

MINISTERUL ÎNVĂȚĂMĂNTULUI
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMIȘOARA
FACULTATEA DE MECANICĂ

CATEDRA TEHNOLOGIE MECANICĂ

dipl. ing. **Mircea Dorin Vasilescu**

CONTRIBUTII LA PRELUCRAREA MATERIALELOR CU
JET DE APA

Teză de doctorat

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific :
Prof. dr. doc. st. ing. dhc. **AUREL NANU**

TIMIȘOARA, 1998

INTRODUCERE

În natură vântul și apa acționează asupra acestora modificându-le. S-au realizat astfel frumuseți sculptate în piatră de apă de tipul cascadelor, monumente de tipul statuilor de pe Munții Bucegi și alte minunății naturale.

Pornind de la acestea la începutul deceniului 7 a început cercetarea procesului de prelucrare cu jet de apă și mai apoi cu jet de apă cu abraziv, iar aplicarea industrială este datată în deceniul 8, al prezentului secol. El este în continuă expansiune acoperind domenii dintre cele mai diverse: alimentar, prelucrarea lemnului, prelucrarea materialelor metalice și nemetalice, etc.

În țara noastră există încercări de studiere a fenomenului tehnologic de prelucrare cu jet de apă, dezvoltate în mai multe centre universitare din București, Sibiu, Petrosani și Timișoara. Pe plan mondial s-au făcut și se fac studii în mai multe centre mari universitare din SUA, Anglia, Germania, Japonia, Rusia, China, Portugalia, Olanda, Spania și Franța.

Pornind de la aceste considerente prezenta lucrare își propune să contribuie la aprofundarea fenomenelor de interacțiune care apar între jetul de fluid și material, prin determinarea cantităților de material îndepărtate de jetul de apă, jetul de apă cu abraziv, particulele abrazive și de picături de apă. Se va face o analiză experimentală a proceselor de prelucrare cu fluide pentru presiuni de până la 900 bari și se vor determina modelele matematice aferente.

La nivelul instalațiilor de cercetare, se vor prezenta standurile realizate de autor pentru studierea interacțiunilor dintre jetul de apă și material, jetul de apă cu particule abrazive și material și respectiv cele pentru studierea interacțiunilor picătură de apă material și particulă abrazivă singulară și material.

La nivelul procesului de prelucrare, se va urmări identificarea modului de realizare a orificiilor în material la găurire și prin similitudine la tăierea materialelor cu jet de apă și respectiv jet de apă cu abraziv.

Teza de doctorat este structurată în 7 capitole, cuprinzând în cele 157 pagini, 114 figuri, 69 tabele, 85 formule și 120 referințe bibliografice, din care 31 elaborate de autor iar 77 din ultimii 10 ani..

*

* * *

Deși lucrarea este semnată de un singur autor, ea nu ar fi putut fi realizată fără ajutorul celor care au constituit un sprijin și suport pentru întreprinderea ei.

Autorul ține să mulțumească îndeosebi conducătorului științific, **prof. dr. doc. st. ing. dhc. AUREL NANU**, creatorul unei școli românești de prelucrări neconventionale, care cu deosebită competență profesional-științifică a condus această lucrare și căruia dorește să-i exprime cele mai sincere și respectuoase mulțumiri și recunoștință pentru sprijinul, îndrumările, sugestiile, ideile și încurajările oferite.

Autorul dorește să mulțumească colectivului Catedrei Tehnologie Mecanică din Universitatea "POLITEHNICA" din Timisoara, în special prof. dr. ing. Aurel Brestin pentru sprijinul nepretuit acordat, colegilor conf. dr. ing. Mnerie Dumitru, conf. dr. ing. Herman Richard și sl. dr. ing. Cicală Eugen pentru ajutorul acordat.

În același timp mulțumiri se cuvin acordate unor colegi din afara catedrei care l-au ajutat pe autor la realizarea unor componente și subansamble care au fost folosite la realizarea standurilor experimentale. Dintre aceștia doresc să menționez pe dipl. ing. Iftimiciuc Nicolae șef secție la STIMEL Timisoara, și dipl. Ing. Binchiciu H. de la TIMASUD. În același timp doresc să mulțumesc și pe această cale celor două firme care au acordat un sprijin semnificativ la realizarea unor încercări experimentale în cadrul tezei reprezentate prin dipl. ing. Marinescu N. și dipl. ing. Erimia I. de la Schela de Petrol Sandra și respectiv dipl. ing. Erdei Francisc inginer șef ARLO Oradea.

Nu în ultimul rând autorul își îndreaptă cu respect și dragoste toate sentimentele de mulțumire pentru răbdarea, înțelepciunea, înțelegerea și sprijinul moral pe care familia sa i l-a acordat pe tot parcursul elaborării acestei lucrări.

AUTOR,
Sl. dipl. ing. Mircea Dorin Vasilescu



CUPRINS

INTRODUCERE	
CUPRINS	1
1. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE PRELUCRARE NECONVENTIONALE	3
1.1. STUDIUL COMPARATIV AL PRELUCRĂRII MATERIALEOR PRIN TEHNOLOGII NECONVENTIONALE	3
1.2. BIBLIOGRAFIE	5
2. STADIUL ACTUAL AL PRELUCRĂRII MATERIALELOR CU JET DE FLUIDE (APĂ SAU APĂ CU ABRAZIV)	6
2.1. COMPARATIE INTRE PRELUCRAREA CU JET CU ALTE PROCEDEE DE PRELUCRARE CU ENERGII CONCENTRATE	6
2.2. COMPARATIE INTRE PRELUCRAREA CU JET DE APĂ SI CEA DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ CU ABRAZIV	8
2.3. SCOPUL TEZEI DE DOCTORAT	11
2.4. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL	11
2.5. BIBLIOGRAFIE	11
3. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND MECANISMUL PRELEVĂRII DE MATERIAL LA PRELUCRAREA CU JETURI DE FLUIDE	13
3.1. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA MECANISMULUI PRELEVĂRII DE MATERIAL CU JET DE APĂ	13
3.1.1. Clasificarea jeturilor de apă si stabilirea limitei de eroziune a jetului de apă	13
3.1.2. Consideratii asupra limitelor de eroziune a materialelor cu jet de apă	15
3.1.3. Studiul structurii si formei jetului de apă	17
3.1.4. Studiul experimental asupra comportamentului materialului la prelucrarea cu jet de apă	24
3.1.5. Parametrii jetului de apă si modul lor de influență asupra procesului eroziv	35
3.2. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA MECANISMULUI PRELEVĂRII DE MATERIAL CU JET DE APĂ CU ABRAZIV	42
3.2.1. Consideratii asupra limitelor de eroziune a materialelor cu jet de apă cu abraziv	42
3.2.2. Consideratii generale asupra comportării materialelor la prelucrarea cu particule abrazive	43
3.2.3. Consideratii fizice asupra mecanismului de îndepărtare a materialului cu particule abrazive	63
3.2.4. Studiul structurii si formei jetului de apă cu abraziv	65
3.2.5. Parametrii jetului de apă cu abraziv	67
3.3. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL	69
3.4. BIBLIOGRAFIE	70
4. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JETURI	73
4.1. MODELAREA STATISTICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ PRIN METODA EXPERIMENTULUI PSIHOLGIC	73
4.1.1. Consideratii generale	73
4.1.2. Stabilirea parametrilor prelucrării si a indicatorilor de performanță	73
4.1.3. Intocmirca chestionarului	73
4.1.4. Sintetizarea informatiilor si corectia valorilor primare	73
4.1.5. Ponderarea opiniilor specialistilor si verificarea gradului de consens a acestora	78
4.1.6. Reprezentări grafice	83
4.1.7. Gruparea factorilor pe grupe de interes	84
4.1.8. Interpretarea rezultatelor	89
4.2. MODELAREA STATISTICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APA CU ABRAZIV PRIN METODA EXPERIMENTULUI PSIHOLGIC	93
4.2.1. Consideratii generale	93
4.2.2. Stabilirea parametrilor prelucrării si a indicatorilor de performanță	93
4.2.3. Intocmirca chestionarului	93
4.2.4. Sintetizarea informatiilor si corectia valorilor primare	93
4.2.5. Ponderarea opiniilor specialistilor si verificarea gradului de consens	93

4.2.6. Reprezentări grafice	94
4.2.7. Gruparea factorilor pe grupe de influență	95
4.2.8. Interpretarea rezultatelor	97
4.3. MODELAREA MATEMATICĂ PRIN EXPERIMENTUL ACTIV A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ	100
4.3.1. Considerații generale	100
4.3.2. Modelarea matematică prin experimentul activ	101
4.3.3. Definirea semnificației parametrilor utilizați și a nivelului factorilor	102
4.3.4. Definirea fizică a formulărilor de calcul pentru mărimile care fac obiectul studiului la prelucrarea materialelor cu jet de apă	103
4.3.5. Studiul influenței presiunii jetului de apă asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă	105
4.3.6. Studiul influenței timpului de prelucrare asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă	106
4.3.7. Studiul influenței diametrului duzei asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă	108
4.3.8. Studiul influenței distanței duză-material asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă	108
4.3.9. Stabilirea modelului regresional pentru procesul de prelucrare cu jet de apă	110
4.3.10. Studiul modului în care factorii influențează rugozitatea suprafeței tăieturi realizate la prelucrarea materialelor cu jet de apă	117
4.3.11. Studiul prelucrării cu jet de apă cu abraziv	119
4.4. STUDIUL SPECTROMETRIC A TEMPERATURII REALIZATE LA PRELUCRAREA CU JET DE FLUID	122
4.5. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL	122
4.6. BIBLIOGRAFIE	123
5. PROIECTAREA STANDURILOR EXPERIMENTALE	124
5.1. PROIECTAREA STANDURILOR PENTRU PARTICULE SINGULARE	124
5.1.1. Considerații generale	124
5.1.2. Accelerator de particule singulare de tip pneumatic	127
5.1.3. Accelerator de particule singulare de tip arc	129
5.2. PROIECTAREA STANDURILOR PENTRU JET DE APĂ ȘI JET DE APĂ CU ABRAZIV	131
5.2.1. Considerații generale	131
5.2.2. Proiectarea standului pentru prelucrare cu jet de apă continuă	132
5.2.3. Proiectarea dispozitivului pentru prelucrare cu jet de apă cu abraziv	139
5.3. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL	140
5.4. BIBLIOGRAFIE	140
6. CONTRIBUTII MANAGERIALE ȘI TEHNOLOGICE PRIVIND ACTIVITĂȚILE PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ ȘI JET DE APĂ CU ABRAZIV	142
6.1. ALEGEREA PROCEDEULUI DE PRELUCRARE LA PRELUCRAREA CU JET DE FLUID	142
6.2. STUDIAREA DOMENIILOR DE APLICARE ALE PRELUCRARILOR CU JET DE APA CU ABRAZIV	146
6.3. TIPURI DE UTILAJE UTILIZATE LA PRELUCRAREA CU JET DE FLUIDE	147
6.4. CHELTUELI PRIVIND IMPLEMENTAREA INDUSTRIALĂ A PROCEDEULUI DE PRELUCRARE CU JET DE FLUID	153
6.5. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL	154
6.6. BIBLIOGRAFIE	154
7. CONCLUZII	156

1. CLASIFICAREA PROCEDEELOR DE PRELUCRARE NECONVENTIONALE

1.1. STUDIUL COMPARATIV AL PRELUCRĂRII MATERIALELOR PRIN TEHNOLOGII NECONVENTIONALE

Domeniul prelucrărilor cu energii concentrate [1], se bazează pe acțiunea directă și localizată a unui mediu energetic, asupra materialului de prelucrat. El poate fi împărțit în trei mari grupe:

- prelucrări cu microparticule;
- prelucrări cu macroparticule;
- prelucrări cu câmpuri.

În **fig.1.1.** se prezintă prelucrarea materialelor cu ajutorul microparticulelor în mișcare. Se observă că energia este obținută prin accelerarea unor microparticule de tip cuantă de lumină pentru prelucrare cu fasciculul laser, electroni pentru prelucrare cu fasciculul de electroni, ioni pentru prelucrare cu fasciculul de ioni și molecule de gaze cu temperatură ridicată pentru prelucrare cu jet de plasmă.

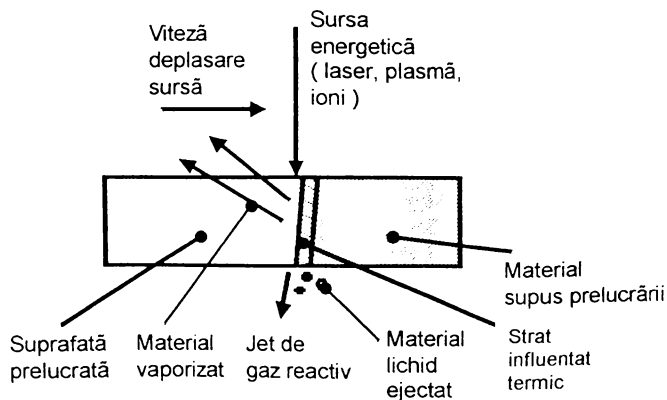


Fig.1.1. Prelucrarea cu microparticule [4.], [5.], [6.]

În **fig.1.2.** se prezintă prelucrarea materialelor cu ajutorul macroparticulelor în mișcare cu viteză mare, care se găsesc în suspensie într-un mediu lichid sau sunt legate prin presare, respectiv lipire de un disc solid. Se observă că energia necesară pentru prelucrare

este realizată prin deplasarea unor macroparticule de tip apă sau abraziv, legate sau în suspensie cu viteze mari sau mici.

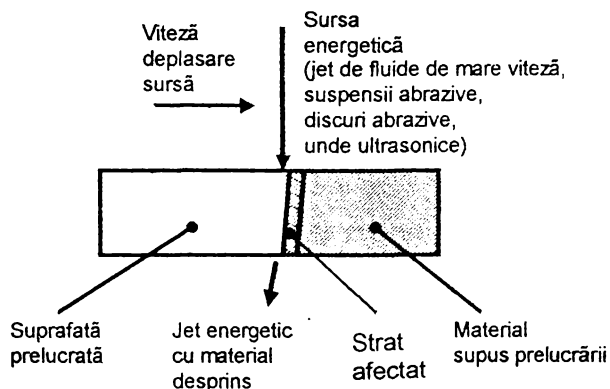


Fig.1.2. Prelucrare cu macroparticule [1.], [6.]

În **fig.1.3.** se prezintă prelucrarea materialelor cu ajutorul câmpului chimic și/sau electric. Energia este realizată prin descărcare electrică și/sau prin dizolvare. Prin urmare se observă că ultima prelucrare înglobează fenomene de prelucrare energetice complexe cu reacții multiple într-un interval de timp scurt.

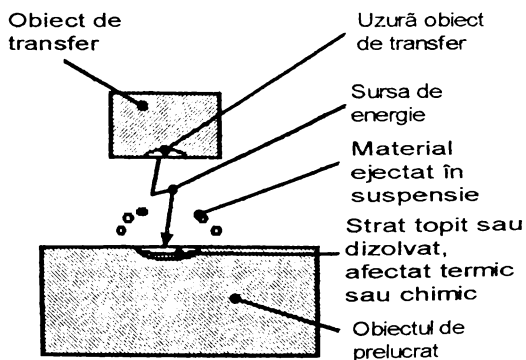


Fig.1.3. Prelucrarea cu câmp electric sau chimic [1.], [2.], [3.], [7.]

Prelucrările la care aportul de lucru mecanic se bazează pe energia cinetică a unor microparticule și pentru cazul arcului electric, în zona stratului superficial al suprafeței prelucrate, se petrec transformări structurale de tip termic, care generează zonă influențată termic. Acest lucru se datorează faptului că o parte din energia introdusă în sistem, se va transforma în căldură, iar restul se va transforma în energie internă.

Prelucrările la care lucrul mecanic se bazează pe energia cinetică care este transmisă de către macroparticule sau fluide, în stratul superficial al suprafeței prelucrate, apar

transformări de natura durificării suprafeței prin ecruisare, și respectiv fisurarea acestora. Acest lucru se datorează faptului că energia introdusă în sistem se transformă foarte puțin în căldură și în cea mai mare măsură în energie internă de activare a structurii materialului.

În vederea stabilirii mărimilor de comparație între cele trei tipuri de prelucrări, se propune un mod de clasificare de tip calitativ al mărimilor caracteristice de intrare și ieșire pentru prelucrările mai sus menționate. În **tabelul nr.1.1.** se prezintă această clasificare calitativă. Indicatorii folosiți au fost stabiliți în funcție de valorile obținute prin prelucrări convenționale de aschiere.

Tabelul nr.1.1. Clasificarea mărimilor de ieșire pentru prelucrările neconventionale

Nr. crt.	Tip de prelucrare neconvențională	Mărime de ieșire			
		Viteză prelucrare	Adâncime prelucrare	Zonă influențată	Tip material
1	Fascicul laser	Bună	Bună	Termică	Oricare
2	Fascicul de electroni	Bună	Bună	Termică	Metalic
3	Jet de plasmă	Bună	Mare	Termică	Oricare
4	Suspensii abrazive	Mică	Mică	Mecanică	Oricare
5	Jet de fluide	Medie	Bună	Mecanică	Oricare
6	Discuri abrazive	Mare	Mare	Termo-mecanică	Oricare
7	Unde ultrasonice	Mică	Mică	Mecanică	Fragil
8	Eroziune electrică	Bună	Bună	Termică	Metalic
9	Eroziune chimică	Scăzută	Mică	Nu	Metalic
10	Eroziune complexă	Bună	Bună	Termică	Metalic

Din tabel rezultă că primele două mărimi sunt importante, ele fiind luate în considerare în continuare pentru realizarea studiului comparativ.

Între cele trei tipuri de prelucrări, mai avantajoase sunt cele din cazul al doilea, deoarece nu prezintă în zona limitrofă nici arderi și nici tensiuni de natură termică.

1.2. BIBLIOGRAFIE

- [1.] Nanu A. - *Tehnologia materialelor. Editura Didactică. și pedagogică. București. 1983.*
- [2.] Nanu A., Nanu D. - *Prelucrarea dimensională prin eroziune electrică în câmp magnetic. Ed. Facla. Timisoara. 1981.*
- [3.] Nanu A. - *Fundamentarea teoretică a principalelor fenomene constatate experimental la prelucrarea anodo-mecanică a materialelor. Buletinul tehnic și științific al IPTV Timisoara. Tom 8 9. 1961.*
- [4.] Savii Gh., - *Laseri. Ed. Facla. Timisoara. 1981.*
- [5.] Gavrilas I., Marinescu N. - *Prelucrări neconventionale în construcția de mașini. Ed. Tehnică. București. 1991.*
- [6.] Nichici Al., Popovici V., Achimescu N., - *Prelucrarea prin eroziune în construcția de mașini. Ed. Facla. Timisoara. 1983.*
- [7.] Lăncrăngean Z., Mărcușanu A., - *Prelucrări neconventionale de suprafață. Ed. Mirton. Timisoara. 1996.*

2. STADIUL ACTUAL AL PRELUCRĂRII MATERIALELOR CU JET DE FLUIDE (APĂ SAU APĂ CU ABRAZIV)

2.1. COMPARATIE INTRE PRELUCRAREA CU JET DE FLUID SI ALTE PROCEDEE DE PRELUCRARE CU ENERGII CONCENTRATE

Studiul comparativ cu alte procedee de prelucrare se va realiza modificând adâncimea de material prelucrat functie de viteza de prelucrare a materialelor folosind datele din literatura de specialitate. [1.], [2.], [6.]

În continuare se prezintă o comparație între rezultatele obținute prin prelucrarea aluminiului și oțelului cu fascicul laser cu puterea de lucru de 2800 W, jet de apă generat la o presiune de 3800 bar, jet de apă cu abraziv generat la o presiune de 3000 bar și plasmă la un curent de 100 A. Pentru comparație s-a apelat la cele două mărimi de ieșire viteză de prelucrare și adâncime de prelucrare care caracterizează procesele considerate cel mai bine. În **fig.2.1.** sunt prezentate datele obținute ca rezultat al prelucrării aluminiului electrolic, iar în **fig.2.2.** cele pentru prelucrarea oțelului.

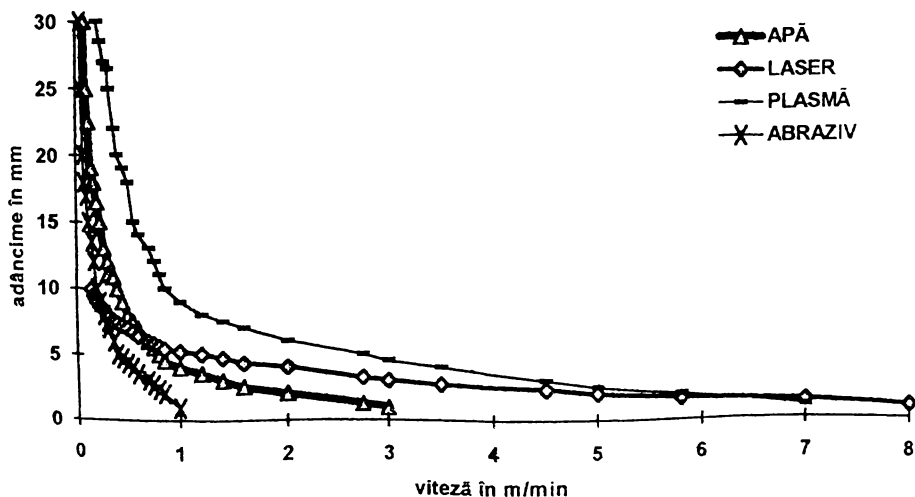


Fig.2.1. Graficul prelucrărilor neconventionale pentru material aluminiu

În **tabelul nr.2.1.** sunt centralizate rezultatele rezolvării ecuațiilor de regresie matematică pentru curbele prezentate în **fig.2.1.** Se observă că cele mai bune rezultate pentru variația adâncimii de pătrundere a agentului eroziv în material la valori mici rezultă la prelucrarea cu laser și respectiv plasmă, în timp ce pentru valori mari se obțin rezultate bune cu plasmă și jet de apă. În același timp formele curbelor pentru datele obținute la prelucrarea cu fascicul laser și cu plasmă sunt aproximativ aceleași. Jetul de apă cu abraziv datorită comportamentului materialului nu asigură viteze de prelucrare mai mari de 1 m/min.

Tabelul nr.2.1. Ecuațiile de variație ale adâncimii în funcție de viteză pentru aluminiu

Nr. crt.	Mediu de prelucrare	Ecuația adâncimii în funcție de viteză	Coefficient de regresie
1	Laser	$y=4,5061*x^{-0,5137}$	0,9213
2	Plasmă	$y=9,388*x^{-0,8562}$	0,9539
3	Jet de apă	$y=3,8843*x^{-0,8876}$	0,9748
4	Jet de abraziv	$y=1,9513*x^{-0,9383}$	0,938

În cazul prelucrării oțelurilor se obțin în întreaga gamă de adâncimi rezultate similare pentru prelucrarea cu fascicul laser și respectiv cu plasmă. Prelucrările cu plasmă și laser asigură viteze mari de prelucrare la grosimi mici, comparativ cu cele care se pot realiza cu jet de apă și jet de apă cu abraziv.

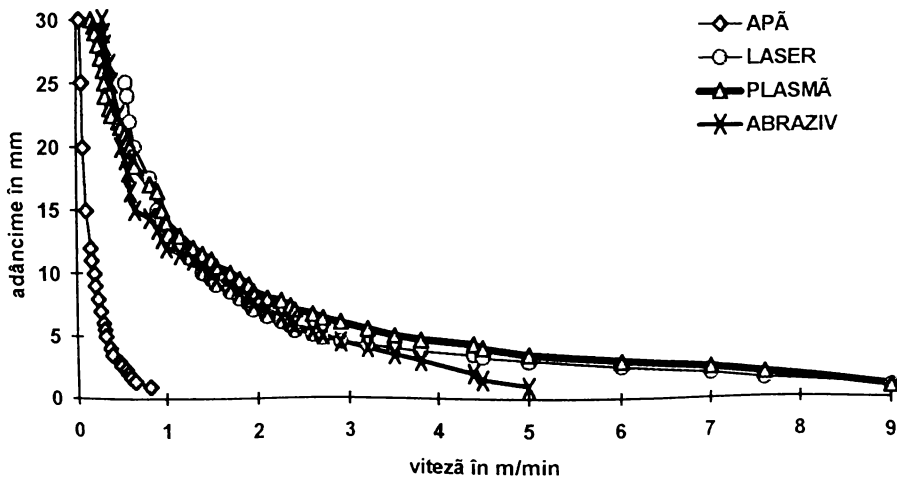


Fig.2.2. Graficul prelucrărilor neconvenționale pentru oțel

Alura curbelor este similară pentru prelucrările cu laser, jet de apă cu abraziv și plasmă. Această observație ne conduce la concluzia că prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, este indicat a se utiliza la prelucrarea oțelului, la aceleași date de performanță ca și celelalte două prelucrări, având însă avantaje nete în ceea ce privește calitatea prelucrării din punct de vedere al zonelor adiacente celei prelucrate. Pentru jetul abraziv viteza de prelucrare este aproximativ la jumătate față de cea realizată la adâncimi mici de material prelucrat față de celelalte două, ajungând la valori aproximativ identice pentru grosimi mari.

În **tabelul nr.2.2.** sunt prezentate ecuațiile de regresie pentru datele din **fig.2.2.**

Tabelul nr.2.2. Ecuațiile de variație ale adâncimii în funcție de viteză la prelucrarea oțelului

Nr. crt.	Mediu de prelucrare	Ecuația adâncimii în funcție de viteză	Coefficient de regresie
1	Jet de apă	$y=1,388 \cdot x^{-1,0745}$	0,9378
2	Laser	$y=13,889 \cdot x^{-1,0523}$	0,9842
3	Plasmă	$y=12,073 \cdot x^{-0,7912}$	0,9073
4	Jet de abraziv	$y=11,335 \cdot x^{-0,5989}$	0,8985

Din analiza prezentată se poate observa că atât prelucrarea cu jet de apă cât și cea cu jet de apă cu abraziv prezintă valori similare de adâncime de prelucrare la valori de viteze comparabile cu celelalte procedee de prelucrare neconventionale având însă și anumite avantaje care au fost prezentate în **tabelul nr.1.1.** Dintre acestea enumerăm pe acela de lipsă a fenomenelor de transformări de natură termică în zona prelucrată.

2.2. COMPARATIE INTRE PRELUCRAREA CU JET DE APĂ SI CEA DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ CU ABRAZIV

Din analiza celor două procedee se observă că pentru materialele cu o bună plasticitate prelucrarea cu jet de apă este mai eficientă decât cea cu jet abraziv. În schimb pentru materialele la care plasticitatea este scăzută sau pentru materiale fragile, se observă că jetul de apă cu abraziv este net superior. Extinzând studiul posibilităților de utilizare a jetului de apă și pentru alte materiale, rezultă graficul din **fig.2.3.** Se observă că valoare de viteză de prelucrare mai mare rezultă pentru materiale fragile de tipul sticlei, urmată la jumătate din valoare ei de materiale de tipul marmurei. În zona unei viteze de 3 m/min se situează celelalte materiale. Pe măsură ce adâncimea crește va scădea valoarea vitezei de prelucrare pentru toate materialele.

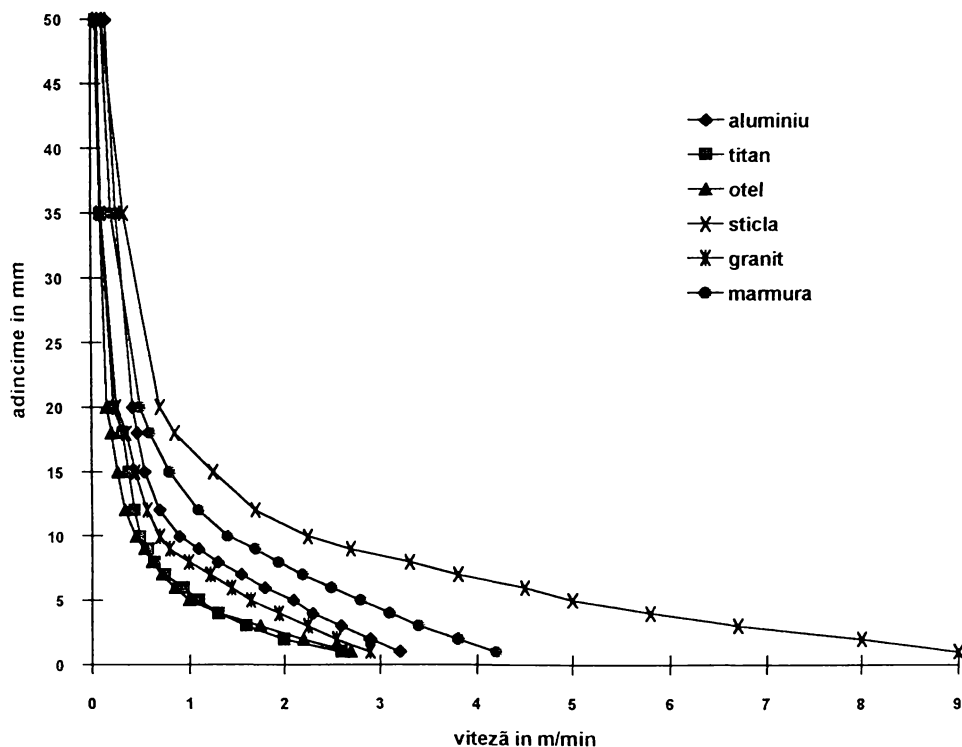


Fig.2.3. Graficul de variație a adâncimi functie de viteza materialului prelucrat la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Ipotezele formulate la prelucrările cu unde ultrasonice, cât și de cele de la deformări plastice confirmă rezultatele obținute pentru cazul prelucrării materialelor cu jet de apă și respectiv cu jet de apă cu abraziv. Astfel la prelucrarea cu macroparticule în mișcare o parte din energia particulei se transformă în energie de deformare plastică și numai restul de energie este activă pentru distrugerea materialului.

Tabelul nr.2.3. Ecuația adâncimii în funcție de viteză la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Mediul supus prelucrării	Ecuația	Coefficient
1	Aluminiu	$y=8,0729 \cdot x^{-1,0235}$	0,9071
2	Titan	$y=4,7389 \cdot x^{-0,922}$	0,9361
3	Oțel	$y=4,5075 \cdot x^{-0,8609}$	0,954
4	Sticlă	$y=14,432 \cdot x^{-0,7572}$	0,8739
5	Granit	$y=6,2513 \cdot x^{-0,8411}$	0,8975
6	Marmură	$y=10,123 \cdot x^{-0,8622}$	0,8578

În **tabelul nr.2.3.** sunt determinate ecuațiile de regresie cu coeficienții corespunzători pentru materialele prezentate în **fig.2.3.** Se observă că pentru materiale de tipul aluminiului exponentul vitezei este supraunitar, iar pentru materiale de tip titan este ușor subunitar. Grosimea materialului prelucrat variază invers proporțional cu viteza de deplasare a diuzei sau materialului.

Din punct de vedere al tipului de apă folosit pentru prelucrare, din literatura de specialitate se desprind tendințele prezentate în graficul din **fig.2.4.**

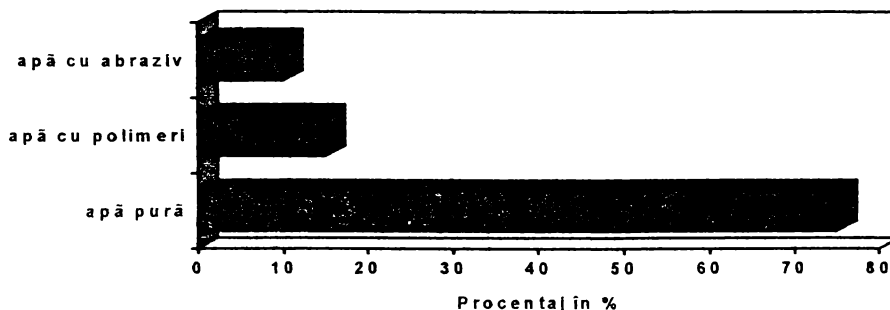


Fig.2.4. Diagrama de distribuție a tipurilor de prelucrare cu jet

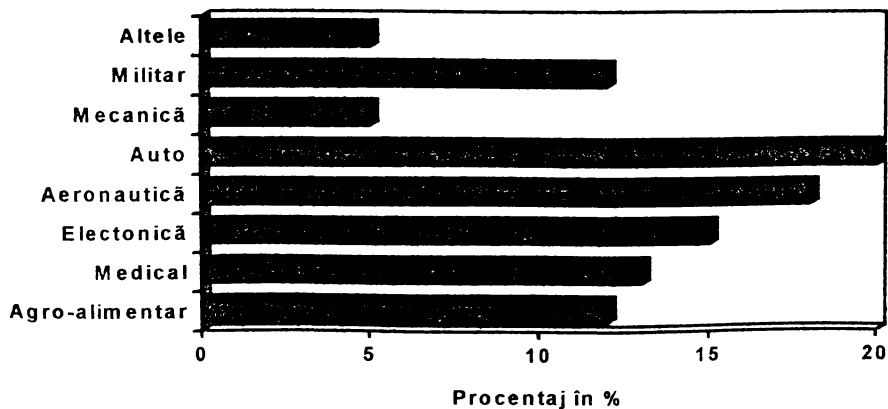


Fig.2.5. Diagrama de distribuție a domeniilor de aplicatie a prelucrărilor cu jet de apă

Modul de repartizare al tehnologiei de prelucrare cu jet de apă pe ramurile din domeniul tehnic și tehnologic sunt prezentate în diagrama din **fig.2.5.**, iar din punct de

vedere al modului de repartizare în ceea ce privește tipurile de materiale care sunt prelucrate cu jet de apă distribuția are alura din **fig.2.6**.

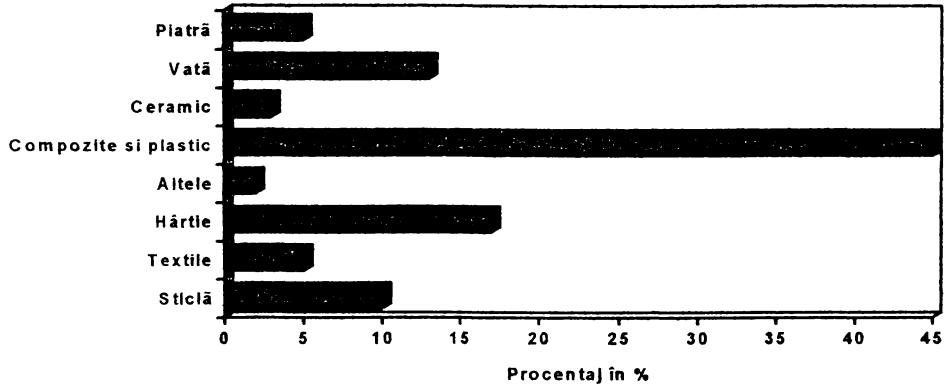


Fig.2.6. Diagrama de distribuție pentru tipurile de materiale prelucrate cu jet de apă

2.3. SCOPUL TEZEI DE DOCTORAT

În cadrul tezei de doctorat se va urmări modul în care se modifică comportamentul materialului la prelucrarea cu jeturi de fluide și interacțiunile dintre macroparticulele de apă și/sau de abraziv cu materialul.

2.4. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL

În acest capitol s-a dorit determinarea poziției pe care o ocupă prelucrarea cu jet de apă și/sau prelucrarea cu jet de apă cu abraziv în raport cu celelalte tehnologii de prelucrare neconventionale. În același timp s-a pus în evidență necesitatea investigării din punct de vedere al sistemului jet - material modul în care se desfășoară procesul de prelucrare cu jeturi de fluide.

2.5. BIBLIOGRAFIE

[1.] A. Namu - *MANUALUL INGINERULUI MECANIC*, Ed. Tehnică, 1973.

- [2.] *A.P.Schwarzenbach - Alternativă laser jet de apă, Rev. EPP, Germania, 1995.*
- [3.] *M.Vasilescu - Cu privire la unele probleme actuale si de perspectivă ale tăierii materialelor cu jet de apă, A V-a Conferință Națională de Tehnologii Neconventionale în prelucrări mecanice, Timisoara, 1989.*
- [4.] *E. Cicală, M. Vasilescu - Studiul comparativ al tăierii materialelor cu laser si jet de apă, Realizări si perspective în domeniul laserilor si aplicatiile lor în știință si tehnologie, Timisoara, 1991.*
- [5.] *V.Morozenco - Prelucrarea materialelor cu jet hidroabraziv, Trans. For ASME, 1987*
- [6.] ***** - Revue souder 1997, Janvier, nr.1.*

3. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE PRIVIND MECANISMUL PRELEVĂRII DE MATERIAL LA PRELUCRAREA CU JETURI DE FLUIDE

Din analiza întreprinsă în primele două capitole s-a desprins concluzia că, pentru prelucrarea cu jet de fluid, nu este importantă numai sursa energetică, ci este important și modul de comportare al materialului la acțiunea jetului. Din punct de vedere energetic fenomenul cel mai important este cel de dezvoltare la interfața dintre jetul de fluid și material a unei presiuni de contact suficient de mari astfel încât să se poată realiza durificarea și/sau prelevarea de material. Astfel dacă se dorește durificarea suprafeței, presiunea realizată trebuie să fie mai mică decât cea de rupere a materialului. Pentru prelucrarea prin tăiere presiunea trebuie să fie mai mare decât cea de rupere a materialului. În [41, 42] se arată că la presiunile care se realizează pe suprafață, comportamentul materialului se schimbă față de cel care se petrece normal. Proprietățile mecanice ale materialelor sunt modificate ca urmare a reducerii distanțelor interatomice, iar curba tensiune-deformație prezintă modificări ca urmare a migrării defectelor, impurităților și atomilor intersticiari, lucru care duce la modificarea limitei de curgere și tensiunii de rupere și a durității materialului. Creșterea limitei de curgere a materialelor metalice și respectiv a rezistenței la rupere a acestora este aproximativ liniară cu creșterea presiunii. Explicarea fenomenului mai sus menționat, constă în modificarea poziției defectelor liniare și închiderii fisurilor de la suprafața materialului supus presiunii hidrostatice. Creșterea de duritate este de aproximativ 6% pentru materialele metalice supuse procesului hidrostatic.

3.1. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA MECANISMULUI PRELEVĂRII DE MATERIAL CU JETURI DE APĂ

3.1.1. Clasificarea jeturilor de apă și stabilirea limitei de eroziune a jetului de apă [4.], [30.], [40.]

Elementele în funcție de care se pot clasifica din punct de vedere hidrolic jeturile de apă au fost identificate a fi:

- diametrul duzei de apă, d_0 în mm;
- presiunea inițială a apei, p_0 în bar;
- debitul de apă, Q_0 în litri pe minut;
- tipul de jet activ.

