**Studii Şi cercetĂri asupra procesului de sudare**

**in curenŢi de inaltĂ frecvenŢĂ a unor polimeri**

**rezumat**

**CONDUCATORI: DOCTORAND:**

**Prof.dr.ing.Ion Mitelea Ing. Nicolaie Vărzaru**

Obiectivele tezei de doctorat sunt:

* Aprofundarea mecanismului de realizare a sudurilor fără defecte de continuitate a materialului şi cu proprietaţi reproductibile.
* Definirea unei metodologii de calcul pentru procesul de sudare CIF.
* Abordarea statistică a validarii procesului de sudare.
* Influenţa caracteristicilor materialelor (structura, grosime etc) asupra procesului de sudare.
* Stabilirea condiţiilor de sudabilitate a polimerilor.

In introducere se prezintă necesitatea procesului de sudare cu curenţi de înaltă frecvenţă în industria constructoare de autoturisme, modul şi condiţiile de realizare al acestuia.

Capitolul 1 **Mărimi fizice fundamentale ale procesului de sudare** prezintă definiţii, fenomene, relaţii matematice pentru marimile fizice ale procesului de sudare şi anume:

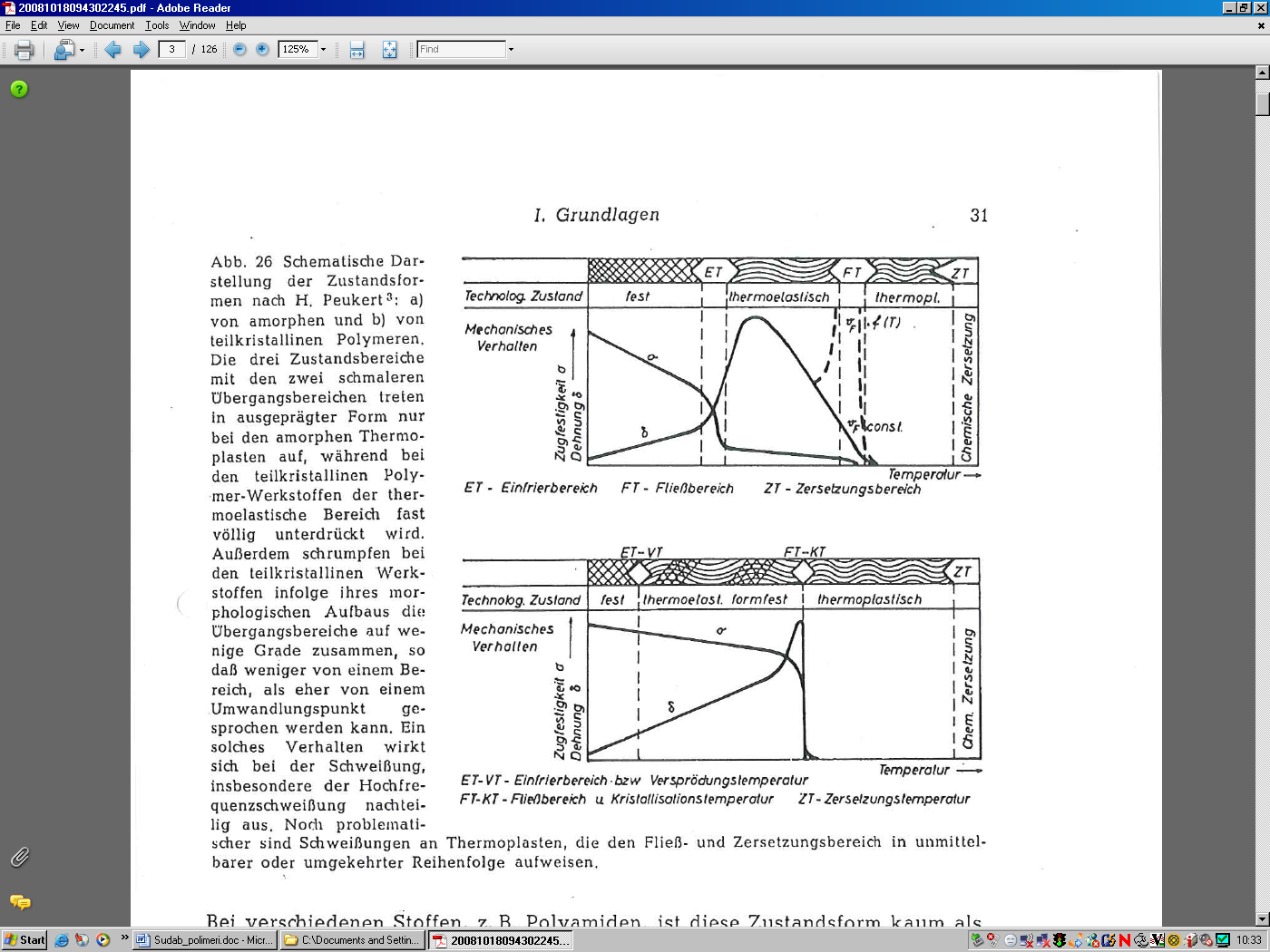
* Inducţia electrică,
* Polarizarea dielectrică,
* Câmpul electric si condensatorul în curent continuu,
* Câmpul electric si condensatorul în curent alternative.

