENT																																																																																																																																																																							
RELEASED BY				DATE				DEPARTMENT																																																																																																																																																																							
TITLE		TEFD 310-15SMD-01		-		TEFD 310-15SMD-01		-																																																																																																																																																																							
DOCUMENT NO.		-		DOC. TYPE		-		DOC. PART		000		DOC. VERS.		-		MATERIAL NO.		-																																																																																																																																																													
MATERIAL		-		CALCULATED WEIGHT		5.2 g		± 5 %																																																																																																																																																																							
SURFACE		-		GENERAL TOLERANCE		-		TOLERANCE PRINCIPLE		-																																																																																																																																																																					
CAD SYSTEM		CRE02 M210		(C)Continental AG		2016		SCALE		2:1		PAGE		1 of 1		FORMAT		A 3																																																																																																																																																													
NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITY.																																																																																																																																																																															



Anexa 1

AA	-	-	-	ECM NO. -	
DOC. VERS.	CHANGED ITEMS	ZONE IN GRID	CHANGE DESCRIPTION		
CREATED BY Cristina VALEAN				DATE 2017-06-22	DEPARTMENT P S&A
REVIEWED BY				DATE	DEPARTMENT
RELEASED BY				DATE	DEPARTMENT
TITLE TEFD 310-15SMD-01					
TEFD 310-15SMD-01					
DOCUMENT NO.		DOC. TYPE	DOC. PART	DOC. VERS.	MATERIAL NO.
-		-	000	-	-
MATERIAL				CALCULATED WEIGHT	
-				5.2 g ± 5 %	
SURFACE			GENERAL TOLERANCE	TOLERANCE PRINCIPLE	
-			-	-	
3D MODEL			DRAWING		
41016983_CAD_000..0..ASSEM			41016983_DRW_000..--		
DIMENSION IN MILLIMETERS					
CAD SYSTEM CRE02 M210		(C)Continental AG 2016		SCALE 2:1	PAGE 1 of 1
<small>THE REPRODUCTION, DISTRIBUTION AND UTILIZATION OF THIS DOCUMENT AS WELL AS THE COMMUNICATION OF ITS CONTENT TO OTHERS WITHOUT EXPRESS AUTHORIZATION IS PROHIBITED. OFFENDERS WILL BE HELD LIABLE FOR THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS RESERVED IN THE EVENT OF THE GRANT OF A PATENT, UTILITY MODEL OR DESIGN.</small>					FORMAT A 3
<small>NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITATIVE.</small>					