În funcție de debitul de apă, putem avea următoarele tipuri de jeturi:

- cele cu debite mari 5...40 l/min și presiuni mici până la 25 bari;
- cele cu debite mari 5...40 l/min și presiuni medii până la 100...150 bari;
- cele cu debite mici până la 5 l/min și presiuni mari până la 150...500 bari;
- cele cu debite mici până la 5 l/min și presiuni înalte peste 1000...2000 bari.

Un alt criteriu de clasificare care există la prelucrarea cu jet de apă este cel de geometrie a jetului de apă. Se identifică existența a două tipuri mari de jeturi:

- jeturi cilindrice în secțiune;
- jeturi eliptice în secțiune;

Din punctul de vedere al procedurii de prelucrare, jeturile de apă pot să acționeze direct asupra materialului, pot să acționeze asupra materialului mai multe jeturi simultan, sau să asiste procese mecanice conventionale de tăiere sau prelucrare prin aschiere.

În funcție de presiunea apei, o serie de autori împart jeturile astfel, **tabelul nr.3.1**.

Tabelul nr.3.1. Clasificarea jeturilor în funcție de presiunea acestora

Nr. crt.	Presiune în bar	Tiapko	Savlovschi	Summers
1	joasă	10	3... 20	7... 200
2	medie	10... 50	30... 130	35...1200
3	înaltă	50...600	150... 600	2000...4000
4	supraînaltă	600	700...3000	-

Clasificarea jeturilor de apă se poate face și din punct de vedere a modului în care se prezintă structura acestuia. Jetul poate fi caracterizat prin modul de formare și de felul în care acționează asupra materialului. Se pot lua în considerare astfel cinci feluri de jeturi hidraulice:

- jeturi continue, la presiuni sub 2000 bari și debite de 1...40 l/min, diametrul orificiului diuzei de 0,1...1 mm;
- jeturi discontinue, la presiuni sub 2000 bari;
- jeturi cavitationale, care au presiuni de până la 2000 bari;
- jeturi pulsante, au debit discontinuu, și presiuni de la 1000 până la 20000 bari.
- jeturi în impuls (modulate), sunt foarte puțin utilizate până în prezent. Ele încearcă să reunească avantajele jetului continuu cu cele ale jeturilor pulsante.

Din studiile efectuate s-a desprins concluzia că jeturile de apă cu debit discontinuu nu sunt mai productive decât jeturile continue. Astfel în **fig.3.1.a.** se prezintă modul de realizare a unui jet discontinuu, iar în **fig.3.1.b.** rezultatul dintre comparația timpului în care se realizează străpungerea unui material cu jet continuu și respectiv cu jet discontinuu. Se observă că se poate realiza un jet discontinuu de tip apropiat de o picătură sau un jet discontinuu prelungit. Oricare ar fi însă forma jetului discontinuu timpul necesar pentru străpungerea materialului este mai mare decât cel pentru prelucrarea cu un jet continuu. Modul de realizare a jetului discontinuu este cel de rotire al unui disc prevăzut cu fante pe circumferință care întrerupe jetul continuu. Funcție de viteza de rotire a discului se

poate realiza o lungime mai mare a jetului sau mai mică. Jeturile cavitationale și respectiv pulsante nu au fost studiate, ele reprezentând o direcție de cercetare pentru mărirea productivității prelucrării.

Din punct de vedere tehnologic presiunile mai mari de 4000 de bari, ridică probleme de realizare a etansărilor, în condiții de fiabilitate ridicată, din punct de vedere al utilizării industriale a instalației. La presiuni peste 7000 de bar, apare fenomenul de jivraj al apei în zona diuzei, iar la presiuni de 8000 de bar, apă prezintă tendința de a îngheța.

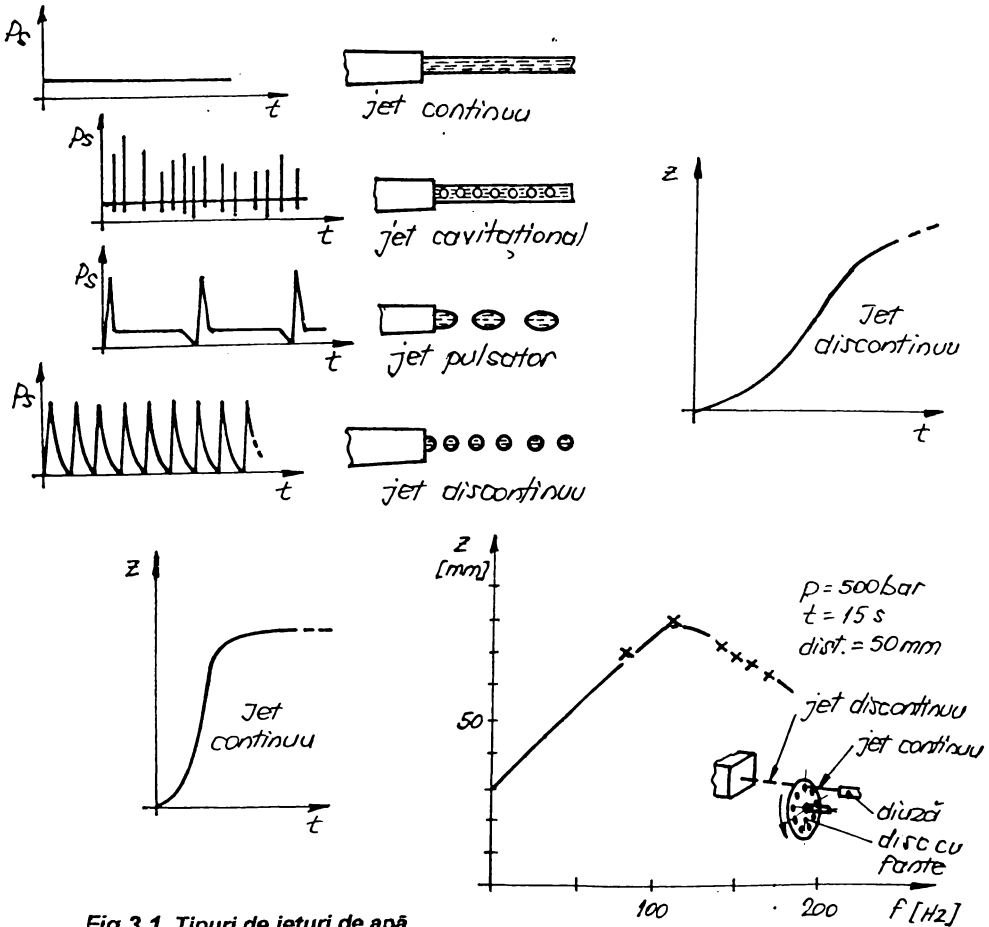


Fig. 3.1. Tipuri de jeturi de apă

3.1.2. Considerații asupra limitelor de eroziune a materialelor cu jet de apă [1.], [36.]

Materialul este elementul care se opune acțiunii jetului de apă. Pentru a se putea determina modul în care materialul interacționează cu jetul de apă, s-a desfășurat un proces experimental pe mai multe materiale de natură diferită astfel încât tipul de material

să nu constituie un element de influență majoră. Materialele alese ca și elemente de studiu au fost otel, aluminiu, cupru, plastic, placaj, placă aglomerată din lemn și respectiv faiantă. Se observă din cele prezentate atât diversitatea, cât și gama diferită de structuri ale materialelor care au constituit domeniul de studiu. Mecanismul de erodare al materialului s-a identificat a fi cel prezentat în **fig.3.2.**, unde se observă că în primă fază jetul acționează asupra materialului direct producând comprimarea materialului, iar apoi luând în considerare suprasolicitarea acestuia se produce fisurarea ruperea granulelor de material pe planele cristaline și respectiv ca urmare al existenței golurilor, incluziunilor și respectiv a alunecării planelor cristaline. În **fig.3.3.** se prezintă probele rezultate în faza 1, 2 și 4 pentru materiale de tip ceramic sau metalic pentru faza 1.

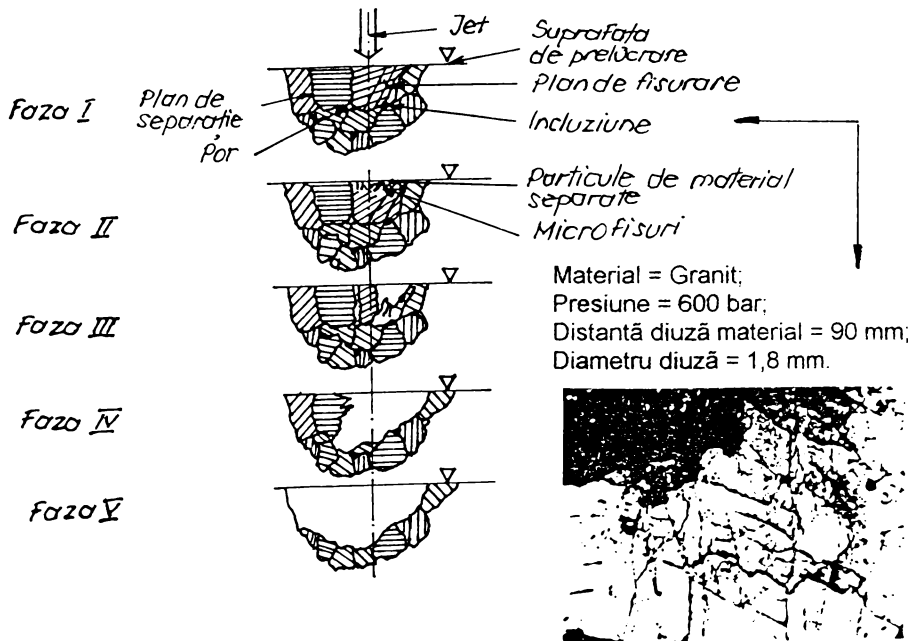


Fig.3.2. Mecanismul erodării materialului cu jet de apă

Astfel s-a constatat că erodarea materialelor începe când presiunea jetului de apă atinge în contact cu materialul, valori date de formula:

$$p = (2,5 \dots 7,5) \times \sigma_c \quad , \text{ în } \text{N/mm}^2; \quad (3.1.)$$

în care: - σ_c este rezistența la compresiune a materialului în N/mm^2 .

Pe baza acestei formule, s-a determinat, valoarea limită a presiunii de erodare, pentru unele dintre materialele care fac obiectul prezentei teze, prezentate în **tabelul nr.3.2.**



Material = Granit;
 Presiune = 600 bar;
 Daimetru diuză = 1,8 mm;

Material = Gresie;
 Presiune = 520 bar;
 Diametru diuză = 1,5 mm.

Fig.3.3. Stadii ale actiuni jetului de apă asupra materialului

Un rol important în comportamentul materialului la prelucrarea cu jet de apă, îl are și rezistența la curgere a materialului. Pentru oțel s-a dovedit că raportul dintre rezistența la rupere și cea la curgere este de 1,85. Pentru aluminiu acest raport scade la 1,64.

Tabelul nr.3.2. Presiunea minimă de eroziune pentru cazul prelucrării materialelor cu jet de apă

Nr. crt.	Material	Rezistență la rupere [N/mm ²]	Rezistență la compresiune [N/mm ²]	Presiune de eroziune în [N/mm ²]
1	Oțel	440..930	440..930	1100 ..6975
2	Lemn foioase	50..270	25..130	62,5.. 975
3	Lemn conifere	23..118	12..50	30 .. 375
4	Masă plastică	25..30	25..30	62,5.. 225
5	Ceramică	8,3..13	32,2	80,5.. 241,5
6	Aluminiu	40..160	40..150	100 ..1200

Aceste valori limită sunt cele pentru care este afectată integritatea suprafeței materialului la prelucrarea cu jeturi de apă. Pentru operații de prelucrare de volum, se va acționa în direcția măririi vitezei jetului de fluid, care are influență majoră asupra accelerării procesului de prelucrare.

3.1.3. Studiul structurii și formei jetului de apă [14.], [15.], [16.], [23.], [31.], [39.]

În structura unui jet, se constată existența mai multor zone distincte. Fiecare zonă are rolul său precis definit în interacțiunea dintre jet și material. Se constată existența unei zone denumită "Regiune inițială", care se caracterizează prin viteză constantă a jetului și compactitatea acestuia. În același timp, ca urmare a frecării suprafeței exterioare a

jetului cu aerul din atmosferă, se formează un învelis de picături fine de apă. Urmează o a doua regiune în care jetul are o curgere continuă, care face parte din prima parte a regiunii principale. În această zonă jetul este format în miez dintr-o porțiune centrală de fluid compact, învelită la exterior de o porțiune compactă de picături cu dimensiune relativ mare, care s-au desprins din jetul continuu. La exterior se găsește o masă de picături fine, care au rezultat ca urmare a acțiunii aerului atmosferic asupra jetului.

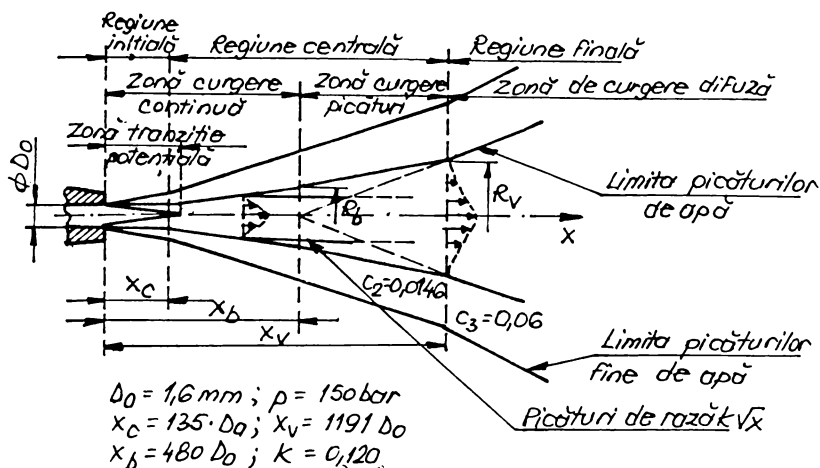


Fig.3.4. Distribuția jetului pe zone

Pentru a se determina valorile distanțelor x_c , x_b și x_v din **fig.3.4.** s-a utilizat de către Verescagin un stand experimental format dintr-un electrod de tip plasă legat la polul negativ al unei surse de tensiune. Celălalt pol este legat la diuza de apă, măsurându-se astfel diferența de potențial, care cade în interiorul circuitului continuu de apă. Potențialul negativ a fost modelat în impulsuri cu o frecvență de 50 Hz. Impulsurile sunt înregistrate de un osciloscop. Pe măsură ce se mărește distanța față de diuză numărul de impulsuri scade. Se obține astfel o mărime a continuității jetului denumită Π . Ea este considerată a fi aceeași valoare a distanței, la care numărul de impulsuri emise de generator sunt înregistrate cu aceeași frecvență de osciloscop la sursă. Se poate afirma deci că până la aceeași distanță, jetul este continuu. În **fig.3.5.** se prezintă modul de evoluție al zonei Π în lungul jetului de apă. Modul de influență al acestei zone asupra materialului se observă din imaginile rezultate ca urmare a impactului aluminiului cu jet de apă la diferite distanțe care se prezintă în **fig.3.6.** Se observă existența unei zone centrale supuse la compresiune ca urmare a acțiunii jetului direct și a unei zone de material ciupit ca urmare a acțiunii directe a picăturilor de apă. Dacă se va studia modul de comportament al unui material fibros de tip placaj la acțiunea jetului de apă în aceeași zonă se va observa existența unei zone care este solicitată la compresiune cu ruperea fibrelor din zona adiacentă celei de comprimare.

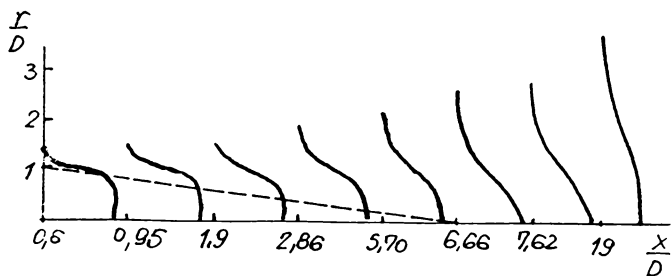
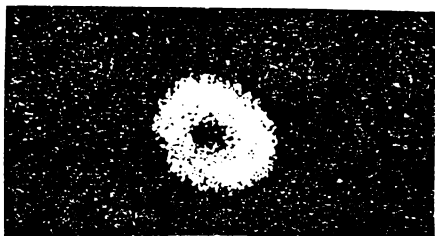


Fig.3.5. Evoluția zonei II funcție de raportul distanță diametru diuză



Material = Aluminiu;
 Presiune = 500 bar;
 Distanță diuză material = 20 mm;
 Diametru diuză = 1,8 mm;



Material = Placaj;
 Presiune = 500 bar;
 Distanță diuză material = 63 mm;
 Diametru diuză = 1,8 mm.

Fig.3.6. Influența zonei II asupra materialului supus acțiunii jetului de apă

Pentru jeturile de apă autorii au propus pe bază de încercări următoarele valori, cuprinse în **tabelul nr.3.3.**

Tabelul nr.3.3. Valorile caracteristice ale jetului pe zone.

Nr. crt.	AUTORI			
	Mărime	Yanaida	Shtuckaturov	Shavlovsky
1	$R = X_c/d_n$	30..100	100..140	0..110
2	d_n	0,1..0,4	0,1..0,4	0,1..0,4
3	$X_c=R*d_n$	3..40	10..56	0..44

Pe baza celor prezentate se determinată lungimea jeturilor de apă în aer și rezultă

dependența matematică a lui X_c de presiunea și diametrul diuzei de apă folosite la obținerea diferitelor jeturi de apă.

Din profilul de distribuție al vitezei la ieșire din diuză și din porțiunile de acțiune ale jetului, se poate observa, că jetul este activ numai în zona doi în care are loc realizarea fenomenului de eroziune ca urmare a acțiunii picăturilor. În zona trei se poate realiza numai durificarea sau fragilizarea prin oboseală a materialului.

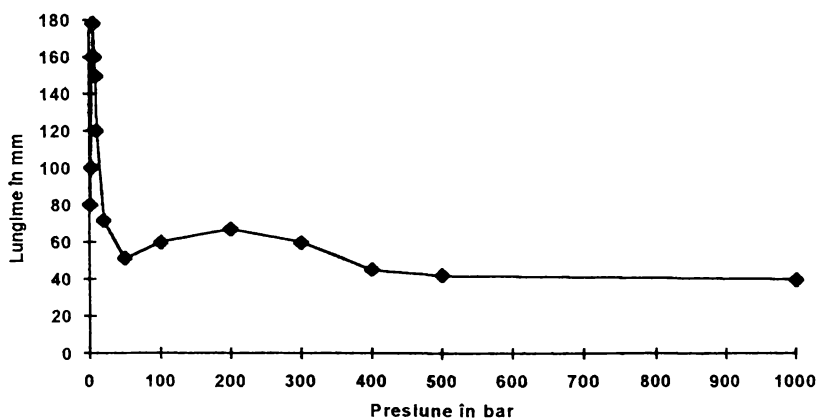


Fig.3.7. Lungimea porțiunii continue a jetului în aer, funcție de presiune.

Modul în care variază lungimea porțiunii continue X_c , în raport cu presiunea jetului de apă, pentru o diuză cu diametrul orificiului de 1 mm și porțiunea cilindrică de 3 mm, cu un unghi conic de 13° , este prezentat în **fig.3.7**. În același timp forma geometrică a diuzei este cea din **fig.3.8**. Se observă existența a două maxime locale, situate la presiunea de 6 bar și 200 bari. Pe măsură ce presiunea crește, scade valoarea de lungime a porțiunii continue. La o presiune de 1000 bar rezultă o lungime continuă de 46 mm.

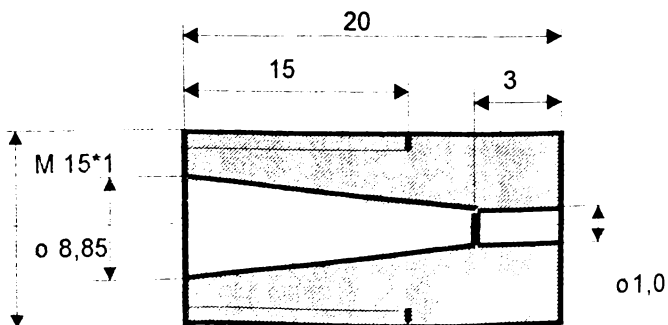


Fig.3.8. Geometria diuzei folosite la determinările din fig.3.2.

Datele din **fig.3.7.** ne arată că, pentru presiuni de lucru cuprinse între 200 și 1500 bar, utilizate curent în prelucrarea cu jeturi, avem variația lui X_c între 60 și 38 mm.

Diferiți autori propun pentru determinarea distanței X_c diferite formule:

- modelul lui Yanaida: $X_c = 1,945 * \frac{d_0}{k_1^2}$; unde k_1 este o constantă determinată pe cale

experimentală și reprezintă măsura evaziunii jetului. Determinarea se face pe cale fotografică cu o cameră de filmat, d_0 este diametrul diuzei de apă. Dezavantajul acestui model este că pentru fiecare diametru de diuză trebuie să se facă determinările lui k_1 ;

- modelul Whiting: $X_c = (-3,545) * 10^{(-11)} * P + 2,535 * 10^{(-2)}$ dezavantajul este că nu ține seamă de diametrul diuzei de apă fiind necesar pentru fiecare diuză un calcul pentru X_c .

- modelul Resiga pomeste de la studiul experimental al jetului cu fascicul LASER și determină valorile lui X_c pe baza acelasi sistem II pe cale experimentală, folosind aceeași formulă de calcul ca și Yanaida.

Aceste observații, I-au condus pe autor, la necesitatea determinării pe cale matematică a unei formule de calcul a valorii lui X_c pentru o diuză cilindro-conică, care să țină cont de cele două elemente care influențează valoarea lui X_c și anume presiunea jetului de apă și diametrul diuzei de apă. STATGRAFICS a fost programul de calcul statistic care a fost utilizat, formula fiind următoarea:

$$X_c = 15,769954 - 6,566088 * d - 0,001571 * p \quad (3.3.)$$

Această formulă de calcul s-au dovedit pe bază experimentală a oferi o bună precizie de calcul, fără a mai fi necesară realizarea unei încercări experimentale, pentru diuzele din carbură și safir.

Pe baza valorii lui X_c se calculează valorile pentru X_b și X_v cu formulele:

- pentru lungimea curgerii continue:

$$X_b = 3,55 * X_c; \quad (3.4.)$$

- pentru lungimea însumată a curgerii continue și cu picături:

$$X_v = X_b + \frac{80 * d_0}{\sqrt{\frac{3,89 * d_0}{2 * X_c}}}; \quad (3.5.)$$

Influența diferitelor mărimi care intră în proces, asupra cantității de material îndepărtate este următoarea:

- tipul diuzei: putem utiliza diuze de mai multe tipuri. Câteva dintre acestea sunt prezentate în **fig.3.9.** și respectiv **fig.3.8.** Diuza are rolul de a transforma energia potențială a fluidului în energie cinetică a jetului de apă evacuat. Ea influențează direct acest proces de transformare prin intermediul formei, dimensiunilor și a rugozității suprafeței de conducere a fluidului. Formula de calcul a puterii este afectată de coeficientul de contractie al jetului care este egal cu 1 la diuza care prezintă zona conică și 0,56 la cea care lipsește. Mai există și alte tipuri de diuze, dar acestea nu sunt tehnologic ușor de realizat, din punct de vedere practic. De exemplu pentru aceleași condiții, o diuză cilindro-conică prezintă valoarea lui X_c de 135° iar pentru o diuză de tip cilindrică este 73° . Acest lucru este util de marcat, deoarece în continuare, se va observa că, valoarea de maxim de material erodat la o diuză cilindro-conică, este realizat la distanțe mai mari, decât la una cilindrică. Formula determinată pentru X_c trebuie determinată pentru fiecare configurație geometrică de diuză folosită.

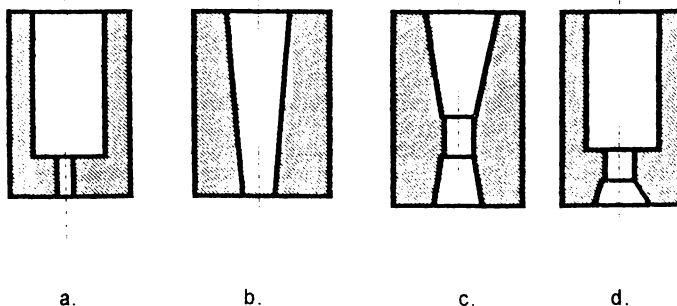


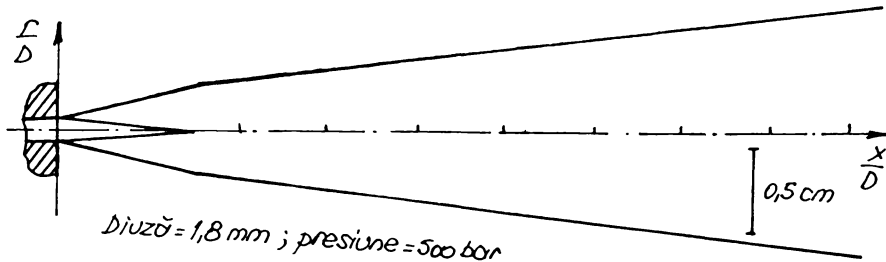
Fig.3.9. Tipuri de diuze de prelucrare cu jet de apă

Din analiza tipurilor de diuze și din încercarea lor pe cale experimentală la diferite presiuni, s-a desprins concluzia că cele care vor fi utilizate pentru studiul interacțiunii jet de apă cu materialul supus prelucrării vor fi cele de formă cilindrică. Pentru aceasta s-a trecut la confecționarea prin eroziune electrică cu străpungerea dielectricului a unui set de diuze cu diametrul de 0,5; 0,6; 0,8; 1; 1,2; 1,5; 1,8 mm din carbură. Ecuația de determinare a lungimii porțiunii cilindrice este:

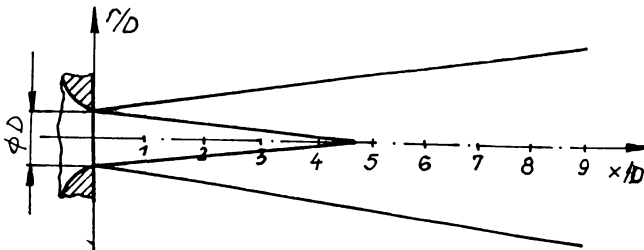
$$L_0 = 0,14 * p^{0,52} * D_0^{0,8} \quad (3.6.)$$

Din studiul diuzelor cu conicitate la ieșire s-a desprins concluzia că conicitatea determină producerea efectului Coandă care duce la împrăștierea jetului la o distanță relativ mică de la diuză. Acest lucru determină o acțiune a jetului pe o suprafață mai mare și o

scădere a capabilității de penetrare a acestuia. Diuza de tip conic deși prin legea de curgere a lui Bernoulli ar trebui să determine o concentrare de energie prezintă impedimentul rușii integrității jetului la o distanță mai lungă față de diuză. Pentru susținerea celor prezentate în **fig.3.10.** se prezintă forma pe care o au jeturile cilindric drept și a jetului realizat cu o diuză profilată. Diuzele au fost realizate din fontă albă sau din carbură, având diametrul de 1 mm.



a. Diuză cilindrică simplă.



b. Diuză profilată.

Fig.3.10. Forma jeturilor realizate cu diferite geometrii de diuze.

Din analiza modului de comportament al materialului la acțiunea jetului a rezultat că cel mai bun comportament îl are jetul cilindric cu tesitură. Motivația acestei observații este

dată de descompunerea jetului mai rapidă și acțiunea zonei continue pe o distanță mai mică.

3.1.4. Studiu experimental asupra comportamentului materialului la prelucrarea cu jet de apă.

Așa după cum s-a observat și la subpunctul anterior, un rol important în procesul de prelucrare îl are diuza, care realizează transformarea energiei potențiale a jetului de apă, în energie cinetică de prelucrare. În afară de aceasta, de la studiul formei jetului de apă, un alt parametru care influențează procesul eroziv, este și distanța dintre diuză și material. Jetul de apă acționează asupra materialului atât în zona inițială, cât și în zona de descompunere a jetului în picături. Modul de acțiune al jetului asupra materialului este dependent în mare măsură de proprietățile materialului care este supus prelucrării și în același timp de gradul de pătrundere al jetului în material. Astfel vom distinge jeturi care afectează numai suprafața materialului și respectiv jeturi care pătrund în profunzimea materialului. Pentru a se studia modul de comportament al materialului la acțiunea picăturilor sau jetului de apă s-a realizat un studiu și respectiv un program de cercetare pe cele două direcții.

Din studiul paralel al volumului de material erodat de jetul de apă și respectiv al adâncimii de pătrundere a acestuia în material rezultă un mod diferit de realizare a punctului de maxim pentru aceste condiții. Astfel maximum de adâncime se atinge la o distanță diuză material de aproximativ 150 mm, pe când maximum de volum erodat se atinge la o distanță de 250 .. 300 mm. În **fig. 3.11.** se prezintă comportamentul aluminiului și al cuprului la acțiunea jetului de apă obținut la o presiune de 500 bar cu o diuză de 1,8 mm.

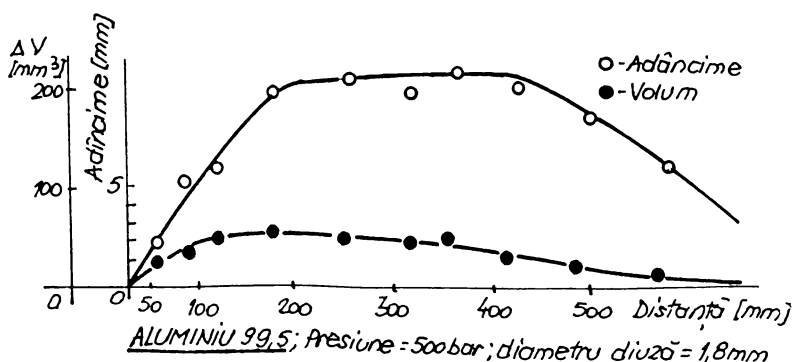


Fig.3.11. Modificarea volumului erodat și a adâncimii de prelucrare la prelucrarea cu jet de apă

3.1.4.1. Studiul comportamentului la acțiunea picăturilor de apă [3.], [18.], [22.], [25.]

Pierderea de material prin eroziune cu picături de apă a fost studiată de mai mulți autori, atât din domeniul studiului comportării materialelor pentru aviație și aerospațial, cât și din domeniul naval.

Janakiram determină pierderea volumică de material, pentru o probă de aluminiu la diferite viteze de impact. Din analiza datelor rezultă că la solicitări repetate crește cantitatea de material îndepărtată cu $25 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$ la o creștere a numărului de picături care lovesc suprafața de prelucrat succesiv de la 80 la 100, pentru o cantitate de material îndepărtată la 80 de picături de $14 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^3$. Panta se menține constantă oricare ar fi viteza de prelucrare, și influențele încep de la 60 de lovituri repetate pe minut.

Pentru a se putea studia dacă presiunea și deci viteza jetului, are influență asupra materialului supus prelucrării, s-a studiat de către Hobbs, gradul în care jetul afectează materialul. În **fig.3.12.** se prezintă această variație. Presiunile de lucru sunt cuprinse între 15 bari pentru viteza minimă și 180 bari pentru viteza jetului maximă considerată în grafic.

Ecuatiile de regresie sunt obținute prin comparație între funcția putere și cea polinomială de gradul 4. Din considerente fizice s-a optat pentru ecuația funcției putere. Se

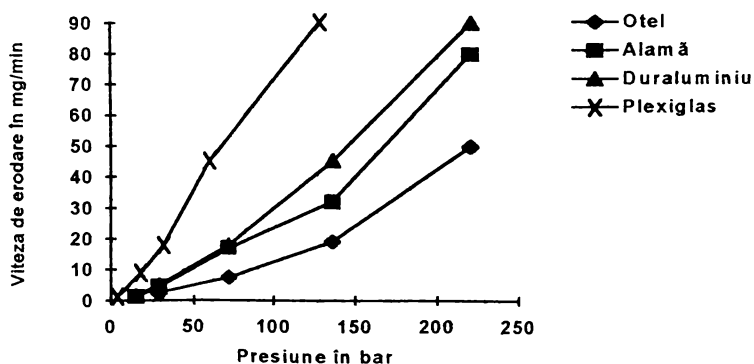


Fig.3.12. Viteza de erodare funcție de presiunea picături

Tabelul nr.3.4. Ecuația vitezei de erodare funcție de viteza picăturilor

Nr. crt	Material	Ecuație	Viteză minimă în m/s	Presiune minimă în bari
1	Otel	$y = \log(11,9346) \cdot x^{2,93735}$	77	29,6
2	Alamă	$y = \log(11,7332) \cdot x^{3,01094}$	82	33,6
3	Plexiglas	$y = \log(8,88068) \cdot x^{2,6542}$	30	4,5
4	Duraluminu	$y = \log(11,2357) \cdot x^{2,94661}$	55	15,1

observă că viteza de erodare a materialului variază cu puterea a 2-a până la a 3-a a vitezei jetului. În **tabelul nr.3.4.** pentru o viteză de erodare minimă considerată de aprox. 0,3 mg/min, se obține presiunea minimă în funcție de viteză conform ecuației.

Actiunea picături de apă cu diametre variind între 0,1..0,05 mm, asupra suprafeței materialului supus prelucrării, se produce după ciclul prezentat în **fig.3.13.** Studiul inițial de determinare a acțiunii, a fost făcut pentru picături de apă cu diametre de 1..5 mm, în laboratoare ale industriei aeronautice. Prin metoda similitudinii se poate afirma că, dacă dimensiunile picăturii sunt mai mici, atunci efectul este același, dar la dimensiuni mai mici.

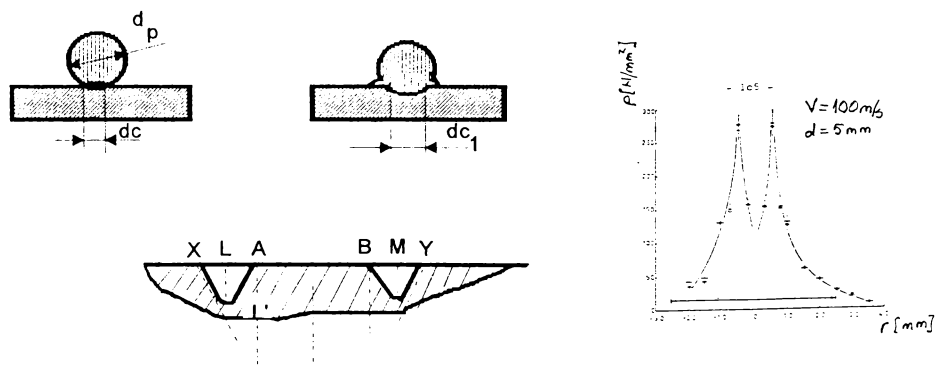


Fig.3.13. Actiunea picăturii de apă asupra materialului supus prelucrării

În **tabelul nr.3.5.** se dau valorile pentru o picătură de apă de 2 mm diametru, care acționează asupra suprafeței și prin similitudine pentru picături de 0,1 și 0,05 mm. Elementele tabelare au fost preluate din studiul simulării impactului picăturilor de ploaie, asupra materialelor metalice de tip duraluminii.

Tabelul nr.3.5. Dimensiunile craterelor realizate la eroziunea cu picături de apă în duraluminii

Nr. crt.	Viteză în m/s	Diametru în mm	XY în mm	LM în mm	AB în mm	LL' în μm	XA în mm	XY Diam	Supr. solicit
1	140	2	0,55	0,46	0,35	0,06	0,10	0,28	0,14
2	228	2	0,96	0,68	0,38	0,6	0,29	0,48	0,61
3	276	2	1,08	0,68	0,40	1,1	0,34	0,54	0,79
4	316	2	1,27	0,83	0,49	1,35	0,39	0,64	1,077
5	276	0,1	0,054	0,034	0,02	0,055	0,017	0,54	0,002
6	276	0,05	0,027	0,017	0,010	0,028	0,0085	0,54	0,00005

Din tabel rezultă că pentru dimensiuni mici de picătură, adâncimea LL' ia valori foarte mici astfel tendința de fisurare a materialului va scădea. Acesta este motivul pentru care peste o anumită valoare de lungime a jetului, nu se mai produce eroziune, ci numai deformare plastică.

Pe măsură ce picătura înaintează spre material, ea prezintă tendința de a-și mări suprafața de acțiune, asupra materialului prin aplatizarea picături, și întoarcerea extremităților către direcția din care au venit. Acest lucru va determina ca acțiunea picături în zona limitrofă celei incidente să fie atenuată asupra materialului.

Mărimea petei de contact nu va mai crește foarte mult, lucru care determină afirmatia că o mare parte din energia cinetică a picăturii, se pierde prin unda de soc de întoarcere în zona limitrofă punctului central de impact incident a picăturii cu materialul și în întoarcerea extremităților picăturii de apă înapoi în zona exterioară. În zona centrală se produce crearea unei unde de soc de întoarcere, care are ca efect scăderea forței de solicitare și deci implicit a solicitării materialului. În centrul de contact rezultă o scădere a presiunii de solicitare a materialului cu 50 % față de zona circumferențială de solicitare, datorită unde de soc inverse la impactului inițial.

În cazul picăturii se formează la zona de contact dintre picătură și material o pată de contact, care va genera amorsa de rupere în zona circulară care are diametrul corespunzător punctelor notate cu L și M. Zona afectată din punct de vedere al tensiunilor interne este cea reprezentată punctat pe desen. Această pată de contact este în general situată la valori de suprafață cuprinse între 0,14..1,1 mm².