In procesul de sudare CIF matriţa de sudare este tratată ca şi condensator, în care electrozii reprezintă armăturile acestuia, iar foliile de polimeri ce se sudează dielectricul.

Capitolul 2 **Cerinţe impuse polimerilor la sudarea cu curenţi de înaltă frecvenţă** redă influenţa structurii polimerilor asupra sudabilităţii CIF a acestora.

Se descriere materialul policlorura de vinil notată PVC care este utilizat în experimente.

Prezintă formele de stare ale polimerilor amorfi şi partial cristalini cu creşterea temperaturii şi influenţa acestora asupra caracteristicilor mecanice a îmbinarii sudate.



**Comportarea mecanică**

**Solidă**

**Termoelastică**

**Termoplastică**

**DV = Domeniul de vitrifiere**

**DCu= Domeniul de curgere**

**DD= Domeniul de descompunere**

**TEMPERATURA**

**DV**

**DCu**

**DD**

**Vcu= F(T)**

**Rm**

**A**

**Vcu constant**

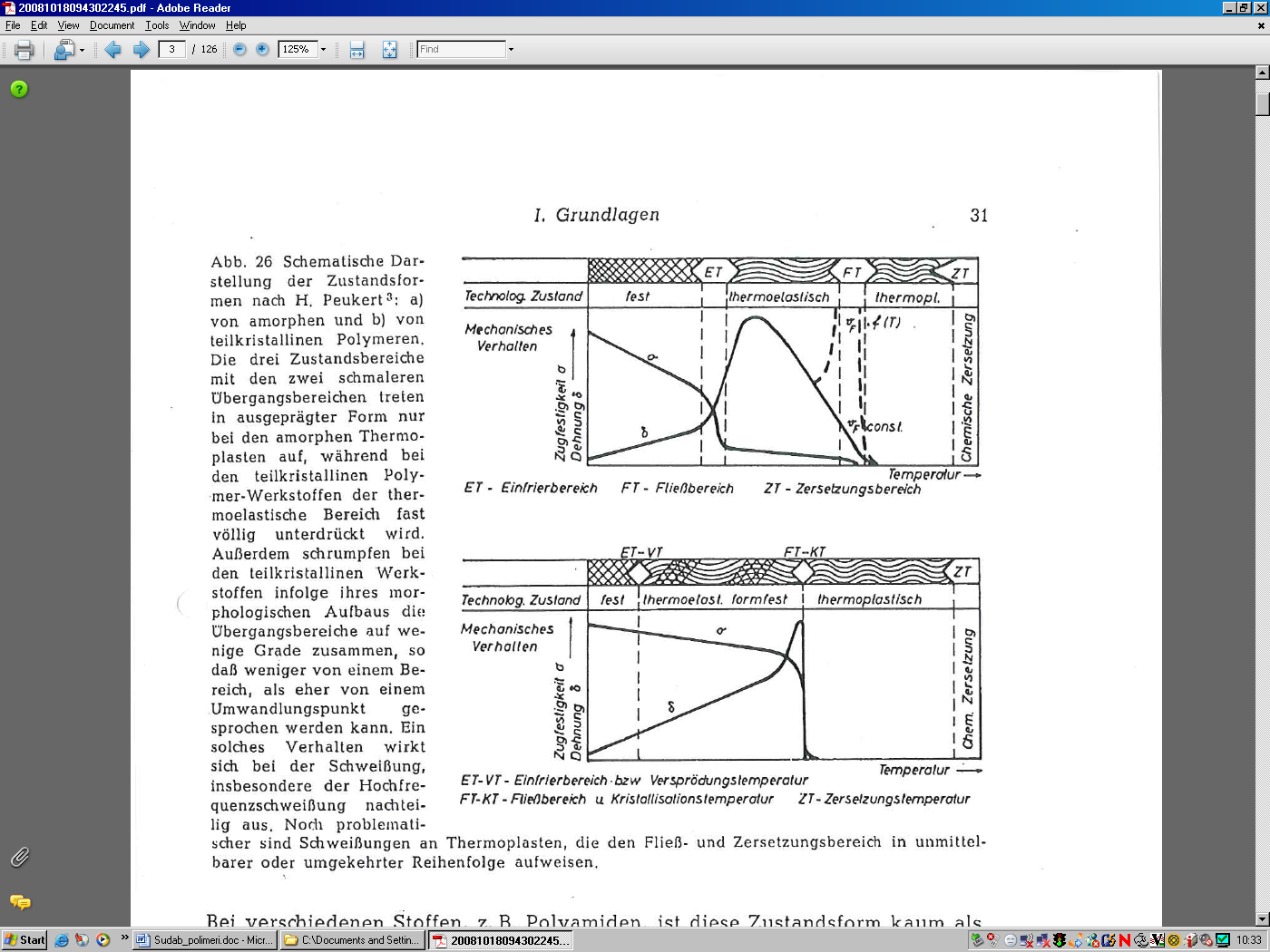
**Rm**

**A**

**Descompunere chimică**

**Stare tehnologică**

Fig. 1. Reprezentarea formelor de stare pentru polimerii amorfi [42]



**TV – DF = Temperatură de tranziţie vitroasă – Domeniul de fragilizare**

**TCu = Temperatura de curgere**

**DD = - Domeniul de descompunere**

**DD**

**Comportarea mecanică**

**Stare tehnologică**

**Solidă**

**Termoelastică**

**Termoplastică**

**TEMPERATURA**

**Rm**

**A**

**Rm**

**A**

**TCu**

**TV- DF**

**Descompunere chimică**

**Fig. 2.** Reprezentarea schematică a formelor de stare pentru polimerii parţiali cristalini [42]

In figurile 1; 2 se prezinta evoluţia caracteristicilor mecanice cu creşterea temperaturii:

Rm = rezistenţa la rupere,

Vcu = viteza de curgere,

A = Alungire la rupere.