1	2	3	4																																																															
A				A																																																														
B				B																																																														
C	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="5" style="width:25%; text-align: center; vertical-align: middle;"> General tolerance at flat stampings acc. to DIN 6930-m Area of thickness from 0.1 up to 1 </td> <td style="width:10%; text-align: center;">Range of nominal sizes</td> <td style="width:10%; text-align: center;">over up to</td> <td style="width:10%; text-align: center;">1.0</td> <td style="width:10%; text-align: center;">6.0</td> <td style="width:10%; text-align: center;">10.0</td> <td style="width:10%; text-align: center;">25.0</td> <td style="width:10%; text-align: center;">63.0</td> <td style="width:10%; text-align: center;">160.0</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Permissible angular tolerance for nominal size areas of the shorter leg</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">6.0</td> <td style="text-align: center;">10.0</td> <td style="text-align: center;">25.0</td> <td style="text-align: center;">63.0</td> <td style="text-align: center;">160.0</td> <td style="text-align: center;">400.0</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;">Permissible tolerance for sizes without tolerance specification</td> <td style="text-align: center;">over 1 up to 10</td> <td style="text-align: center;">± 1° 30'</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">±</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0.10</td> <td style="text-align: center;">0.15</td> <td style="text-align: center;">0.20</td> <td style="text-align: center;">0.25</td> <td style="text-align: center;">0.30</td> <td style="text-align: center;">0.50</td> <td style="text-align: center;">over 10 up to 63</td> <td style="text-align: center;">± 50'</td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: center;">Permissible tolerance for rounding radii</td> <td style="text-align: center;">over 63 up to 160</td> <td style="text-align: center;">± 25'</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">±</td> <td style="text-align: center;">0.20</td> <td style="text-align: center;">0.30</td> <td style="text-align: center;">0.40</td> <td style="text-align: center;">0.50</td> <td style="text-align: center;">0.80</td> <td style="text-align: center;">1.00</td> <td style="text-align: center;">over 160 up to 400</td> <td style="text-align: center;">± 15'</td> </tr> </table>			General tolerance at flat stampings acc. to DIN 6930-m Area of thickness from 0.1 up to 1	Range of nominal sizes	over up to	1.0	6.0	10.0	25.0	63.0	160.0	Permissible angular tolerance for nominal size areas of the shorter leg				6.0	10.0	25.0	63.0	160.0	400.0			Permissible tolerance for sizes without tolerance specification								over 1 up to 10	± 1° 30'	±		0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.50	over 10 up to 63	± 50'	Permissible tolerance for rounding radii								over 63 up to 160	± 25'			±	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	1.00	over 160 up to 400	± 15'	C
General tolerance at flat stampings acc. to DIN 6930-m Area of thickness from 0.1 up to 1	Range of nominal sizes	over up to	1.0		6.0	10.0	25.0	63.0	160.0	Permissible angular tolerance for nominal size areas of the shorter leg																																																								
			6.0		10.0	25.0	63.0	160.0	400.0																																																									
	Permissible tolerance for sizes without tolerance specification								over 1 up to 10	± 1° 30'																																																								
	±		0.10		0.15	0.20	0.25	0.30	0.50	over 10 up to 63	± 50'																																																							
	Permissible tolerance for rounding radii								over 63 up to 160	± 25'																																																								
		±	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80	1.00	over 160 up to 400	± 15'																																																								
D	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:10%;">DOC. VERS.</td> <td style="width:10%;">- CHANGED ITEMS</td> <td style="width:10%;">- ZONE IN GRID</td> <td style="width:40%;">- CHANGE DESCRIPTION</td> <td style="width:30%;">ECM NO. -</td> </tr> <tr> <td colspan="4">CREATED BY Cristina VALEAN</td> <td>DATE 2017-06.22</td> </tr> <tr> <td colspan="4">REVIEWED BY [REDACTED]</td> <td>DEPARTMENT P S&A</td> </tr> <tr> <td colspan="4">RELEASED BY [REDACTED]</td> <td>DEPARTMENT [REDACTED]</td> </tr> <tr> <td colspan="5">TITLE <div style="text-align: center;">Leadframe</div> <div style="text-align: center;">Leadframe</div></td> </tr> </table>			DOC. VERS.	- CHANGED ITEMS	- ZONE IN GRID	- CHANGE DESCRIPTION	ECM NO. -	CREATED BY Cristina VALEAN				DATE 2017-06.22	REVIEWED BY [REDACTED]				DEPARTMENT P S&A	RELEASED BY [REDACTED]				DEPARTMENT [REDACTED]	TITLE <div style="text-align: center;">Leadframe</div> <div style="text-align: center;">Leadframe</div>					D																																					
DOC. VERS.	- CHANGED ITEMS	- ZONE IN GRID	- CHANGE DESCRIPTION	ECM NO. -																																																														
CREATED BY Cristina VALEAN				DATE 2017-06.22																																																														
REVIEWED BY [REDACTED]				DEPARTMENT P S&A																																																														
RELEASED BY [REDACTED]				DEPARTMENT [REDACTED]																																																														
TITLE <div style="text-align: center;">Leadframe</div> <div style="text-align: center;">Leadframe</div>																																																																		
E	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:25%;">DOCUMENT NO. -</td> <td style="width:10%;">DOC. TYPE -</td> <td style="width:10%;">DOC. PART 000</td> <td style="width:10%;">DOC. VERS. -</td> <td style="width:45%;">MATERIAL NO. -</td> </tr> <tr> <td colspan="4">MATERIAL -</td> <td> CALCULATED WEIGHT <div style="text-align: right;">0.015 g ± 5 %</div> </td> </tr> <tr> <td colspan="3">SURFACE -</td> <td>GENERAL TOLERANCE -</td> <td>TOLERANCE PRINCIPLE -</td> </tr> <tr> <td colspan="3">3D MODEL 41016983_CAD_102_AA.0.Planned.PART</td> <td colspan="2">DRAWING PIN.-.-</td> </tr> </table>			DOCUMENT NO. -	DOC. TYPE -	DOC. PART 000	DOC. VERS. -	MATERIAL NO. -	MATERIAL -				CALCULATED WEIGHT <div style="text-align: right;">0.015 g ± 5 %</div>	SURFACE -			GENERAL TOLERANCE -	TOLERANCE PRINCIPLE -	3D MODEL 41016983_CAD_102_AA.0.Planned.PART			DRAWING PIN.-.-		E																																										
DOCUMENT NO. -	DOC. TYPE -	DOC. PART 000	DOC. VERS. -	MATERIAL NO. -																																																														
MATERIAL -				CALCULATED WEIGHT <div style="text-align: right;">0.015 g ± 5 %</div>																																																														
SURFACE -			GENERAL TOLERANCE -	TOLERANCE PRINCIPLE -																																																														
3D MODEL 41016983_CAD_102_AA.0.Planned.PART			DRAWING PIN.-.-																																																															
F	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:30%;"> DIMENSION IN MILLIMETERS </td> <td style="width:40%; text-align: center;"> </td> <td style="width:30%;"></td> </tr> <tr> <td>CAD SYSTEM CRE02 M210</td> <td>(C)Continental AG 2016</td> <td> SCALE 10:1 PAGE 1 of 1 </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> THE REPRODUCTION, DISTRIBUTION AND UTILIZATION OF THIS DOCUMENT AS WELL AS THE COMMUNICATION OF ITS CONTENT TO OTHERS WITHOUT EXPRESS AUTHORIZATION IS PROHIBITED. OFFENDERS WILL BE HELD LIABLE FOR THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS RESERVED IN THE EVENT OF THE GRANT OF A PATENT, UTILITY MODEL OR DESIGN. NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITATIVE. </td> <td style="text-align: center;"> FORMAT A 4 </td> </tr> </table>			DIMENSION IN MILLIMETERS			CAD SYSTEM CRE02 M210	(C)Continental AG 2016	SCALE 10:1 PAGE 1 of 1	THE REPRODUCTION, DISTRIBUTION AND UTILIZATION OF THIS DOCUMENT AS WELL AS THE COMMUNICATION OF ITS CONTENT TO OTHERS WITHOUT EXPRESS AUTHORIZATION IS PROHIBITED. OFFENDERS WILL BE HELD LIABLE FOR THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS RESERVED IN THE EVENT OF THE GRANT OF A PATENT, UTILITY MODEL OR DESIGN. NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITATIVE.		FORMAT A 4	F																																																					
DIMENSION IN MILLIMETERS																																																																		
CAD SYSTEM CRE02 M210	(C)Continental AG 2016	SCALE 10:1 PAGE 1 of 1																																																																
THE REPRODUCTION, DISTRIBUTION AND UTILIZATION OF THIS DOCUMENT AS WELL AS THE COMMUNICATION OF ITS CONTENT TO OTHERS WITHOUT EXPRESS AUTHORIZATION IS PROHIBITED. OFFENDERS WILL BE HELD LIABLE FOR THE PAYMENT OF DAMAGES. ALL RIGHTS RESERVED IN THE EVENT OF THE GRANT OF A PATENT, UTILITY MODEL OR DESIGN. NO GUARANTEE CAN BE GIVEN IN RESPECT OF THE TRANSLATION: IN ALL CASES THE LATEST ENGLISH LANGUAGE VERSION OF THIS DOCUMENT SHALL BE TAKEN AS AUTHORITATIVE.		FORMAT A 4																																																																