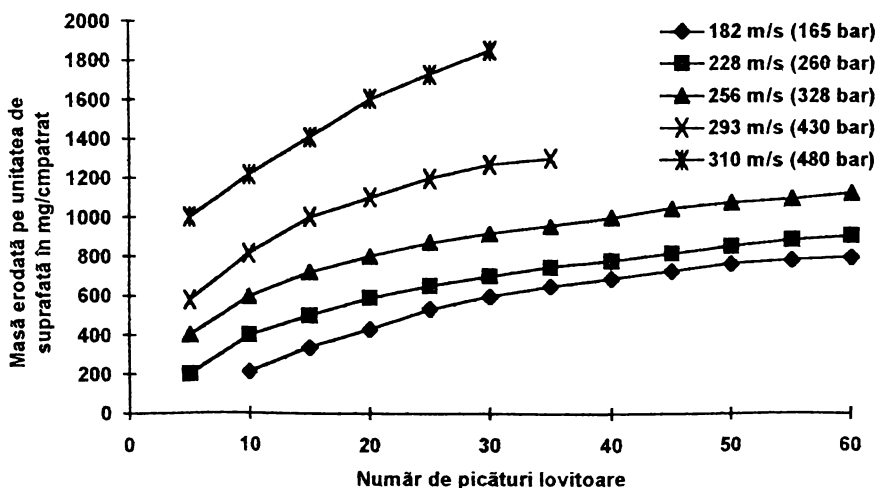


Fig.3.14. Variația volumului erodat în funcție de numărul de picături incidente

Un alt element prin care picătura influențează cantitatea de material îndepărtată de pe suprafața supusă prelucrării este cantitatea de picături care lovesc simultan suprafața. Astfel Baker studiază acest mod de variație al cantității de material erodat, pentru un număr variabil de picături care lovesc suprafața și la diferite viteze. Rezultatele sunt prezentate în fig.3.14., iar ecuațiile de variație ale cantității de material îndepărtate de pe unitatea de suprafață, în tabelul nr.3.6. Din analiza datelor pe baza cărora s-a trasat graficul de

variație, se observă că, la viteze mici de exemplu pentru 182 m/s, corespunzătoare unei presiuni de 165 bar, panta curbei punctelor rezultate este mică. În schimb pe măsură ce crește viteza și deci implicit presiunea picăturilor la 310 m/s corespunzătoare unei presiuni de 480 bar, această pantă începe să devină semnificativă. Dacă avem în vedere aceeași distribuție de tip multiplicativ pentru ecuațiile de regresie, factorul cu care masa de apă prin picăturile care lovesc suprafața, afectează procesul eroziv, variază de la 2,86 pentru presiunea de 165 bar, la 0,29 pentru presiune de 480 bar. Acest lucru este în concordanță cu comportamentul materialului la impactat, cu picături de apă la diferite viteze. Se deduce concluzia că nu numărul sau cantitatea de apă care lovește suprafața este determinată în procesul de prelucrare, ci viteza cu care aceste picături lovesc suprafața. În același timp există o tendință de creștere mai mare pe prima porțiune a curbei pentru fiecare din curbe. Pe a doua porțiune creșterea este relativ lentă. Acest lucru ne determină să afirmăm că, pentru fiecare viteză, există un număr optim de picături care lovesc suprafața și îndepărtează materialul, determinând productivitatea prelucrării cea mai mare.

Tabelul nr.3.6. Ecuația de variație a volumului erodat funcție de numărul de picături

Nr. crt.	Viteză în m/s	Ecuația de variație a cantității de material erodate în mg/cm ²	Coefficient
1	182	$y = \log(3,58962) * x^{2,8572}$	0,6318
2	228	$y = \log(4,56011) * x^{0,5764}$	0,9566
3	256	$y = \log(5,4283) * x^{0,405}$	0,9787
4	293	$y = \log(5,9013) * x^{0,3484}$	0,9467
5	310	$y = \log(6,46117) * x^{0,293502}$	0,9744

3.1.4.2. Studiul comportamentului materialului la acțiunea celorlalți factori la prelucrarea cu jet de apă [2.], [43.], [44.] [45.], [46.]

În afară de picăturile de apă în procesul de prelucrare asupra materialului supus prelucrării mai acționează următoarele fenomene de bază:

1. acțiunea apei descompusă în macroelemente de tip jeturi filiforme;
2. acțiunea efectului cavitațional asupra materialului prin cele două mecanisme:
 - cavitatea propriu-zisă;
 - acțiunea microjeturilor;
3. mecanismul rușii fragile a materialului supus prelucrării;
4. acțiunea undelor de soc create de vitezele supersonice ale apei;
5. acțiunea efectului de pană hidraulică asupra materialului;

A. Microcilindri de apă.

Acțiunea unui volum cilindric filiform de apă asupra materialului se realizează după

mecanismul din **fig.3.15**. Microjeturile care se formează în interiorul unui jet de apă la impactul cu o suprafață plană au o viteză:

- de 1300 m/s după Hoff care studiază acțiunea microjetului asupra plexiglasului în condițiile în care viteza jetului a fost de 600 m/s;
- de 1900 m/s după Munroe când viteza jetului este de 650 m/s.

În cazul acțiunii unui volum filiform de apă asupra materialului, se poate afirma că lucrurile se petrec diferit de cazul acțiunii picături. Astfel volumul cilindric de apă va determina producerea pe suprafață a unei pete de contact, apropiate ca diametru de cel frontal echivalent al unei particule sferice cu diametrul egal cu cel al bazei cilindrului de lichid filiform. Zona centrală a volumului filiform va acționa asupra zonei centrale după mecanismul picăturii, aceasta deoarece volumul filiform are la partea frontală o formă sferică. Deci în primă fază acțiunea este similară cu cea a picăturii.

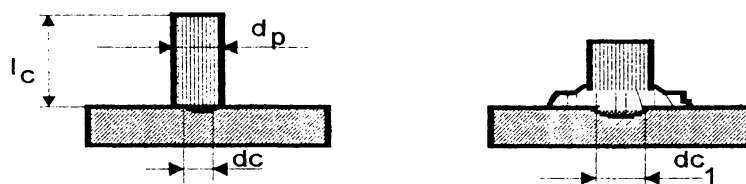


Fig.3.15. Evoluția acțiunii erozive al unui volum filiform de apă asupra materialului

În faza a doua frontul din zona centrală va anula unda de soc de întoarcere și va începe resolicitarea fazei centrale. Ciclul nu este repetitiv și va produce datorită acumulării de apă o atenuare a solicitării. Deoarece lungimea cilindrului este de 3..6 ori diametre ale picăturii pe zona circumferențială de solicitare se realizează o solicitare accentuată care va duce la creșterea profunzimii fisurii și la apariția prin efect de pană hidraulică a unor fisuri laterale și chiar a desprinderilor de macroparticule de material erodat. Acțiunea se păstrează la valori ridicate, cu toate că se constată o ușoară îngrosare a diametrului exterior al cilindrului, cu tendința de suprare a structurii cilindrice, în condițiile în care lungimea este mai mare de 7 diametre ale acestuia. Această solicitare suplimentară va determina o creștere substanțială a cantității de material îndepărtat și în același timp o mai eficientă utilizare a energiei cinetice înglobate în fluid. Datorită acestui fapt, se va urmări aditivarea apei, cu medii care pot să producă coagularea ei în macroparticule de formă filiformă. Coagularea are dublu efect: în primul rând crește rezistența cilindrului în condițiile în care are lungime mare, opunându-se surpării acestuia, iar în al doilea rând permite concentrarea energiei în zona circumferențială a zonei de solicitare cu o creștere a transferului de energie în vederea fisurării materialului. Ca și în cazul picăturii, apă din zona exterioară va fi deviată după suprafața materialului supus prelucrării și o parte din acesta se va întoarce înapoi de unde a venit.

Dacă fisura este deja creată, mecanismul de prelucrare va continua după principiul efectului de pană hidraulică sau cel cavitațional.

B. Efectul cavitațional

Teoria cavitațională se bazează pe nucleanta și dinamica bulei cavitaționale cu un continut redus de aer permanent, care se surpă și apoi se destinde elastic într-un fluid compresibil. Apa la presiunile de lucru considerate se comportă ca un fluid compresibil.

O bulă cavitațională parcurge două faze distincte în cadrul procesului: nucleanta cavitațională, și a doua fiind dinamica bulei cavitaționale.

Nucleanta este posibilă prin generarea spontană a unor nuclee la interfața solid-lichid sau prin nuclee de gaze preformate stabilizate pe particule solide în suspensie și prin formarea de gaze prezente în lichid care se precipită din soluție.

Dinamica bulei constă în formarea de impulsuri mari de presiune care apar la surparea și destinderea bulelor cavitaționale, când acestea se petrec la o distanță relativ mică de perete sau chiar pe acesta. Prezenta suprafeței de tăiere induce în procesul de surpare și destindere modificări importante, care conduc la o deformare a bulei simetrice într-o bulă de formă asimetrică. Asimetria favorizează apariția microjeturilor de mare viteză, care lovesc suprafața, contribuind astfel la distrugerea acesteia. Prezenta microjeturilor poate reduce numai posibilitatea apariției undelor de soc. Undele de soc pot fi generate și prin ciocnirea unor porțiuni din peretele bulei cavitaționale cu alte porțiuni din alte bule, sau cu peretele prelucrat. În primul caz, chiar dacă unda străbate o anumită distanță până la suprafața prelucrată, impulsul de presiune care apare prin impactul undei de presiune cu peretele suprafeței prelucrate poate să fie suficient de mare, pentru a cauza distrugeri.

Distructivitatea cavitațională implică în cadrul procesului, zone cu suprafață punctiformă în comparație cu cele realizate de procesele mecanice.

Acest caracter se explică prin aceea, că vârful de presiune se aplică pe o suprafață foarte mică și într-un interval foarte scurt, deci cu o viteză foarte mare. Pe de altă parte, dimensiunea bulei cavitaționale este de $0,1 \mu\text{m}$, deci de ordine de mărime mici, comparabile cu a grăunților cristalini, ceea ce face ca atacul cavitațional să fie orientat direct spre structura cristalină a materialului.

Distrugerea materialului prin mecanismul cavitațional propriu-zis are loc numai atunci când solicitarea cavitațională este cel puțin egală cu rezistența de curgere a cristalelor individuale. În cazul prelucrării cu jet de apă, acest proces este usurat și accelerat datorită presiunilor mari, cu care se lucrează și datorită faptului că bulele se formează în etapa de recompunere a jetului din picături în jet continuu, faza în care aerul din bulă sau vapori de apă sunt preluați din zona limitrofă a jetului.

C. Actiunea microjeturilor

Mecanismul de formare a microjetului este realizat în procesul de suprapunere al bulei cavitationale la începutul acesteia, când vitezele peretelui bulei sunt încă în domeniul sonic, fiind deci scăzute.

Microjetul este generat prin involuția dosului bulei cavitationale, care se surpă în vecinătatea peretelui solid al tăieturii. La finalul surpării bulei cavitationale apare un vârtej inelar, în condițiile menținerii constante a impulsului de lichid înconjurător. Acest vârtej, prin care trece microjetul de lichid, împreună cu gradientii de presiune, precum și prezența peretelui tăieturii vor genera și promova deformarea bulei cavitationale inițial sferice, rezultând astfel în finalul surpării o formă toroidală. Rezultă deci că hotărâtor în deformarea bulei cavitationale este interdependentă dintre aceasta și peretele materialului tăiat, pe lângă efectul gradientului de presiune. Atracția bulei de către peretele tăieturii mai este datorată și de antrenarea lui în lungul peretelui datorat forțelor laterale din jet. Această atracție apare, deoarece vitezele relative ale feței bulei dinspre perete sunt mai mari decât cele ale feței opuse. Rezultă deci, că presiunile de pe fața învecinată peretelui vor fi mai mici, și de aici efectul de propulsare a acesteia spre perete. Diametrul microjetului este de $1/4$ din diametrul ciupiturii și are valori de $0,3...2,5 \mu\text{m}$.

Un parametru fundamental al microjetului este viteza sa, care pe baza datelor teoretice și a rezultatelor experimentale se situează la valori de $100...200 \text{ m/s}$. Acestea sunt deci în plaja de viteze realizate la prelucrarea cu jet de apă. Impactul microjetului este caracterizat printr-un impuls de presiune de natură loviturii de berbec. Durata de acțiune a acestui impuls de presiune este egală cu timpul necesar semnalului de impact pentru a traversa jetul, și anume de 10^{-7} s .

Raportul dintre diametrul ciupiturii și adâncimea sa este de aproximativ $10...50$. Aceste rapoarte sunt de ordinul celor rezultate la lovirea unei suprafețe plane cu o picătură de apă. Ciupiturile au forma alungită, care crește cu viteza.

Caracteristic impactului cu jet este apariția unui curent radial de mare viteză după momentul impactului. Aceste viteze radiale, care ajung la valori de $2...3$ ori mai mari ca viteza de impact a bulei cu peretele, prin impulsurile de presiune generate, au o forță de distrugere prin forfecare mare, fiind explicat astfel procesul de distrugere al peretelui prin procesul cavitațional. Mecanismul distrugerii materialului prin procesul cavitațional, cu cele două faze ale sale, (unde de soc și microjeturi) stă la baza prelucrării cu jet de apă, ca unul din procesele fundamentale care degradează materialul. Este necesar însă, să nu se exagereze în sensul supraaprecierii acțiunii acestuia, el putând să reprezinte până la 15% din întregul proces de degradare al materialului cu jet de apă.

D. Comportamentul fragil al materialului supus prelucrării

Aceasta este proprietatea unor materiale, care pe diagrama de rezistență între zona elastică și cea de rupere nu prezintă porțiunea de curgere, ori aceasta este de

valoare și întindere foarte mică. În comparație cu aceste materiale fragile, cele ductile prezintă această zonă de curgere de valori și lungimi mari. Oricum, un material este ductil sau fragil în funcție în special de structura lui internă, dar o mare influență o au și condițiile de utilizare și prelucrare a acestuia. Exemple pot fi date multe, se vor da doar două: otelul călit este casant la suprafață, sticla este ductilă la teste de microduritate.

Se observă că, datorită profilului de viteză, care este foarte ascuțit la vârf, întreaga energie se concentrează într-o mică zonă. În același timp, datorită existenței fenomenului de descompunere și recombinare a jetului, în general asupra suprafeței materialului acționează picături de apă, și de aici rezultă forța scăzută cu care jetul acționează asupra materialului. Datorită acestei forțe scăzute, majoritatea materialelor, care se prelucurează cu jet de apă, prezintă o structură tenace în prima fază a prelucrării, și în special în structura de bază a materialului. Trebuie arătat însă că, îndepărtarea de material nu se realizează direct din primul moment. Acest proces este rezultatul cumulat al mai multor faze, care se desfășoară în intervale de timp scurte. Datorită aceluiași proces de descompunere și recombinare, picăturile de apă și bulele cavitationale acționează asupra materialului prin intermediul unor forțe mari, care vor realiza în prima fază durificarea unor părți din material și fisurarea zonelor centrale, în care materialul prezintă zone cu anomalii cristalografice. În faza a doua, materialul durificat, care în această fază prezintă deja o structură fragilă, este fisurat de către alte picături, realizându-se o zonă destul de întinsă de material fisurat. Fisurile realizate în prima fază, sunt supuse unor solicitări cu efect de pană de către picăturile de apă, sau microjeturile, care vin în contact cu materialul. Solicitățile sunt atât de mari, încât se realizează fisuri pe direcții perpendiculare pe cele realizate în prima fază, obținându-se rupeți de materiale în momentul în care se realizează întâlnirea a două fisuri transversale.

La acest efect se mai adaugă efectul creat de undele de soc transversale ale microjeturilor din bulele cavitationale, care amplifică fenomenul dezintegrării materialului.

E. Acțiunea undelor de soc create de vitezele supersonice

Vitezele realizate la presiunile de lucru folosite, depășesc viteza sunetului de la presiuni de 400 de bari în sus. La aceste viteze, la care numărul Mach depășește valoarea de 1, se realizează în zona de lucru o scădere a vitezei de la valoarea supersonică, la o valoare subsonică, apropiată de viteza limită de 10 m/s. Jetul nu va realiza niciodată în zona de lucru viteza zero. El se va deplasa transversal pe direcția de intrare, iesind pe la baza tăieturii realizate în situațiile în care materialul nu a fost perforat complet. De aici se observă și rolul secundar al jetului, acela de a îndepărta din zona de lucru produsele erozive. Datorită prezentei vitezei supersonice, în prima fază a impactului se realizează o undă de soc, care duce la descompunerea jetului în mai multe picături de dimensiuni mari, care acționează asupra materialului. Unda de soc se produce la o mică distanță de material, și se produce datorită întâlnirii jetului cu pelicula de apă datorită jeturilor laterale. După

dispariția unei unde de soc, jetul se reface și fenomenul continuă, datorită apariției unei alte unde de soc, reflectate de alte unde de soc nou create de fronturile de lichid, care vin spre suprafața de prelucrat. Aceste unde de soc datorită efectului lor pulsator vor crea în structura suprafeței solicitări foarte mari, a căror valori se situează în jurul a 10^3 daN/cm². Aceste solicitări vor produce în material fisurarea acestuia, iar în locurile în care structura prezintă rezistență ridicată durificarea ei.

F. Concluzii la modul de acțiune al jetului de apă asupra materialului

Din analiza datelor rezultate ca urmare a prelucrării diferitelor materiale cu jet de apă s-a desprins concluzia că fiecare dintre efectele mai sus menționate contribuie direct la erodarea materialului cu un aport variabil în decursul procesului. Astfel dacă în prima fază la impactul suprafeței jetul acționează numai prin efectul picăturilor, microjeturilor și cel cavitațional, producând comprimarea materialului și microciupituri pe suprafață. Ponderele efectelor din studiul suprafeței este de 15% cavitațional, 30% picături și 55% microjeturi. În cea de-a doua fază, după afectarea integrității suprafeței materialului se produce erodarea acestuia mai ales datorită efectelor mecanice de unde de soc datorate vitezei Mach 10%, a efectului cavitațional la interfața dintre planele de separație ale granulelor 10%, a efectului microjeturilor 65% și mai puțin ca efect al acțiunii picăturilor de apă 15%.

3.1.4.3. Studiul experimental al influenței factorilor prelucrării asupra cantității de material erodat la prelucrarea cu jet de apă [16.], [17.].

În prima fază a cercetărilor a fost utilizată o pompă de noroi a cărei presiune de lucru maximă este de 700 bar. Diuzele realizate, au avut diametru interior de 0,6 mm, 1 mm, 1,5 mm și 1,8 mm. Materialele folosite pentru încercările experimentale au fost de mai multe tipuri:

- metalic: oțel;
- nemetalic ceramic: faiantă;
- nemetalic plastic: polimetacrilat de metil (plexiglas);
- nemetalic lemnos: placaj de 10 mm, Placă Aglomerată din Lemn de 18 mm.

În prima fază am realizat prelucrarea prin găurire numai pentru ultimele trei tipuri de materiale, oțelul fiind afectat semnificativ numai la suprafața lui.

În a doua fază a cercetărilor a fost utilizată o pompă WOMA care permite obținerea unei presiuni maxime de 1000 bar.

Materialele au fost alese astfel încât să permită prin structura lor acoperirea plăjei specifice comportamentului structurilor de tip metalic, nemetalic, fibros și respectiv aglomerat. Se va putea astfel studia mai bine modul de comportament al lor la acțiunea directă a jetului de apă.

Analiza comparativă a modului în care jetul de apă pătrunde în material se prezintă în **fig.3.16**. Pătrunderea jetului în material este variabilă funcție de parametrii de prelucrare care influențează procesul. Pentru parametrii de studiu am ales presiunea de lucru de 1000 bar, diametru de diuză de 0,25 mm din safir și viteză de prelucrare 66 mm/min, distanță diuză material de 13 mm.

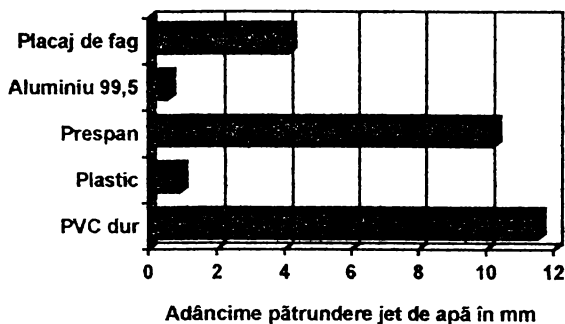


Fig.3.16. Studiul comparativ al comportamentului materialelor la acțiunea jetului de apă

În **fig.3.17**, se prezintă capul cu diuzele montate la interior pentru realizarea prelucrării cu pompa de norși și respectiv cel realizat pentru pompa Woma. În **fig.3.18**, se prezintă una din fazele de încercări care au fost realizate pentru prelucrarea materialelor prezentate mai sus.

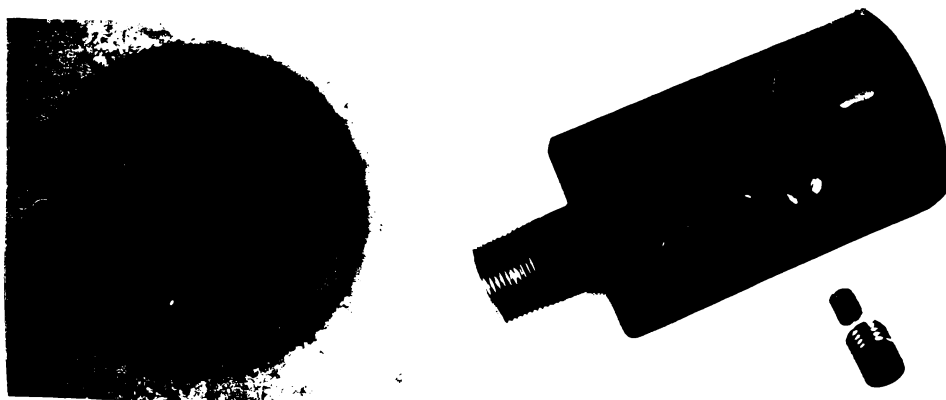


Fig.3.17. Montura diuzelor în dispozitivul de prelucrare cu jet de apă



Fig.3.18. Incercare experimentală de prelucrare cu jet de apă a materialelor

3.1.4. Parametrii jetului de apă și modul lor de influență asupra procesului eroziv

Parametrii jetului pot fi determinați pe baza ecuației lui Bernoulli, în cazul curgerii lichidelor prin diuza cilindrică:

$$\text{- presiunea jetului la ieșirea din diuză: } p_0 = (1 + \xi) \times \frac{v_0^2}{200}, \text{ în bar,} \quad (3.2.)$$

unde: ξ este un coeficientul presiunii și depinde de gradul de compresibilitate al apei și de gradul de prelucrare al diuzei;

- viteza jetului și debitul acestuia la ieșirea din diuză:

$$v_0 = \phi * \sqrt{200 * p_0}; [m / s]$$

$$Q = v_0 * S_0 = \frac{3 * \pi}{20} * d_0^2 * \sqrt{2 * p_0}; [l / \text{min}] \quad (3.7. / 3.8.)$$

unde:

- ϕ este coeficient de curgere 0,92...0,95, el depinde de gradul de prelucrare al orificiului diuzei. Dacă diuza este obținută prin găurire cu laser și nu este rectificată interior cu unde ultrasonice valoarea acestui coeficient poate să scadă la 0,5 .. 0,6;

- S_0 este suprafața de ieșire a diuzei în m^2 , ea este dată de formula:

$$S_0 = \frac{\pi * d_0^2}{4} * 10^{-6}; \quad (3.9)$$

Forța jetului de apă la ieșirea din diuză se determină în N cu formula :

$$F = 120 * \left(\frac{p}{100} \right)^{1,15} * d_0^{1,75} \quad (3.10.)$$

Deoarece în formula forței nu se ține cont de parametrii tehnologici ai prelucrării, se va determina forma acestora în funcție de aceștia. Programul a fost realizat în STATGRAFICS și a permis determinarea atât a noi formule, cât și a ponderi pe care o are fiecare dintre factorii asupra forței de prelucrare din proces. Pentru ca studiul să fie cât mai apropiat de realitate s-au realizat două analize, prima în zona presiune = 1000 .. 2000 bar și a doua la presiune = 2000 .. 3000 bar, cu diametru de diuză de 0,12 mm și respectiv 0,25 mm la distanțe diuză material de 13, 18 și 23 mm, proba fiind deplasată cu viteză de 0 și respectiv de 66 mm/min și material cu grosime maximă de 5 mm. În cele două puncte s-au trasat histogramele corespunzătoare **fig.3.19.**, observându-se că forța depinde de diametrul diuzei, grosimea probei supuse prelucrării, interacțiunea dintre acestea două, presiune și respectiv viteza cu care proba se deplasează.

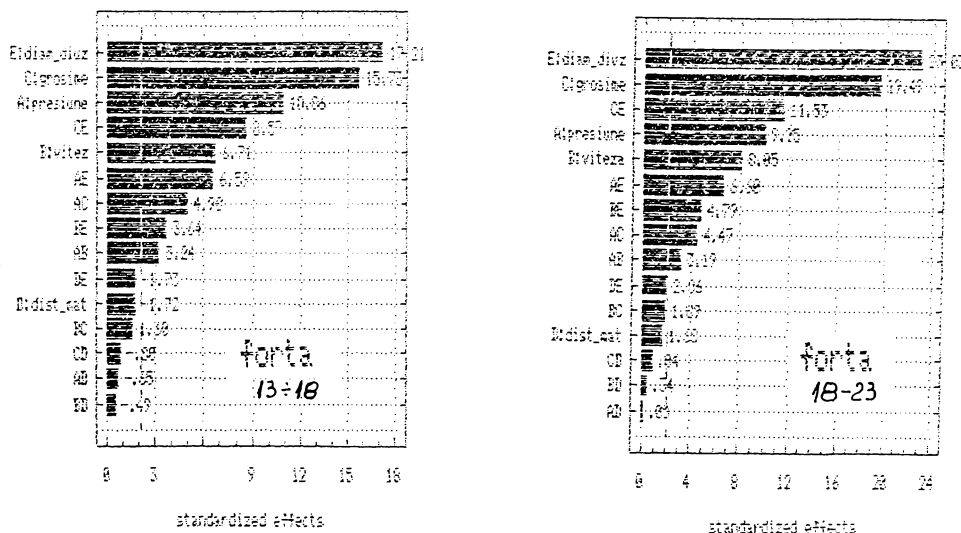


Fig.3.19. Histogramele de analiză a factorilor de influență asupra forței la prelucrarea cu jet de apă

În **fig.3.20.** sunt prezentate funcțiile de răspuns pentru factorii semnificativi care influențează procesul de prelucrare și deci implicit forța cu care jetul acționează asupra materialului. Astfel rezultă modul de variație al forței în funcție de factorii pe care autorul i-a identificat a fi cei care afectează procesul de prelucrare cu jet de apă.

Relația matematică este:

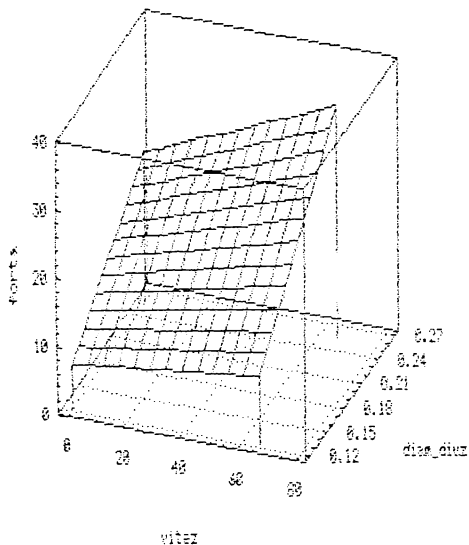
$$F = 2,89 - 0,014 * p - 0,21 * v - 4,7 * g + 1,485 * dm - 35,17 * dd + 29,74 * g * dd - 5,99 * dm * dd \quad (3.11.)$$

În relație s-a notat cu p presiunea jetului de apă, cu v viteza de deplasare a probei

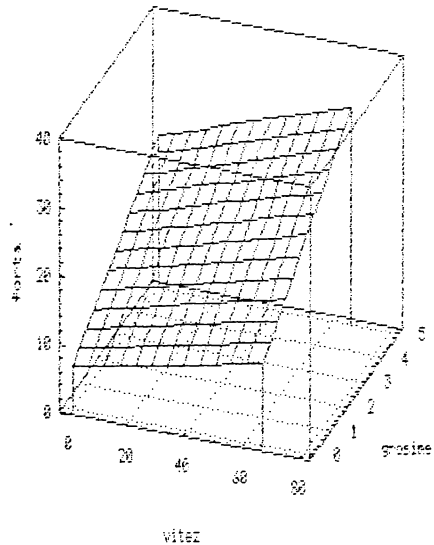
supuse prelucrării, g grosimea probei supuse prelucrării, dm distanța dintre diuză și material și cu dd diametrul diuzei de apă.

Coeficientul ecuației de regresie a fost de 98,2 % el fiind considerat satisfăcător.

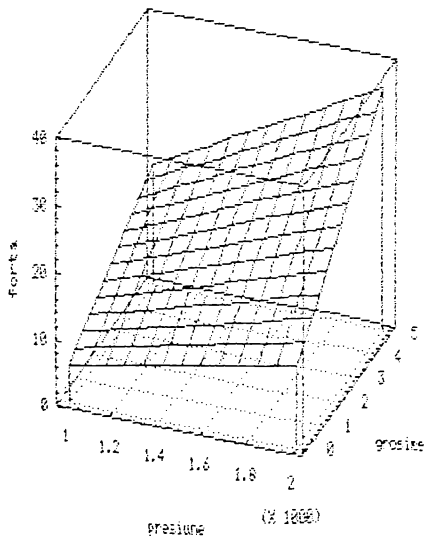
Estimated Response Function



Estimated Response Function



Estimated Response Function



Estimated Response Function

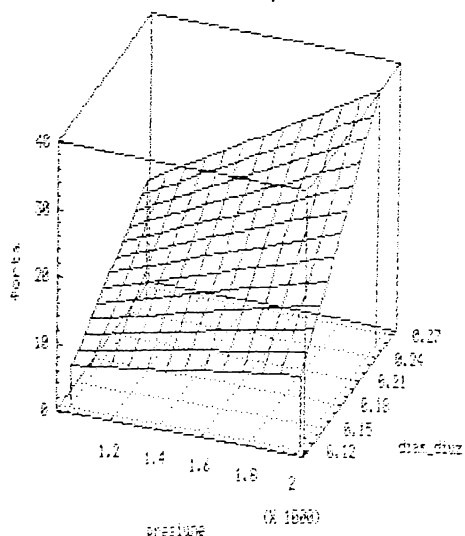


Fig.3.20. Funcțiile de răspuns pentru forța de prelucrare pentru factorii semnificativi, la prelucrarea cu jet de apă

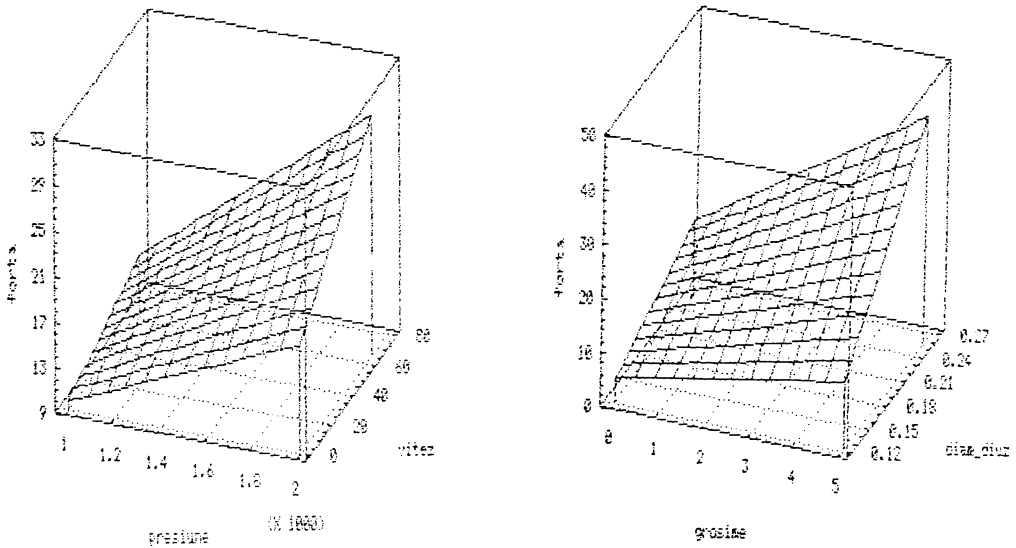


Fig.3.20. Funcțiile de răspuns pentru forța de prelucrare pentru factori semnificativi la prelucrarea cu jet de apă (continuare)

În **fig.3.21.** se prezintă modul în care se modifică forța de prelucrare funcție de grosimea de material care se prelucurează prin tăiere.

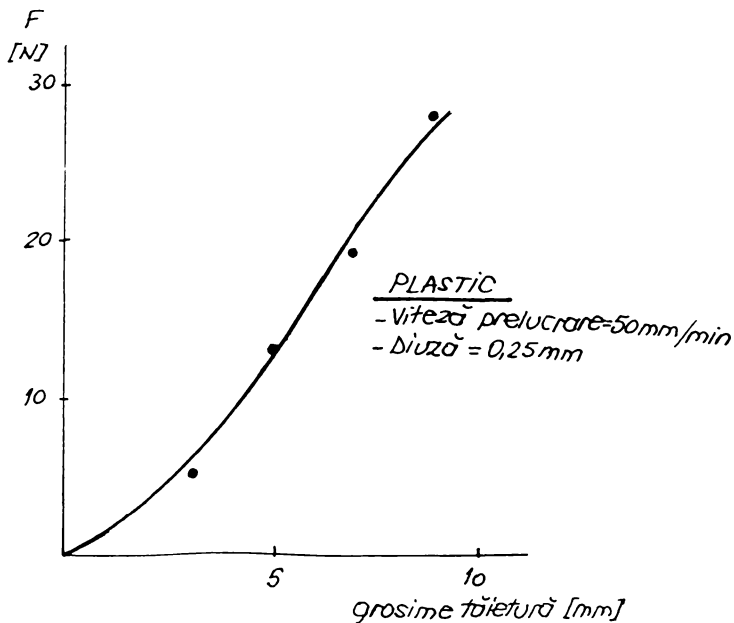


Fig.3.21. Variația forței cu grosimea tăieturii la prelucrarea cu jet de apă

Distanța optimă de la care se poate realiza prelevarea de material este :

$$l_{opt} = 99,7 * \left(\frac{P}{10}\right)^{-0,88} * d_0; \quad (3.13.)$$

Puterea maximă a jetului:

$$P = C_0 * \frac{\pi * d_0^2 * (\sqrt{2 * p})^3}{8} * 10^{-3}; [kW] \quad (3.14.)$$

- C_0 este coeficientul de putere, el are valori de 0,5...0,6.

Din punct de vedere efectiv însă asupra materialului acționează jetul cu o presiune mai mică. Dacă se are în vedere puterea dinamică medie și diametrul pe care aceasta acționează în funcție de distanța dintre diuză și material se obțin datele din **tabelul nr.3.7**.

Tabelul nr.3.7. Variația puterii în funcție de presiune și distanță diuză-material la prelucrarea cu jet de apă (distanță diuză-material 13 mm)

Nr. crt.	Presiune [bar]	Presiune dinamică medie [N/mm ²]		Forță exerciată [N]		Puterea dezvoltată [W]	
		0,12 [mm]	0,25 [mm]	0,12 [mm]	0,25 [mm]	0,12 [mm]	0,25 [mm]
1	1000	50	32	2,1	6,9	21	55
2	2000	73	55	3,5	13,4	42,2	140,1
3	3000	81	71	4,85	19,2	61,5	228,1
4	4000	95	92	6,3	29	86,6	392,2

Pe baza datelor din tabel s-a determinat relația de calcul a puterii în funcție de factorii care influențează puterea de prelucrare cu jet de apă.

$$P = -63,24 + 5,54 * dm - 2,36 * p + 218,17 * dd + 0,424 * p * dd - 26,7 * dm * dd; \quad (3.15.)$$

Semnificația mărimilor este identică ca cea de la forță. În **fig.3.22** se prezintă histograma și suprafețele de răspuns pentru câte doi factori. Se observă concordanța dintre datele obținute pentru forță cu cele de la putere.

S-a stabilit experimental că lungimea zonei nestabilizate este de 3...4 ori lungimea zonei inițiale.

Legitatea reală de schimbare a vitezei este dată de formula:

$$\frac{v_m}{v_0} = \frac{\sqrt{\frac{2 \times p_m}{\rho}}}{\sqrt{\frac{2 \times p_0}{\rho_0}}} = \sqrt{\frac{X_c}{X}}, \quad (3.16.)$$

unde:

- v_m este viteza la distanța l față de duză în m/s

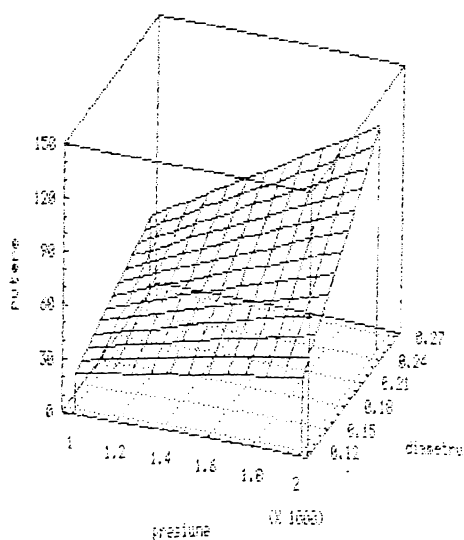
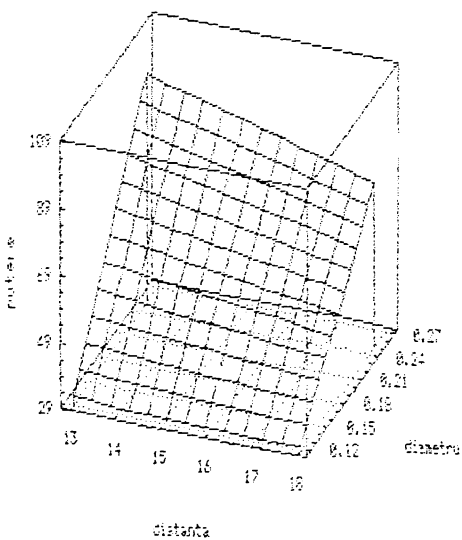
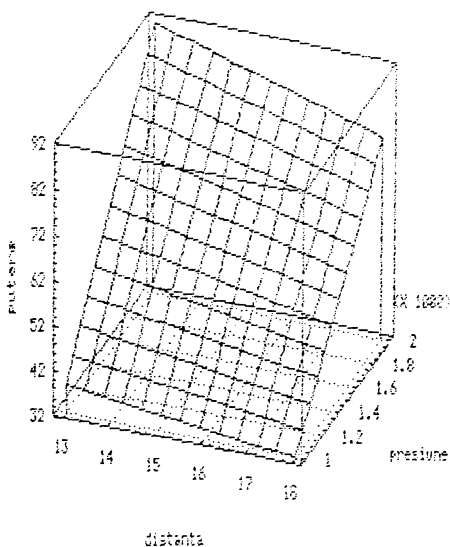
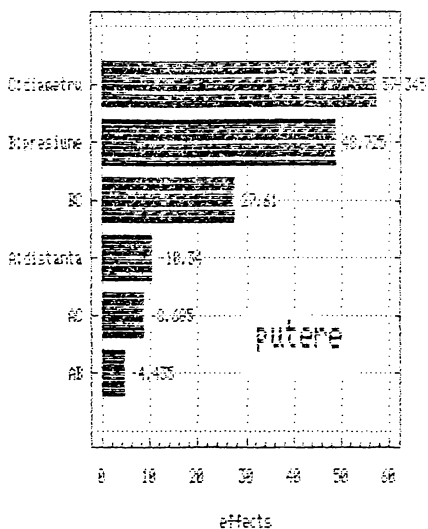


Fig.3.22. Histograma și suprafețele de răspuns pentru putere la prelucrarea cu jet de apă

Asa după cum arată și Resiga influența compresibilității apei asupra vitezei jetului de apă este mică 1% la 1000 bar și 4% la 6000 bar.