La termoplastele cu structură amorfă apar trei domenii distincte de stare, cu două domenii mai înguste de tranziţie odata cu cresterea temperaturii, lucru ce confera stabilitate in ceea ce priveste sudabilitatea.

La polimerii parţiali cristalini domeniul termoelastic este complet suprimat în funcţie de gradul de cristalizare, cu creşterea temperaturii termoplastul devine foarte puţin vîscos (aproape lichid) fapt care afectează cusătura sudată şi zona de tranziţie.

In experiment se evaluează sudabilitatea foliilor de PVC cu grosimea de 0,4 mm prin matricea parametrilor care are la bază analiza prin metoda Design of Experiment (DOE), metodă care abordează eficient şi eficace relaţia cauză – efect dintre variabilele procesului şi performanţa acestuia.

Pentru a determina sudabilitatea materialului se încălzeşte progresiv placa de presare de aluminiu pornind de la 50oC până la 150oC, care este temperatura apropiată de temperatura de descompunere a policlorurii de vinil, timpul de presare este variat de la 5sec la 60 sec şi prin introducerea mostrelor la presiune constanta P=50 bari se obţin îmbinari sudate cu caracteristici diferite.

In cazul prezentat variabilele procesului sunt timpul şi temperatura, iar performanţa este redată prin forţa de rupere.