Bibliografie

- [1] Liu J.C., Yu H.J., Zhang G., Wang Z.H., Ma J.S., *Constitutive behavior and Anand model of novel lead-free solder Sn-Zn-Bi-In-P*. Proceedings of the International Conference on Electronics Packaging (ICEP), Toyama International Convention Center, Japan, 23-25 Apr 2014, 156-161.
- [2] Anand L., *Constitutive equations for Hot-working of metals*. International Journal of Plasticity, **1**, 213-231 (1985).
- [3] Brown S.B., Kim K.H., Anand L., *An internal variable constitutive model for hot working of metals*. International Journal of Plasticity, **5**, 95-130 (1989).
- [4] Cheng Z.N., Wang G.Z., Chen L., Wilde J., Becker K., *Viscoplastic Anand model for solder alloys and its application*, Soldering & Surface Mount Technology, **12**, 2, 31-36 (2000).
- [5] Busso E.P., Kitano M., Kumazawa T., *Modeling Complex Inelastic Deformation Processes in IC Packages' Solder Joints*. Journal of Electronic Packaging, **116**, 7-15 (1994).
- [6] Wang G.Z., Cheng Z.N., Becker K., Wilde J., *Applying Anand Model to Represent the Viscoplastic Deformation Behavior of Solder Alloys*. Journal of Electronic Packaging, **123**, 247-253 (2001).
- [7] Chen X., Chen G., Sakane M., *Prediction of stress-strain relationship with an improved Anand constitutive Model for lead-free solder Sn-3.5Ag*. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, **28**, 111-116 (2005).
- [8] Jendry J., Müller W.H., Albrecht H.-J., *Strength and Lifetime Analysis of SMT Solder Joints: An Exemplary Study of MiniMELF Component*. Proceedings, SMI '97, San Jose, CA, September 7-11, 626-636.
- [9] Lau J.H., Pan S.H., *Creep Behaviors of Flip Chip on Board With 96.5Sn-3.5Ag and 100In Lead-Free Solder Joints*. The International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, **24**, 1, 11-18 (2001).
- [10] Chaboche J.L., *Time-independent constitutive theories for cyclic plasticity*. International Journal of Plasticity, **2**, 249, (1986).

