
REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

„STUDIUL PROCESELOR DE AMBUTISARE ADÂNCĂ UTILIZÂND METODE NUMERICE”

În capitolul 1 sunt prezentate aspecte generale ale cercetării științifice din domeniul industriei prelucrătoare prin deformare plastică la rece legate de creșterea performanțelor acestora, concomitent cu optimizarea unor procese de ambutisare plastică la rece utilizând modele numerice de simulare în urma cărora au loc o serie de predicții acoperitoare.

În acest context, prin lucrarea elaborată, autorul a urmărit să-și aducă contribuția, teoretică și practică, la optimizarea modelelor de simulare numerică și a procesului de ambutisare adâncă la rece, care să răspundă dezideratelor de mai sus, urmărind atingerea obiectivelor de cercetare propuse.

În capitolul 2 se prezintă stadiul actual al cercetării în domeniul deformațiilor plastice la rece cu implicații directe asupra procesului de ambutisare adâncă. Acest capitol arată modurile de evoluție a cazurilor actuale de predicție a unor procese de deformare plastică la rece și nu numai, servindu-i autorului ca bază bibliografică solidă.

În conținutul capitolului sunt evidențiate cele mai bune metode de cercetare simulativă numerică și deasemenea condițiile și elementele tehnice ce sunt necesare unui astfel de studiu. Sunt redată soluții concrete atât pentru o gamă variată de tipuri de modele numerice pentru simularea proceselor de deformare plastică la rece, cât și moduri clare de implementare ale acestora în experiment.

Tot în acest capitol mai sunt reliefate, o serie de anumite calități și variante de îmbunătățire a semifabricatelor metalice supuse deformărilor plastice, ca răspuns la prelucrarea datelor din rularea modelelor numerice axate pe deformații plastice la rece.

Din acest capitol am extras mai multe aspecte ce tind să fie preocuparea din ziua de astăzi a cercetării în domeniul proceselor dinamice de ambutisare prin simulare numerică, în care enumer:

Modelele elementului finit cu 3 tipuri de elemente (3d, membrană și efort de suprafață) au fost create pentru testarea unei simulări la întindere. În această testare au fost introduse 4 valori diferite pentru raza stanței R/t (standardizată de grosimea plăcii).

S-a arătat că simularea cu elemente 3d și membrane poate prezice ruperi locale. De asemenea s-a constatat că deplasările încărcării superioare răspund la fel de bine ca și solicitările peretelui la unghiul de atac al rupturii pentru toate valorile lui R/t . Chiar mai mult, s-au efectuat și s-au cercetat o serie de studii a parametrilor pe: modelul elementului 3D, efectul nivelului tensiunii (prinderii la distanță), frecarea sculei, mărimea discretizării în elemente finite, locul ruperii, modul ruperii și răspunsul la încărcări-deplasări.

În capitolul 3 se prezintă forma conceptuală detaliată a unui model numeric dinamic specializat pe ambutisarea adâncă la rece. Are loc examinarea problemei funcție de mărimea nodurilor și a gradului de discretizare a rețelei cristaline a foii de tablă în vederea simulării numerice, și adoptarea din punct de vedere hardware a unui sfert de foaie de tablă. Sunt expuse elementele active de lucru: matrița, poansonul, inelul de reținere sub formă simplificată pentru cazul unei ambutisări adânci la rece, respectiv a foii de tablă supuse ambutisării în secțiunea

de construcție a uneltelor de lucru și asamblarea virtuală în secțiunea assembly din program a acestora conform cazului real de ambutisare.

Sunt declarate în modelul numeric entitățile nedeformabile și atribuite elementelor de lucru active, respectiv sunt declarate elementele deformabile și atribuite foi de tablă supusă solicitării de ambutisare. Sunt definite în modelul numeric condițiile de contact între foaia de tablă și elementele active de lucru, apoi crearea pașilor sau fazelor de acțiune pentru poanson și inelul de reținere, respectiv modul de răspuns a foi de tablă în vederea realizării ambutisării conform cazului real.