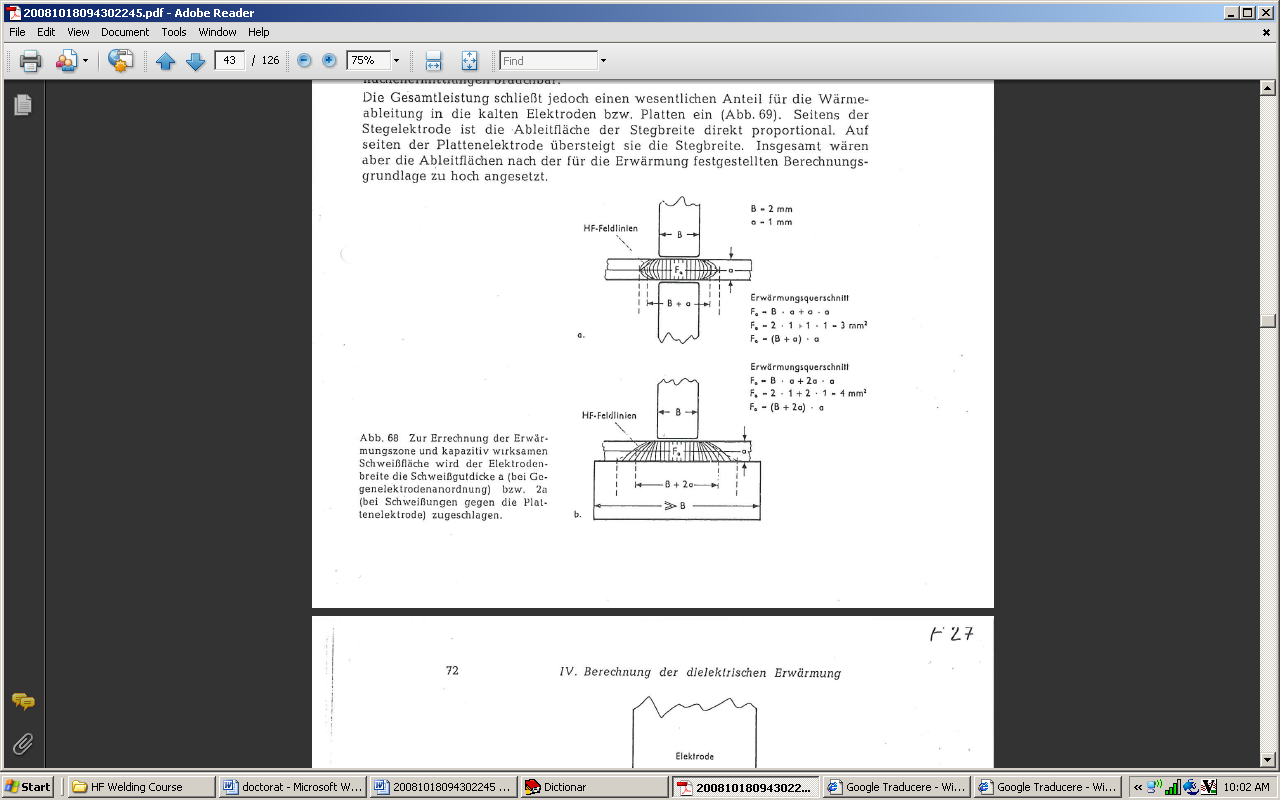
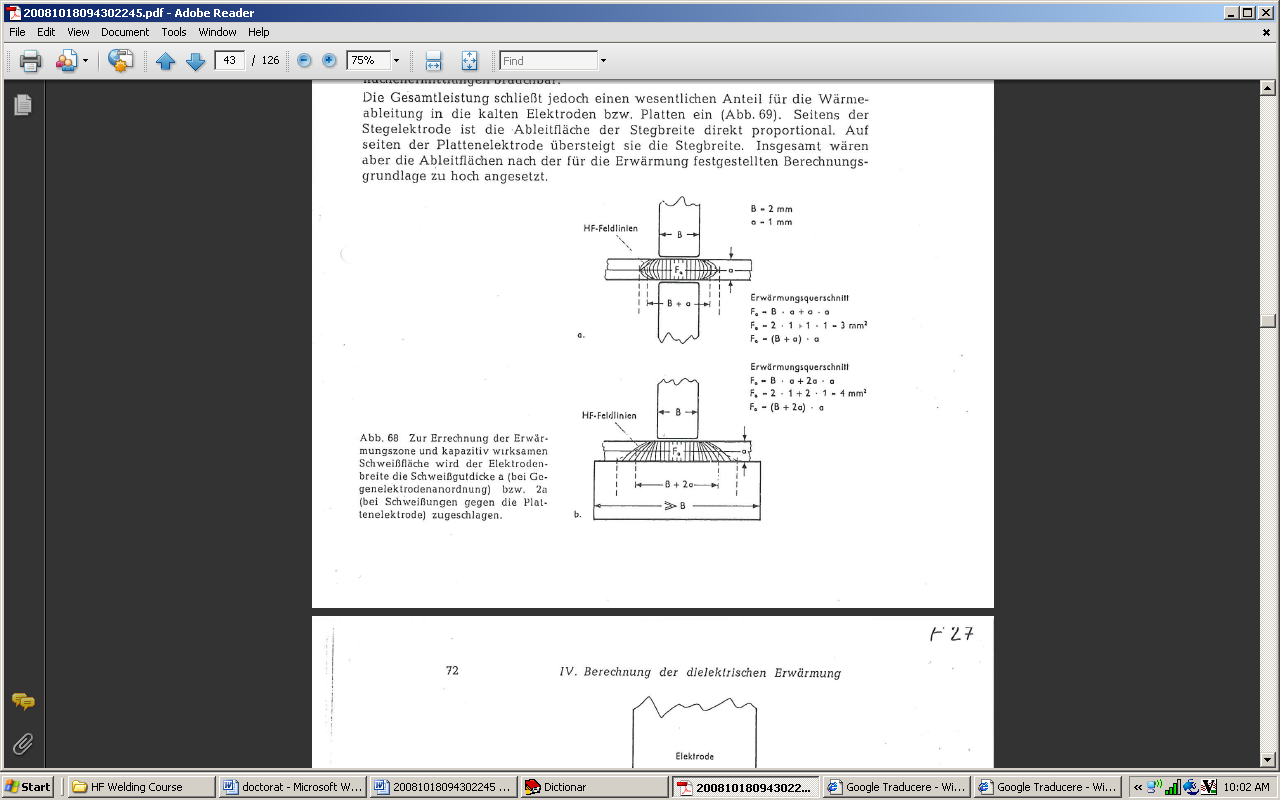
Din acest experiment se observă că temperatura la care este adus materialul în vederea sudării, timpul de sudare şi presiunea de sudare sunt parametrii care influentează major caracteristicile îmbinării sudate.

Capitolul 3 **Calculul încălzirii dielectrice** redă modul de calcul al capacitaţii ansamblului de sudare şi variaţia în diferite faze ale acesteia, considerând electrozii ca armături ale condensatorului, iar foliile de PVC ce se sudează dielectric.

Abordarea procesului de sudare CIF, concentrat pe puntea de sudare, este insuficientă ca bază de calcul, deoarece zona de încălzire datorată energiei CIF, este dispersată pe orizontală depăşind suprafaţa de contact a elecrodului.

In figurile 3a şi 3b este reprezentată secţiunea transversală a încălzirii reale:

1. pentru electrozii de sudare cu punte simetrica, lăţimea medie de încalzire este B + a;
2. pentru electozii de sudare cu punte asimetrică este B + 2a.



Liniile câmpului CIF

Liniile câmpului CIF

a)

b)

B= 4 mm

a = 1,2 mm

B+a

B

B

B+2a

>>B

a

a

Fa

Fa

**Fig. 49.** Secţiunea transversală a încălzirii reale:

1. electrod pe un electrod simetric opus- sudare simetrică,
2. sudarea pe o placă electrod- sudare asimetrică.

Calculul zonei de încălzire şi zonei de sudare efectiv capacitive a lăţimii de sudare pentru secţiunea izolarii termice varianta a) s-a calculat cu formula 1.