Legea de distribuție a presiunii dinamice axiale este dată de relația:

$$\frac{p_m}{p_0} = \left(1 - \left(\frac{Y}{\frac{w_e}{2}} \right)^{(3/2)} \right)^2, \quad (3.17.)$$

Presiunea dinamică specifică a jetului la distanța dată de diuză:

$$p_x = p_1 * \frac{X_C}{X}, \quad (3.18.)$$

Lățimea jetului este:

$$w = 0,335 * \sqrt{d_0 * X}, \quad (3.19.)$$

Această mărime este foarte importantă, pentru prelucrarea materialelor cu jet de apă. Ea ne dă de fapt suprafața pe care se realizează contactul dintre jet și material. Dacă ținem seama de faptul că forța hidrolică este determinantă pentru ecuațiile de moment și continuitate a jetului, în vederea determinării prelucrării materialului, se poate determina valoarea lățimii jetului, în funcție de caracteristicile mecanice ale materialului. Formula de calcul rezultată este:

$$w_{ef} = 0,335 * \sqrt{d_0 * X} * \sqrt[3]{1 - \sqrt{\frac{\sigma_c * X}{2 * p * X_C}}^2} \quad (3.20.)$$

unde: - σ_c este rezistența la curgere a materialului exprimat în N/mm^2 ;

- p este presiunea jetului de apă la ieșirea din diuză în N/mm^2 ;

- w_{ef} este lățimea efectivă a părții superioare a tăieturii în mm.

Dacă în formula de mai sus introducem datele rezultate de la prelucrarea plasticului armat cu fibră de sticlă cu jet de apă se obține:

$$w_{ef} = 0,43 \text{ mm};$$

unde: presiunea = 2000 bar = 200 N/mm^2 ; distanța $X = 23$ mm; $X_c = 11,84$ mm;

rezistența la curgere = 40 N/mm^2 .

Se observă că pentru un material determinat prin caracteristicile mecanice se poate determina lățimea tăieturii la partea superioară.

3.2. CERCETĂRI TEORETICE SI EXPERIMENTALE ASUPRA MECANISMULUI PRELEVĂRII DE MATERIAL CU JETURI DE APĂ CU ABRAZIV

3.2.1. Consideratii asupra limitei de eroziune a jet de apă cu abraziv

În cazul utilizării jetului de apă cu abraziv, erodarea materialelor se realizează pe considerentul depășirii limitei de rezistentă la rupere și/sau fisurare al materialului. Momentul începerii procesului de erodare poate fi considerat a fi acela în care presiunea exercitată de particula de abraziv pe suprafață ia valori date de formula:

$$p = 1,57 * \sigma_R * \sqrt{\frac{1}{1 - \nu^2}} \quad , \text{ în bar;} \quad (3.21.)$$

în care: - σ_R este rezistența la rupere a materialului, în N/mm^2 .

Dacă în plus ținem cont și de faptul că materialele mai sunt caracterizate și de o tenacitate la rupere, se poate determina cu precizie modul de comportament al materialului, la prelucrarea prin eroziune cu jet abraziv.

Pe baza **formulei (3.21.)**, s-a determinat valoarea limită a presiunii, necesare initierii și propagării fisurii, pentru materialele care fac obiectul prezentei teze, prezentate în **tabelul nr.3.8.**

Tabelul nr.3.8. Presiunea minimă de eroziune la prelucrarea materialelor cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Material	Coefficient Poisson	Rezistentă la rupere [N/mm^2]	Rezistentă la compresiune [N/mm^2]	Presiune de eroziune [bar]
1	Oțel	0,27	440..930	440..930	17,4..1516,4
2	Lemn foioase	0,5	50..270	25..130	90,6.. 489,5
3	Lemn conifere	0,5	23..118	12..50	41,7.. 213,9
4	Masă plastică	0,24	25..30	25..30	40,4.. 48,5
5	Ceramică	0,5	8,3..13	32,2	15,1.. 23,6
6	Aluminiu	0,34	40..160	40..160	66,8.. 267,2

Comparând valorile de presiune pentru prelucrarea cu jet de apă, cu cele pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, rezultă că valorile determinate prin cele două metode sunt diferite. Ele sunt în general mai mari, la utilizarea jetului de apă simplu și mai mici, când în apă, se adaugă abraziv. În același timp având în vedere că, materialul nu este omogen în structură și că, în general marea majoritate a materialelor, pe lângă componenta elastică, prezintă la acțiunea mecanică și o componentă plastică, se justifică majorarea valorilor de presiune cu câteva ordine de mărime, față de valorile calculate.

3.2.2. Considerații generale asupra comportării materialelor la prelucrarea cu particule abrazive

Prelucrarea materialelor cu particule abrazive, este studiată din punct de vedere al parametrilor care au influență, asupra cantității de material deformat și / sau îndepărtate de pe suprafață. Principalele mecanisme sunt:

1. Erodarea materialului ca urmare a acțiunii particulei abrazive directe;
2. Erodarea materialului ca urmare a efectului separat datorat celorlalte elemente:
 - efectul eroziv al picături de apă;
 - efectul cavitațional;
 - efectul microjeturilor;
 - efectul de pană hidraulică;
 - efectul undelor de soc supersonice;
3. Comportarea materialului de tip ductil, fragil sau ductil-fragil.

A. Acțiunea particulei abrazive [5], [8], [9], [10], [11], [12], [19], [26], [37]

Îndepărtarea de material, se datorește în special interacțiunii directe dintre particula abrazivă și material. În procesul eroziv, particula abrazivă ca urmare a energiei cinetice pe care aceasta o posedă, dezvoltă în momentul ciocnirii cu materialul, o anumită forță pe suprafață care, va determina deformarea plastică, fisurarea și ruperea materialului supus prelucrării. Un alt element care acționează direct în procesul eroziv asupra cantității de material afectate, este geometria particulei. Nu în ultimul rând avem de luat în considerare și unghiul sub care particula abrazivă lovește materialul.

Cercetările experimentale în acest domeniu, s-au desfășurat pe două direcții distincte.

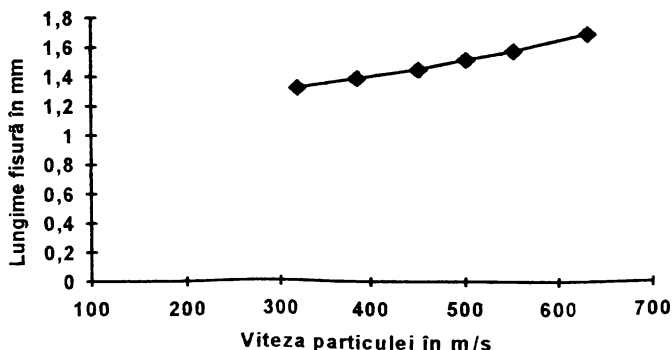


Fig.3.23. Variația adâncimii fisurii în funcție de viteza particulei și materialul supus prelucrării

Prima parte a acestor cercetări, a fost realizată cu particule singulare care lovesc suprafața materialului supus prelucrării, iar a doua parte, cu particule aflate în

suspensie care lovesc proba supusă prelucrării. Prin orientarea cercetărilor după această strategie, s-a urmărit a se pune în evidență, atât comportamentul materialului la acțiunea singulară a particulelor abrazive, cât și cel obținut la acțiunea ansamblului de particule abrazive.

Din cercetările făcute la impactul unei particule abrazive cu diametru mediu de 2 mm, cu o probă din aluminiu, se obține o variație de dimensiune a fisurii realizate de tipul celei prezentate în **fig.3.23**.

Modul de variație este aproximativ liniar pentru porțiunile de viteză mare ale particulei, în timp ce la viteze mici, tendința este de scădere rapidă spre zero, lucru datorat în special apariției la materialele elasto-plastice a deformației plastice. Pentru materiale fragile de tipul sticlei sau masei plastice, se observă o tendință liniară crescătoare a lungimii fisurii, cu o pantă de creștere foarte mică. Pentru a determina relația matematică de dependență dintre lungimea fisurii și viteza particulei pentru diferite materiale, a fost necesară adoptarea unui parametru de rezistență specific pentru materialele studiate. Acesta s-a dovedit a fi tenacitatea la rupere a materialelor care are valorile din **tabelul nr.3.9**, care apoi au fost utilizate în programul de calcul regresionar liniar STATGRAFICS, cu ajutorul căruia s-a derminat ecuația de regresie:

$$L_f = 1,204 + 1,261 * \frac{v^2}{1000000} \quad (3.22.)$$

Tabelul nr.3.9. Tenacitatea la rupere a materialelor

Nr. crt.	Material	Tenacitatea la rupere [MN/m ^(3/2)]
1	Otel slab aliat	140
2	Fontă	6 .. 20
3	Lemn ⊥ pe fibră	11 .. 13
4	Sticlă	0,7 .. 0,8
5	Fier beton	10 .. 15
6	Masă plastică	1 .. 3
7	Aluminiu	23 .. 350
8	Ceramică	0,9

Asupra cantității de material erodate de către o particulă abrazivă, are influență masa particulei, forma ei geometrică și viteza particulei. Aceste mărimi pot fi considerate ca fiind cele mai importante.

Primul element care influențează masa de material erodat este masa particulei, care lovește suprafața. În **fig.3.24**, se prezintă modul de variație al cantității de material erodate în funcție de diametrul particulei pentru o probă din aluminiu.

S-a optat pentru studiul cantității de material erodat la dimensiunea particulei și nu la masa acesteia, deoarece un rol important în procesul de erodare al materialului, îl are și suprafața activă cu care particula lovește proba supusă studiului. Viteza particulelor

care au lovit suprafața, a fost de 230 m/s. Pe baza graficului de variație trasat și a utilitarului STATGRAFICS s-a putut determina relația matematică de variație:

$$M = 4052,83 + 37396,2 * d_p \quad (3.23.)$$

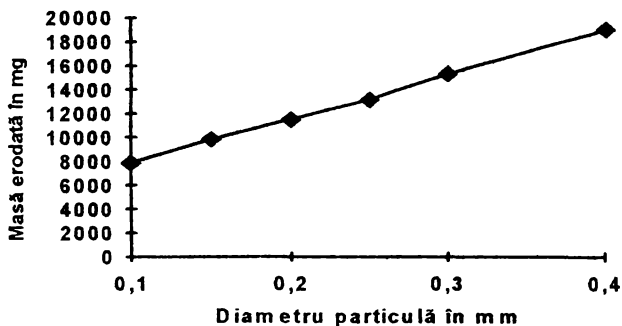


Fig.3.24. Variația cantității de material îndepărtat funcție de diametrul particulei abrazive

Dacă se are în vedere că în formula energiei cinetice și respectiv cea energetică de la ciocnirea particulelor, viteza este la puterea a doua și masa la puterea întâi, se poate concluziona că elementul principal energetic, care influențează masa de material erodată este viteza și apoi masa, concluzie evidențiată și de compararea fig.3.24. cu fig.3.25.

Ecuatia de regresie determinată cu ajutorul programului STATGRAFICS este:

$$M = -5474,01 + 4,40436 * \frac{v^2}{100} \quad (3.24.)$$

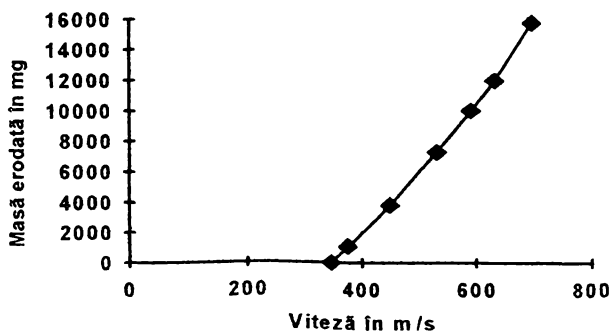


Fig.3.25. Variația masei de material erodat în funcție de viteza particulei

Există o valoare de viteză minimă sub care procesul de erodare nu se mai desfășoară corespunzător. Această valoare, va fi definită ca valoarea de la care începe procesul

de eroziune. În **fig.3.26.** se prezintă modul de variație al comportamentului materialului la diferite viteze de impact cu particulă de tip sferic. Acest comportament vine să confirme cele mai sus afirmate.

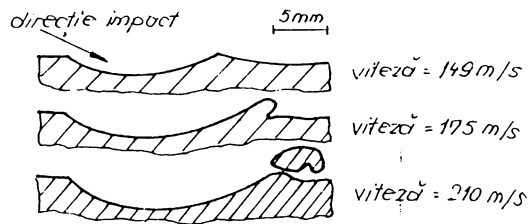


Fig.3.26. Modificarea cantității de material afectate la prelucrarea cu particule singulare

Dacă comparăm valorile de cantitate de material îndepărtate, de pe proba de aluminiu cu jet de apă și cele rezultate pentru aceeași probă cu jet de apă cu abraziv, se ajunge la concluzia că, pentru o presiune de lucru de 700 bar, avem la jet de apă un maxim de 250 mg, și respectiv pentru jet abraziv unul de 1050 mg valoare **fig.3.26.**, pentru jetul abraziv, rezultă un spor de prelucrabilitate de 4,2 ori, în favoarea prelucrării cu jet abraziv față de cel cu jet de apă. Dacă comparăm această valoare cu cea estimată inițial, pentru presiunea critică minimă la care procesul de prelucrare este bun, se observă că raportul este 100 bar pentru apă la 67 bar pentru abraziv. Deci valoarea de presiune de eroziune minimă, este de aproape două ori mai mică. Explicarea acestei creșteri de prelucrabilitate pentru cazul de masă îndepărtată, este dat de însumarea la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, a efectelor produse de prelucrare cu apă și respectiv cu particulele abrazive.

Un rol important în procesul de ciocnire și deci de fisurare a materialului, îl are forma geometrică a părții de atac a particulei, care lovește proba supusă prelucrării. Se poate defini astfel o suprafață de atac a particulei asupra materialului și o geometrie de atac a particulei asupra materialului. Cu cât această suprafață este mai mare cu atât cantitatea de material care se îndepărtează de pe suprafață va scădea. În același timp cu cât geometria de atac va fi mai ascuțită cu atât cantitatea de material afectată va fi mai mare.

Pentru a se pune în evidență modul de comportament al materialului, în funcție de forma geometrică a particulelor care lovesc suprafața, a fost realizat un experiment cu particule de formă cilindrică cu diferite forme geometrice ale suprafeței frontale și sferice care au impactat suprafața la diferite viteze. În figurile următoare, se prezintă câteva dintre tipurile de cratere rezultate din procesul de prelucrare. Au fost utilizate probe confecționate din plexiglas, plumb, cupru, duraluminiu, oțel, sticlă, placaj, placă aglomerată din

lemn, azbociment și gresie. Pentru a fi evidențiate toate mărimile care pot influența procesul de erodare datorat formei particulei, a fost realizată o ierarhizare a acestora:

- forma geometrică a suprafeței de impact a particulei:
 - cilindrică;
 - cilindrică sectionată cu un plan înclinat la un anumit unghi;
 - cilindrică sectionată cu două plane care se întâlnesc în zona diametrală;
 - conică;
 - piramidală;
 - pătrată;
 - sferică;
- unghiul sub care particula lovește suprafața;
- raportul dintre duritatea suprafeței particulei și cea a materialului supus prelucrării;
- unghiul de înclinare față de verticală al suprafeței incidente a particulei în raport cu suprafața supusă prelucrării.

Aceste elemente au influență directă asupra cantității de material îndepărtat și/sau deformat plastic, precum și asupra geometriei craterului rezultat pe suprafață, deci în final vor avea influență asupra rugozității suprafeței supuse procesului de prelucrare cu jet de apă cu abraziv. Astfel craterele rezultate la erodarea cu o viteză de 40 m/s, cu o particulă de tip sferic la un unghi de lovire de 90 de grade sunt pentru oțel **fig.3.27.** și alamă **fig.3.28.**

Dacă în cazul primei probe **fig.3.27.** din oțel, se prezintă craterul rezultat la lovitură singulară, iar pentru alamă **fig.3.28.**, se observă rezultatul unor lovituri multiple, realizate ca



Fig.3.27. Probă din oțel lovită la 90° cu particulă sferică de 6 mm și viteză 40 m/s, mărime 100 ori.

umare a unei oscilații vibratorii a particulei sferice. S-au obținut astfel trei cratere dispuse adiacent, de diferite dimensiuni, în funcție de energia pe care sfera a avut-o la impact. Este

interesant de observat că la zonele de interferență ale craterelor sferice suprafața prelucrată



Fig.3.28. Probă din alamă lovită la 90° cu particulă sferică de 6 mm și viteză 40 m/s, mărire 100 ori.

prezintă săderea înălțimii și nu se observă realizarea vreunei bavuri. Pe zona suprafeței interioare a craterului realizat, înălțimea neregularităților de pe suprafață, este mult mai mică decât în zona de placă propriu-zisă. În **tabelul nr.3.10.** sunt prezentate rezultatele obținute la prelucrarea suprafețelor probelor din plumb, oțel, aluminiu, cupru, cu particule sferice de diferite diametre și viteza particulelor de 40 m/s. Au fost realizate probe numai pentru materialele metalice, deoarece din încercările realizate la lemn (placă de 10 mm grosime), sau placă de azbociment, nu s-a obținut pe suprafață, nici un fel de crater de deformare plastică sau rupere de material. S-a putut observa o urmă de tipul unei pete de contact,

Tabelul nr.3.10. Geometria craterelor rezultate la erodarea materialelor cu particule sferice la viteza de 40 m/s.

Nr. crt.	Material	Diametru bilă [mm]							
		4		6		7		8	
		D [mm]	H [mm]	D [mm]	H [mm]	D [mm]	H [mm]	D [mm]	H [mm]
1.	Plumb	1,62	0,172	2	0,172	2,19	0,176	2,38	0,209
2.	Oțel	0,83	0,044	1,41	0,085	1,55	0,087	1,69	0,104
3.	Duraluminu	1,24	0,099	1,34	0,076	1,48	0,08	1,63	0,097
4.	Cupru	0,77	0,037	1,09	0,05	1,3	0,061	1,55	0,087
5.	Alamă	0,86	0,047	1,42	0,086	1,69	0,104	1,91	0,133

rezultat ca urmare a ciocnirii elastice dintre particulă și material. Probele din sticlă, la această viteză au fost sparte în bucăți de dimensiuni relativ mari, rezultând deci, că pentru sticlă, energia care se introduce în sistem, este mult prea mare. Spargerea s-a

datorat comportamentului sticlei la acțiunea unei particule abrazive. În **fig.3.29.** se prezintă modul de evoluție al fisurilor în sticlă pe măsură ce particula abrazivă pătrunde în probă. Datorită comportamentului prezentat sticla nu poate fi prelucrată nici cu jet de apă curată. În **fig.3.30.** se prezintă modul de rupere al unei probe din sticlă la acțiunea unui jet de apă de 2000 bar.

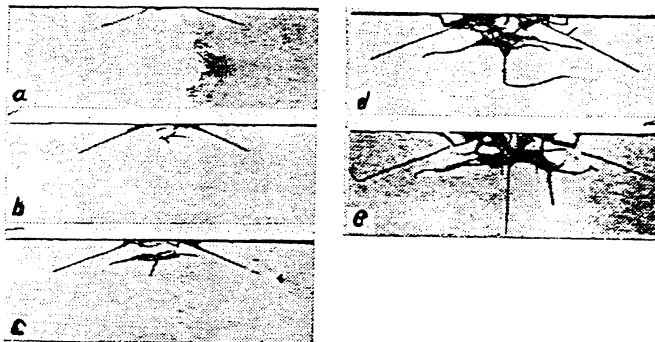


Fig.3.29. Evoluția fisurilor în sticlă la impactul cu particula abrazivă

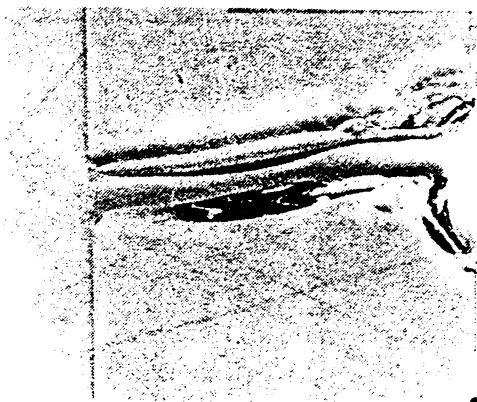


Fig.3.30. Tăietură cu jet de apă a unei probe din sticlă la o presiune de 2000 de bar

În cazul modificării unghiului de impact dintre particula sferică și material se poate observa din **fig.3.31.**, o tendință de creștere a lungimii cu o menținere constantă a diametrului maxim a craterului. Datorită însă vitezei scăzute nu se observă o creștere de material în zona limitrofă craterului.

În condițiile creșterii vitezei particulei la 220 m/s, pentru o probă din duraluminiu, lovită cu o bilă de rulment cu diametrul de 3 mm, la un unghi de 162°, în **fig.3.32.**, tendința materialului situat în zona laterală a craterului este de a fisura și în același timp de a-și mări înălțimea acestuia pe măsură ce particula înaintează în material. În partea de ieșire

din impactul particulei cu materialul se observă existența unei anumite cantități de material care este ruptă sau are tendința de a se rupe. Craterul în același timp prezintă în zona centrală o zonă de curgere a stratului de material o dată cu mișcarea de deplasare a bilei în material.

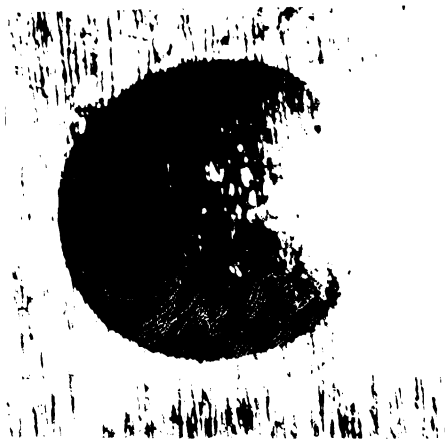


Fig.3.31. Probă din alamă lovită la 40m/s cu particulă sferică diametru 6 mm, unghi 150°, mărire 100 ori.



Fig.3.28. Probă din aluminiu lovită la 162°, cu particulă sferică cu diametrul de 3 mm, viteză 220 m/s, mărire 100 ori.

Din cele prezentate rezultă că pentru erodarea materialului cu o particulă sferică există o valoare minimă care duce la rupere de material și sub care nu apare rupere ci numai fisurare sau deformare plastică. Este important de studiat în viitor modul de comportare al materialului la erodarea cu particule sferice, în vederea stabilirii limitelor care asigură prelucrarea de durificare a suprafeței materialului și respectiv de erodare. Stabilirea acestor limite constituie baza de la care se pomeste la tehnologia de durificare a suprafeței materialului cu jet de apă cu abraziv. În **tabelul nr.3.11.**, se prezintă rezultatele obținute la prelucrarea diferitelor materiale cu viteza de 40 m/s la unghiuri material-probă de 120°, 135° și 150°. Rezultatele determinărilor au stat la baza stabilirii funcției care permite

calculul modului de variație al diametrului maxim al craterului și adâncimii maxime a acestuia. Pentru determinarea funcțiilor s-a utilizat programul STATGRAFICS, funcțiile depinzând de diametrul particulei, unghiul de lovire, tenacitatea la rupere a materialului supus prelucrării și viteza particulei.

Tabelul nr.3.11. Geometria craterelor rezultate la erodarea materialelor cu particule sferice la viteza de 40 m/s pentru particulă 8 mm și 220 m/s pentru particulă 3 mm.

Nr. crt.	Material	Diametru bilă [mm] / Unghi impact [°]							
		8 / 120		8 / 135		8 / 150		3 / 162	
		D _m /L [mm]	H _M [mm]	D _m /L [mm]	H _M [mm]	D _m /L [mm]	H _M [mm]	D _m /L [mm]	H _M [mm]
1.	Plumb	2,15/ 2,33	0,17	2,13/ 2,29	0,17	2,11/ 2,28	0,17	3,95/ 3,76	1,3
2.	Otel	1,17/ 1,25	0,05	1,1/ 1,2	0,05	1,07/ 1,15	0,04	1,65/ 1,37	0,65
3.	Duraluminu	1,55/ 1,57	0,08	1,45/ 1,55	0,08	1,37/ 1,53	0,07	2,74/ 5,94	0,89
4.	Alamă	1,47/ 1,45	0,07	1,35/ 1,39	0,06	1,25/ 1,35	0,05	1,85/ 1,54	0,71

$$d = -0,82932 + 0,138 * dp + 0,01 * u + 3,26 * 10^{-3} * t + 0,029 * v - 1,01 * 10^{-3} * dp * u \quad (3.25.)$$

$$h = -0,268 + 0,013 * dp + 1,72 * 10^{-3} * u + 3,28 * 10^{-4} * t + 5,58 * 10^{-3} * v - 1,5 * 10^{-4} * dp * u \quad (3.26.)$$

unde: dp este diametrul particulei;
u este unghiul de lovire;
t este tenacitatea materialului;
v este viteza particulei.

Din tabel rezultă două tendințe distincte. Prima este dată de modul de variație descrescătoare al dimensiunilor care sunt afectate de modificarea unghiului de impact material bilă, datorat faptului că ciocnirea dintre bilă și material este de tip elasto-plastic și nu de tip plastic, iar cea de a doua, este cea de creștere a dimensiunilor craterului la impactul cu o particulă cu viteză ridicată față de una cu viteză scăzută. Explicația este dată tot de modul elastic de realizare al ciocnirii bilă material, dar cum în formula de transfer a energiei cinetice, viteza bilei variază cu pătratul ei, rezultă că prin introducerea în sistem a unei energii cinetice mai mari se produce o deformare mai mare a materialului. Deformarea este mai accentuată la materialele plastice la care curgerea este mai ușoară și mai redusă la materialele tenace la care curgerea este scăzută. Acest lucru este relevat și din

modul în care influențează tenacitatea materialului asupra modului de producere al craterului. În **fig.3.29.** se prezintă histograma comparativă pentru modul de evoluție al adâncimii (lungimea craterului) și al înălțimii (pătrunderea bilei în material). Se observă influența majoră pe care o are viteza de prelucrare. În **fig.3.30.** sunt prezentate curbele de suprafață corespunzătoare trasate pentru factorii de influență luați în considerare.

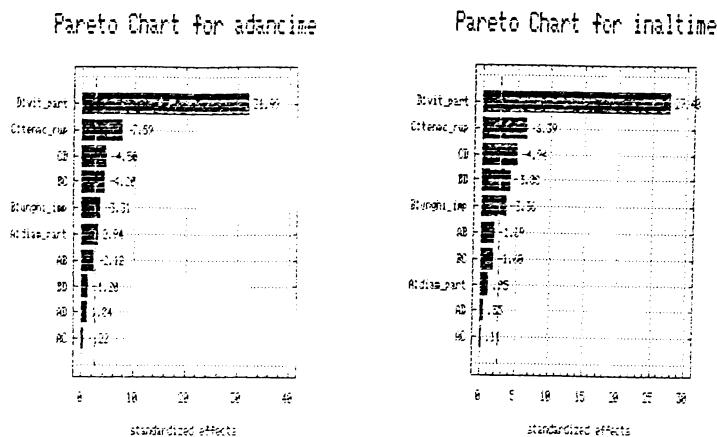


Fig.3.29. Histogramele de variație ale factorilor de influență la erodarea cu particule sferice a materialului

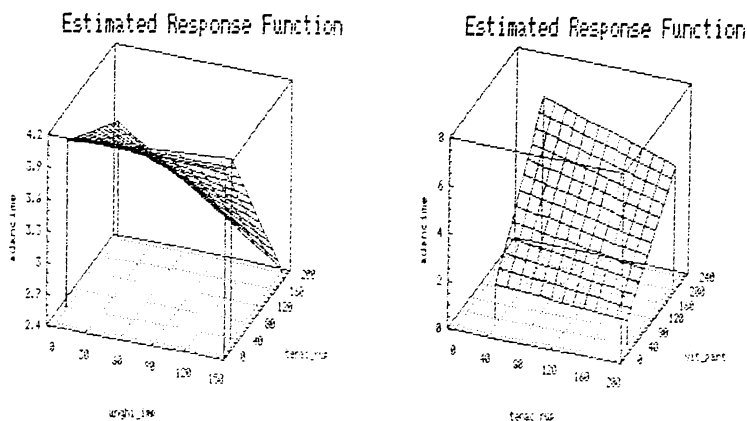


Fig.3.30. Curbele de suprafață ale înălțimii și adâncimii la erodarea cu particule sferice

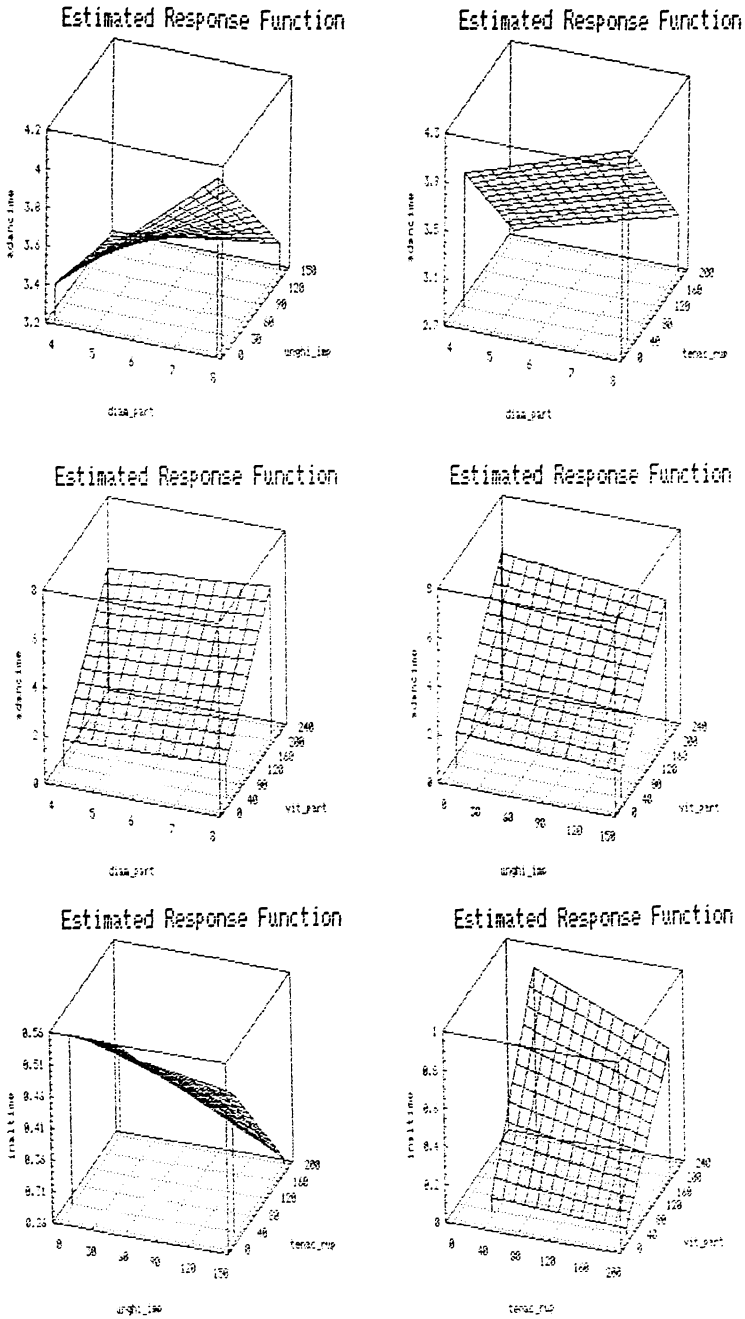


Fig.3.30. *suportate de răspuns* ale înălțimii și adâncimii la erodarea cu particule sferice (continuare)

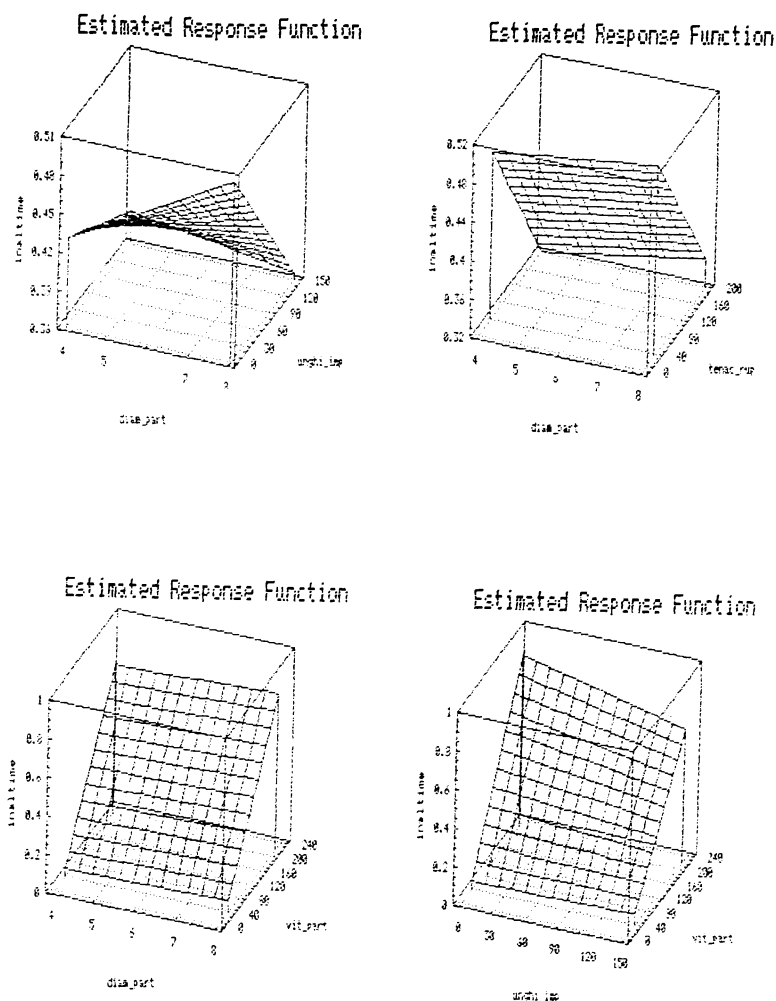


Fig.3.30. Curbele de nivel ale înălțimi și adâncimi la erodarea cu particule sferice (continuare)

Comportamentul materialului funcție de tenacitatea la rupere este confirmată și de modul în care interacționează jetul de apă cu cuprul impactat cu jet de apă. În **fig.3.31**, se prezintă graficul de variație paralel al volumului erodat și al adâncimii de penetrare a jetului în material. Dacă comparăm acest grafic cu cel trasat pentru aluminiu **fig.3.11**, se observă reducerea porțiunii de palier pentru un material tenace și respectiv scăderea adâncimii de pătrundere a jetului în material.

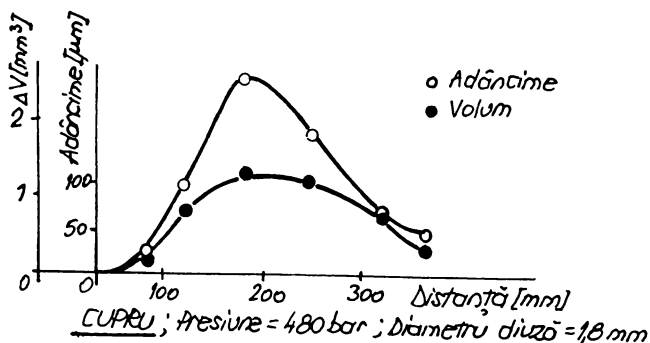


Fig.3.31. Variația volumului și adâncimii la impactul cu jet de apă

O altă direcție care a fost abordată a fost cea a studierii comportamentului materialului la acțiunea unor particule cu geometrie bine definită, așa după cum am amintit și mai sus.

În cazul utilizării unei particule cilindrice sectionate cu un plan cu unghi de lovire, se obțin următoarele rezultate: pentru prelucrarea placajului de 10 mm grosime **fig.3.32.**, PAL **fig.3.33.**, aluminiu **fig.3.34.** și azbociment **fig.3.35.** În cazul modificării unghiului față de verticală a particulei incidente s-au obținut rezultatele din **fig.3.36.** pentru alamă și **fig.3.37.** pentru plumb.

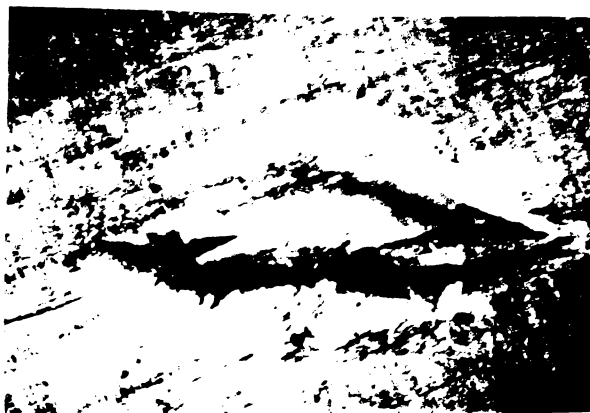


Fig.3.32. Probă din placaj lovită la 90°, cu particulă cilindrică cu diametrul de 6 mm, tesită 60°, viteză 40 m/s, mărire 40 ori.

Se observă că față de materialele metalice în cazul placajului se constată ruperea materialului fără deformarea acestuia. Dimensiunile craterului realizat sunt mai mici decât cele de la materialele metalice, lucru explicabil prin modul elastic de comportament al materialului lemnos, lungimea zonei tăiate este de 4,33 mm, lățimea ei este de 1,07 mm, iar lungimea maximă a zonei care a prezentat deformare după direcția de atac a materialului este de 0,52 mm. Nu se poate determina cu precizie o supraînălțare a materialului deoarece acesta a fost rupt în mai multe zone. Prin dispunerea pe suprafața plăcii de PAL a unui strat de material plastic se obține o rigidizare a acesteia, cu o scădere evidentă a capacității de penetrare în material și rupere a acestuia.



Fig.3.33. Probă din PAL lovită la 150°, cu particulă cilindrică cu diametrul de 6 mm, tesită 15°, viteză 40 m/s, mărire 40 ori.

Pentru proba din PAL avem o lungime a zonei afectate de 3,94 mm, cu o lățime a tăieturii de 0,81 mm și o lungime a zonei supraînălțate de 0,3 mm.

Datele rezultate ca urmare a încercărilor experimentale au fost centralizate în **tabelul nr.3.12.** pentru tesitură de 15° și **tabelul nr.3.13.** pentru tesitură de 52°.

Tabelul nr.3.12. Geometria craterului rezultat la erodarea materialului cu particule cilindrice tesite la 15°, cu viteză de 40 m/s.

Nr. crt.	Material	Ungchi tesitură 15°					
		150°		135°		120°	
		L _c /L _a [mm]	H _c [mm]	L _c /L _a [mm]	H _c [mm]	L _c /L _a [mm]	H _c [mm]
1.	Placaj	4,0 / 1,12	0,3	3,4/1,45	0,47	3,75/1,29	0,25
2.	Azbeciment	2,14/0,5	-	1,91/0,42	-	1,83/0,38	-
3.	PAL	3,94/0,81	0,3	3,34/1,15	0,49	3,71/0,92	0,27
4.	Plumb	4,66/0,73	0,7	4,28/1,11	0,97	4,48/0,9	0,4
5.	Aluminiu	3,93/0,6	0,9	3,59/0,66	0,95	3,73/0,57	1,02
6.	Alamă	3,15/0,4	0,54	2,53/0,48	0,7	2,95/0,48	0,36

Tabelul nr.3.13. Geometria craterului rezultat la erodarea materialului cu particule cilindrice tesite la 52°, cu viteza de 40 m/s.