Sunt realizate condițiile reale de desfășurare ale procesului de ambutisare la rece, cum ar fi: avansul, jocul dintre elementele active de lucru, forțe de strângere a inelului asupra tablei, de înaintare a poansonului, gradul de ecruisare a materialului și calitatea acstuia din curba de tracțiune prelevată și adâncimea finală.

Are loc în continuare definirea elementelor implicite care rezultă în urma simulării prin rularea modelului numeric cu programul Abaqus, apoi crearea modului de răspuns și vizualizare a procesului de ambutisare în cadrul modelului.

Modelul numeric este realizat cu elemente numerice de o mare complexitate care redau fenomenele și elementele reale ale ambutisării.

Modelul înregistrează atât tensiunea instantanee cât și deformațiile instantanee, care sunt redată pe imaginile de distribuție al acestora sub forma unui nor tridimensional împrăștiat în tot volumul foi de tablă deformată.

Conform primului subcapitol 3.2.1 sunt redată elemente definitorii despre arhitectura programului cu care se face rularea cât și componența arborelui de lucru cu elementele sale specifice. Tot în acest subcapitol sunt expuse și o serie de modalități de colectare a datelor implicite oferite de program, prin elementele direct răspunzătoare de prelucrarea datelor cu caracter teoretic și informațional sunt secțiunile Field Output Requests și History Output Requests

În subcapitolul 3.2.2 se fac o serie de simplificări ale procesului de ambutisare care sunt expuse programului prin intermediul modelului cu ajutorul elementelor declarate proprii programului de ambutisare. Foaia de tablă trebuie introdusă în program ca fiind un element deformabil solid iar elementele active de lucru sunt cunoscute de program ca fiind elemente de tip suprafață nedeformabile.

În secțiunea part s-au definit elementele active sub formă de suprafață și foaia de tablă, respectiv în secțiunea property se face definirea completă a foi de tablă ca și material metalic. În secțiunea assembly are loc asamblarea elementelor active cu foaia de material pentru a face posibil procesul de ambutisare.

În următorul paragraf se face realizarea contactelor interacționale între elementele active și foaia de material respectiv, setarea etapelor de acțiune a elementelor active de lucru asupra foi de tablă și înmagazinarea în matrice tensoriale a tuturor elementelor implicite redată de program.

Apoi se face discretizarea elementelor active de lucru și a foi de tablă, respectiv are loc impunerea dinamicii (a implementării BCs urilor) procesului real în modelul numeric, prin intermediul condițiilor de stabilitate, de echilibru respectiv celor de acțiune dinamică pentru poanson, inel de reținere și matriță a dispozitivului de ambutisare.

Finalul acestui capitol este dedicat vizualizării rezultatelor obținute în urma rulării modelului numeric, respectiv a elementelor de rezoluție și control a corectitudinii validității simulării numerice.

În capitolul 4 sunt prezentate o serie de ipoteze simplificatoare cu privire la elementele active de lucru și foaia de tablă, este expus calculul matematic al acțiunii elementelor de lucru asupra tablei de material metalic. Sunt expuse cazurile implicite redată cu ajutorul modelului numeric pentru tensiunile și deformațiile instantanee, în urma cărora s-au ridicat mai multe grafice de

dependență între tensiuni și adâncimea de ambutisare, respectiv între deformații și adâncimea de ambutisare.