Fa = B \* a + a\* a= (B + a) \* a (1)

Fa = (B + a) \* a

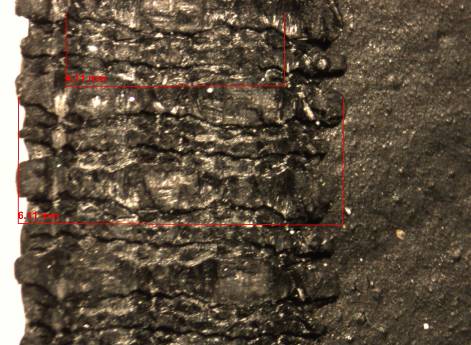
Fa = (4 + 1,2) \* 1,2 = 5,8 mm2

Sectiunea de-a lungul izolarii termice varianta b) s-a calculat cu formula 2:

Fa = (B + 2a) \* a (2)

Fa = (4 + 2 \* 1,2) \* 1,2 = 7,7 mm2

In figura 4 este reprezentată secţiunea unei îmbinări sudate a foliilor PVC cu grosime de 0,6 mm, sudate simetric cu electrozi având lăţimea de 4 mm, vizualizată la microscop tip Carl Zeiss, imagine mărită de 50 de ori. Din imagine se poate observa că zona încălzită a materialului este mai mare decât lăţimea electrozilor, fenomen vizualizat în figura 50.



**1mm**

**Fig. 4.** Reprezentarea încălzirii îmbinarii sudate a foliilor

PVC cu grosime de 0,6mm, x50

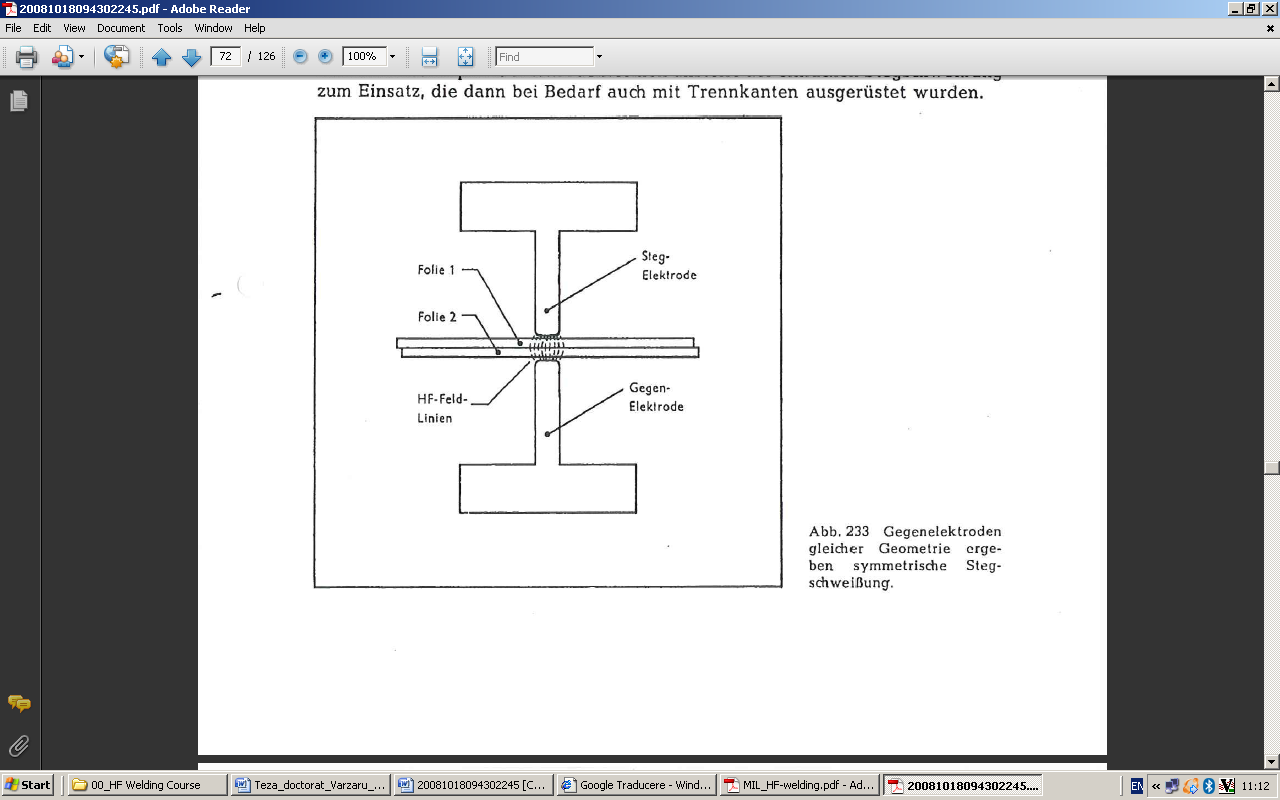
Se determină prin calcul şi nomograme caracteristicile optime ale electrodului (dimensiunea, temperatura, toletanţa etc) şi ale maşinii de sudare CIF.

Concluziile partiale ale acestui capitol sunt:

* Pentru controlul fluxului de material topit în timpul procesului de sudare este important să utilizăm soluţii constructive adecvate, în funcţie de designul produsului sudat.
* La sudarea foliilor PVC este importantă menţinerea temperaturii electrodului în limite optime, prin folosirea materialelor izolatoare.
* Ansamblul generator sudare CIF- presă de sudare – matriţă sudare trebuie atent selectate pentru asigurarea unei cusături sudate conformă cu specificaţiile impuse.