- [11] Basaran C., Zhao Y., Tang H., Gomez J., *A Damage-Mechanics-Based Constitutive Model for Solder Joints*. Journal of Electronic Packaging, **127**, 3, 208-214 (2004).
- [12] ANSYS® Academic Research, Release 17.1.

DECLARAȚIE DE AUTENTICITATE A LUCRĂRII DE FINALIZARE A STUDIILOR*

Subsemnatul _____ ,
legitimat cu _____ seria _____ nr. _____, CNP _____
autorul lucrării _____
_____ elaborată
în vederea susținerii examenului de finalizare a studiilor de _____ organizat de
către Facultatea _____ din cadrul Universității “Politehnica” din
Timișoara, sesiunea _____ a anului universitar _____,
luând în considerare conținutul art. 39 din RODPI – UPT, declar pe proprie răspundere, că
această lucrare este rezultatul propriei activități intelectuale, nu conține porțiuni plagiate, iar
sursele bibliografice au fost folosite cu respectarea legislației române și a convențiilor
 internaționale privind drepturile de autor.

Timișoara,

Data

Semnătura

** Declarația se completează „de mână” și se inserează în lucrarea de finalizare a studiilor, la sfârșitul acesteia, ca parte integrantă.*

INFORMAȚII PERSONALE

Cristina Vălean

 Daliei - 29/B, 307211, Sat Cerneteaz, Jud. Timiș (România)

 (+40) 748 708 757

 cristina_valean@yahoo.com

Sexul Feminin | Data nașterii 13/11/1994 | Naționalitatea română

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

2013–2017

Licență

Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Mecanică, Timișoara (România)

Specializarea: Inginerie Medicală

Materii studiate: Rezistența Materialelor, Știința Materialelor, Tehnologia Materialelor, Mecanisme, Materiale Polimerice, Desen Tehnic, Matematică, CATIA, SolidWorks, PTC Creo, Biomecanică, Materiale Compozite pentru Aplicații Medicale, Fiabilitatea Dispozitivelor Medicale, Ergonomia Aparatelor Medicale

2009–2013

Liceu

Liceul Teologic Penticostal "Logos", Timișoara (România)

Specializarea: Matematică - Informatică

Materii studiate: Matematică, Informatică, Fizică, Chimie

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

02/2017–Prezent

Internship

S. C. Continental Automotive Romania S. R. L., Timișoara (România)

05/2016–09/2016

Internship

S. C. Continental Automotive Romania S. R. L., Timișoara (România)

07/2015–09/2015

Internship

S. C. Continental Automotive Romania S. R. L., Timișoara (România)

COMPETENȚE PERSONALE

Limba(i) maternă(e)

română

Alte limbi străine cunoscute

engleză

ÎNȚELEGERE		VORBIRE		SCRIERE
Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	
B1	B1	B1	B1	B1

Niveluri: A1 și A2: Utilizator elementar - B1 și B2: Utilizator independent - C1 și C2: Utilizator experimentat
Cadru european comun de referință pentru limbi străine

Competențe de comunicare

- o dicție bună și un vocabular bogat, îmbunătățit pe parcursul anilor de studii;
- atitudine pozitivă, ce îi ajută pe ceilalți să mă asculte și să îmi vorbească;
- fire sociabilă, deschisă.

Competențe dobândite la locul de muncă

- o bună colaborare cu cei din jur;
- adaptabilitate la cele necesare slujbei aferente.

Competență digitală

- Microsoft Office;
- PTC Creo;
- SolidWorks;
- CATIA;
- Ansys;
- Matlab.

Permis de conducere

B

INFORMAȚII SUPLIMENTARE

Premii

- Locul I în cadrul concursului "C. C. Teodorescu", de Rezistența Materialelor, faza locală (Timișoara, 2015);
- Diplomă de excelență "Florin Sperchez" (pentru locul I) în cadrul concursului "C. C. Teodorescu", de Rezistența Materialelor, faza națională (Brașov, 2015);
- Premiu Special "Ionel Dobre", din partea Universității Politehnica Timișoara, la faza națională a concursului "C. C. Teodorescu", de Rezistența Materialelor (Brașov, 2015);
- Mențiune (locul IV) la concursul profesional-științific studentesc de Organe de Mașini "Nicolae S. Gheorghiu" (Timișoara, 2016);
- Diploma "Student Eminent 2016", din partea Asociației Orizonturi Universitare (Timișoara, 2016).

Burse

- Bursă de merit;
- Bursă de excelență.