Tot în acest capitol au fost redate și cazurile în care ambutisarea nu a putut avea loc, rezultând din rularea modelului fisurarea sau ruperea reperului. Respectiv s-au pus în lumină cazuri de comparație atât pentru tensiunile instantanee cât și pentru deformațiile instantanee, funcție de două grosimi diferite ale aceluiași material al foii de tablă supusă ambutisării, rezultând astfel concluziile aferente studiului, după cum urmează:

1. Parcurgerea tuturor etapelor modelului de calcul implementat face un desfășurător a unei serii de distribuții de tensiuni și deformații instantanee în toată suprafața deformată a tablei funcție de adâncimea de ambutisare corespunzătoare pătrunderii poansonului la adâncimi diferite.
2. Seria de distribuții a tensiunilor și deformațiilor instantanee pe toate nodurile în pași succesivi dau o imagine foarte clară a modului de propagare a variației de tensiuni și deformații prin foaia de tablă pentru diferite adâncimi de ambutisare.
3. Ca și concluzie observăm că la table de grosimi mici până la 1 mm grosime după 40mm adâncime de ambutisare avem o curgere foarte bună a tablei printre elementele active de lucru, pe când la table de grosimi superioare celor de 1 mm avem la peste 40mm adâncime de ambutisare tendințe tot mai mari de lipire a tablelor de elementele active.
4. Ceea ce este foarte important de menționat este faptul că ecrusarea acumulată la adâncimile inferioare de ambutisare limitează foarte mult deformațiile atât cele ale reperului aflat pe raza matriței cât și cele ale peretelui reperului sub forma subțierilor.
5. Rezultatele modelului numeric de calcul implementat în programul Abaqus specifică în mod clar:
 - a) Pozițiile secțiunilor critice în care apar tensiuni critice care pot duce la fisurare sau chiar ruperea materialului tablei
 - b) Pozițiile secțiunilor de descărcare a tensiunilor și deformațiilor unde apar scăderi sau creșteri bruște ale acestora.
6. Programul scoate în evidență tensiunile și deformațiile instantanee a reperului care se formează pe raza matriței de ambutisare, în toate fazele de avans a poansonului, zonă cu cele mai mare probabilitate de fisurare sau rupere prin încovoiere a tablei. Tot în acest context putem spune că în cazul zonelor de construcție a peretelui apar subțieri a materialului, a căror valoare poate fi cunoscută aprioric.

În capitolul 5 este prezentat proiectul dispozitivului de ambutisare ca parte componentă de bază a standului experimental; este descris standul experimental și componența acestuia, apoi este prezentat experimentul de laborator al ambutisării adânci ținând cont de condițiile din simularea numerică, implementând dispozitivul de ambutisare în cadrul standului experimental pe mașina de tracțiune de 100 tf datorită lipsei unei mașini de ambutisat cu dublă acțiune.

În acest capitol au fost făcute implementările a dispozitivului de ambutisare prin probe succesive pe bacurile mașinii de tracțiune de 100 Tf

În capitolul 6 este prezentată validarea modelului numeric de simulare și posibilitățile de utilizare a rulării modelului numeric valid prin intermediul unei scheme logice.

Implementarea dispozitivului de ambutisare în experiment s-a realizat cu succes și elementele de legătură între dispozitiv mașina de tracțiune și sistemul de achiziție s-au interconectat foarte bine cu dispozitivul.

Apăsarea inelului de reținere asupra foii de tablă s-a făcut progresiv cu ajutorul șuruburilor de tensionare până la o valoare optimă de curgere elasto-

plastică a tablei între poanson și matriță.

În urma prelucrării datelor din simulare s-au implementat în experiment date teoretice din simulare, în urma cărora s-au urmărit o serie de mărimi fizice de comparație între simulare și experiment

În urma prelucrării datelor experimentale a setului cu trei măsurători succesive pentru adâncimea de 70 mm și prin compararea cu a celor din simulare, s-a obținut graficul din figura 6.2 care validează modelul numeric implementat, printr-o eroare maximă între experiment și simulare, de maxim 2,6%.

Asfel în urma simulării numerice și a validării modelului numeric cu ajutorul experimentului se poate rula foarte multe variante de parametrii ai procesului de ambutisare, rulând modelul și îmbunătățind procesul de ambutisare din punct de vedere al predicțiilor asupra tensiunilor efective și a deformațiilor la orice adâncime dorită.