Capitolul 4 **Variante ale procesului de sudare al termoplastelor**  prezintă variante şi comparaţii CIF:

* Sudarea simetrică



Electrodul superior

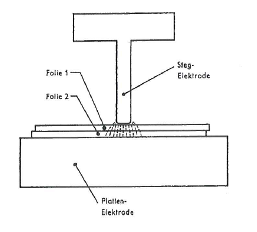
Contraelectrodul

Folia 1

Folia 2

Liniile campului generat de CIF

* Sudarea asimetrică



Folia 1

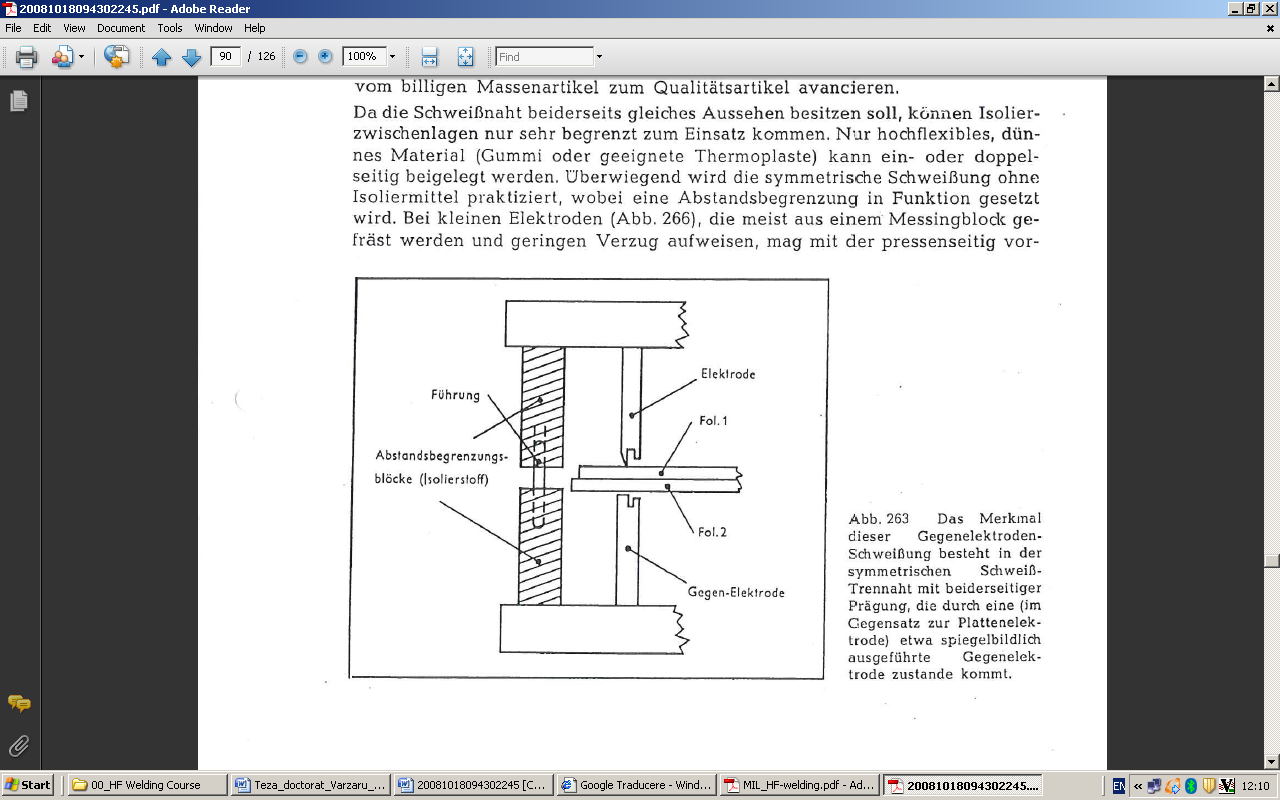
Folia 2

Electrod

Electrod placa

Material izolator

* Sudarea combinată cu tăirea muchiilor



Contraelectrod

Folia 1

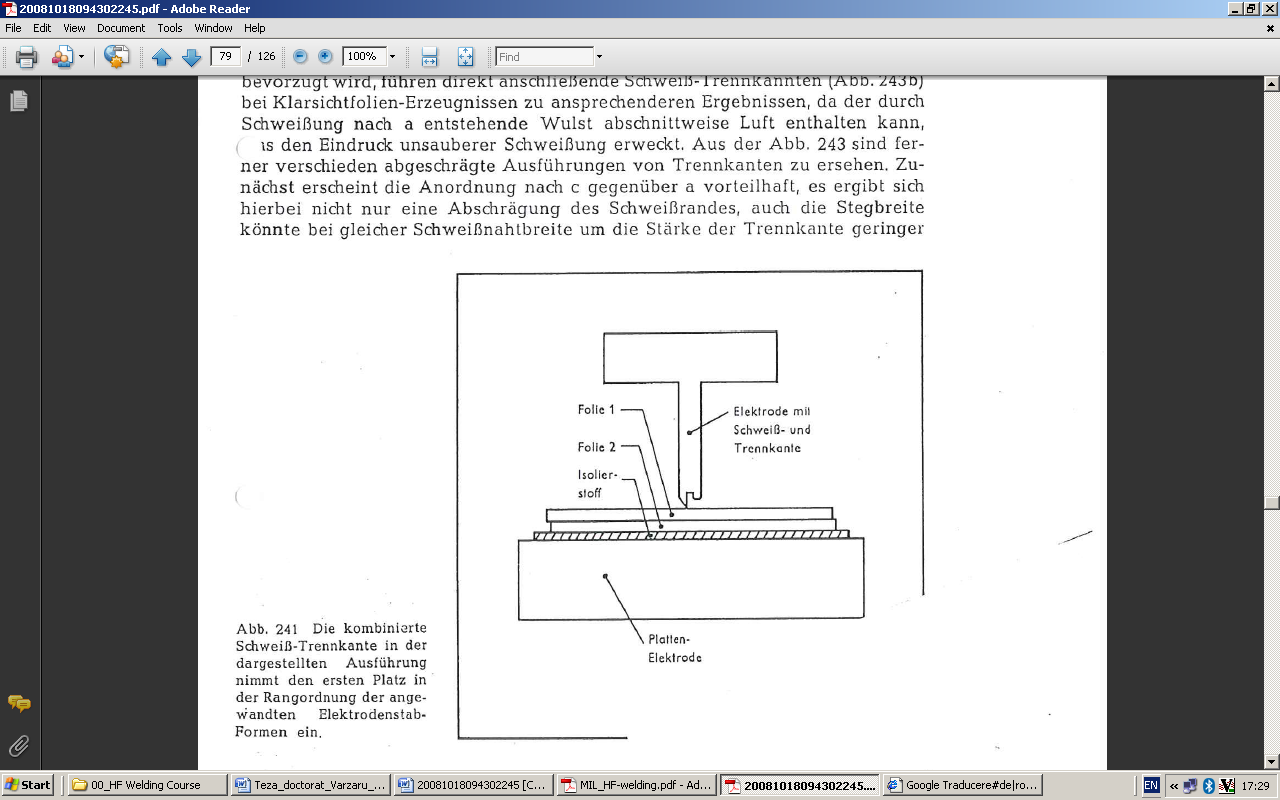
Electrod

Folia 2

Distantieri prescrişi

din material izolator

Conductor



Electrod cu muchie taietoare

Electrod placa

Folia 1

Folia 2

Strat izolator

Procedura experimentală determină statistic variaţia gradientului termic pe secţiune în funcţie de grosimea materialului şi varianta de sudare folosind funcţia regresie de gradul 2 prin programul de prelucrare statistica Minitab.

Sudarea CIF simetrică este procedeul favorit în practică datorită avantajelor de dispunere simetrică a liniilor de câmp, având cea mai mare eficienţă energetică la sudarea foliilor de PVC sau alţi polimeri.

La sudarea asimetrică, utilizând placa de bază pe post de contaelectrod, la scurt timp după aplicarea CIF, simetria câmpului generat se pierde astfel încât este necesară folosirea unui strat de material izolator care menţine temperatura maximă la nivelul suprafeţei de contact dintre folii, dar nu poate restabili complet simetria gradientului de temperatură.

Din acest motiv rezistenţa la rupere a cusăturii sudate obţinută prin CIF este superioară în cazul sudării simetrice în comparaţie cu sudarea asimetrică.

Procesul de sudare al foliilor cu grosime mică (sub 0,2 mm) necesită o energie şi o intensitate a câmpului mai ridicată, iar rezultatele obţinute au o reproductibilitate scazută.