Nr. crt.	Material	Unghi tesitură 52°					
		150°		135°		120°	
		L_c/L_a [mm]	H_c [mm]	L_c/L_a [mm]	H_c [mm]	L_c/L_a [mm]	H_c [mm]
1.	Placaj	4,33/1,07	0,52	3,71/1,37	0,69	4,05/1,13	0,45
2.	Azbociment	2,1/0,48	-	1,87/0,4	-	1,8/0,35	-
3.	PAL	4,12/0,85	0,5	3,58/1,23	0,63	3,92/0,98	0,51
4.	Plumb	4,16/0,64	1,09	3,72/1,12	1,42	3,93/0,9	1,3
5.	Aluminiu	2,3 /0,48	0,71	3,51/0,89	0,89	3,31/0,6	0,8
6.	Alamă	2,23/0,45	0,43	1,85/0,51	0,62	2,03/0,53	0,3



Fig.3.34. Probă din aluminiu lovită la 120°, cu particulă cilindrică cu diametrul de 6 mm, tesită 15°, viteză 40 m/s, mărire 100 ori.

Din figură se observă că pătrunderea particulei în material este realizată la o adâncime mică, dar ca urmare a unghiului de lovire de 120° se produce o rotire a particulei

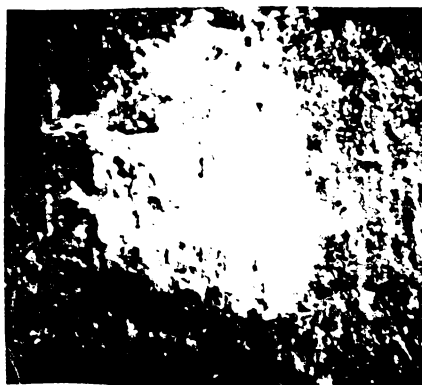


Fig.3.35. Probă din azbociment lovită la 150°, cu particulă cilindrică diametrul 6 mm, tesită 15°, viteză 40 m/s, mărire 40 ori.

lucru care determină alunecarea materialului după plane succesive de alunecare, care duc la producerea supraînălțării în direcția de impact a particulei cu materialul. În același timp dacă studiem variația din ultimele două tabele se observă că pentru aluminiu, pe măsură ce unghiul de impact particula material crește, se obține o scădere în mai mare măsură a lunginii craterului și în mai mică măsură, a lățimii craterului realizat în material și respectiv implicit a lungimii zonei de material deformată după direcția de atac a particulei asupra materialului. Nu același lucru se poate spune despre materialele plastice, care prezintă o variație diferită. Lungimea creste, scăzând celelalte două mărimi cu creșterea supraînălțării de material.



Fig.3.36. Probă din alamă lovită la 150° , cu particulă cilindrică diametrul 6 mm, tesită 15° , viteză 40 m/s, unghi vertical 30° , mărire 40 ori.

Pentru proba de azbociment se constată că, la valoarea de viteză de 40 m/s, se produce ruperea de material, indiferent care ar fi unghiul particulei sau a unghiului de impact particulă-material.



Fig.3.37. Probă din plumb lovită la 135° , cu particulă cilindrică diametrul 6 mm, tesită 15° , viteză 40 m/s, unghi vertical 30° , mărire 40 ori.

Pentru proba din alamă forma craterului se datorește tendinței de rotire la impact a particulei, ca urmare a unghiului de lovire diferit față de verticala dintre material și

particulă. Acest lucru duce la producerea unui fenomen de alunecare, nu după planuri paralele ca în **fig.3.34.**, ci după planuri înclinate cu unghiul de impact, față de verticala particulă material.

Fată de alamă care este un material tenace, plumbul care este un material plastic prezintă un comportament diferit la acțiunea particulei tesite cu unghi de înclinare diferit față de verticală. Se observă alunecarea pe o distanță relativ mare a porțiunii care atacă materialul la bază cu prezenta planelor de alunecare distinct vizualizate în figură.

Un alt element care este important pentru procesul de prelucrare cu particule abrazive este și materialul din care este confecționată particula care lovește suprafața. Astfel în **fig.3.38.** se prezintă rezultatul unei analize metalografice a unei probe din oțel care a fost impactată cu o particulă pătrată de sticlă cu viteza de 100 m/s, iar în **fig.3.39.** rezultatul impactului aceluși material impactat cu sticlă la o viteză de 169 m/s. Dacă pentru primul caz apare un singur plan de tăiere, pentru al doilea apar două plane de tăiere a materialului unul superior notat cu săgeată și unul mai profund. Cele două plane se datoresc spargerii granulei în momentul impactului din planul notat cu săgeată după un plan de rupere și acțiunea simultană a ambelor particule rezultate. Dacă la viteză mică gradul de deformare al grăunților este mic, la viteză mare se produce ca urmare a solicitării de compresie o tasare a grăunților.

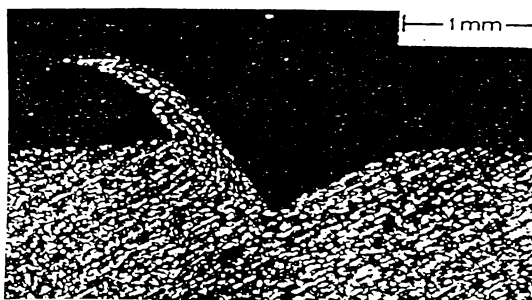


Fig.3.38. Oțel impactat cu pătrat de sticlă de 7 mm, la viteza de 100 m/s, unghi impact 25°, unghi atac +20°

B. Acțiunea erozivă ca urmare a celorlalte elemente

a. Prin acțiunea erozivă a apei

Apa acționează prin efectul de picătură sau volume cilindrice, așa cum am arătat la prelucrarea cu jet de apă în mod direct asupra prelevării de material. Prelevarea este mult ușurată deoarece materialul ca urmare a acțiunii particulei abrazive este durificat și fisurat, lucru care ușurează formarea de microvolume de material care pot fi îndepărtate.

b. Prin efect cavitațional

Efectul cavitațional acționează în acest caz atât la nivelul suprafeței materialului, cât și în microfisurile create de către particulele abrazive. Mecanismul de acțiune este identic cu cel de la prelucrarea materialelor cu jet de apă fără abraziv. În cazul prelucrării cu abraziv fenomenul cavitațional este însă accelerat, datorită faptului că aerul și vaporii se creează pe particula abrazivă la mixarea ei cu apă.

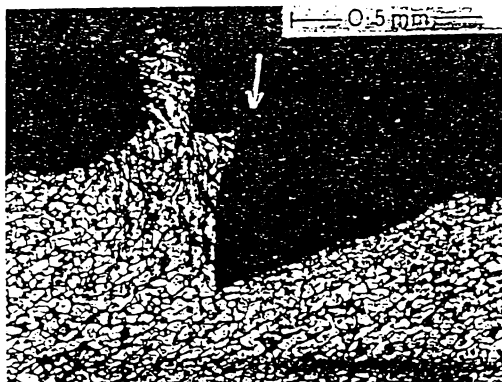


Fig.3.39. Otel impactat cu pătrat de sticlă de 7 mm, la viteza de 169 m/s, unghi impact 25°, unghi atac +20°

c. Prin efectul microjeturilor

Efectul de acțiune al microjeturilor este prezent și în cazul prelucrării cu jet de apă cu abraziv, el fiind similar ca și acțiune cu cel de la prelucrarea materialelor cu jet de apă.

d. Prin acțiunea penei hidraulice

Efectul de pană se manifestă cu maximă eficiență atunci când există o fisură de o anumită dimensiune. Acest efect poate fi generat atât de picătura de apă, cât și de volumul filiform de apă, sau de o altă particulă care presează apa existentă în interiorul fisurii. Mecanismul de acțiune al celor două volume este similar ca și în cazul lovirii unei suprafețe plane, cu observația că toată energia se concentrează după axa de simetrie a penei, nemaifiind nici un fel de întoarcere a volumului de fluid pe direcții laterale. Acest lucru amplifică acțiunea picăturii sau volumului filiform de câteva ori de mărime determinând apariția unor fisuri laterale la un unghi dat de planul de forfecare așa după cum se observă și din **fig.3.40.**, cu rupere de volume solide de material ulterioare ca urmare a însumării direcțiilor de fisurare.

e. Prin efectul undelor de soc supersonice

Efectul de acțiune al undelor de soc este prezent și în cazul prelucrării cu jet de apă cu abraziv, el fiind similar ca și acțiune cu cel de la prelucrarea materialelor cu jet de apă.

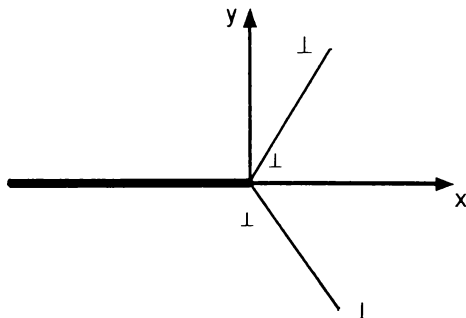


Fig.3.40. Mecanismul propagării planelor de forfecare ca urmare a efectului de pană

C. Comportarea materialului de tip ductil, fragil sau ductilo-fragil

Structura materialului supus eroziunii are un rol important în proces. Este foarte important să cunoaștem comportarea materialului din punct de vedere al structurii lui, deoarece procesul decurge diferit la tăierea cu jet de apă cu abraziv, dacă materialul este ductil sau fragil. Acest lucru este evidențiat și de rezultatele obținute din încercările efectuate cu particule singulare cu o anumită geometrie de atac. Pentru a se putea analiza situația, s-a pornit de la utilizarea unor particule considerate geometrice să fie sferice, de diferite dimensiuni (127 μm, 21 μm și 9 μm). Aceste particule au fost introduse într-un fluid, căruia i s-a imprimat o anumită viteză. Problema se poate rezolva, plecând de la observația că, materialele fragile prezintă un maxim la valori ale unghiului de 90°, iar materialele ductile prezintă un maxim de material erodat la un unghi mic, de 20°-30°, așa după cum se observă și în **fig.3.41**.

Pentru realizarea cercetărilor, a fost folosit un aparat care accelerează o cantitate mică de particule abrazive în suspensie în apă sau nu, și le trimite spre proba care se testează. Trebuie arătat că viteza nu se poate determina cu o precizie foarte ridicată, datorită erorilor de măsurătoare, care se introduc involuntar în proces. În jetul de apă se introduce o cantitate bine determinată de abraziv. Pe baza încercărilor experimentale s-au desprins următoarele observații :

- Curba de eroziune pentru un material ductil cum este aluminiul, prezintă la prelucrarea cu granulație mică sau mare, o valoare optimă de maxim la unghiuri cuprinse între 10° și 30°;
- Curba de eroziune în cazul erodării unei probe de sticlă plată, prezintă:

• Cercetări teoretice și experimentale privind mecanismul prelevării de material •

- pentru dimensiuni mari de particule un punct de maxim la 80°-90° deci se comportă ca un material fragil;
- pentru dimensiuni mici de particule abrazive are însă o caracteristică ductilă, maximul realizându-se la un unghi de 20°-30°;

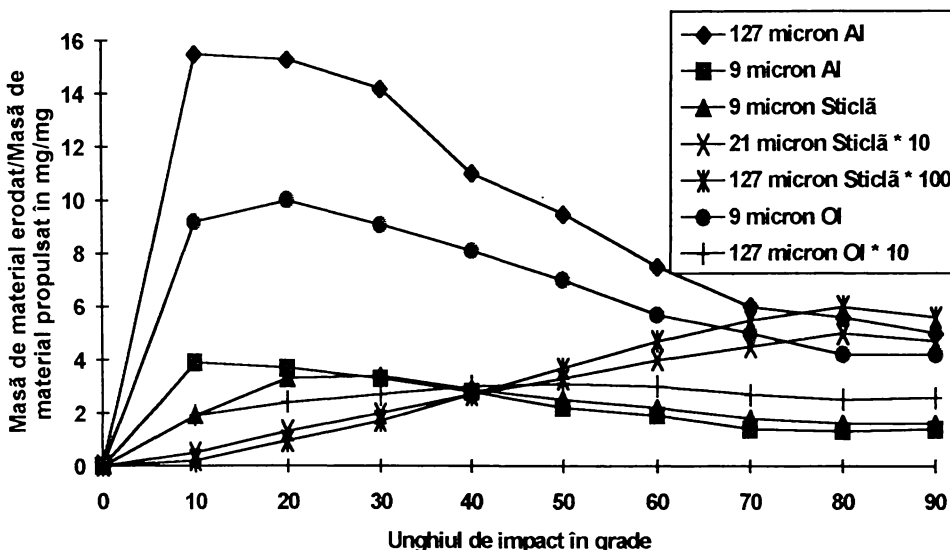


Fig.3.41. Variatia masică de material erodat în funcție de unghiul de impact

- La solicitări de valoare redusă, unele materiale fragile își schimbă modul de comportare din fragil în ductil. Astfel oțelul cu duritate ridicată de 64 HRC este de acest tip ductil pentru granulație mică și atât ductil cât și fragil pentru granulație de tip mare.

Tabelul nr.3.14. Ecuatia de variatie a cantității de material erodat funcție de unghiul de impact

Nr. crt.	Material	Dimensiune particulă în μm	Ecuatie
1	Oțel	9	$y=5 \cdot 10^{-3} \cdot x^5 - 10^{-5} \cdot x^4 + 0,0015 \cdot x^3 - 0,0719 \cdot x^2 + 1,4645 \cdot x$
2		127	$y=-2 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 0,0005 \cdot x^3 - 0,0483 \cdot x^2 + 2,0381 \cdot x$
3	Sticlă	9	$y=-3 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 8 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 0,0082 \cdot x^2 + 0,2875 \cdot x$
4		21	$y=-10^{-6} \cdot x^4 + 0,0001 \cdot x^3 - 0,0022 \cdot x^2 + 0,6382 \cdot x$
5		127	$y=-10^{-5} \cdot x^4 + 0,0005 \cdot x^3 + 0,1254 \cdot x^2 + 1,8222 \cdot x$
6	Aluminiu	9	$y=3 \cdot 10^{-3} \cdot x^5 - 8 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 0,0008 \cdot x^3 - 0,0346 \cdot x^2 + 0,6411 \cdot x$
7		127	$y=10^{-7} \cdot x^5 - 3 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 0,0027 \cdot x^3 - 0,1287 \cdot x^2 + 2,5005 \cdot x$

Din graficul prezentat se desprinde concluzia că, pe măsură ce dimensiunea particulei abrazive crește, crește și cantitatea de material îndepărtată, motivată prin

creșterea energiei cinetice a particulei și în același timp prin faptul că crește suprafața de contact particulă material, lucru care a fost confirmat de încercările realizate cu particule singulare. Ecuațiile de regresie matematică corespunzătoare sunt prezentate în **tabelul nr.3.14**. Ele au fost obținute cu ajutorul utilitarului EXCEL5.

Se poate astfel afirma pe baza aspectelor cercetate și prezentate că la prelucrarea cu particule abrazive rolul preponderent în bugetul eroziv îl prezintă acțiunea directă a particulei abrazive asupra materialului și în proporție mai mică cel al apei cu elementele ei secundare de eroziune. Particula acționează asupra materialului afectând integritatea suprafeței acestuia în mod central și nu după un inel așa cum acționează picătura de apă.

3.2.3. Considerații fizice asupra mecanismului de îndepărtare a materialului cu particule abrazive

Din punct de vedere fizic se constată că particula va înmagazina pentru îndepărtarea materialului energie cinetică de o anumită valoare. Această energie este dată de formula:

$$E_c = \frac{m * v^2}{2} = \frac{\rho * V * v^2}{2} \quad (3.27.)$$

unde: - ρ este densitatea materialului din care este confecționată particula, în kg/dm^3 ;
 - V este volumul particulei, determinat în dm^3 ;
 - v este viteza particulei, determinate în m/s^2 .

Această energie cinetică este cedată o parte materialului sub formă de energie de deformare plastică, căldură și respectiv undă de soc, iar cealaltă parte este rezultatul reculului particulei din material, lucru care va determina deplasarea particulei după o traiectorie simetrică normală la suprafață în punctul de incidentă.

Rezultă deci egalitatea:

$$E_c = E_r + E_d + Q \quad (3.28.)$$

Cum însă procesul de ciocnire este de durată de timp scurtă, cantitatea de căldură cedată în proces se poate considera nulă. Determinarea raportului dintre cele două energii care rezultă din proces, se face prin compararea dimensiunilor amprentelor de pe suprafață, rezultate pentru cazul prelucrării cu particulă și cel de apăsare statică a unei bile similare cu o forță dată fixă. Se obține astfel valoarea energiei de deformare plastică care participă la proces și prin diferență partea de energie de recul din cadrul procesului. Această energie de deformare poate fi determinată pe baza considerentului fizic de solicitare la presiunea de contact.

Pentru a se putea determina pe cale matematică influența pe care o particulă o are asupra materialului, s-a impus stabilirea unui model matematic de calcul. Pentru aceasta, s-a folosit aproximarea făcută de Douglas, care a examinat fracturarea materialelor sub jet prin înregistrări statice, cu particule lovitoare sferice. Raza de contact dintre particula sferică și

material este faza calotei sferice și este considerată a , iar sfera are raza notată cu r . Prin aplicarea pe suprafață a unei forțe P , conform relației lui Hertz:

$$a = \gamma \cdot P^{1/3} \cdot r^{1/3}, \text{ sau rearanjând formula: } P = \frac{a^3}{\gamma^3 \cdot r} \quad (3.29.)$$

unde:

$$\gamma = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \left(\frac{1 - \nu_1^2}{E_1} \right) + \left(\frac{1 - \nu_2^2}{E_2} \right)} \quad (3.30.)$$

unde: **1** și **2** reprezintă indicele coeficientului lui Poisson și modulului de elasticitate ale particulei lovitore și a suprafeței lovite.

Această analiză poate fi extinsă cu condițiile de impact, luând în considerare raza de contact, densitatea particulelor, și viteza lor de impact în ecuația lui Hertz, obținând formula

$$a = \left(\frac{5 \cdot \pi}{3} \right)^{1/5} \cdot (\rho_1 \cdot \gamma^3)^{1/5} \cdot v_1^{2/5} \cdot r \quad (3.31.)$$

Adâncimea maximă de penetrare a granulei în material, se poate determina pornind de la considerentul că întreaga energie cinetică a particulei se transmite materialului, având deci o ciocnire elastică cu o viteză finală a particulei apropiată de 0. Relația de determinare a adâncimii de penetrare este în acest caz:

$$x_m = v \cdot \sqrt[5]{\left(\frac{5 \cdot \pi}{3} \right)^2 \cdot (\rho_p \cdot \gamma^3)^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot r^6}{a^2} \right)^1} \quad (3.32.)$$

Tensiunea care se creează în suprafață în momentul impactului dintre granula abrazivă și material poate fi determinată cu relația:

$$\sigma_a = \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot P}{2 \cdot \Pi \cdot a^2} \quad (3.33.)$$

Regiunea în care granula lovește proba este supusă la o solicitare de compresiune ridicată. Dacă această tensiune este mai mare decât cea de rupere a rețelei cristaline a materialului, atunci se produce fisurarea materialului. În restul structurii, datorită prezentei acestei tensiuni interne apare o tensionare a materialului, până la o distanță aproximativ egală cu cea a razei calotei de contact dintre granula și material. Valoarea acestei tensiuni se poate determina pe baza relației:

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot E \cdot \gamma_n}{\pi \cdot l \cdot (1 - \nu^2)}, \text{ cu: } \gamma_n = \frac{E \cdot c_0}{20} \quad (3.34.)$$

unde: l este lungimea fisurii, c_0 constanta rețelei cristaline. Prin egalarea celor două formule, se poate obține lungimea fisurii realizate în suprafață. Trebuie însă arătat că, peste

solicitarea de fisurare a materialului de către particulele abrazive, se suprapune și solicitarea exercitată de către jetul de apă, care acționează de asemenea cu o valoare suficient de mare pentru a realiza în suprafața materialului tensionarea acesteia. Granula abrazivă trece prin două faze, faza inițială de accelerare și faza finală de lovire a materialului, după care, datorită jetului lateral al fluidului purtător, ea este îndepărtată din zona de lucru, putând în această fază să se realizeze cu suprafața și alte ciocniri.

De aici rezultă că, va trebui să existe o densitate de particule pe unitatea de suprafață, astfel ca aceste ciocniri să fie într-un număr cât mai mic, iar numărul particulelor care lovesc direct suprafața să fie cât mai mare.

Dacă particula abrazivă are suficientă energie, ea îndepărtează direct o cantitate de material a cărui volum se poate determina pe baza formulei:

$$W = C \cdot \frac{\pi}{2} \cdot a^{*2} \cdot x_m, \text{ cu: } a^{*2} = 2 \cdot r^{*2} \cdot x_m, \text{ iar: } r^* = \left(\frac{k_3}{\gamma^3 \cdot k_2} \right)^{\frac{2 \cdot m}{m-2}} \cdot x_m^{\frac{m+4}{m-2}} \quad (3.35.)$$

unde: C este coeficientul care trebuie să fie aproape unitar fiind determinat experimental.

$$\text{iar: } \frac{k_3}{k_2} = \frac{1}{\sigma_b \cdot v_b^m} \quad (3.36.)$$

unde: m este un parametru ce caracterizează materialul particulei lovitoare. În tabelul nr.3.15. se dau valorile lui m pentru câteva materiale. Pe baza acestor formule se poate calcula volumul de material îndepărtat de către o particulă singulară.

Tabelul nr.3.15. Valoarea parametrului caracteristic prelucrării materialului cu particule abrazive

Nr. crt.	Material	Valoare m
1	Sticlă	8
2	Grafit	12
3	Otel	20
4	Alumină	14,5

3.2.4. Studiul structurii și formei jetului de apă cu abraziv

Jetul de apă cu abraziv nu mai prezintă o structură de tipul celei a jetului de apă curată.

El este un jet continuu omogen, care prezintă în structura de bază compoziția de apă, care conține la periferia sa o anumită concentrație de granule abrazive de o anumită dimensiune. Pe aceste granule abrazive se găsește aderentă o anumită cantitate de aer, iar în apă se găsește de asemenea o anumită cantitate de aer, dacă s-a realizat un amestec apă cu abraziv în cameră de amestec, sau la presiunea de injecție a aerului comprimat cu abraziv în camera de amestec. Aastă observație permite definirea principalelor

efecte care au loc la interacțiunea jetului cu materialul. În același timp profilul de viteză al jetului este funcție de felul în care se realizează amestecul dintre apă și abraziv. Pentru cazul întâlnit în literatura de specialitate în care amestecul se realizează introducând abrazivul la exteriorul circumferinței jetului de apă avem cazul din **fig.3.42**.

Se observă că zona centrală are viteza maximă, pe când zona laterală are o viteză apropiată de viteza de injecție sau absorbție a abrazivului. În funcție de lungimea diuzei de abraziv profilul de viteză poate avea forma din **fig.3.42.a**. pentru lungimi relativ mici sau forma din **fig.3.42.b**. pentru lungimi mari. Dacă însă se acționează asupra modului de realizare a

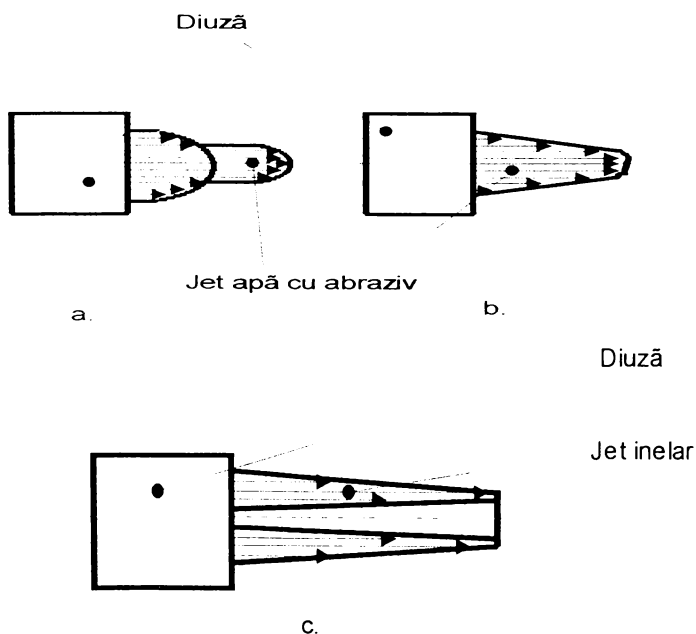


fig.3.42. Profilul de viteză al jetului abraziv pentru diferite tipuri de diuză cu jet abraziv

jetului de apă și abraziv se poate obține și un inel de presiune. Această soluție a rezultat ca urmare a faptului că, din punct de vedere al prelucrării, s-a constatat că oricât s-ar mări presiunea apei, nu se obține decât o viteză a particulelor în procesul de prelucrare, echivalentă unei presiuni de 700 bar, lucru adevărat de afirmatia anterioară a modului în care se face amestecul apei cu abrazivul. În același timp se poate ușor constata că particulele de abraziv nu sunt distribuite uniform pe întreaga secțiune. Acest lucru face ca să scadă capacitatea de penetrare a jetului ca urmare a scăderii cantității de abraziv amestecat pe unitatea de secțiune. Avantajele utilizării unui jet inelar sunt triple:

- viteza particulelor crește;
- uzura diuzei scade;

- productivitatea crește, ca urmare a posibilității de utilizare a unei cantități mai mare de particule abrazive.

Pentru acest caz prezentat se observă din **fig.3.42.c.** distribuția de viteză devine inelară, cu viteza în secțiunea centrală a inelului maximă și la extremități apropiată de zero. Pe lângă modul în care se realizează amestecul apă abraziv, un rol important îl are și geometria diuzei de transfer energetic, geometria particulei abrazive și respectiv duritatea particulei abrazive.

3.2.5. Parametrii jetului de apă cu abraziv

Parametrii jetului de apă sunt dependenți de modul de amestec al apei cu materialul abraziv utilizat. Amestecul se poate realiza prin absorbție (depresiune) sau prin injecție.

Conform ecuației lui Bernoulli aplicată între punctele de ieșire și de intrare și a observației că viteza în punctul de ieșire din diuză, este mai mare decât cea din punctul de intrare a apei, rezultă ecuațiile:

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + H = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_a}{\gamma}$$

$$v_3 \cong \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{3.37.}$$

$$\frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \frac{p_a}{\gamma}$$

- v_1 este viteza de intrare în diuza de apă;

- v_2 este viteza din camera de amestec;

- v_3 este viteza din diuza de abraziv.

Aplicând relația continuității între secțiunile 2 și 3, se obține:

$$v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = v_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \tag{3.38.}$$

$$v_2 = \frac{d_3^2}{d_2^2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

rezultă astfel valoarea depresiunii în punctul 2 va fi astfel:

$$p_2 = p_a - \frac{\gamma}{2 \cdot g} \cdot (v_2^2 - v_3^2) \tag{3.39.}$$

unde: - H este înălțimea de apă din diuza de apă;

$$H = \frac{p_1 - p_a}{\gamma} \tag{3.40.}$$

Lungimea tubului de focalizare este foarte importantă. O lungime mare va determina o pierdere de energie fără un spor de productivitate, iar o lungime prea mică duce la o neaccelerare suficientă a particulelor abrazive. Ecuația lui Bernoulli între zona de intrare pe porțiunea conică, ieșirea din porțiunea conică și din diuză se poate scrie:

$$p_1 + \frac{\rho^* v_1^2}{2} = p_2 + (1 + \zeta) * \frac{\rho^* v_2^2}{2} = p_a + (1 + \zeta + \lambda * \frac{L_f}{D_f}) * \frac{\rho^* v_3^2}{2} \quad (3.41.)$$

Ecuatia de miscare a particulelor este dată de însumarea forțelor de accelerare, curgere, masică virtuală și integrală Basset:

$$m_a * a = F_p + F_d + F_v + F_b$$

$$F_p = -\frac{4}{3} * \pi * r^3 * \frac{dp}{dx}$$

$$F_d = \frac{1}{2} * \pi * r^2 * \rho * C_D * (v - v_a) * |v - v_a| \quad (3.42.)$$

$$F_v = \frac{2}{3} * \pi * r^3 * \rho * C_v * \left(\frac{dv}{dt} - \frac{dv_a}{dt} \right)$$

$$F_b = 6 * C_b * r^2 * \sqrt{\pi * \rho * \mu} * \int_0^t \frac{d(v - v_a)}{\sqrt{t - \tau}} d\tau$$

Pentru o mai bună prelucrare se recomandă ca diuza de focalizare să prezinte o porțiune conică de intrare, lungimea acesteia este de 7 la 10 mm. Lungimea dreaptă optimă se situează între 9 și 20 de mm, în funcție de diametrul particulei și de modul de mixare apă abraziv, realizată în camera de amestec. În același timp există un punct optim la care se poate începe realizarea amestecului dintre apă și abraziv. Acesta este dependent de distanța X_c de descompunere a jetului de apă în picături. Există un raport optim de aproximativ 10 .. 20 între lungimea dreaptă și diametrul drept. Granulatia optimă a particulei se situează la valori cuprinse între 100 și 400 μm . Lungimea totală optimă a diuzei se situează la valori între 15..50 mm. Distanța optimă dintre diuză și material este de 2.. 10 mm.

În condițiile utilizării variantei propuse de autor, se va obține un amestec apă cu abraziv, la care se va atinge de către particulele abrazive, o viteză mult mai mare, decât pentru cazul inițial existent, la ora actuală pe plan mondial. Așa după cum se observă și din profilul de viteze prezentat în **fig.3.42.b.** și respectiv **3.42.c.** viteza pe care o realizează particulele abrazive pentru varianta din urmă este cu mult mai mare.

Dacă studiem modul de variație al cantității de material, îndepărtate de pe suprafață, în funcție de parametrii diuzei de apă cu abraziv, se observă că pentru cazul aluminului ca material supus prelucrării, avem în **fig.3.43.** modul de variație în funcție distanța dintre diuză și suprafața materialului și respectiv în funcție de presiunea jetului de apă, iar în **fig.3.44.** se prezintă modul în care se modifică viteza de prelucrare particulei, cu viteza de injecție a acesteia în camera de amestec.

Se observă că pe măsură ce crește distanța de la diuză la material peste 3 mm se obține o scădere de cantitate de material prelucrat. Astfel între 3 și 5 mm distanță scăderea de cantitate de material prelucrat este de 10 %, pe când la 10 mm distanță se ajunge la o scădere de 30 %. Prin urmare este foarte importantă menținerea acestei distanțe dintre diuză și material cât mai precisă în vederea utilizării energiei de prelucrare la

maximum. Creșterea de presiune cu 250 bar duce la o creștere de volum de material îndepărtat cu de 3 ori la orice distanță dintre diuză și material.

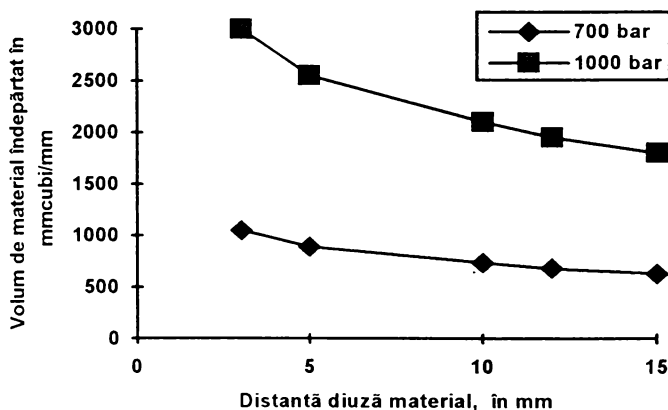


Fig.3.43. Variatia cantității de material îndepărtate cu presiunea apei și cu distanța diuză material

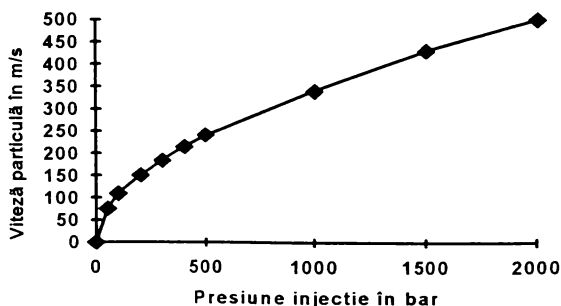


Fig.3.44. Variatia vitezei particulei la iesirea din diuză în funcție de presiunea de injecție

3.3. Concluzii la final de capitol

În cadrul acestui capitol autorul și-a propus să evidențieze diferențele și similitudinile existente între prelucrarea materialelor cu jet de apă și respectiv jet de apă cu abraziv. În același timp se studiază comportamentul materialului la acțiunea celor două tipuri de jeturi.

Din cercetarea întreprinsă se poate observa că dacă la prelucrarea cu jet de apă erodarea materialului se realizează pe suprafețe inelare, la prelucrarea cu particule abrazive erodarea materialului se realizează pornind de la un punct sau de la o linie și apoi pe o suprafață mai mare. Rezultă deci o posibilitate mai bună de prelucrare a materialelor cu jeturi de apă cu abraziv decât cu jet de apă simplu.

Se poate arăta că atât prelucrarea cu jet de apă, cât și cea cu jet abraziv, este influențată în mod direct de presiunea jetului, debitul de apă care intră în contact cu suprafața și natura materialului care este supus prelucrării. Comparând rezultatele din cap.2. și cele din cap.3.1. și cap.3.2., se observă că, acestea pentru cazul prelucrării de suprafață datele sunt concordante, în timp ce pentru prelucrare de volum, ele vor fi mai mari, deoarece este necesară accelerarea vitezei de prelucrare a materialului. Pentru cazul prelucrării cu jet abraziv, prin intermediul încercărilor efectuate se poate aproxima cu o precizie bună, modul de comportament al materialului, la acțiunea unui abraziv de o anumită geometrie. În același timp se înlătură speculațiile care stau la baza multor dintre aproximațiile întâlnite în literatura de specialitate, pentru studiul comportamentului materialului, la acțiunea particulelor abrazive de o anumită formă, dimensiune și duritate. În același timp se poate determina cu precizie mare, presiunea de la care începe procesul de prelucrare prin fisurare, deci eroziune și presiunile între care are loc procesul de deformare plastică, în vederea netezirii și durificării suprafeței, atât cu jet de apă cât în special cu jet de apă cu abraziv.

3.4. Bibliografie

- [1.] A. Nanu - *Tehnologia Materialelor*, EDP Bucuresti, 1984
- [2.] I. Anton - *Cavitatia*, vol.1., Ed.Academiei Bucuresti, 1984
- [3.] M. Sorohan - *Proprietățile fizice ale materialelor sub presiune hidrostatică*, Ed. Tehnică Bucuresti, 1988
- [4.] M. Vasilescu, sa - *Studiul comparativ al prelucrării materialelor cu jet de apă și jet de apă cu abraziv*, Anale Universitatea Oradea, 1992
- [5.] M. Vasilescu, sa - *Aparat pentru obtinerea vitezelor de 400 m/s*, Anale Universitatea Oradea, 1992
- [6.] M. Vasilescu - *Consideratii asupra abordării sistemice a procesului tehnologic de prelucrare cu jet abraziv*, Anale Universitatea Oradea, 1993
- [7.] M. Vasilescu, sa - *Un nouvelle conception sour le sistem d'instalation de coupaje avec jet d'eaux*, Hayka nhhobaunohhble pronchoactba meheaxmeht, Penza , 1996
- [8.] I. Hutchings - *Mechanism of particle erosion*, *Wear*, 27, 1974
- [9.] R. Winter - *Mechanism of solid erosion*, *Wear*, 2, 1975
- [10.] M. Khruschov - *Principles of abrazive wear*, *Wear*, 28, 1974
- [11.] G. Lal - *Experiments with spherical tools*, *Wear*, 29, 1974
- [12.] R. Winter - *Solid particle erosion*, *Wear*, 29, 1974
- [13.] D. Somnea, sa - *EXCEL 5.0 cu aplicatii în management*, Ed. Tehnica, 1994, Bucuresti
- [14.] B. Engemann - *Studiu fizic și tehnologic al tensiunilor apărute la prelucrarea cu jet de apă*, Teză de doctorat, Darmstadt, 1984
- [15.] R. Kobayashi, sa - *Geometria diuzei de jet de apă și efectele ei în procesul de eroziune a materialelor metalice*, 5th American Water Jet Conference: Toronto: Canada, 1989

- [16.] R. Tikhomirov, sa - Prelucrarea mecanică a plasticului, Mashinostroenie, Leningrad, 1975
- [17.] R. Resiga - Teză de doctorat, Timisoara, 1996
- [18.] N. Hatta, sa - Procesul de deformare la impact al picăturii de apei într-o suprafață solidă, Journal of Fluid Engineering, vol.117, sept., 1995
- [19.] G. Sang, sa - Analiza și monitorizarea procesului la prelucrarea cu apă cu abraziv a ceramei de alumina, Journal Mach. Tools Manufact, vol.37/3, 1997
- [20.] M. Hashish - Proprietățile materialelor în prelucrarea mecanică cu jet de apă abrazivă, Journal of Engineering for Industry, vol.117, 1995
- [21.] I. Hutchings - Prezicerea rezistenței materialelor la eroziune de către particulele solide, Wear 35, 1975
- [22.] N. Bailey - Energia stocată în metale la presiune ridicată, Journal of basic Engineering, iunie, 1965
- [23.] R. Kobayashi - Structura jetului de apă de mare viteză în procesul de distrugere al metalelor în tehnologia de tăiere cu jet, International Journal, vol.31, 1988
- [24.] R. Mee - Program de prelucrarea datelor experimentale STATGRAFICS, 1982
- [25.] N. Hatta, sa - Deformation Process of a Water Droplet Imploding on a Solid Surface, Trans.for ASME, vol.117, Sept, 1995
- [26.] S. Shimizu - Acceleration of abrazive particles în premixed abraziv water jet nozzle, JSME International Journal, 39, 3, 1996
- [27.] G. Sheldon - On the ductile behavior of nominally brittle materials during erosive cutting, Trans.for ASME, Journ.of Eng.for Ind., nov. 1966
- [28.] G. Sheldon - The mecanism of material removal în the erosive cutting of brittle materials, Trans.for ASME, Journ.of Eng.for Ind., nov. 1966
- [29.] J. Williams - Erosion of graphite-epoxy composite, Wear, 29, 1974
- [30.] M. Vasilescu - Dispozitiv pentru obtinerea apei la viteză ridicată cu debit controlat, Proceeding of the Scientific Communications Meeting of "Aurel Vlaicu" Unyversity, 3, Arad, 1996
- [31.] M. Vasilescu, sa - Consideratii asupra geometriei duzelor utilizate în instalatiile de prelucrarea materialelor cu jet de apă, Proceeding of the Scientific Communications Meeting of "Aurel Vlaicu" Unyversity, 3, Arad, 1996
- [32.] M. Vasilescu, sa - Dispozitiv de pozitionare unghiulară pentru studierea impactului dintre jetul de apă și material la prelucrarea materialelor cu jet de apă, Proceedings of the Scientific Communications Meeting of "Aurel Vlaicu" Unyversity, 3, Arad, 1996
- [33.] M. Vasilescu, sa - Studiul influenței formei particulei abrazive asupra materialului erodat la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, Lucrările sesiunii st., Arad, 1992
- [34.] M. Vasilescu, sa - Consideratii asupra influenței dimensiunii particulei abrazive la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, Simpozionul TEHNOMUS, Suceava, 1993
- [35.] W. Ponitzsch - Das trennen von Faserverbundwerkstoffen mit dem hochdruckwasserstrahl, Dissertation, Damstadt, 1984
- [36.] D. Cioclov - Mecanica rupenii materialelor, Ed. Academiei, Bucuresti, 1977
- [37.] M. Vasilescu - Consideratii asupra vitezei particulei la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, Anale Universitatea Oradea, 1993
- [39.] P. Bipnic - Teoria jeturilor de lichid vâscos, Moscova, 1965

- [40.] J. Wiedermeier - *Jeturi de lichid la viteze relative mari și cinematica la rupere a materialelor rigide*, Disertation, Hannover, 1981
- [41.] Y Tomita - *Interacțiunea unei bule cavitationale cu o suprafață curbă rigidă*, 3 Int. Symp. On Cavitation, 1998, Grenoble
- [42.] R. Bridgman - *Studiu în fracturarea și curgerea plastică, USA, Mc Graw Hill, 1952*
- [43.] C. Ohl - *Detalii asupra spargerii bulei asimetrice*, , 3 Int. Symp. On Cavitation, 1998, Grenoble
- [44.] C. Preece - *Eroziunea*, Moscova, 1982
- [45.] J. Pauchet - *Un studiu de precizie a cavitatiei în jeturi turbulente prin aproximare statistică*, 3 Int. Symp. On Cavitation, 1998, Grenoble
- [46.] K. Ogura - *Asupra cavității în orificii*, 3 Int. Symp. On Cavitation, 1998, Grenoble
- [47.] I. Bordeasu - *Eroziunea cavitațională asupra materialelor utilizate în construcția de mașini hidraulice și a elicelor navale. Efecte de scară*, Teză de doctorat, 1997, Timisoara
- [48.] R. Armstrong - *Influența numărului Mach asupra structurii turbulentei coerente a unui jet liber rotund*, Berlin, 1977, Disertatie
- [49.] F. Gunter - *Cercetări teoretice și experimentale asupra transportului hidraulic pe verticală cu ajutorul injectoarelor*, Disertatie, 1997, Heidelberg
- [50.] V. Avramescu - *Aspecte privind creșterea eficienței jetului de apă prin laminarea curgerii prin ajutorul diuzei de tăiere*, TCMM, Ed. Tehnică, 1997, București
- [51.] V. Avramescu - *Influența raportului de amestec apă + abraziv în cazul tăierii cu jet hidroabraziv*, TCMM, Ed. Tehnică, 1997, București
- [52.] W. Veith - *Jet inelar. Cercetare fluido-dinamică a jeturilor de lichide cu goluri în câmp gravitațional*, Disertatie, 1984, Heidelberg

4. MODELAREA MATEMATICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JETURI

4.1. MODELAREA STATISTICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ PRIN METODA EXPERIMENTULUI PSIHOLGIC

4.1.1. Consideratii generale [22], [23], [24]

O problemă de o importantă deosebită care se ridică la prelucrarea cu jet de apă, este stabilirea factorilor cu influență majoră asupra procesului considerat. Există un număr mare de metode care se pot utiliza, dar ele necesită un volum mare de încercări experimentale, apelându-se pentru aceasta la acest tip de experiment.