Valorile tensiunilor și deformațiilor dinamice pe diferite adâncimi se suprapun ca valoare peste cele din experiment în procent de 97,5%. Diferența de 2,5% se datorează gradului de discretizare pe care programul îl are. Discretizarea ar putea fi mai mare, adică gradul de rafinare al problemei de ambutisare din simulare s-ar putea mări însă ca și resurse hardware nu aș fi putut realiza simularea. Un calcul estimativ făcut ne spune că eroare de 2,5% s-ar reduce la maxim 1,5 %. Suprapunerea totală și perfectă între simulare și experiment nu s-ar fi putut face deoarece vibrațiile și șocurile de lucru suprapuse peste uzura mașinii de compresiune nu le putem asimila în simulare deoarece nu avem o secțiune dedicată acestora, acest lucru putându-se face doar în modulul explicit al programului Abaqus unde se poate studia regimuri dinamice variabile și cu șoc.

Deformațiile după direcțiile compuse se regăsesc complet sub forma festoanelor respectiv conform acestui capitol subțierile în peretele reperului format se regăsesc într-o plajă acceptabilă de mărimi, iar din punct de vedere a veridicității obținute, putem observa atât la tensiuni cât și la deformații zona periclitată este în imediata vecinătate a razei poansonului.[107]

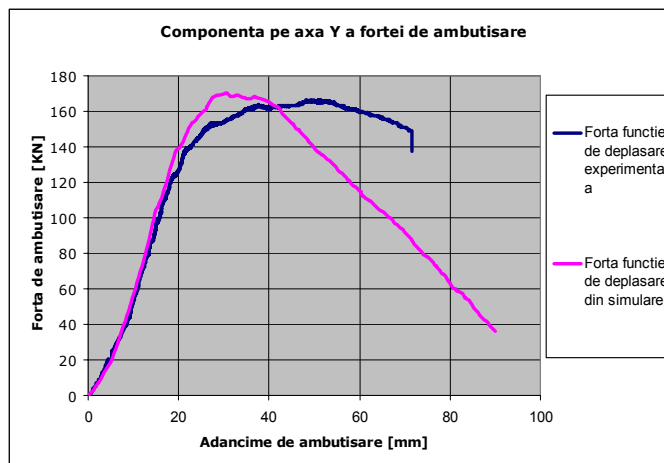


Figura 6.2. Variația componentei forței de ambutisare pe axa Y atât din simulare cât și din experiment

În capitolul 7 sunt prezentate concluziile finale, contribuțiile proprii și elementele de originalitate din teză, respectiv o schemă logică de lucru cu modelul numeric ca modalitate de predicție a tensiunilor și deformațiilor instantanee pentru orice tip de material ambutisabil, orice grosime, orice adâncime de ambutisare

pentru una sau mai multe treceri. Sunt prezentate și o serie de perspective de continuare a lucrării de față.

7.1 Concluzii finale

Plecând de primele capitole observăm că cele mai importante concluzii sunt cele legate de fiecare capitol și sunt redactate la sfârșitul acestora

Cu ajutorul modelului numeric implementat și validat prin experiment se poate face o serie de predicții în timp real asupra procesului de ambutisare utilizând o paleta variată de parametrii dinamici, respectiv o serie de caracteristici mecanice și fizice

Tensiunile și deformațiile obținute sunt foarte apropiate de cele reale obținute ca valoare și datorită preciziei modelului numeric pot fi apreciate în avans ca valoare pentru o adâncime de ambutisare în prealabil setată.

Cu ajutorul modelului numeric putem determina tensiunile și deformațiile dinamice instantanee care pot influența stabilitatea procesului de ambutisare pozitiv sau negativ pentru o adâncime de ambutisare setată înainte de a ajunge la adâncimea vizată.

Sistemul de achiziție mi-a permis să măsoar doar forța de ambutisare funcție de adâncimea de ambutisare însă conectat la o serie de timbre tensometrice de presiune se poate determina și deformațiile dinamice în timp real.