Sudarea combinată, în special cu tăierea conturului reduce costurile de producţie, dar trebuie aplicată atent respectând prescriptiile stabilite empiric şi anume, electrozii de sudare şi marginile tăietoare trebuie să fie unul lângă celălalt sau la o distanţa care de obicei este sub 30% din lătimea electrodului.

La sudarea CIF variaţia gradientului de temperatură este dependentă de grosimea foliilor şi de varianta de sudare.

Capitolul 5 **Validarea procesului de sudare** prezintă echipamentul utilizat în experimente, prezentarea fluxului tehnologic şi redă metodologia validării procesului prin interpretări statistice.

Din histogramele de capabilitate a forţei de rupere ale îmbinarii sudate observăm o distribuţie mai bună odată cu creşterea presiunii de sudare şi a presiunii de răcire aplicate în timpul procesului, aceasta compensând diferenţele de nivel ale electrozilor pe toata suprafaţa matriţei de sudare.

De asemenea, putem observa că pentru a obţine forţe de rupere similare la grosimi diferite este nevoie de parametrii de sudare mai duri pentru grosimi mai mari ale materialelor ce urmează a fi sudate. Pentru a influenţa cât mai puţin structura de bază a materialelor PVC, odată cu creşterea grosimii materialelor ce urmeaza a fi sudate se folosesc regimuri de sudare în trepte, evitându-se regimuri dure de sudare care ar putea genera temperaturi de amorsare a descompunerii a materialului, riscând scurtcircuite între electrozii matriţei de sudare.

Parametrii tehnologici stabiliţi experimental pentru procesul de sudare în curenţi de înaltă frecvenţă a policlorurii de vinil demonstrează că acesta este stabil atât ca reglaj cât şi ca precizie, asigurând cerinţele de calitate impuse pentru îmbinările sudate.