Pentru derularea experimentului psihologic am parcurs următoarele etape:

1. Stabilirea parametrilor prelucrării și a indicatorilor de performanță,
2. Intocmirea chestionarului;
3. Sintetizarea informațiilor și corectia valorilor primare;
4. Ponderarea opiniilor specialistilor și verificarea gradului de consens a acestora;
5. Reprezentări grafice;
6. Gruparea factorilor pe grupe de influență;
7. Interpretarea rezultatelor;
8. Modelarea matematică a procesului de prelucrare cu jet de apă.

4.1.2. Stabilirea parametrilor prelucrării și a indicatorilor de performanță

Pe baza analizei documentației existente și a experienței anterioare, am stabilit parametrii reglabili care constituie mărimi care pot să fie evidențiate și reglate. Acestea sunt prezentate în chestionar.

4.1.3. Intocmirea chestionarului [1]

Chestionarul a fost realizat astfel încât să fie simplu și concis, ușor de completat și centralizat. Au fost consultați 17 specialiști.

4.1.4. Sintetizarea informațiilor și corectia valorilor primare

Pentru sintetizarea informațiilor a fost utilizat un program special conceput de autor în unul din utilitățile de tip tabelar worksheet de tip Quattro, Excel sau Lotus.

Acest program are la bază centralizarea informațiilor în foi distincte pe trei nivele. Pe primul nivel sunt centralizate datele brute, al doilea cel pentru datele prelucrate în situațiile în care un specialist a acordat pentru doi parametri același coeficient. Pe nivelul trei se vor face corecțiile de rigoare și se va face optimizarea prin atribuirea coeficienților corespunzătorii specialiștilor pe bază de calcul astfel încât să fie satisfăcută condiția de verificare a testului Fischer sau H_i pătrat, simultan pentru toți factorii.

Pe baza acestei metodologii au fost în final reținute numai punctajele atribuite de 10 specialiști din cei 17. Astfel au fost refăcute primele tabele obținând în final datele din tabele

Tabelul nr.4.1. Valori inițiale productivitate prelucrare cu jet de apă

Nr. experți	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	1	7	3	3	2	5	5	26
2	1	3	5	4	6	7	2	28
3	1	2	4	3	5	7	6	28
4	1	2	4	3	5	6	7	28
5	2	5	6	3	1	4	7	28
6	1	4	3	3	6	7	1	25
7	1	3	5	4	6	7	2	28
8	1	3	5	4	6	7	2	28
9	2	5	4	3	6	7	1	28
10	1	5	4	6	3	7	2	28
Suma	12	39	43	36	46	64	35	
Valoare	1	4	5	3	6	7	2	

Tabelul nr.4.2. Valori corectate productivitate prelucrare cu jet de apă

Nr. experți	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	1	7	3,5	3,5	2	5,5	5,5	28
2	1	3	5	4	6	7	2	28
3	1	2	4	3	5	7	6	28
4	1	2	4	3	5	6	7	28
5	2	5	6	3	1	4	7	28
6	1,5	5	3,5	3,5	6	7	1,5	28
7	1	3	5	4	6	7	2	28
8	1	3	5	4	6	7	2	28
9	2	5	4	3	6	7	1	28
10	1	5	4	6	3	7	2	28
Suma	12,5	40	44	37	46	64,5	36	
Valoare	1	4	5	3	6	7	2	

Tabelul nr.4.3. Coeficienți de corecție inițial corectat productivitate pentru prelucrare cu jet de apă

RS	1							
Initial	12	39	43	36	46	64	35	
	1	4	5	3	6	7	2	
Corectat	12,5	40	44	37	46	64,5	36	
	1	4	5	3	6	7	2	

Tabelul nr.4.1 conține datele centralizate pentru productivitate, iar **tabelul nr.4.2** pe cele corectate. Se observă că la baza tabelului s-a realizat o punctare a poziției parametrului în scara valorică atât în primul caz cât și în al doilea caz. Comparând cele două clasificări s-a stabilit coeficientul de corelație pentru productivitate prezentat în **tabelul nr.4.3**.

În continuare se vor prezenta numai tabelele inițiale de centralizare ale părților specializatorilor fără a se mai prezenta tabele corectate și cele aferente coeficienților de corecție. Astfel în **Tabelul nr.4.4** sunt prezentate datele centralizate pentru viteza de uzură a diuzei.

Tabelul nr.4.4. Valori inițiale viteză de uzură diuză la prelucrarea cu jet de apă

Nr. experți	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	1	6	4	6	6	2	2	27
2	1	5	2	5	5	5	5	28
3	1	5	2	3	5	5	5	26
4	1	5	2	5	5	5	5	28
5	1	5	3	4	7	2	6	28
6	1	6	1	2	4	4	7	25
7	1	6	2	6	6	6	3	30
8	1	5	2	3	5	5	5	26
9	1	6	2	6	6	3	6	30
10	1	5	2	4	6	3	7	28
Suma	10	54	22	44	55	40	51	
Valoare	1	6	2	4	7	3	5	

La definirea principalelor mărimi s-a ținut seama de toate mărimile care afectează procesul de prelucrare cu jet de apă. Aceste mărimi au fost identificate ca fiind cele care influențează direct procesul fiind determinate pe baza literaturii de specialitate studiate de autor. Ele au fost prezentate persoanelor chestionate în forma de mai sus și susținută pe bază verbală motivată alegerea numai a acestor mărimi și nu și a altora.

Chestionar pentru prelucrarea cu jet de apă

În vederea stabilirii ordinii de influență, prin metoda experimentului psihologic, a parametrilor reglabili asupra unor indicatori de performanță, la prelucrarea cu jet de apă, vă rugăm să precizați în chestionar, care este după părerea dumneavoastră ordinea. Se va utiliza ordinea descrescătoare de importantă a acestora de la 1 cel mai important la 7 cel mai puțin important.

Semnificația notiunilor din tabel este:

- presiunea nominală a jetului , p_j ;
- viteza de avans a materialului , v_a ;
- diametrul nominal al duzei de jet abraziv , d_j ;
- distanța de la duză la material , h ;
- grosimea de material , g ;

- natura mediului de prelucrat;
- tipul de apă utilizată.

Tabelul nr.4.5. Macheta studiului psihologic pentru prelucrarea cu jet de apă

Nr. crt.	Parametri reglabili	p_j bari	v_a mm/m in	d_j mm	h mm	g mm	Tip apă	Mediu prelucrat
	Indicatori de performanță							
1.	Productivitatea prelucrării							
2.	Viteza de uzare a diuzei							
3.	Rugozitatea suprafeței							
4.	Latimea superioară a tăieturii							
5.	Lățimea inferioară a tăieturii							
6.	Adâncimea de pătrundere în material							
7.	Adâncimea stratului durificat							
8.	Precizie geometrică și dimensională							

Productivitatea prelucrării, în mm^3/min ,

Viteza de uzare a diuzei, în ore,

Rugozitatea suprafeței, în μm ,

Lățimea, în mm,

Adâncimea de pătrundere în material, în mm,

Viteza de avans, în mm/min,

Adâncimea stratului durificat, în μm ,

Precizia geometrică și dimensională este adimensională, măsurată în unități specifice.

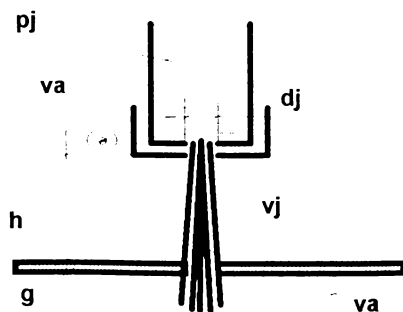


Fig.4.1. Definirea principalelor mărimi specifice prelucrării cu jet de apă

Tabelul nr.4.6. conține datele centralizate pentru rugozitatea suprafeței. Coeficientul de corelație a avut valoare 1 după corecție.

Tabelul nr.4.6. Valorile inițiale ale rugozității suprafeței pentru prelucrarea cu jet de apă

Nr. experti	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	4	1	2	4	4	7	4	26
2	1	3	2	4	5	7	6	28
3	1	3	4	2	5	6	7	28
4	1	2	5	3	4	7	6	28
5	1	2	3	4	6	7	5	28
6	1	1	1	4	7	6	6	26
7	1	2	3	7	6	5	4	28
8	1	2	3	4	6	7	5	28
9	1	2	6	4	7	5	3	28
10	2	3	4	5	7	6	1	28
Suma	14	21	33	41	57	63	47	276
Valoare	1	2	3	4	6	7	5	

Tabelul nr.4.7. contine datele centralizate pentru lățimea superioară a tăieturii.

Tabelul nr.4.7. Valori inițiale ale lățimi superioare ale tăieturi realizate cu jet de apă

Nr. experti	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	2	3	1	1	4	5	5	21
2	1	5	4	6	3	7	2	28
3	1	3	4	5	2	6	7	28
4	1	2	3	4	5	7	6	28
5	1	2	3	4	6	7	5	28
6	1	2	3	2	6	7	4	25
7	1	4	5	6	2	7	3	28
8	1	4	5	6	2	7	3	28
9	4	2	1	3	7	6	5	28
10	3	5	2	4	7	6	1	28
Suma	16	32	31	41	44	65	41	
Valoare	1	3	2	4	6	7	5	

Tabelul nr.4.8 contine datele centralizate pentru lățimea inferioară a tăieturii.

Tabelul nr.4.8. Valori inițiale lățimea inferioară a tăieturi realizate cu jet de apă

Nr. experti	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	2	3	1	1	1	5	4	17
2	1	6	4	5	3	7	2	28
3	1	3	5	4	2	7	6	28
4	1	2	3	4	5	7	6	28
5	1	2	6	4	3	7	5	28
6	1	3	2	2	1	7	3	28
7	1	4	6	5	2	7	3	28
8	1	4	6	5	2	7	3	28
9	4	1	3	6	2	7	5	28
10	2	5	4	6	3	7	1	28
Suma	15	33	40	42	24	68	38	
Valoare	1	3	5	6	2	7	4	

Tabelul nr.4.9. contine datele centralizate pentru adâncimea tăieturi.

Tabelul nr.4.9. Valorile initiale ale adâncimi la prelucrarea cu jet de apă

Nr. experti	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	1	2	3	4	6	5	4	25
2	1	5	3	4	2	7	6	28
3	2	1	3	4	7	6	5	28
4	1	2	4	3	6	7	5	28
5	1	2	6	4	3	7	5	28
6	1	2	1	2	7	3	2	18
7	1	5	4	3	2	6	7	28
8	1	5	4	3	2	6	7	28
9	3	2	5	4	7	6	1	28
10	2	4	3	5	7	6	1	28
Suma	14	30	36	36	49	59	43	
Valoare	1	2	3	4	6	7	5	

Tabelul nr.4.10. contine datele centralizate pentru adâncimea stratului durificat.

Tabelul nr.4.10. Valori initiale pentru adâncimea stratului durificat la prelucrarea cu jet de apă

Nr. experti	Factor x_1	Factor x_2	Factor x_3	Factor x_4	Factor x_5	Factor x_6	Factor x_7	Total
1	1	4	2	3	5	6	1	22
2	1	3	4	5	6	7	2	28
3	3	1	5	2	4	7	6	28
4	2	1	6	3	5	7	4	28
5	1	2	4	3	7	6	5	28
6	2	2	3	5	6	7	1	26
7	1	3	4	5	6	7	2	28
8	1	4	3	6	5	7	2	28
9	2	3	5	4	7	6	1	28
10	2	4	3	5	7	7	1	29
Suma	16	27	39	41	58	67	25	
Valoare	1	3	4	5	6	7	2	

Tabelul nr.4.11. contine datele centralizate pentru precizia dimensională a rostului.

4.1.5. Ponderarea opiniilor specialistilor si verificarea gradului de consens a acestora.

Pe baza programului realizat pe calculator s-a putut realiza ponderarea opiniei specialistilor, astfel încât să se poată realiza verificarea conditiei impuse de testul Fischer.

În **tabelul nr.4.12.** se prezintă coeficientii de ponderare determinati. Se poate afirma cu certitudine că dacă pentru numărul de 10 specialisti a căror coeficient este mai mare ca 1 conform literaturii de specialitate nivelul de încredere α este ales a fi 0,1.

Tabelul nr.4.11. Valoare inițială precizie dimensională la prelucrarea cu jet de apă

Nr. experti	Factor x ₁	Factor x ₂	Factor x ₃	Factor x ₄	Factor x ₅	Factor x ₆	Factor x ₇	Total
1	1	6	2	3	3	5	4	24
2	1	4	2	3	6	7	5	28
3	1	2	4	3	6	5	7	28
4	1	2	6	3	4	7	5	28
5	2	1	6	7	5	3	4	28
6	1	2	2	3	2	7	6	23
7	1	4	2	3	6	7	5	28
8	1	4	3	2	6	7	5	28
9	2	3	1	4	6	7	5	28
10	1	5	4	6	3	7	2	28
Suma	12	33	32	37	47	62	48	
Valoare	1	3	2	4	5	7	6	

Tabelul nr.4.12. Coeficienti de ponderare a opiniilor specialistilor

Nr. expert	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
Coeficient	2,5	4	4	3,3	2,7	4	4	4	1	1	30,5

In continuare nu se vor mai prezenta datele tabelare centralizate decât pentru productivitate, rugozitate, strat durificat, lățime superioară și precizie dimensională care s-au dovedit a fi parametrii cei mai importanți de urmărit. Datele din **tabelul nr.4.13.1.** și **4.13.2.** sunt obținute pentru productivitatea prelucrării.

Tabelul nr.4.13.1. Valori inițiale productivitate la prelucrarea cu jet de apă

Număr expert	TABEL DE LUCRU PRODUCTIVITETE Factori de influență							NUMĂR DE RANG IDENTIC DE N ORI				T
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	2	3	4	5	
1	2,5	17,5	8,75	8,75	5	13,75	13,75	2				12
2	4	12	20	16	24	28	8					0
3	4	8	16	12	20	28	24					0
4	3,3	6,6	13,2	9,9	16,5	19,8	23,1					0
5	5,4	13,5	16,2	8,1	2,7	10,8	18,9					0
6	6	20	14	14	24	28	6	2				12
7	4	12	20	16	24	28	8					0
8	4	12	20	16	24	28	8					0
9	2	5	4	3	6	7	1					0
10	1	5	4	6	3	7	2					24
TOTAL T												48

În **tabelul nr.4.13.1.** se prezintă datele pentru situația de aplicare a coeficientului iar în **tabelul nr.4.13.2.** se fac calculele aferente primului.

Formulele care au stat la baza întocmirii tabelului doi sunt următoarele:

- pentru Delta:

$$\Delta_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} * \delta_i - \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} * \delta_i \quad (4.1.)$$

unde:

- m este numărul de specialiști, iar: - n este numărul de factori;
- δ_i este coeficientul specialistului numărul i;
- a_{ij} este valoarea dată de specialistul i factorului j;

Tabelul nr.4.13.2. Tabel de calcul pentru productivitatea prelucrării cu jet de apă

Factor	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Total
Suma	36,2	111,6	136,2	109,8	149,2	198,4	112,8	854
Delta	7361,6	108,2	200,2	150,1	739,8	5829,3	85,6	14474,8
Val.medie	1,2	3,7	4,5	3,6	4,9	6,5	3,7	
Pondere	0,042	0,131	0,159	0,129	0,175	0,232	0,132	
Ind.semnic	11,05	3,58	2,94	3,64	2,68	2,02	3,55	
Pozitie	1	3	5	2	6	7	4	
Factor	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă	
Consens	0,560							
F _{calc}	1,81	α	0,10	v ₁	5			
F _{tab}	1,8			v ₂	147,5			

- pentru Valoarea medie:

$$V m_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_{ij} * \delta_i}{\sum c e} \quad (4.2.)$$

unde: $\Sigma c e$ este suma coeficientilor specialistilor;

- pentru Coeficientul de ponderare:

$$C p_j = \frac{\sum_{i=1}^m a_{ij} * \delta_i}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_{ij} * \delta_i} \quad (4.3.)$$

- pentru Indecele de semnificatie:

$$I s_j = \frac{400}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (4.4.)$$

- pentru Coeficientul de consens:

$$W = \frac{12 * m * \sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{\left[m * (n^3 - n) - \sum_{i=1}^m T_i \right] * \left(\sum_{i=1}^m \delta_i \right)^2} \quad (4.5.)$$

unde:

- T_i este suma parametrilor reglabili;

$$T_i = \sum_{j=1}^k (t_j^3 - t_j) \quad (4.6.)$$

cu t_j parametrul reglabil pentru specialistul i determinat cu:

$$t_j = 6 * f_2 + 24 * f_3 + 60 * f_4 + 120 * f_5 \quad (4.7.)$$

Deoarece numărul de factori este mai mic sau egal cu 7 se aplică testul Fischer:

$$F_{calc} = \left(\frac{1}{2}\right) * \ln \left[\frac{(m-1) * w}{1-w} \right] \quad (4.8.)$$

unde:

$$v_1 = INT \left(k - 1 - \frac{2}{m} \right) \quad (4.9.) / (4.10.)$$

$$v_2 = (m - 1) * v_1$$

Pozitia coeficientilor se modifică astfel: 2 si 4 + un loc iar 7 - două locuri.

În **tabelul nr.4.14.1.** si **4.14.2.** sunt prezentate datele pentru rugozitatea suprafeței.

Tabelul nr.4.14.1. Valori initiale ale rugozității la prelucrarea cu jet de apă

TABEL DE LUCRU RUGOZITATE SUPRAFATĂ								NUMĂR DE RANG IDENTIC DE N ORI				T
Număr expert	Factori de influență							2	3	4	5	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇					
1	11,25	2,5	5	11,25	11,25	17,5	11,25			1		60
2	4	12	8	16	20	28	24					0
3	4	12	16	8	20	24	28					0
4	3,3	6,6	16,5	9,9	13,2	23,1	19,8					0
5	2,7	5,4	8,1	10,8	16,2	18,9	13,5					0
6	8	8	8	16	28	22	22	1	1			30
7	4	8	12	28	24	20	16					0
8	4	8	12	16	24	28	20					0
9	1	2	6	4	7	5	3					0
10	2	3	4	5	7	6	1					0
TOTAL T												90

Tabelul nr.4.14.2. Tabel de calcul rugozitatea suprafeței la prelucrarea cu jet de apă

Factor	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Total
Suma	44,3	67,5	95,6	125	170,7	192,5	158,6	854
Delta	6045,1	2970,3	697	8,7	2366,8	4970,3	1335,9	18394
Medie	1,5	2,2	3,1	4,1	5,6	6,3	5,2	
Pondere	0,052	0,079	0,112	0,146	0,200	0,225	0,186	
Ind.semnific.	9,040	5,923	4,184	3,201	2,078	2,078	2,523	
Pozitie	1	2	3	4	6	7	5	
Factor	Presiune	Viteză	Diame tru	Înălți me	Grosi me	Mate rial	Apă	
Consens	0,730							
F _{calc}	2,18	α	0,10	v ₁	5			
F _{tab}	1,8			v ₂	147,5			

În **tabelul nr.4.15.1.** și **4.15.2.** sunt prezentate datele pentru lățimea superioară a tăieturii. Prin ponderare factorul 2 coboară un loc, factorul 2 cu 3 și 5 cu 4 schimbă pozițiile.

Tabelul nr.4.15.1. Valori inițiale lățime superioară la prelucrarea cu jet de apă

TABEL DE LUCRU LĂȚIME SUPERIOARĂ								NUMĂR DE RANG IDENTIC DE N				T
Număr expert	Factori de influență							2	3	4	5	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇					
1	7,5	10	3,75	3,75	12,5	16,25	16,25	2				12
2	4	20	16	24	12	28	8					0
3	4	12	16	20	8	24	28					0
4	3,3	6,6	9,9	13,2	16,5	23,1	19,5					0
5	2,7	5,4	8,1	10,8	16,2	18,9	13,5					0
6	4	10	16	10	24	28	20	1				6
7	4	16	20	24	8	28	12					0
8	4	16	20	24	8	28	12					0
9	4	2	1	3	7	6	5					0
10	3	5	2	4	7	6	1					0
TOTAL T												18

Tabelul nr.4.15.2. Tabel de calcul lățimea superioară la prelucrarea cu jet de apă

Factor	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Total
Suma	40,5	103	112,8	136,8	119,2	206,3	135,6	854
Delta	6642,3	361	85,6	217,6	7,8	7098,1	183,6	14595,9
Medie	1,3	3,4	3,7	4,5	3,9	6,8	4,4	
Pondere	0,047	0,121	0,132	0,150	0,140	0,242	0,159	
Ind.semnic.	9,877	3,883	3,548	2,925	3,356	1,939	2,951	
Pozitie	1	2	3	6	4	7	5	
Factor	Presiune	Viteză	Diame tru	Înălți me	Grosi me	Mate rial	Apă	
Consens	0,560							
F _{calc}	1,82	α	0,10	v ₁	5			
F _{tab}	1,8			v ₂	147,5			

Tabelul nr.4.16.1. Valori inițiale durificarea suprafeței la prelucrarea cu jet de apă

TABEL DE LUCRU DURIFICAREA SUPRAFETEI								NUMĂR DE RANG IDENTIC DE N				T
Număr expert	Factori de influență							2	3	4	5	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇					
1	3,75	12,5	7,5	10	15	17,5	3,75	1				6
2	4	12	16	20	24	28	8					0
3	12	4	20	8	16	28	24					0
4	6,6	3,3	19,8	9,9	16,5	23,1	13,2					0
5	2,7	5,4	10,8	8,1	18,9	16,2	13,5					0
6	10	10	16	20	24	28	4	1				6
7	4	12	16	20	24	28	8					0
8	4	16	12	24	20	28	8					0
9	2	3	5	4	7	6	1					0
10	2	4	3	5	6,5	6,5	1					0
TOTAL T												12

În **tabelul nr.4.16.1.** si **4.16.2.** sunt datele pentru durificarea suprafeței tăieturi.

Tabelul nr.4.16.2. Tabel de calcul al durificării suprafeței prelucrate cu jet de apă

Factor	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Total
Suma	51,05	82,2	126,1	129	171,9	209,3	84,45	854
Delta	5033,9	1584,04	16,81	49	249,01	7621,29	1410	18205,06
Valoare medie	1,7	2,7	4,1	4,2	5,6	6,9	2,8	
Coeficient pondere	0,060	0,096	0,148	0,151	0,201	0,245	0,099	
Indice semnificatie	7,835	4,866	3,172	3,101	2,327	1,911	4,737	
Valoare pozitie	1	2	4	5	6	7	3	
Factor	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă	
Coeficient consens	0,700							
F _{calc}	2,12	α	0,10	v ₁	5			
F _{tab}	1,8			v ₂	147,5			

Prin ponderare factorul 2 schimbă locul cu factorul 7.

În **tabelul nr.4.17.1.** si **4.17.2.** sunt prezentate datele pentru precizia dimensională a prelucrării. Prin ponderare factori nu își schimbă poziția între ei.

Tabelul nr.4.17.1. Valori initiale precizie dimensională la prelucrarea cu jet de apă

TABEL DE LUCRU PRECIZIE DIMENSIONALĂ								NUMĂR DE RANG IDENTIC DE N ORI				T
Număr expert	Factori de influență							2	3	4	5	
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇					
1	2,5	17,5	5	8,75	8,75	15	12,5	1				6
2	4	16	8	12	24	28	20					0
3	4	8	16	12	24	20	28					0
4	3,3	6,6	19,8	9,9	13,2	23,1	16,5					0
5	5,4	2,7	16,2	18,9	13,5	8,1	10,8					0
6	4	12	12	20	12	28	24		1			24
7	4	16	8	12	24	28	20					0
8	4	16	12	8	24	28	20					0
9	2	3	1	4	6	7	5					0
10	1	5	4	6	3	7	2					0
TOTAL T												30

4.1.6. Reprezentări grafice

Reprezentarea grafică este o histogramă în care se prezintă variația tuturor parametrilor în funcție de factori de analiză. În **fig.4.2.** se prezintă acest grafic de variație.

Tabelul nr.4.17.2. Tabel de calcul precizia dimensională la prelucrarea cu jet de apă

Factor	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	Total
Suma	34,2	102,8	102	111,6	152,5	192,2	158,8	854
Delta	7708,8	368,6	400	109,2	927,2	4928	1354,2	15796,2
Val.medie	1,1	3,4	3,3	3,7	5	6,3	5,2	
Pondere	0,040	0,120	0,119	0,131	0,179	0,225	0,186	
Ind.semnic.	11,696	3,891	3,922	3,586	2,624	2,081	2,519	
Pozitie	1	3	2	4	5	7	6	
Factor	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă	
Consens	0,630							
F _{calc}	1,95	α	0,10	v ₁	5			
F _{tab}	1,8			v ₂	147,5			

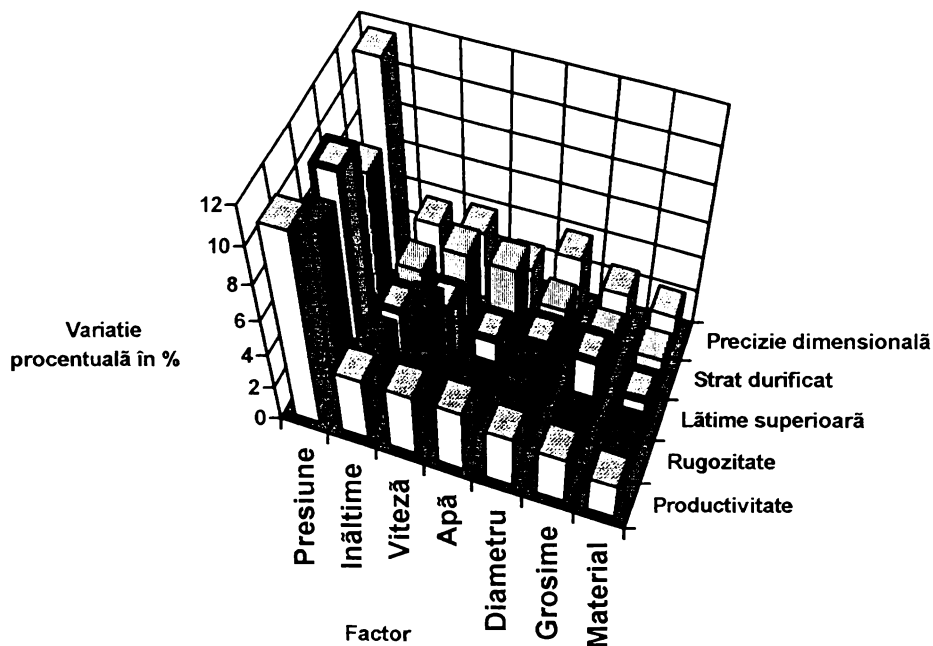


Fig.4.2. Variatia procentuală factori pentru prelucrarea cu jet de apă

4.1.7. Gruparea factorilor pe grupe de influență

Aceasta se realizează pentru fiecare factor în parte utilizând criteriul K. Conform acestuia dacă pentru un număr de factori dat K calculat este mai mic decât K tabelat pentru un coeficient de încredere egal cu 0,05, atunci factorii au același grad de influență.

În caz contrar se elimină ultimul factor și se reface calculul pentru cei rămași, verificându-se condiția mai sus menționată. Valoarea calculată a lui K este dată de formula:

$$K_c = \frac{k \times R_{aj}}{\sum R_j} \quad (4.11.)$$

unde: k este numărul de factori luat în calcul;

a_j este valoarea medie a rangurilor ea se determină cu formula:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}}{m} \quad (4.12.)$$

R_{aj} este diferența între a_{jmax} și a_{jmin} determinați pe coloană;

$\sum R_j$ este suma celor k factori.

Pentru automatizarea calculului s-a conceput un tabel care permite calculul automat al lui K.

Astfel pentru productivitate avem 7 factori cu datele cuprinse în **tabelul nr.4.18**.

Tabelul nr.4.18. Grupare factori pentru productivitate la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diame tru	Inălți me	Grosi me	Material	Apă		
Pozitie	1	3	5	2	6	7	4		
a_j	3,6	11,2	13,6	11	14,9	19,8	11,3	a_{max}	19,8
a_{jmax}	6	20	20	16	24	28	24	a_{min}	3,6
a_{jmin}	1	5	4	3	2,7	7	1	R	16,2
R_j	5	15	16	13	21,3	21	23	R_{total}	114,3
K_c	0,99	nr.fact=	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 și apoi 6 și rezultă datele din **tabelul nr.4.19**.

Tabelul nr.4.19. Tabel final grupare factori pentru productivitate prelucrare cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diame tru	Inălți me	Grosi me	Material	Apă		
Pozitie	1	3	5	2	6	7	4		
a_j	3,6	11,2	13,6	11			11,3	a_{max}	13,6
a_{jmax}	6	20	20	16			24	a_{min}	3,6
a_{jmin}	1	5	4	3			1	R	10
R_j	5	15	16	13	0	0	23	R_{total}	72
K_c	0,69	nr.fact=	5						
K_t	0,83								

Cum $K_c < K_t$ se consideră că factorii 1..5 sunt de importanță primară, iar ceilalți doi de importanță secundară. Acești 5 factori sunt ordonați în **tabelul nr.4.20**.

Tabelul nr.4.20. Ierarhizare factori valoarea procentuală productivitate prelucrare cu jet de apă

Nr. crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	11,05
2	Inăltime	3,64
3	Viteză	3,58
4	Apă	3,55
5	Diametru	2,94

Pentru rugozitatea suprafeței pentru primi 7 factori avem datele din **tabelul nr.4.21.**

Tabelul nr.4.21. Tabel grupare factori pentru rugozitatea suprafeței la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Inăltime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	3	4	6	7	5		
a_j	4,4	6,8	9,6	12,5	17,1	19,3	15,9	a_{max}	19,3
a_{jmax}	11,3	12	16,5	28	28	28	28	a_{min}	4,4
a_{jmin}	1	2	4	4	7	5	1	R	14,8
R_j	10,3	10	12,5	24	21	23	27	R_{total}	127,8
K_c	0,81	nr.fact=	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 și rezultă datele din **Tabelul nr.4.22.**

Tabelul nr.4.22. Tabel final grupare factori rugozitatea suprafeței la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Inăltime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	3	4	6	7	5		
a_j	4,4	6,8	9,6	12,5	17,1		15,9	a_{max}	17,1
a_{jmax}	11,3	12	16,5	28	28		28	a_{min}	4,4
a_{jmin}	1	2	4	4	7		1	R	12,6
R_j	10,3	10	12,5	24	21	0	27	R_{total}	104,8
K_c	0,72	nr.fact=	6						
K_t	0,72								

Cum $K_c = K_t$ se consideră că factorii 1..6 sunt de importanță primară, iar ultimul de importanță secundară. Acești 6 factori sunt ordonați în **Tabelul nr.4.23.**

Tabelul nr.4.23. Ierarhizare factori val. procentuală rugozitatea suprafeței prelucrare cu jet de apă

Nr. crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	9,04
2	Viteză	5,93
3	Diametru	4,18
4	Inăltime	3,20
5	Apă	2,52
6	Grosime	2,34

Lățimea superioară a tăieturi pentru primi 7 factori are valorile în **tabelul nr. 4.24**.

Tabelul nr.4.24. Tabel grupare factori lățimea superioară a tăieturi prelucrare cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diamentru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	3	6	4	7	5		
a_j	4,1	10,3	11,3	13,7	11,9	20,6	13,6	a_{max}	20,6
a_{jmax}	7,5	20	20	24	24	28	28	a_{min}	4,1
a_{jmin}	2,7	2	1	3	7	6	1	R	16,6
R_j	4,8	18	19	21	17	22	27	R_{total}	128,8
K_c	0,90	nr.fact=	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 si rezultă datele din **tabelul nr.4.25**.

Tabelul nr.4.25. Tabel final grupare factori lățimea superioară a tăieturi prelucrare cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diamentru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	3	6	4	7	5		
a_j	4,1	10,3	11,3	13,7	11,9		13,6	a_{max}	13,7
a_{jmax}	7,5	20	20	24	24		28	a_{min}	4,1
a_{jmin}	2,7	2	1	3	7		1	R	9,6
R_j	4,8	18	19	21	17	0	27	R_{total}	106,8
K_c	0,54	nr.fact=	6						
K_t	0,72								

Cum $K_c < K_t$ se consideră că factorii 1..6 sunt de importanță primară, iar ultimul de importanță secundară. Acești 6 factori sunt ordonați în **tabelul nr.4.26**.

Tabelul nr.4.26. Ierarhizare factori valorile procentuale ale lățimi superioară a tăieturi la prelucrare cu jet de apă

Nr. crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	9,88
2	Viteză	3,88
3	Diamentru	3,55
4	Grosime	3,36
5	Apă	2,95
6	Înălțime	2,93

Pentru adâncimea stratului durificat al tăieturi pentru primi 7 factori avem datele cuprinse în **tabelul nr. 4.27**.

Tabelul nr.4.27. Tabel grupare factori adâncime strat durificat la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	4	5	6	7	3		
a_j	5,1	8,2	12,6	12,9	17,2	20,9	8,4	a_{max}	20,9
a_{jmax}	12	16	20	24	24	28	24	a_{min}	5,1
a_{jmin}	2	3	3	4	6,5	6	1	R	15,8
R_j	10	13	17	20	17,5	22	23	R_{total}	122,5
K_c	0,90	nr.fact=	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 și rezultă datele din **tabelul nr.4.28.**

Tabelul nr.4.28. Tabel final grupare factori adâncime strat durificat prelucrare cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	2	4	5	6	7	3		
a_j	5,1	8,2	12,6	12,9	17,2		8,4	a_{max}	17,2
a_{jmax}	12	16	20	24	24		24	a_{min}	5,1
a_{jmin}	2	3	3	4	6,5		1	R	12,1
R_j	10	13	17	20	17,5	0	23	R_{total}	100,5
K_c	0,72	nr.fact=	6						
K_t	0,72								

Cum $K_c < K_t$ se consideră că factorii 1..6 sunt de importanță primară, iar ultimul de importanță secundară. Acești 6 factori sunt ordonați în **tabelul nr.4.29.**

Tabelul nr.4.29. Ierarhizare factori valoare procentuală adâncime strat durificat la prelucrarea cu jet de apă

Nr. crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	7,8
2	Viteză	4,9
3	Apă	4,7
4	Diametru	3,2
5	Înălțime	3,1
6	Grosime	2,3

Pentru precizia dimensională a tăieturii pentru primii 7 factori avem datele cuprinse în **tabelul nr.4.30.**

Tabelul nr.4.30. Tabel grupare factori pentru precizia dimensională la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	3	2	4	5	7	6		
a_j	3,4	10,3	10,2	11,2	15,2	19,2	15,9	a_{max}	19,2
a_{jmax}	5,4	17,5	19,8	20	24	28	28	a_{min}	3,4
a_{jmin}	1	2,7	1	4	3	7	2	R	15,8
R_j	4,4	14,8	18,8	16	21	21	26	R_{total}	122
K_c	0,91	nr.fact=	7						
K_t	0,63								

Cum $K_c > K_t$ se elimină factorul numărul 7 și apoi 6 și rezultă datele din **tabelul nr.4.31**.