7.2. Contribuții personale

După studiul bibliografic și cercetarea unei alte posibilități de studiu menținând pe cât posibil o linie ce ține de Ingineria industrială, am ales să studiez un aspect important din cadrul unei deformații plastice la rece - ambutisarea adâncă.

Pe parcursul perioadei de studiu, am observat dintr-o serie de tratate și lucrări științifice că există un teren nu prea bine elucidat cu privire la modul de comportare a materialul în timpul procesului de ambutisare. De asemenea, nu se poate face o predicție prea bună a modului de desfășurare a procesului din punct de vedere al tensiunilor existente și a deformațiilor. Există la ora actuală programe foarte empirice care evaluează un proces dinamic și dau puține informații, în plus cel puțin pe partea de vest a țării, o simulare dinamică cu elemente finite a unui proces încă nu s-a realizat și nici nu a fost implementată. Toate simulările au fost de natura statică.

Elementele de proprie contribuție sunt enumerate în cele ce urmează:

Primele 3 capitole au fost structurate în așa fel încât să pună în evidență o bază teoretică solidă referitoare la procesele de deformare plastică la rece.

În capitolul 4 am pus în evidență analiza stării de tensiune la ambutisare.

Am executat un model 3D în softul Catia V5, soft de proiectare pe care l-am reprezentat în secțiune în figura 4.2

Desenele care corespund figurilor de la fiecare capitol le-am realizat în totalitate în microsoft word și microsoft excel. Am ales să studiez cele mai noi tehnologii de ambutisare pe care le-am expus la stadiul actual al procesului în capitolul 4.

O primă contribuție majoră este realizarea unui model numeric statico-dinamic de simulare complexă a unui proces de ambutisare dinamică la rece a unei table de grosime 1 mm. Ca și parte distinctă a tezei această contribuție este prezentată sub forma unei anexe speciale, anexa numărul 1.

În cele de mai jos voi prezenta principalele acțiuni în realizarea modelului numeric.

Modelul numeric este cuprins în capitolul 5, majoritatea elementelor fiind implementate în model în urma studiului amănunțit al programului Abaqus și a unor

lucrări de specialitate.

Am realizat modelul numeric plecând de la premisa combinării a două elemente distincte de simulare. Acestea sunt elemente solide deformabile și nedeformabile de tip coajă sau membrană suprafață.

Am realizat și impus în model o corelare între elementele de lucru din simulare și elementele componente ale procesului în cazul real al procesului de ambutisare.

Am realizat o simplificare a elementelor dinamice din cazul procesului de ambutisare, astfel:

- poansonul a fost reprezentat de o suprafață așa cum o arată figura 5.4 a
- matrița a fost reprezentată simplificat (vezi figura 5.4 b)
- inelul de reținere a fost reprezentat simplificat ca în figura 5.4 c

Am impus ca elementele active prezentate mai sus să fie recunoscute de program prin intermediul modelului ca fiind piesele dinamice din lanțul cinematic al unui caz real de ambutisare.

Această recunoaștere de către programul de simulare a elementelor mai sus menționate sub formă simplificată a fost posibilă prin realizarea unor parametrii de mișcare și de poziție respectiv a unor parametrii de material al elementelor active.

Am realizat după cum am menționat și mai sus interfața de recunoaștere a elementelor active de lucru dintre simularea numerică și cazul real.

Interfața astfel obținută prin alegerea tipului de element a fost declarată în arborele de lucru.

Am realizat declararea ca element nedeformabil rigid a celor trei elemente de lucru active, respectiv am impus în ceea ce privește încărcarea dinamică a procesului, o serie de puncte de interacțiune a forțelor din cadrul procesului.

Am realizat aceste puncte de interacțiune ca fiind (rigid point-uri) RP, programul considerând astfel că forța sau încărcările care acționează, se manifestă asupra elementelor active de lucru ca și cum ar fi o acțiune uniformă în toată masa de material a elementelor active de lucru.