Capitolul 6 **Controlul calităţii îmbinărilor sudate** prezintă defecte posibile şi modalităţi de soluţionare întâlnite de-a lungul experimentelor.

Se analizează defectul pornind de la diagrama „Os de peşte” sau Ishikawa redată în figura 5.

**Posibile cauze**

**METODA MATERIALE**

**OPERATOR MAŞINA MEDIU**

**Material rupt în zona imbinarii sudate**

**EFECT**

**Grosime mică**

**Parametrii process incorecti**

**Neinstruit**

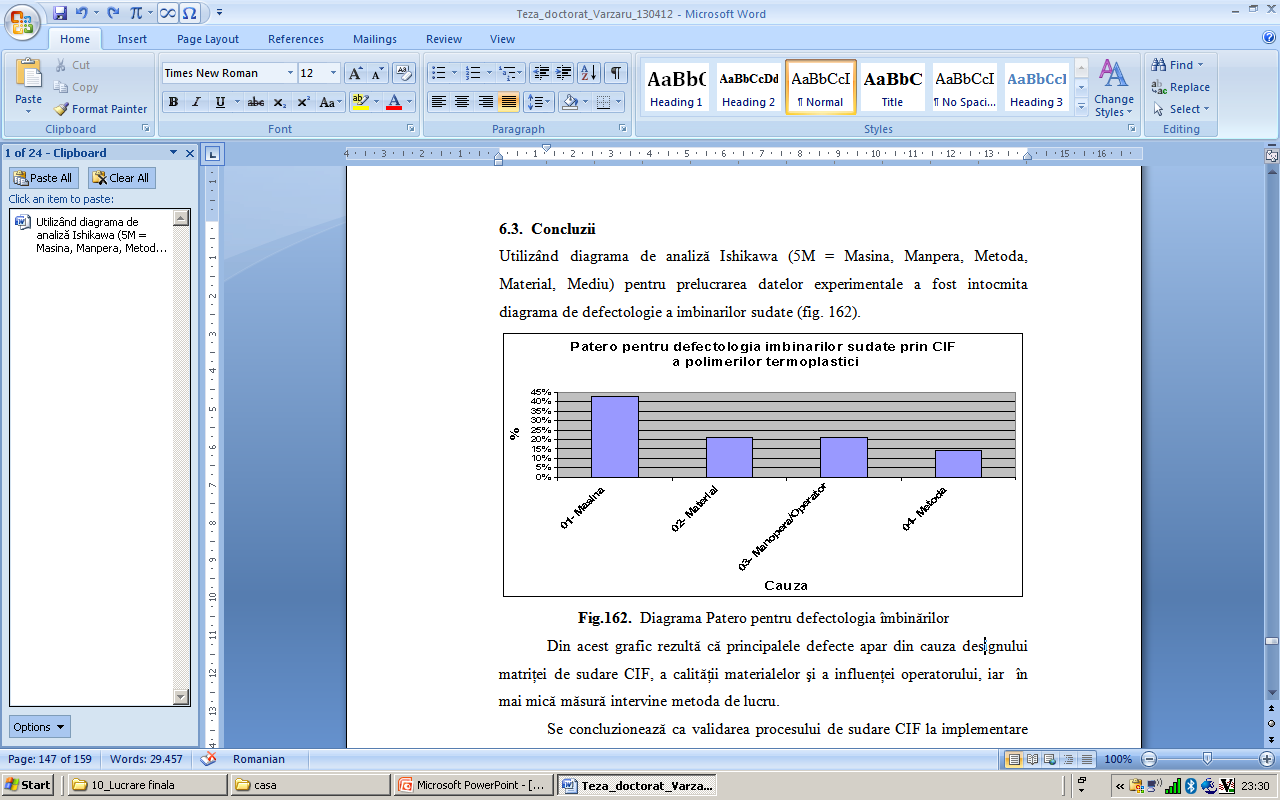
**Indisciplinat**

**Aparate indicatoare defecte**

**Temperatură mare**

**Fig. 5.** Reprezentarea diagramei de analiză Ishikawa

Aceasta metodă de analiză este foarte complexă deoarece ţine cont de toate variabilele care pot infuenţa procesul. Prin prelucrarea datelor experimentale a fost întocmită diagrama de defectologie Pareto a îmbinarilor sudate redată în fig.6 .



**Fig. 5.** Reprezentarea diagramei de defectologie Pareto

Capitolul 7 **Concluzii şi contribuţii originale** încheie lucrarea sumarizând concluziile parţiale ale fiecarui capitol şi punctând contribuţiile în domeniul sudării CIF a foliilor de PVC:

* tratarea matriţei de sudare ca şi condensator şi algoritmul de calcul al acesteia;
* stabilirea corelaţiei dintre mărimile fizice şi parametrii de proces utilizând prelucrarea statistică;
* abordarea statistică a validarii procesului de sudare prin tehnici 6 Sigma;
* fundamentarea ştiinţifică a influenţei gradientului termic pe secţiune asupra calităţii îmbinărilor sudate;
* optimizarea parametrilor de proces şi aprofundarea mecanismului de realizare a sudurilor fără defecte de continuitate a materialului şi cu proprietaţi reproductibile.