Tabelul nr.4.31. Tabel final grupare factori precizia dimensională la prelucrarea cu jet de apă

Mărime	Presiune	Viteză	Diametru	Înălțime	Grosime	Material	Apă		
Pozitie	1	3	2	4	5	7	6		
a_i	3,4	10,3	10,2	11,2	15,2			a_{max}	15,2
a_{imax}	5,4	17,5	19,8	20	24			a_{min}	3,4
a_{imin}	1	2,7	1	4	3			R	11,8
R_j	4,4	14,8	18,8	16	21	0	0	R_{total}	75
K_c	0,79	nr.fact=	5						
K_t	0,83								

Cum $K_c < K_t$ se consideră că factorii 1..5 sunt de importanță primară, iar ultimii de importanță secundară. Acești 5 factori sunt ordonați în **Tabelul nr.4.32**.

Tabelul nr.4.32. Ierarhizare factori valoare procentuală adâncime strat durificat la prelucrarea cu jet de apă

Nr. crt.	Parametru	Valoare
1	Presiune	11,7
2	Diametru	3,92
3	Viteză	3,89
4	Înălțime	3,59
5	Grosime	2,62

4.1.8. Interpretarea rezultatelor

Pe baza calculului efectuat și a histogramelor trasate s-a realizat **tabelul nr.4.33**. În el se marchează pentru fiecare indicator de performanță ordinea de influență, fără însă a se marca și ponderea influenței.

Tabelul nr.4.33. Rezultate finale ordonare factori la prelucrarea cu jet de apă

Nr. crt.	Factor	Presiune	Viteză prel.	Diametru	Înălțime	Grosime	Tip apă	Material prelucrat
1	Productivitate	1	3	5	2	*	4	*
2	Viteză uzare	1	*	2	4	*	5	3
3	Rugozitate	1	2	3	4	6	5	*
4	Lățime superioară	1	2	3	6	4	5	*
5	Lățime inferioară	1	3	6	4	2	5	*
6	Adâncime pătrundere	1	2	3	4	5	*	*
7	Adâncime durificare	1	2	4	5	6	3	*
8	Precizie dimensională	1	3	2	4	5	*	*

Luat global conform **fig.4.3** rezultă că cel mai important factor din proces este

presiunea jetului de apă, ceilalți optimizându-și valoarea în funcție de criteriul de optimizare urmărit.

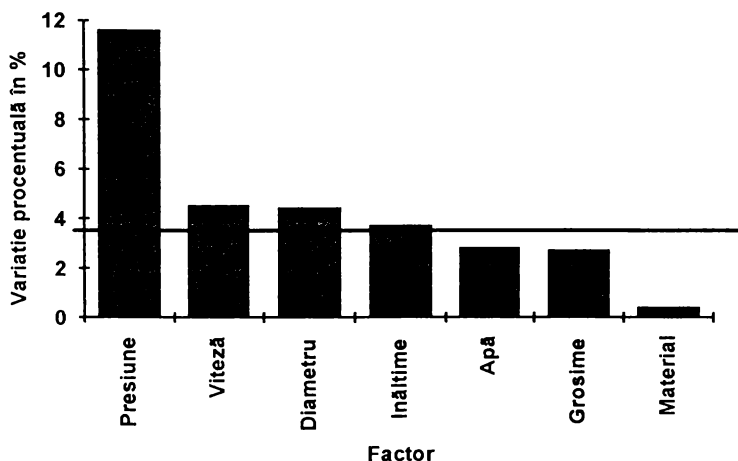


Fig.4.3. Variatia procentuală a factorilor la prelucrarea cu jet de apă

Exceptând factorul viteză de uzare al diuzei, asupra căruia influență directă secundară are diametrul diuzei și materialul de prelucrat așa după cum era de așteptat, se obține **fig.4.4.** din care se observă că la ceilalți factori viteza de prelucrare și diametrul diuzei, își împart locurile doi și trei, înălțimea este pe locul patru, iar locurile cinci și șase sunt împărțite de grosimea materialului prelucrat și de tipul de apă utilizat. Interesant este că materialul care se prelucrează, nu intră în discuție decât la viteza de uzare a diuzei, în rest el fiind considerat ca factor secundar. În **fig.4.4.** s-a trasat o linie orizontală care desparte factori considerați principali de cei considerați secundari. Fată de linia de demarcație din **fig.4.3.** se observă că cea din **fig.4.4.** este mai cuprinzătoare fiind inclusă și înălțimea.

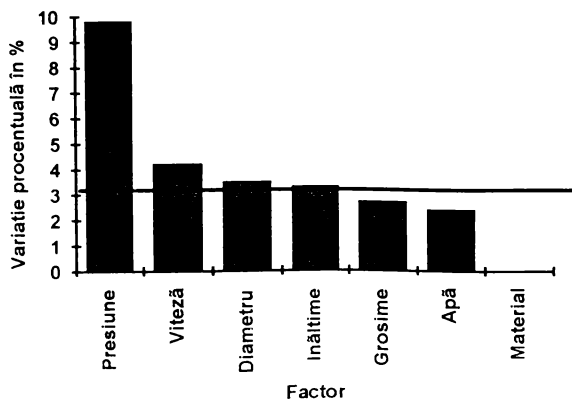


Fig.4.4. Variatia procentuală finală a factorilor la prelucrarea cu jet de apă

Disponerea factorilor este astfel realizată încât să poată fi eliminați factorii care nu prezintă influență. Se poate sesiza cu ușurință că factorii 2, 3 și 4 sunt foarte greu de departajat.

Dacă se trasează graficul de influență al coeficientului de pondere a factorilor **fig.4.5.** se obțin datele din **tabelul nr.4.34.**

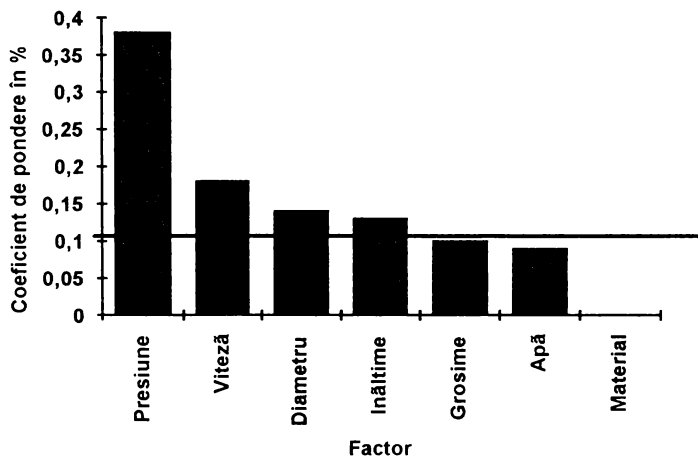


Fig.4.4. Variația coeficienților de pondere la prelucrarea cu jet de apă

Tabelul nr.4.34. Calculul coeficienților de ponderare la prelucrarea cu jet de apă

Poz. init.		Productivitate	Rugozitate	Lățime super.	Lățime infer.	Adânc. pătrund	Adânc. str. du r	Preciz. dimens	Variat. procent
1	Presiune	11,05	9,04	9,68	9,09	10,13	7,80	11,70	9,8
2	Înălțime	3,64	3,20	2,98	3,05	3,54	3,10	3,59	3,3
3	Viteză	3,58	5,56	3,83	3,32	3,86	4,90	3,89	4,2
4	Apă	3,55	2,52	2,95	2,95	*	4,70	*	2,4
5	Diametru	2,94	4,18	3,55	2,94	3,74	3,20	3,92	3,5
6	Grosime	*	2,34	3,36	5,22	2,87	2,30	2,62	2,7
7	Material	*	*	*	*	*	*	*	0
	TOTAL	24,76	27,21	26,55	26,57	24,16	26	25,72	
Poz. final		a_i	M_i						
1	Presiune	9,81	0,38						
4	Înălțime	3,29	0,13						
2	Viteză	4,20	0,16						
5	Apă	2,38	0,09						
3	Diametru	3,50	0,14						
6	Grosime	2,67	0,10						
7	Material	0,00	0,00						
	TOTAL	25,85	1,00						
	Val.med.		0,14						

În acest din urmă caz va intra în discuție și grosimea materialului care se situează la limita liniei de demarcație a factorilor principali de cei secundari. Prelucrarea datelor s-a realizat pe baza tabelului centralizator.

Rezultă deci că cercetările în domeniul prelucrării materialelor cu jet de apă conform opiniilor specialiștilor se vor canaliza pe direcția investigării primilor cinci factori.

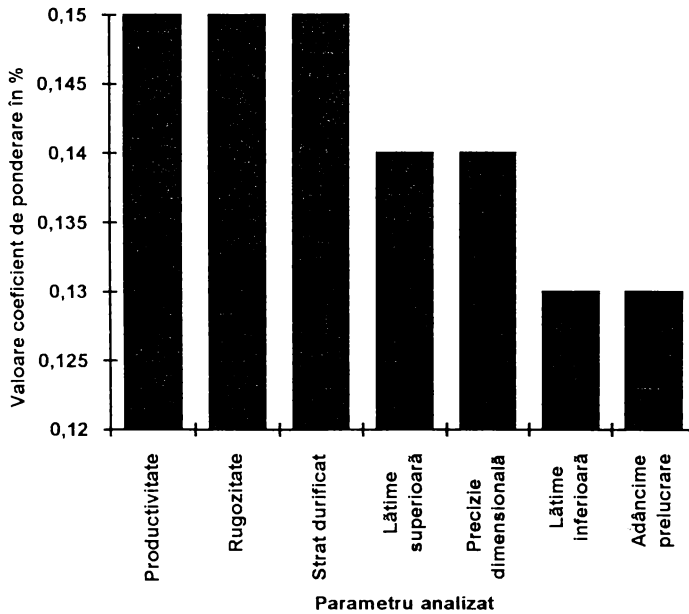


Fig.4.6. Ordonarea parametrilor analizați la prelucrarea cu jet de apă

În același timp din același **tabelul nr.4.34.** s-a făcut și o ordonare a importanței parametrilor analizați rezultând **fig.4.6.** Din analiză a rezultat astfel că cei mai importanți sunt productivitatea, rugozitatea și apoi stratul durificat cu același ordin de importanță. Ei sunt urmați la foarte mică distanță de lățimea superioară a tăieturii și precizia dimensională, iar în final de lățimea inferioară și adâncimea de prelucrare. Prin urmare se va orienta cercetarea asupra parametrilor mai importanți rezultați.

4.2. MODELAREA STATISTICĂ A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE ABRAZIV PRIN METODA EXPERIMENTULUI PSIHOLÓGIC

4.2.1. Considerații generale

Datele acestui punct sunt identice cu cele de la punctul 4.1.1.

4.2.2. Stabilirea parametrilor prelucrării și a indicatorilor de performanță

Stabilirea datelor de la acest punct sunt identice cu cele de la punctul 4.1.2.

4.2.3. Intocmirea chestionarului

Chestionarul a fost realizat astfel încât să fie simplu și concis, ușor de completat și centralizat. Au fost consultați 17 specialiști.

4.2.4. Sintetizarea informațiilor și corectia valorilor primare

Pentru sintetizarea informațiilor a fost utilizat un program special conceput de autor, în unul din utilitățile de tip worksheet de tip Quattro, Lotus sau Excel.

Modul de lucru al programului este similar cu cel prezentat la punctul 4.1.4.

4.2.5. Ponderarea opiniilor specialiștilor și verificarea gradului de consens.

Deoarece a fost satisfăcută condiția impusă de testul H_i^2 nu s-a mai impus realizarea ponderării opiniei specialiștilor.

Chestionarul prelucrării cu jet de apă cu abraziv

În vederea stabilirii ordinii de influență, prin metoda experimentului psihologic, a parametrilor reglabili asupra unor indicatori de performanță, la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, vă rugăm să precizați în chestionar, care este după părerea dumneavoastră ordinea.

Semnificația noțiunilor din tabel este:

- presiunea nominală a jetului de apă, p_j ;
- viteza de avans a materialului, v_a ;
- diametrul nominal al duzei de jet abraziv, d_j ;
- debitul de granule de abraziv ;
- raportul dintre diametrele duzei de apă și de abraziv, d_a/d_j ;
- distanța de la duză la material, h ;
- grosimea de material, g ;
- natura mediului abraziv ;
- diametru mediu granule de abraziv ;
- raportul de duritate dintre mediul abraziv și mediul de prelucrare ;

Tabelul nr.4.35. Macheta de definire a elementelor studiului psihologid pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt	Indicatori de performanță	Parametri reglabili		d_i m m	Ra- port d_a/d_i	h mm	g mm	Natu- ră abra- ziv	Diam gran.	De bit	Ra port
		p_i bari	v_a mm/ min								
1.	Productivitatea prelucrării										
2.	Viteza de uzare a diuzei de abraziv										
3.	Rugozitatea suprafeței										
4.	Latimea superioară a tăieturii										
5.	Lățimea inferioară a tăieturii										
6.	Adâncimea de pătrundere în material										
7.	Adâncimea stratului durificat										
8.	Precizie geometrică și dimensională										

Productivitatea prelucrării este în mm^3/min ,

Viteza de uzare a diuzei este în ore,

Rugozitatea suprafeței este în μm ,

Lățimea este în mm,

Adâncimea de pătrundere în material este în mm,

Adâncime strat durificat este în μm ,

Precizia geometrică și dimensională este adimensională.

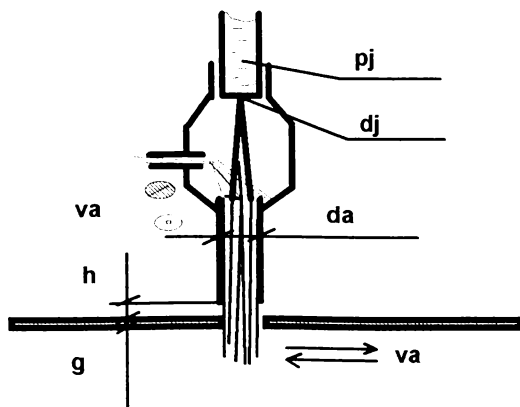


Fig.4.7. Definirea parametrilor prelucrării cu jet de apă cu abraziv

4.2.6. Reprezentări grafice

Reprezentările grafice sunt histograme suprapuse în care se prezintă variația indicatorului de performanță în funcție de factorul de analiză.

În **fig.4.8.** și **fig.4.9.** se prezintă graficele de variație ale factorilor pentru parametri din proces.

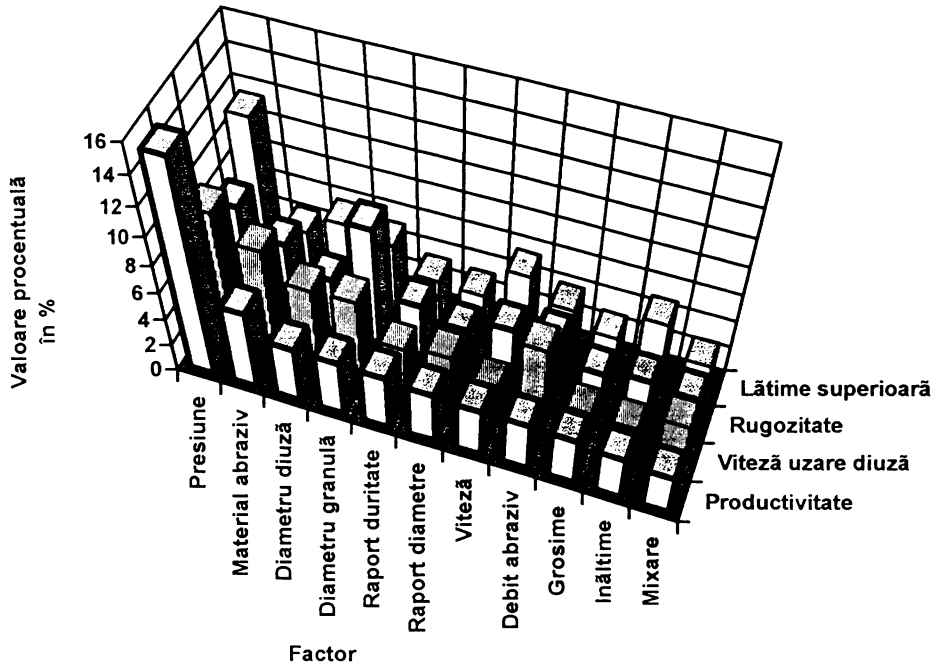


Fig.4.8. Factori de influență la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

4.2.7. Gruparea factorilor pe grupe de influență

Aceasta se realizează pentru fiecare factor în parte utilizând criteriul K. Conform acestuia dacă pentru un număr de factori dat K calculat este mai mic decât K tabelat pentru un coeficient de încredere egal cu 0,05, atunci factorii au același grad de influență. În caz contrar se elimină ultimul factor și se reface calculul pentru cei rămași, verificându-se condiția mai sus menționată.

În **tabelul nr.4.36.** sunt prezentați factori care au satisfăcut condiția pentru productivitate, viteză de uzare diuză și rugozitate suprafață. Valoarea numerică îngrosată este pentru parametri principali iar cu scris italic cele pentru cei secundari.

În **tabelul nr.4.37.** sunt centralizate datele pentru lățime superioară, inferioară și

adâncime tăietură, iar în **tabelul nr.4.38.** cele pentru precizia tăieturi. S-a respectat regula prezentată mai sus.

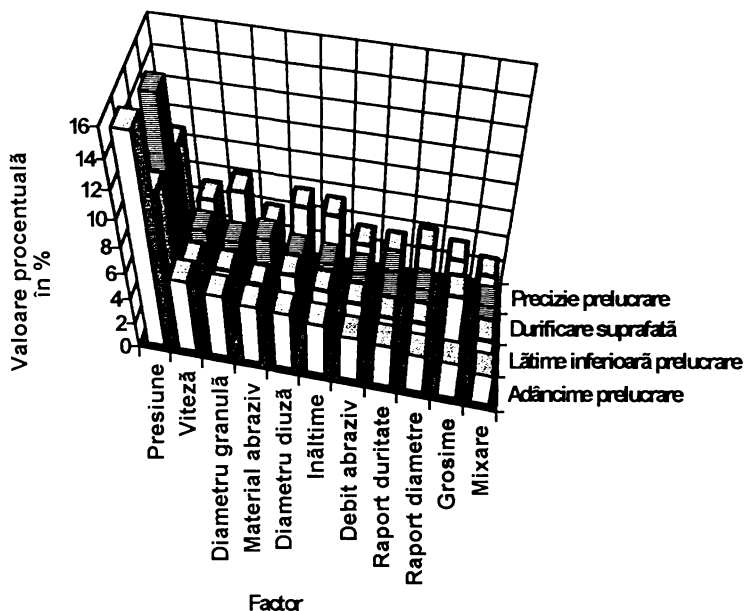


Fig.4.9. Factori de influență la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Tabelul nr.4.36. Valoare procentuală factori la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Factor	Valoare productivitate	Valoare viteză uzare	Valoare rugozitate
1	Presiune	15,4	9,5	7,5
2	Material abraziv	5,7	7,7	5,7
3	Diametru diuză	4	5,8	4
4	Diametru granulă	4	5,9	8,6
5	Raport duritate	3,9	3,3	2,9
6	Raport diametre	3,7	3,7	3
7	Viteză	3,5	2,4	4
8	Debit abraziv	3,5	6,3	4,3
9	Grosime	3,4	2,4	2,6
10	Înălțime	3,1	2,4	3,1
11	Mixare	2,8	3,7	2,8

Se observă că pentru toți cei trei parametri luați în considerare în tabelul de mai sus numai grosimea materialului este parametru secundar și modul de mixare și înălțimea sunt considerate secundare pentru doi dintre parametri.

Tabelul nr.4.37. Valoare procentuală factori la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Factor	Valoare lățime superioară	Valoare lățime inferioară	Valoare adâncime
1	Presiune	11,4	9,6	15,7
2	Diametru diuză	5,6	5	4,5
3	Viteză	5,4	4,7	5,7
4	Diametru granulă	5	4,5	5
5	Inălțime	4,7	4,2	4,1
6	Material abraziv	4,2	3,8	4,6
7	Debit abraziv	3,8	3,6	3,5
8	Raport duritate	3,2	2,9	3,3
9	Raport diametre	3	2,9	3
10	Grosime	2,6	5,5	2,9
11	Mixare	2,5	2,4	2,4

De această dată sunt trei parametri care sunt considerați secundari pentru toți cei trei iar unul care este secundar pentru doi dintre parametri.

Tabelul nr.4.38. Valoare procentuală factori la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Factor	Valoare precizie prelucrare	Valoare duritate suprafață
1	Presiune	8,8	14,3
2	Material abraziv	3,9	5
3	Viteză	5	4,9
4	Diametru granulă	6	4,4
5	Raport duritate	3,3	4,2
6	Diametru diuză	5,6	4,2
7	Inălțime	5,3	3,9
8	Debit abraziv	3,4	3,5
9	Raport diametre	4	3,1
10	Mixare	2,5	2,6
11	Grosime	3,4	2,6

În acest din urmă caz numai modul de mixare este considerat parametru secundar pentru ambele parametri.

4.2.8. Interpretarea rezultatelor

Pe baza calculelor efectuate și a histogramele trasate s-a realizat **tabelul nr.4.39**. În acest tabel se marchează pentru fiecare indicator de performanță ordinea de influență al factorilor analizați, fără însă a se marca și ponderea influenței.

Luat global se observă conform **fig.4.10**, că cel mai important factor din proces este presiunea jetului de apă, ceilalți optimizându-și valoarea în funcție de criteriul de optimizare urmărit.

Exceptând factorul viteză de uzare al diuzei asupra căruia influență directă secundară are modul de mixare și raportul diametrelor așa după cum era de așteptat, se obține **fig.4.11**, din care se observă că la ceilalți factori viteza de prelucrare, material abraziv și diametrul diuzei își împart locurile trei, patru și cinci, debitul de abraziv și înălțimea sunt pe locurile șase și șapte, iar locurile opt raport duritate, nouă raport diametre și zece grosimea. În **fig.4.11**, se poate trasa o linie orizontală care desparte factorii considerați principali de cei considerați secundari. Fată de linia de demarcație din **fig.4.10**, se observă că cea din **fig.4.11**, este mai puțin cuprinzătoare fiind exclus debitul de abraziv în cazul final.

Tabloul nr.4.39. Centralizatorul rezultatelor pentru prelucrare cu jet de apă cu abraziv

Nr. crt.	Factor	Pre-siune	Mater. abraz.	Diam. abraz	Diam. gran.	Rap. durit	Rap. diam.
1	Productivitate	1	2	3	4	5	6
2	Viteză uzare	1	2	5	4	*	7
3	Rugozitate	2	3	5	1	7	*
4	Lățime superioară	1	6	2	4	*	*
5	Lățime inferioară	1	7	3	5	*	*
6	Adâncime pătrundere	1	4	5	3	*	*
7	Adâncime durificare	1	2	6	4	5	*
8	Precizie dimensională	1	7	3	2	10	6

Nr. crt.	Factor	Grosime	Înălțime	Viteză	Debit abraz	Mixare
1	Productivitate	*	*	7	8	*
2	Viteză uzare	*	*	*	3	6
3	Rugozitate	*	8	6	4	*
4	Lățime superioară	*	5	3	7	*
5	Lățime inferioară	2	6	4	8	*
6	Adâncime pătrundere	*	6	2	7	*
7	Adâncime durificare	*	7	3	8	*
8	Precizie dimensională	8	4	5	9	*

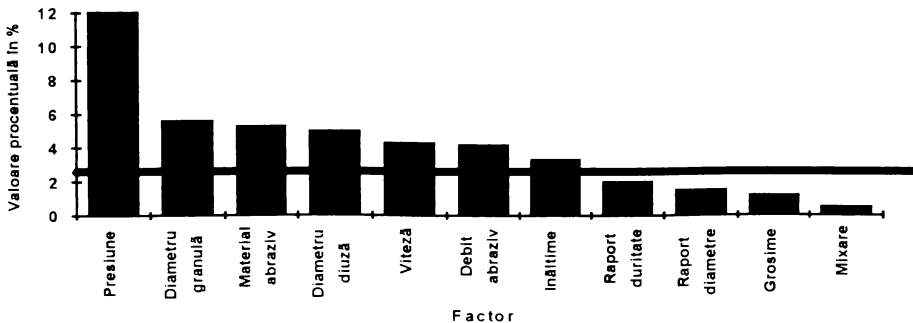


Fig.4.10. Valoarea procentuală a factorilor la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Dacă se trasează graficul de influență al coeficientului de pondere al indicatorilor de performanță se obține **fig.4.12**.

Se observă că și în acest din urmă caz se obține situația în care cei mai importanți indici sunt adâncimea de pătrundere, adâncimea de durificare și lățimea laturii superioare, urmează apoi productivitatea și ultimii sunt rugozitatea laturii inferioare și precizia dimensională.

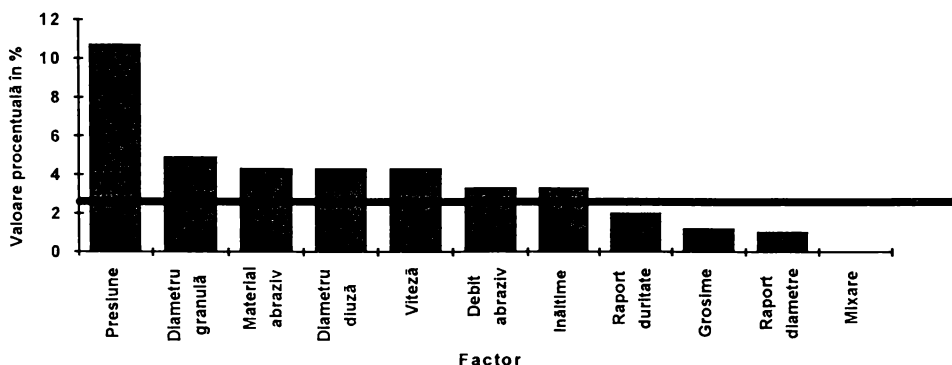


Fig.4.11. Valorile finale ale factorilor pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

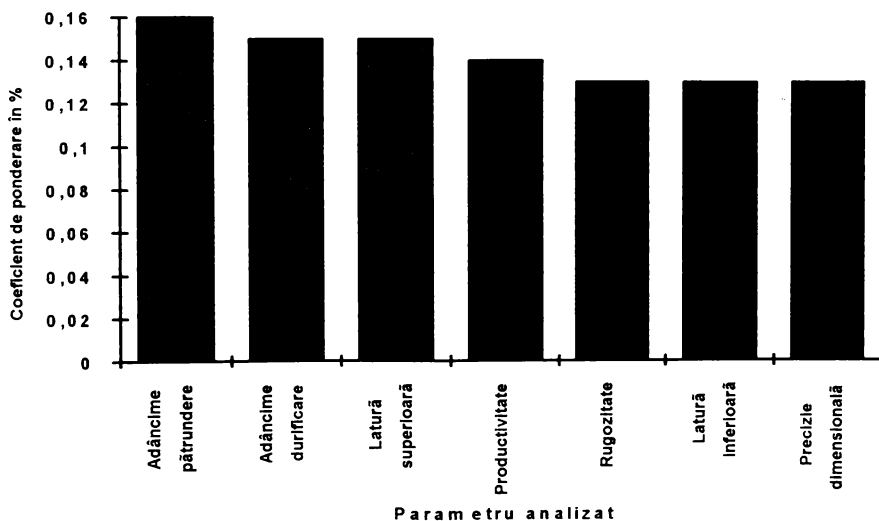


Fig.4.12. Ordonarea parametrilor pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

4.3. MODELAREA MATEMATICĂ PRIN EXPERIMENTUL ACTIV A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ

4.3.1. Consideratii generale

Pe baza experimentului psihologic, s-a trecut la realizarea programului de cercetare în vederea modelării matematice, cu studierea modului în care factorii analizați, influențează prelucrarea. În conformitate cu **fig.4.6.** s-au determinat ca parametri principali: productivitatea, rugozitatea, stratul durificat, lățimea superioară și precizia dimensională. Refăcând astfel datele din **tabelul nr.4.33.** pentru acești parametri se obține o ordine a factorilor conform **tabelul nr.4.40.**

Tabelul nr.4.40. Ordonare finală factori pentru experiment activ

Nr. crt.	Factor	Pre-siune	Vitez. prel.	Diame-tru	Inăl-time
1	Productivitate	1	3	4	2
2	Rugozitate	1	2	3	4
3	Strat durificat	1	2	3	4
4	Lățime superioară	1	2	3	4
5	Precizie dimensională	1	3	2	4

Din datelor din tabel rezultă ordinea pe care trebuie să o avem în considerare, la realizarea experimentului activ. Aceasta este:

- presiune;
- viteza de deplasare a materialului;
- diametrul diuzei;
- distanța diuză-material;

Plaja de variație a factorilor a fost stabilită pe baza studierii documentației de specialitate existente între următoarele limite:

- viteza jetului este în funcție de presiune, formula de calcul este **(3.10.):** 173 ... 375 m/s;

Tabelul nr.4.41. Determinare valoare viteză jet funcție de presiunea acetuia

Nr. crt.	Presiune în bari	Viteză în m/s
1.	300	245
2.	500	316
3.	700	375

- viteza de prelucrare a fost asimilată în studiu ca și timpul cât jetul acționează asupra materialului, timpii fiind de: 10, 20, 30, 40 și 50 secunde;
- diametru jet: 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 și 1,5 mm;

- distanță material-duză: 50; 100; 150; 200 și 250 mm;

În lucrare vor fi analizați în detaliu fiecare din acești factori în parte, în condițiile în care, toți ceilalți vor fi menținuți constanți. În final, se vor stabili relațiile de interdependență dintre factori și parametri. Pe baza acestora se va stabili gradul de influență al acestor factori asupra procesului, rezultând astfel o clasificare a acestora.

4.3.2. Modelarea matematică prin experimentul activ [2.], [3.], [24.]

Modelarea a avut la bază modelul matematic liniar de forma:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i * x_i \quad (4.13.)$$

Pentru experimentul factorial complet s-au prelucrat datele, după un program care determină ecuațiile de regresie făcându-se verificarea concordanței modelului liniar cu cel experimental. Algoritmul de lucru este următorul:

1. Alegerea formei modelului matematic:

$$\tilde{y} = \sum_{i=0}^N b_i * x_i \quad (4.14.)$$

2. Calculul coeficienților ecuației de regresie:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{iu} * y \quad (4.15.)$$

3. Calculul dispersiilor determinărilor paralele:

$$s_u^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r \left(y_{uk} - y_u \right)^2 \quad (4.16.)$$

$$y_u = \frac{1}{r} \sum_{k=1}^r y_{uk}$$

4. Verificarea omogenității dispersiilor:

$$C_0 = \frac{s_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^n s_n^2} \leq C_{0,0,05}(\nu_1=r-1, \nu_2=N) \quad (4.17.)$$

5. Calculul erori experimentale:

$$s_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N s_u^2 \quad (4.18.)$$

6. Calculul dispersiei coeficienților de regresie:

$$s_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{N} \quad (4.19.)$$

$$b = \pm t_T * s_{b_i}$$

7. Verificarea semnificatiei coeficientilor:

$$|b_p| > |\Delta b| \quad (4.20.)$$

8. Calculul dispersiei de concordantă:

$$s_{con}^2 = \frac{r}{N - (n + 1)} \sum_{u=1}^n \left(y_u^{--} - y_u^{\approx} \right)^2 \quad (4.21.)$$

$$F_{ic} = \frac{s_{con}^2}{s_a^2}$$

9. Verificarea gradului de concordantă al modelului:

$$F_{ic} < F_{it} \quad (4.22.)$$

4.3.3. Definirea semnificatiei paramerilor utilizati si a nivelului factorilor

Se va realiza un experiment factorial complet prezentat în **tabelul nr.4.42.** Fiecărui dintre parametri utilizati li se vor atribui pe baza încercărilor experimentale si a datelor din literatura de specialitate valorile determinate mai sus.

Fiecare material este caracterizat prin rezistenta la compresiune si la încovoiere, respectiv asa după cum am mai arătat prin tenacitatea la rupere. Ca materiale pentru realizarea studiului am ales aluminiul si placajul de plop.

Tabelul nr.4.42. Stabilirea nivelelor pentru experimentul factorial, prelucrare cu jet de apă

Nr. crt.	Factor	Simbol	Distanță diuză-material [mm]	Presiune [bari]	Diametru diuză [mm]	Timp de prelucrare sec
1	Nivel de bază	z_0	150	500	0,3	30
2	Interval de variatie	z_1	50	200	0,9	10
3	Nivel superior	+1	200	700	1,2	40
4	Nivel inferior	-1	100	300	0,6	20

Se va studia modul în care influentează parametri prestabiliti prin experiment psihologic, asupra procesului de prelucrare al materialelor, pe această bază realizându-se un experiment factorial 2^4 cu două încercări în punctul central.

4.3.4. Definierea fizică a formulelor de calcul pentru mărimile care fac obiectul studiului la prelucrarea materialelor cu jet de apă [4.], [5.], [6.], [7.], [8.], [9.], [10.], [12.]

Pentru a putea defini formula de calcul a adâncimi de pătrundere a jetului în material (z), se pornește de la forțele hidrodinamice exercitate de jet asupra suprafeței de material supus prelucrării. Aceste forțe sunt de două tipuri și anume forțe directe de erodare și forțe rezultate din devierea jetului ca urmare a impactului acestuia cu materialul. Din relațiile de echilibru ale continuității procesului și respectiv ale momentului dezvoltat de aceste volume de lichid direct și respectiv reflectat, se ajunge la formula de calcul finală:

$$z = \frac{0,297}{C_f} * \sqrt{d * X} * (\psi)^{\left(\frac{2}{3}\right)} * \left[1 - \frac{\sigma_y}{2 * p * \phi}\right] * \left[1 - \exp\left[\frac{-2,256 * C_f * \phi * p}{\eta * v_p}\right]\right] \quad (4.23.)$$

unde:

- coeficientul adimensional de corectie al lățimi:

$$\psi = \left[1 - \sqrt{\frac{\sigma_c * X}{2 * p * X_c}}\right] \quad (4.24.)$$

unde: - σ_c este rezistența materialului la compresiune, în N/m^2 ;
 - p este presiunea jetului de apă, în N/m^2 ;
 - X distanța de la diuză la material, în m;
 - X_c distanța jetului continuu, în m;
 - v_p este viteza de prelucrare a materialului, în m/s;

- C_f este coeficientul de frecare dimensional al jetului, el fiind determinat prin rezolvarea matematică a relației obținute de la studiul coeficientului de frecare dezvoltat de curgerea unui fluid ne-Newtonian printr-un tub:

$$\frac{1}{\sqrt{C_f}} = 4 * \log\left[\frac{v_j * D_0}{10^{-6}} * \sqrt{C_f}\right] - 0,4 \quad (4.25.)$$

unde: - v_j este viteza jetului la ieșirea din diuză, m/s;
 - D_0 este diametrul diuzei de jet de apă, m;

Această soluție matematică nu ține însă seama de influența pe care o dezvoltă aerul asupra jetului la exteriorul tubului, lucru care determină o creștere a acestui coeficient de frecare și deci implicit, o scădere a capacităților de prelucrare ale jetului. Această afirmație este susținută și de modul în care se produce variația vitezei, în funcție de distanța de la diuză la material, formula (3.14.). În același timp se poate lua în considerare că, diametrul activ al jetului de apă, poate fi asimilat ca și valoare egală cu lățimea tăieturii. Datorită acestui fapt, s-a trecut la stabilirea unei formule matematice de determinare care să ia în considerare și aceste din urmă observații.

Folosind programul STATGRAFICS, am determinat ecuația de regresie corespunzătoare valorilor lui C_f determinate. Aceasta este:

$$C_f = 0,005144 - 4,41 * p - 1,321 * D_0 \quad (4.26.)$$

- σ_y este rezistența la întindere a materialului în N/m^2 ;

- D_0 este diametrul diuzei, în m;

- ϕ este factorul adimensional de corecție al presiunii care se determină cu formula:

$$\phi = 2 * \frac{X_C}{X} * C_d * \left[0,5 - 0,57 * \psi + 0,2 * (\psi)^2 \right] \quad (4.27.)$$

unde: - C_d este coeficientul caracteristic diuzei determinat cu formula:

$$C_d = 0,549 + \frac{0,526}{\left(\frac{v_j * D_0}{10^{-3}} \right)} \quad (4.28.)$$

unde: v_j este viteza jetului, în m/s;

În **formula 4.28.**, C_d se va lua 1, dacă se va utiliza ca presiune în **formula 4.27.**, presiunea maximă la ieșirea din diuză și cu valoarea calculată, dacă se va folosi în calculul amintit, presiunea medie.

Modul de determinare a acestui coeficient este următoarea:

- pentru valoarea fixă 0,549 se utilizează metoda vasului etalon. Ea constă în folosirea unui vas gradat, în care se colectează al intervale de timp bine determinate prin măsurare cu numărător electronic, a volumului de apă care curge prin diuză. În același timp presiunea jetului se determină prin măsurare, rezultând în final pe bază de calcul valoarea Re și C_d . Formula de calcul este pentru $C_d = Q_0 / (S_0 * v_j)$, raportul dintre debitul real și cel teoretic al diuzei. Q_0 și S_0 sunt valorile de debit determinat în cm^3/s și respectiv de secțiune.

- η este coeficientul de distrugere a materialului calculat, în $kg/(m^2 * s)$, cu formula:

$$\eta = \frac{27,54 * 10^{10}}{v_p} + \frac{38,28 * 10^{11}}{v_p * X} + \frac{2,56 * 10^9}{X} + 1,68 * 10^8 \quad (4.29.)$$

Productivitatea prelucrării este dependentă de cantitatea de material care se îndepărtează. Dacă se are în vedere că ea se realizează cu o anumită viteză, rezultă deci că într-un anumit interval de timp există un anumit volum de material care se poate îndepărta de pe probă. Dacă în același timp luăm în considerare că lățimea tăieturii este constantă și egală cu w_e , iar adâncimea cu z se obține:

$$Q = w_e * z * \frac{v_p}{t} * t = w_e * z * v_p ; [mm^3/min] \quad (4.30.)$$

Acești parametri sunt cei pe care autorul ia în considerare semnificativi pentru proces și i-a avut în vedere pentru definirea din punct de vedere fizic a jetului de apă. Deoarece procesul a fost studiat din punct de vedere static al piesei în continuare productivitatea prelucrării a fost înlocuită cu adâncimea de pătrundere a jetului în material.

În **fig.4.13.** este prezentat modul în care influențează viteza de prelucrare și respectiv timpul de prelucrare asupra materialului supus prelucrării. Se observă satisfacerea condiției pe care am avut-o în vedere anterior. Probele supuse prelucrării au fost realizate din plastic pentru viteză și aluminiu pentru timp. Corelația între valorile de pătrundere a jetului se poate face pe baza datelor din **fig.3.16.** Se observă că pentru a se putea asigura posibilitatea de prelucrare a materialului cu presiuni mici trebuie mărit diametrul duzei care se utilizează.