Am realizat o dată cu simplificarea elementelor active, pentru a se putea realiza ambutisarea și micșorarea problemei de simulare ca și volum pentru program, impunând ca simularea să se desfășoare doar pe un sfert din reperul ce trebuia format, respectiv și elementele de lucru fiind doar pe un sfert ca și discretizare sau ca și vizualizare, neafectând totodată valoarea procesului ca răspuns al acțiunilor încărcărilor.

Am realizat o simetrie în acțiunile procesului față de axele X și Z pentru toate elementele active de lucru cât și pentru reper.

Am implementat ca foaia de material metalic folosită la ambutisarea reală să aibe aceleași proprietăți și în simulare și să fie deformabilă introducând de pe curba de tracțiune realizată o serie de puncte succesive cu tensiunea și deformația materialului metalic al foii de lucru la o anumită valoare.

Am creat interacțiunile reale ale procesului de ambutisare în modelul numeric pentru fiecare etapă a procesului de ambutisare.

Am impus o serie de zone de coeziune între elementele active de lucru și foaia de material metalic pentru a implementa în program modurile de interacțiune dintre elementele active de lucru și foaia de tablă respectiv direcțiile de deformare rezultate în urma interacțiunilor.

Revenind la momentul introducerii valorilor tensiunii și a deformațiilor, am realizat în faza experimentală tracțiunea unei lamele de tablă din același material care a fost supus ambutisării trasând astfel un grafic de dependență între tensiune și deformație.

Am realizat și impus în modelul numeric o împărțire caracteristică a materialului foii de tablă sub formă de tetraedre regulate denumit mesch. Împărțirea este foarte importantă deoarece simularea nu se realizează din cauza

aceasta până la adâncimea setată.

În partea a doua a simulării am prelucrat datele rezultate din simulare, acestea se regăsesc în totalitate și explicit detaliate în anexa 3 a tezei de doctorat, în format electronic.

La prelucrarea datelor experimentale am extras tabelar valorile tensiunii și a deformației pe cele trei axe de coordonate și am trasat grafic dependențele acestora în funcție de adâncimea de ambutisare.

În paralel cu extragerea valorilor pentru tensiune și deformație și trasarea graficelor aferente, am vizualizat prin interfața programului Abaqus 6-8.1 aceste valori sub formă de imagini 3D, în care sunt schematizate încărcările aferente pentru fiecare din cei doi parametri tensiunea și deformația instantanee.

O a doua contribuție majoră este realizarea prin forțe proprii a unui dispozitiv de ambutisare care mi-a servit ca stand experimental proiectat și gândit în totalitate de mine. Prelucrările datelor atât experimentale cât și cele din simulare s-au concretizat în teză sub forma capitolelor însă pentru o detaliere mai amplă am relevat o serie de tabele centralizatoare cu datele de lucru de unde am extras datele care explică numeric procesul de ambutisare.

Pornind cu proiectarea standului am realizat în această teză proiectul dimensional în principal, aceasta reflectându-se foarte bine în anexa 2 a tezei de doctorat.

Am realizat în partea experimentală legătura de interfață dintre standul experimental, mașina de tracțiune-compresiune pe care am realizat experimentul și sistemul de achiziție.

Am trasat graficele de dependență între forță și deformație (subțiere) în funcție de adâncimea de ambutisare. Valorile numerice pentru forță și subțiere, din experiment au fost puse în același grafic cu aceleași variabile extrase din simularea numerică.

Am realizat un studiu comparativ între simulare și experiment pentru cele două variabile studiat în experiment, forța și deformația reperului, sub formă de subțiere a peretelui. În urma studiului comparativ pentru forța din experiment și simulare s-a obținut o eroare de 2,6% iar pentru subțiere 3,6%.

Pentru a putea măsura subțierea peretelui reperului format, am secționat și am măsurat cu șublerul electronic reperele formate la diferite adâncimi.

În timpul experimentului am uns foile de tablă supuse la ambutisare, am realizat alimentarea dispozitivului cu foi de tablă debitate circular în prealabil la diametrul de 210 mm și am acționat mașina de tracțiune la diferite regimuri.

Tot la faza experimentală am fotografiat întreg experimentul, am setat progresiv viteza de coborâre a poansonului mașinii, am reglat efectul de decalare între forța transmisă prin poanson de la mașină și cea înregistrată prin doza tensometrică la sistemul de achiziție.

7.3. Perspective de dezvoltare a temei

În ceea ce privește posibilitățile de continuare a studiului de față pot preciza următoarele:

Cu prezentul model numeric validat în capitolul anterior se poate face predicții în timp real acoperitoare pentru o multitudine de parametri setați în prealabil atât la mașină de ambutisat cât și la modul de abordare a procesului (forțe de apăsare la inel, forțe de ambutisare, timpi de lucru, viteze instantanee). Prin aceasta se elimină consumul excesiv de material folosit pentru setarea parametrilor de lucru ai mașinii, timpii efectivi de lucru și un rol important este cel al susținerii în timp a bunei mentenanțe a mașinilor de ambutisat.

Propun realizarea unui studiu de simulare cu ajutorul modelului în care la adâncimile critice de ambutisare unde procesul necesită o a doua trecere sau mai

multe, realizarea unei ambutisări combinate rece-cald în zona critică pentru a vedea rezultatele în situația creșterii adâncimii de ambutisare prin realizarea unei recoaceri locale a foi de tablă pentru detensionare.

7.3.1. Dezvoltarea cercetărilor teoretice

1. Determinarea plajelor de valori ale constantelor utilizate de program care țin cont de natura materialului și calitatea tablei de ambutisat
2. În cazul în care determinând modulele de elasticitate și tensiunile pentru cele trei zone specifice majoritar elastică, elasto-plastică și majoritar plastică se poate face o predicție asupra cauzelor intrării forfecare și fisuri la nivelul grăunților care ulterior duc la generarea fisurilor și rupturilor pe suprafața reperului.
3. Determinarea evoluției dinamice tensiune-deformație funcție de un regim variabil optimal (viteză variabilă de avans a poansonului la ambutisare respectiv forță variabilă de ambutisare) pe produse industriale dedicate.

7.3.2. Dezvoltarea cercetărilor experimentale

1. Crearea pentru simularea numerică dedicată în cazul produselor din industrie bine definite a unei biblioteci speciale atașate cu elemente deformabile și nedeformabile declarate cu un anumit cod pentru a satisface condițiile reale optime ale unor variabile necesare simulării.
2. Realizarea unor modele numerice avansate pentru predicția ruperilor, forfecărilor respectiv deformațiilor de tipul subțierilor în secțiuni anterioare secțiunile cu rupere
Se pot face o serie de predicții pentru a elimina eventuale fisuri în zone periculoase și mări adâncimea de ambutisare la rece prin implementarea în construcția matriței a unui circuit inductiv de încălzire locală.
Tratamentul termic de recoacere realizat are rolul de efect de descărcare a tensiunilor din tabla de material cât și a ecrusării acumulate în timpul procesului.
Acesta este aplicat într-o secvență precedentă în care tensiunile nu sunt periculoase pentru fisuri, astfel materialul recopt avansează sub acțiunea ambutisării până la o secvență unde tensiunile excesive dacă nu ar fi fost descărcate prin tratamentul de recoacere ar fi produs fisuri și rupe de material.
3. Realizarea unui experiment de ambutisare pe mașină de ambutisat cu dublă acțiune folosind timbre tensometrice de presiune locală pentru înregistrarea dinamică a deformațiilor și a tensiunilor la un regim variabil optimal bine stabilit

În capitolul 8 face încheierea tezei și este dedicat titlurilor bibliografice din cercetare, respectiv titlurile bibliografie cu concepția proprie a autorului.