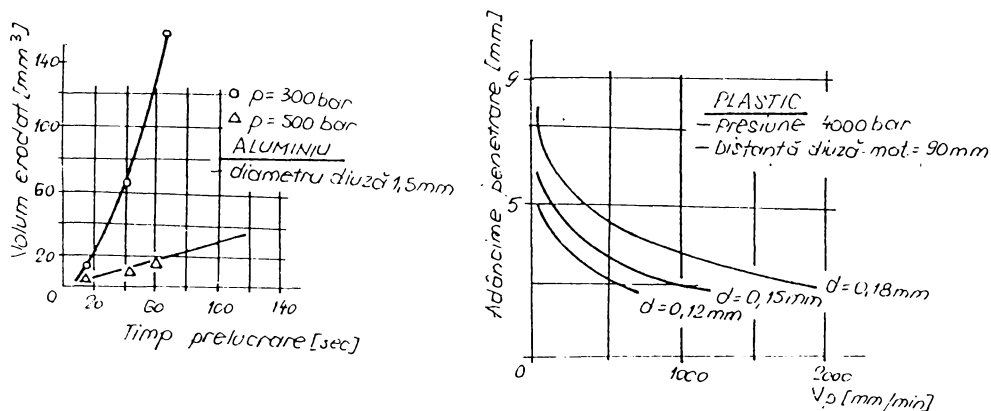


Fig.4.13. Influența timpului și vitezei de prelucrare la erodarea materialului cu jet de apă

4.3.5. Studiul influenței presiunii jetului de apă asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă

Din analiza rezultatelor experimentale în **tabelul nr.4.43.** sunt centralizate datele rezultate ca urmare a prelucrării în punctul de optim de distanță a placajului de fag și respectiv a aluminiului cu presiunea de 500 bar. Diferența între modul de variație a diametrului și respectiv a adâncimii de pătrundere a jetului se observă în **fig.4.14.**

Tabelul nr.4.43. Influența presiunii asupra mărimilor prelucrării placajului și aluminiului cu jet de apă

Nr. crt.	Presiune [bar]	Timp [sec]	Diametru duză [mm]	Dist. duză-mat [mm]	Adâncime. [mm]		Diametru sup. [mm]	
					Aluminiu	Placaj	Aluminiu	Placaj
1	200	20	1,5	150	1,03	6,85	9,2	7,45
2	300	20	1,5	150	1,52	10,05	9,8	7,95
3	400	20	1,5	150	2	13,26	10,5	8,45
4	500	20	1,5	150	2,48	16,47	11,1	8,95
5	700	20	1,5	150	3,45	22,88	12,4	9,96

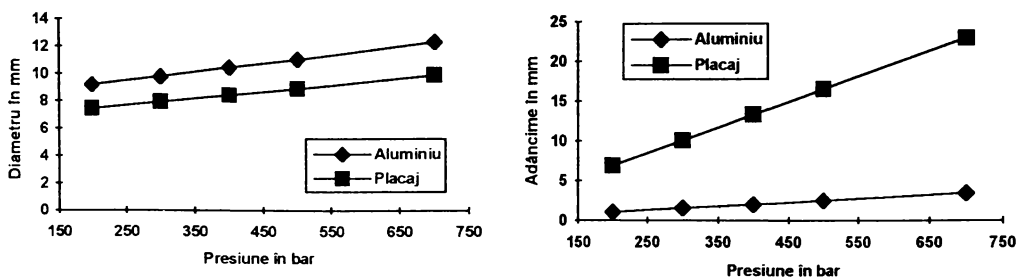


Fig.4.14. Variatie adâncime si diametru pentru prelucrarea aluminiului cu jet de apă

În **fig.4.15.** sunt prezentate profilele tăieturi realizate cu jet de apă în plastic. Se observă că diametrul craterului nu prezintă variații mari cu presiunea, dar adâncimea crește cu creșterea presiunii.

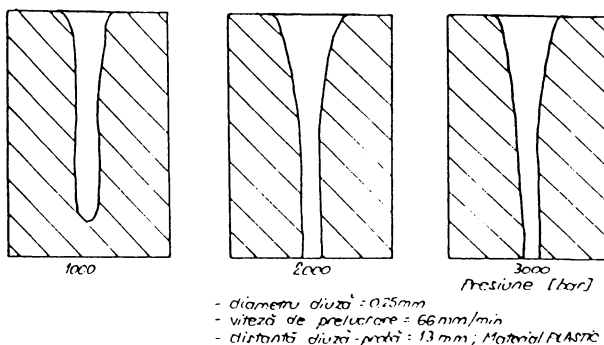


Fig.4.15. Forma craterului rezultat în plexic prelucrat cu jet de apă

Din analiza datelor rezultă că influența presiunii este mai mare asupra adâncimii de pătrundere a jetului în material și mai mică pentru diametrul craterului rezultat. Dacă pentru aluminiu diametrul craterului este puțin mai mare la partea superioară decât pentru placaj, datorită structurii fibroase placajul se prelucurează în adâncime mai ușor decât aluminiul.

4.3.6. Studiul influenței timpului de prelucrare asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă

În **tabelul nr.4.44.** sunt prezentate rezultatele prelucrării cu jet de apă a materialelor pentru timp de prelucrare diferit în același punct de optim. Diferența între modul de variație a diametrului craterului și respectiv a adâncimii de prelucrare se prezintă în **fig.4.16.** Din figură se observă că și pentru cazul modificării timpului, diametrul craterului nu prezintă

diferențe mai mari între cele două materiale. Influență mai mare prezintă timpul de prelucrare asupra adâncimi craterului realizat. În **fig.4.17**, se prezintă evoluția craterului pe măsură ce se modifică viteza de prelucrare a materialului. Se observă că pe măsură ce această viteză crește scade capacitatea de penetrare a jetului în material. Compensarea acestei scăderi trebuie să se facă prin creșterea presiunii jetului de apă și nu prin creșterea diametrului care are influență asupra diametrului orificiului realizat.

Tabelul nr.4.44. Influența timpului asupra mărimilor prelucrării aluminiului și placajului cu jet de apă

Nr. crt.	Presiune [bar]	Timp [sec]	Diametru diuză [mm]	Dist. diuză-mat [mm]	Adâncime [mm]		Diametru sup. [mm]	
					Aluminiu	Placaj	Aluminiu	Placaj
1	300	10	1,5	150	1,8	11,96	10,9	8,79
2	300	20	1,5	150	2,48	16,47	11,1	8,95
3	300	30	1,5	150	3,16	20,97	11,3	9,12
4	300	40	1,5	150	3,84	25,48	11,5	9,28
5	300	50	1,5	150	4,52	29,98	11,7	9,44

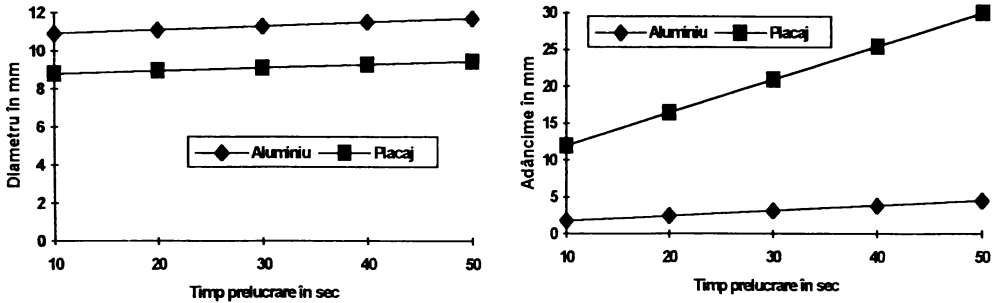


Fig.4.16. Variația adâncimi și diametrului pentru prelucrare cu jet de apă

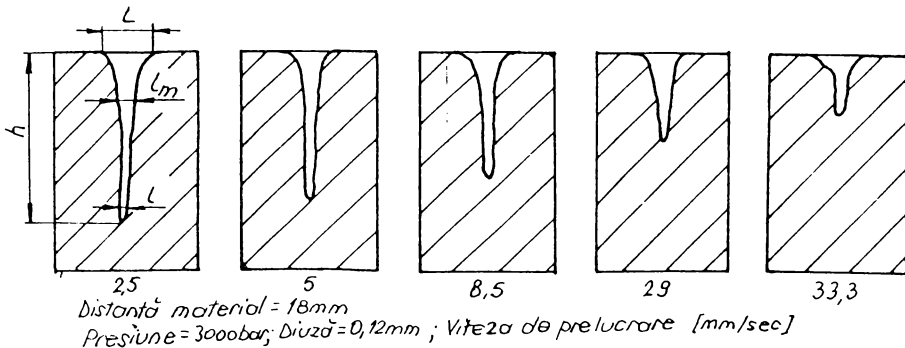


Fig.4.17. Evoluția formei craterului la prelucrarea cu jet de apă prin modificarea vitezei de prelucrare

4.3.7. Studiul influenței diametrului diuzei asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă

În **tabelul nr.4.45**, se prezintă rezultatele pentru modul în care se modifică forma și dimensiunile craterului rezultat la prelucrarea cu jet de apă prin modificarea diametrului diuzei. Diferența între modul de variație pentru aluminiu și placaj se observă în **fig.4.18**.

Tabelul nr.4.45. Influența diametrului diuzei la prelucrarea aluminiului și placajului cu jet de apă

Nr. crt.	Presiune [bar]	Timp [sec]	Diametru diuză [mm]	Dist. diuză-mat [mm]	Adâncime [mm]		Diametru sup. [mm]	
					Aluminiu	Placaj	Aluminiu	Placaj
1	500	20	0,6	150	0,29	1,96	3,34	2,70
2	500	20	08	150	0,78	5,18	5,07	4,09
3	500	20	1,0	150	1,27	8,41	6,79	5,48
4	500	20	1,2	150	1,76	11,63	8,52	6,87
5	500	20	1,5	150	2,48	16,47	11,1	8,95

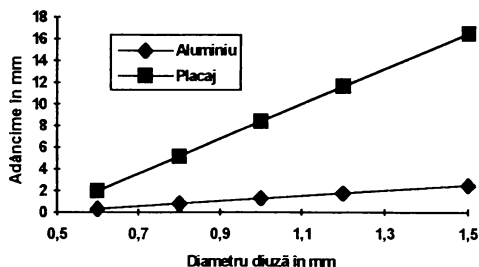
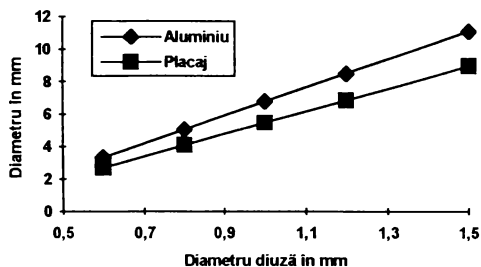


Fig.4.18. Variația adâncimii și diametrului suprafeței pentru prelucrarea cu jet de apă în funcție de diametrul diuzei

Din grafice se observă că în timp ce panta rezultată pentru diametru suprafețe nu este sensibil diferită pentru cele două materiale, pentru adâncime această pantă este mai amplă pentru placaj decât pentru aluminiu. Motivarea acestui comportament se datorează structurilor diferite din punct de vedere al modului de realizare a materialului și tenacității la rupere a materialului.

4.3.8. Studiul influenței distanței diuză-material asupra parametrilor la prelucrarea cu jet de apă

În **tabelul nr.4.46**, sunt prezentate datele pentru modul în care se modifică diametrul și adâncimea craterului în funcție de distanța diuză-material.

Tabelul nr.4.46. Influenta distantei diuză- material asupra diametrului si adâncimi craterului la prelucrarea cu jet de apă

Nr. crt.	Presiune [bar]	Timp [sec]	Diametru diuză [mm]	Dist.diuză-mat [mm]	Adâncime. [mm]		Diametru sup.[mm]	
					Aluminiu	Placaj	Aluminiu	Placaj
1	500	20	1,5	50	1,72	11,39	6,33	2,11
2	500	20	1,5	100	2,1	13,93	8,72	7,03
3	500	20	1,5	150	2,48	16,47	11,1	8,95
4	500	20	1,5	200	2,86	19,00	13,5	10,87
5	500	20	1,5	250	2,75	18,5	15,86	12,79

Diferenta între modul de variație a acestor parametri se observă în **fig.4.19.**

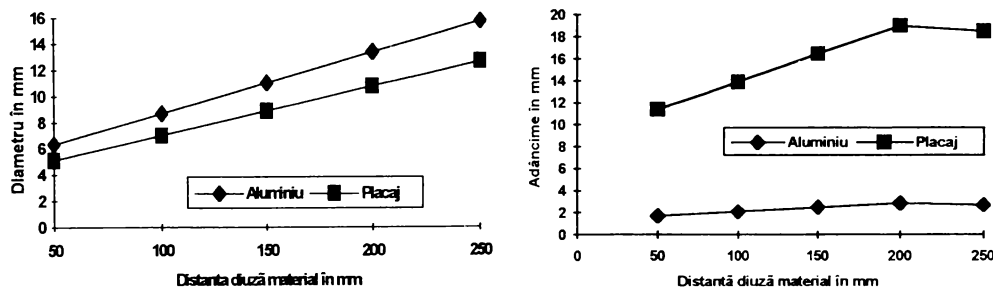


Fig.4.19. Variația adâncimii și diametrului funcție de distanța diuză material pentru prelucrarea cu jet de apă

În **fig.4.20.** se prezintă modul în care are influență asupra formei craterului distanța dintre diuză și material pentru o probă realizată din plastic. Se poate vedea că la distanțe mici forma craterului este mai paralelă decât la distanțe mari. Lățimea inferioară a craterului rezultat este de aceeași valoare indiferent care ar fi distanța.

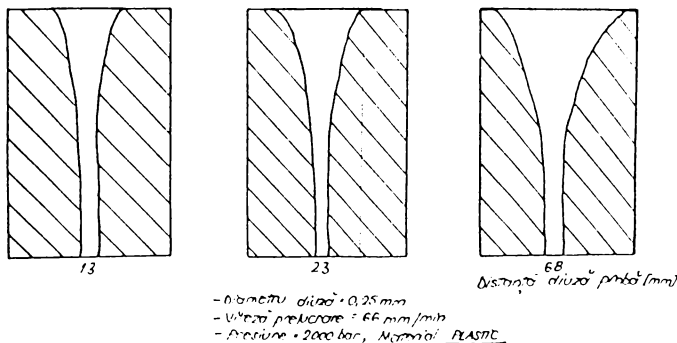


Fig.4.20. Modificarea formei craterului funcție de distanța diuză material la prelucrarea cu jet de apă

4.3.6. Stabilirea modelului regresional pentru procesul de prelucrare cu jet de apă

În prima fază s-a trasat histograma efectelor care este prezentată în **fig.4.21**. Se prezintă în paralel cele două histograme pentru adâncime și respectiv pentru înălțime. Din ele se observă că dacă pentru adâncime influența majoră o are presiunea și diametrul diuzei (85 %), pentru diametrul realizat influența majoră este a diametrului diuzei, distanța diuză material și presiunea (39 %). Dacă comparăm datele din **fig.4.34**. cu cele din histogramă rezultă că diametrul diuzei schimbă poziția cu viteza (timpul) de prelucrare. Rezultă deci concordanța dintre experimentul psihologic și cel experimental.

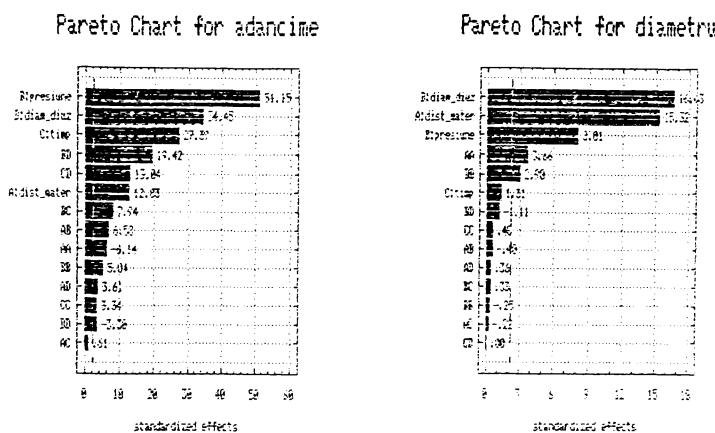


Fig.4.21. Histogramele efectelor la prelucrarea cu jet de apă

În continuare s-au trasat suprafețele de răspuns funcție de câte doi factori de influență aleși, aceștia fiind: în **fig.4.22**. pentru perechea presiune-timp, **fig.4.23**. perechea presiune-diametru diuză, **fig.4.24**. presiune-distanță diuză-material, **fig.4.25**. timp-diametru, **fig.4.26**. timp-distanță și **fig.4.27**. diametru-distanță. În paralel s-au trasat și curbele de nivel corespunzătoare.

În **fig.4.21**. se constată că în timp ce pentru diametrul craterului există o ușoară tendință de scădere a timpului de prelucrare în vederea asigurării maximumului de prelucrare pentru adâncimea craterului se constată imposibilitatea realizării prelucrării la presiuni apropiate celei de 200 bar și apoi o creștere a adâncimii direct proporțional cu creșterea presiunii și a timpului de prelucrare. În același timp se constată însă și creșterea diametrului craterului realizat. Rezultă deci că se va urmări realizarea unei adâncimii de prelucrare maxime cu un diametru de crater minim. Un astfel de exemplu este cel în care pentru o adâncime de 14,24 mm se poate atinge la o presiune de 600 bar timp de 12 secunde sau la o presiune de 400 bar timp de 29,5 secunde. Pentru presiunea de 600 bar diametrul

craterului este de 4,1 mm, față de 400 bar unde diametrul este de 3,45 mm. Rezultă deci că se va opta pentru prelucrare la presiunea de 400 bar față de cea de 600 bar deoarece diferența de timp de prelucrare este de 17,5 secunde. Rezultă deci că este importantă decizia de alegerea între precizia craterului sau productivitatea prelucrării.

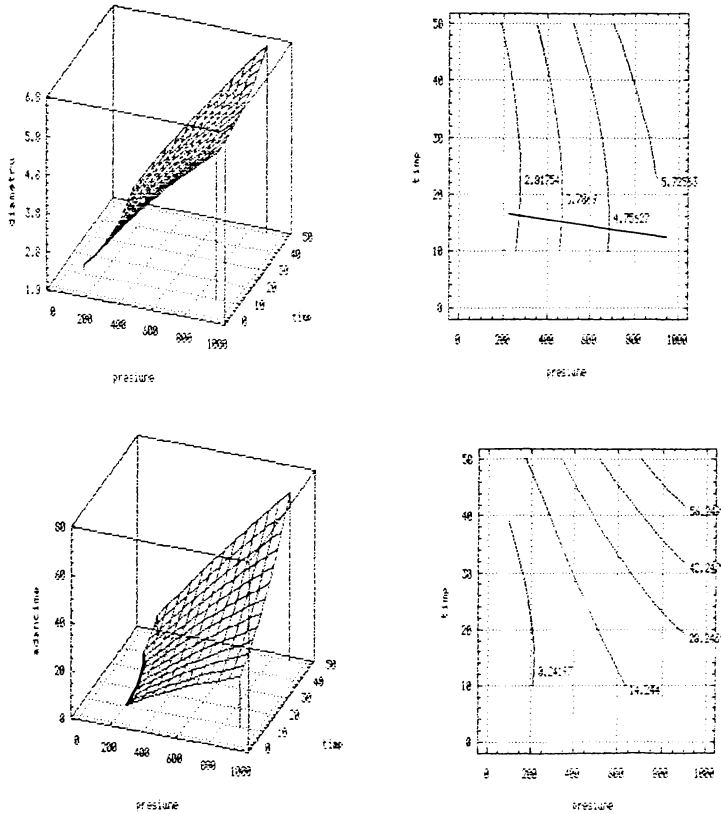


Fig.4.21. Variatie presiune timp la prelucrarea cu jet de apă

În **fig.4.22.** se prezintă modul în care se modifică dimensiunile craterului realizat în condițiile în care se analizează influența perechi presiune diametrul duzei. Se observă că asupra diametrului craterului presiunea are o influență mai mică decât diametrul duzei, lucru care era de așteptat. În același timp se observă că la presiuni mici sub 200 bar nu se poate realiza prelucrarea, adâncimea de pătrundere a jetului în material fiind nesemnificativă. Același lucru se constată și la diametre mici de duză. Din curba de nivel pentru adâncime se constată existența unei tendințe de punct de minim presiune diametru la care se realizează adâncimea cea mai bună. Astfel o adâncime de 15,6 mm se poate realiza cu o presiune de 750 bar și o duză de 0,6 mm (diametru crater de 3,55 mm), la o

presiune de 500 bar si cu un diametru de 0,72 mm (diametru crater de 2,6 mm) sau la o presiune de 400 bar si un diametru de 0,97 mm (diametru crater de 3,95 mm). Rezultă deci din conditia de maximizarea adâncimi si minimizarea diametrului că se va opta pentru cazul de optim de 500 bar cu 0,72 mm.

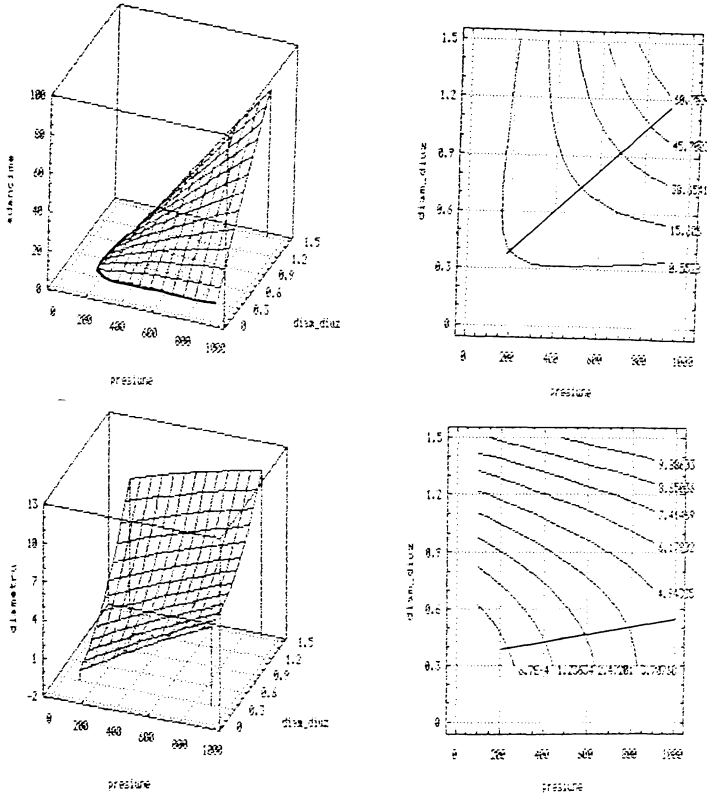


Fig.4.23. Variatia perechi presiune diametru diuză la prelucrarea cu jet de apă

In **fig.4.24.** se analizează perechea presiune distanță diuză material în care se observă că pentru presiuni mici adâncimea de pătrundere a jetului în material este foarte mică, ea crescând după o pantă înclinată aproximativ la 45 grade pe măsură ce crește presiunea si distanta dintre diuză si material. Acelasi lucru însă se observă si pentru diametrul craterului realizat prin prelucrare. In plus la distante mai mari de 200 mm se constată o tendință de reducere a adâncimi de pătrundere a jetului în material. Acest lucru a fost observat si pentru alte materiale care au fost prezentate în prezenta lucrare. Pe măsură ce presiunea jetului crește se observă tendinta de îndepărtare a punctului de întoarcere de adâncime.

In **fig.4.25.** se prezintă perechea timp diametru diuză observându-se că pe măsură ce timpul de prelucrare si diametrul diuzei crește va crește atât diametrul cât si

adâncimea craterului realizat. Influenta este majoritară a diametrului diuzei și foarte mică a timpului de prelucrare asupra diametrului craterului. Timpul de prelucrare are însă influență așa după cum am mai arătat asupra formei craterului, lucru care nu trebuie neglijat. Astfel pe lângă tendința de maximizare a adâncimii și minimizare a diametrului craterului trebuie să se acționeze și asupra minimizării timpului de prelucrare, pentru a se asigura o formă cât mai verticală peretilor craterului.

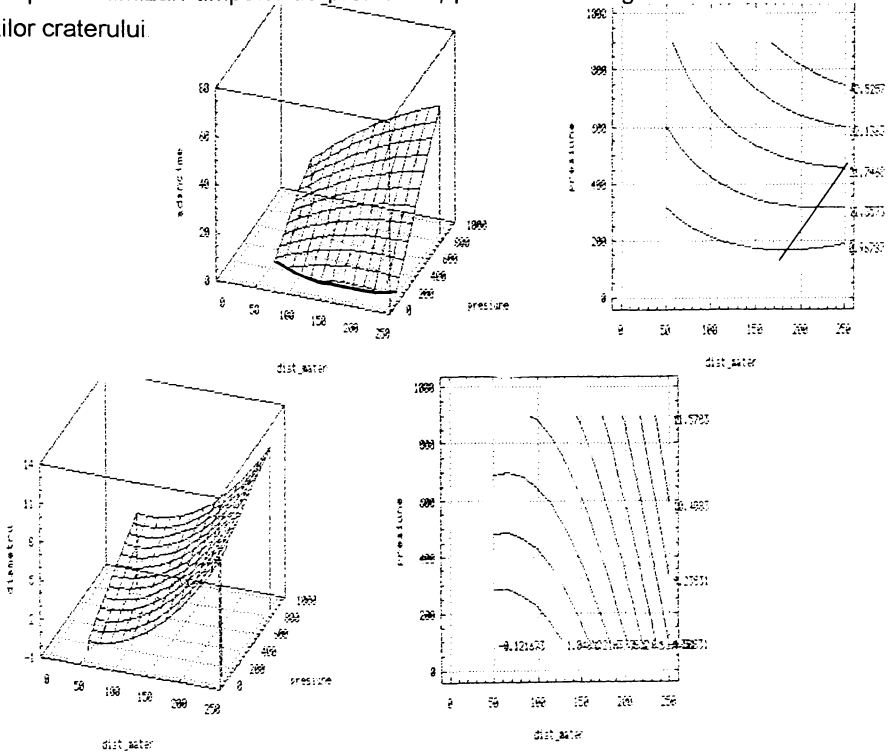


Fig.4.24. Variatie presiune distantă diuză material la prelucrarea cu jet de apă

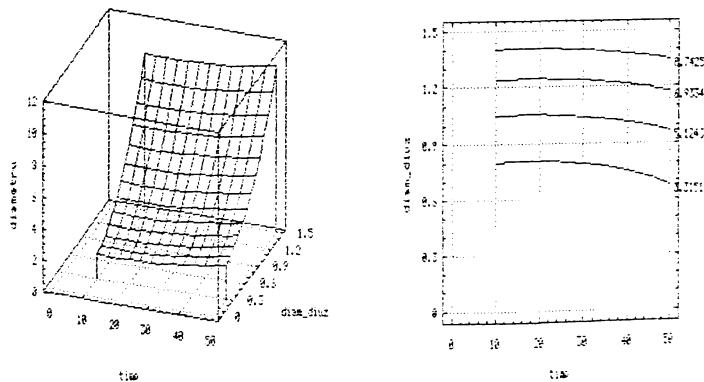


Fig.4.25. Variatie timp diametru diuză la prelucrarea cu jet de apă

În **fig.4.26.** se prezintă suprafețele de răspuns pentru perechea timp distantă diuză material. Se observă că în timp ce diametrul craterului este influențat în cea mai mare măsură de distanța diuză material, adâncimea prezintă o mai mare influență în ceea ce privește timpul și mai mică în ceea ce privește distanța, cu existența unui punct de maxim de adâncime aproape identic pentru fiecare timp de prelucrare.

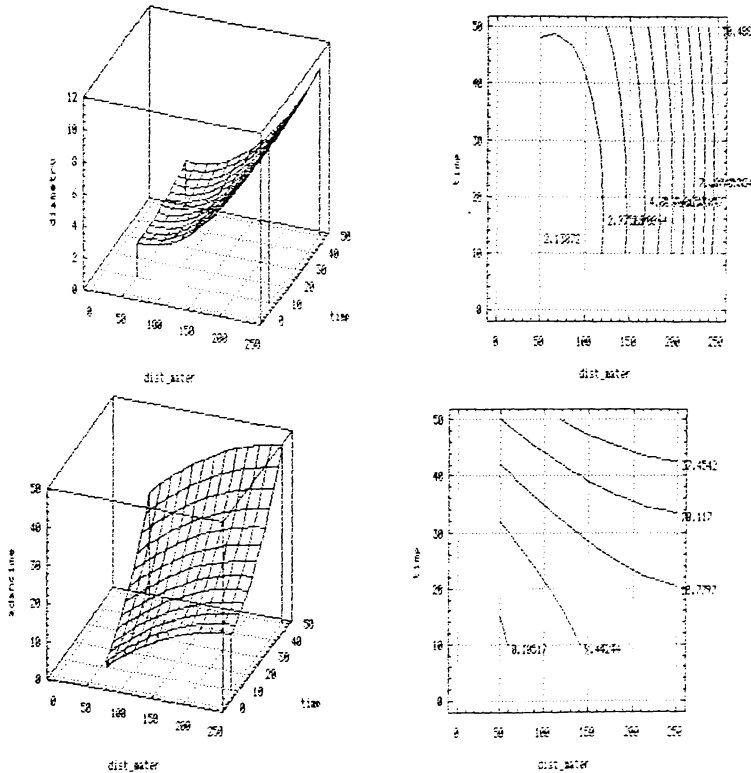


Fig.4.26. Variație timp distantă diuză material la prelucrarea cu jet de apă

În **fig.4.27.** se prezintă ultima pereche analizată cea diametru diuză distantă diuză material. Din analiza curbei diametrului se constată existența unui punct de minim de diametru favorabil după o dreaptă înclinată la aproximativ 45 grade. Acest lucru trebuie corelat cu existența unui punct de maxim pentru adâncimea craterului situat tot după o dreaptă înclinată la același unghi.

Din cele prezentate rezultă că se desprind trei tendințe de care trebuie să se țină seama la stabilirea regimului de prelucrare cu jet de apă. Acestea sunt maximizarea adâncimii de pătrundere a jetului în material, minimizarea timpului de prelucrare și a diametrului craterului. În plus pentru a se obține un profil vertical al tăieturii trebuie ca diuza să se încline cu un unghi de câteva grade dependent de profilul craterului realizat. În

fig.4.28. se prezintă câteva dintre situațiile posibile de ales pentru a se îndeplini condiția de verticalitate.

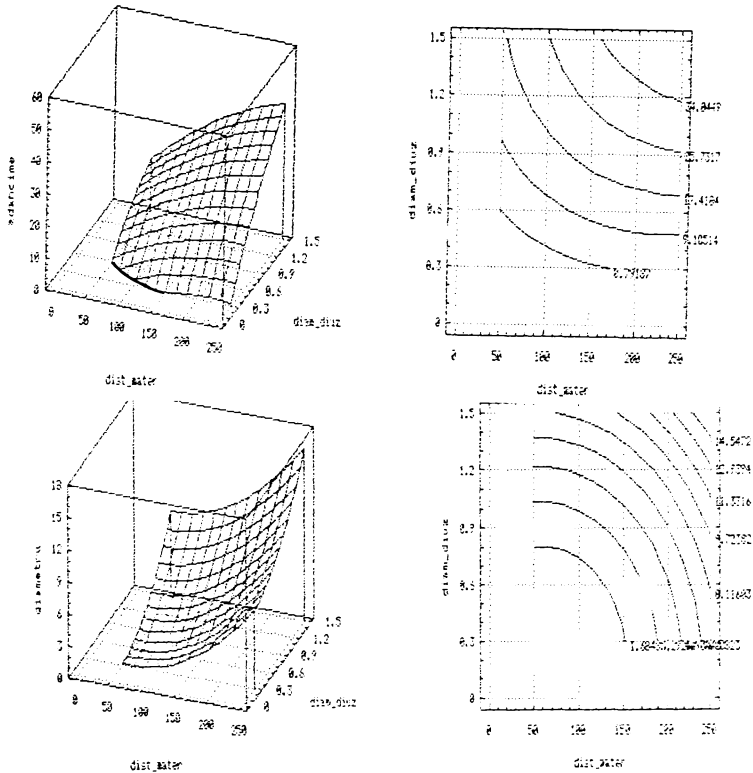


Fig.4.27. Variație diametru distantă diuză material la prelucrarea cu jet de apă

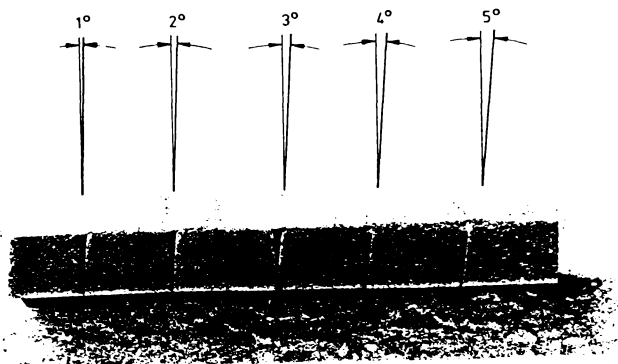


Fig.4.28. Inclinarea diuzei în vederea realizării verticalității peretelui lateral

Din cele prezentate rezultă două situații:

- presiunea minimă de prelucrare care este dată de energia minimă necesară pentru

activarea procesului. In **fig.4.29.** se prezintă modul de variație al energiei specifice necesare;

- presiunea maximă de prelucrare care se dorește a fi cât mai mare pentru a se putea scădea diametrul diuzei de prelucrare și deci implicit pentru a se micșora diametrul sau lățimea rostului rezultat ca urmare a procesului de prelucrare.

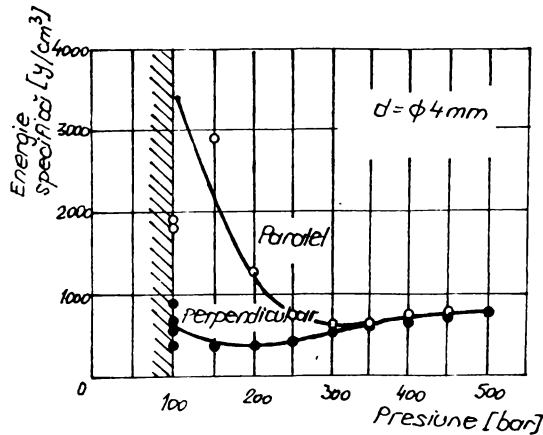


Fig.4.29. Variatia energiei specifice functie de presiunea jetului de apă.

In **fig.4.30.** se prezintă un grafic paralel rezultat ca urmare a prelucrării plasticului cu jet de apă. Se observă că aceeași adâncime se poate realiza la timpi diferiți de prelucrare. Această diagramă trebuie să se coreleze cu curbele de nivel și astfel să se stabilească punctul de optim de prelucrare. In **fig.4.31.** se prezintă modul cum acționează jetul de apă asupra materialului, motivându-se prin aceasta și diametrul mai mare pe care craterul îl are la partea superioară.

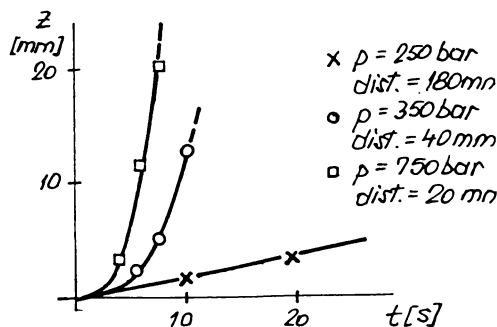


Fig.4.30. Variatia adâncimi de penetrare a jetului de apă

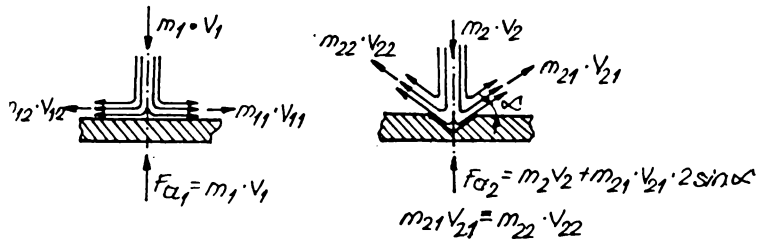


Fig.4.31. Actiunea jetului de apă asupra materialului

4.3.10. Studiul modului în care factori influențează rugozitatea suprafeței tăieturi realizate la prelucrarea materialelor cu jet de apă.

În **fig.4.32.** se prezintă o imagine a suprafeței rezultate ca urmare a prelucrării plasticului cu jet de apă. Se observă existența unei porțiuni liniare la intrare urmată de o curbare a liniilor de acțiune a jetului de apă asupra materialului. Curbarea se datorește în principal vitezei de prelucrare. În zona de curbură se produce o rupere accentuată a materialului. Acest lucru este prezentat în **fig.4.33.** unde rugozitatea suprafeței a fost trasată prin măsurarea suprafeței la partea superioară și respectiv inferioară.

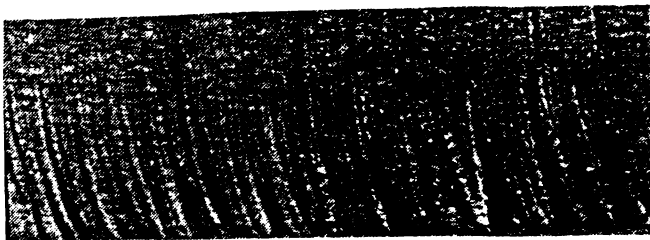
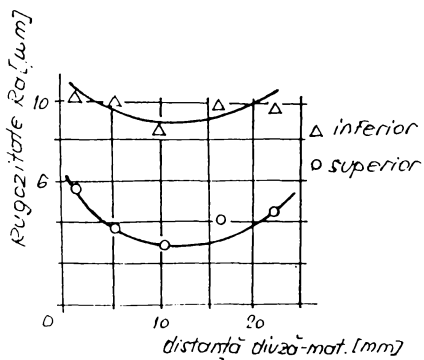


Fig.4.32. Aspectul suprafeței prelucrate cu jet de apă

Din **fig.4.33.** se observă o ușoară tendință de scădere a rugozității pe măsură ce distanța dintre diuză și material se apropie de punctul de optim, după care ea crește la valori similare cu cele din zona inițială. În **fig.4.34.** se prezintă modul în care este influențată rugozitatea de către presiunea cu care acționează jetul de apă și distanța dintre diuză și material asupra acestuia. Se observă tendința de scădere mai mare a rugozității funcție de presiune decât funcție de distanță. Cea mai mică rugozitate se realizează în punctul

de optim distantă. Din cele prezentate rezultă încă un motiv de maximizare a presiunii jetului de apă.



PLASTIC
 - presiune : 4000 bar
 - diametru diuză = 0,18 mm
 - viteză prelucrare = 200 mm/min.
 - grosime tăietură = 6,2 mm

Fig.4.33. Variația rugozității funcție de distanța diuză material la prelucrarea cu jet de apă

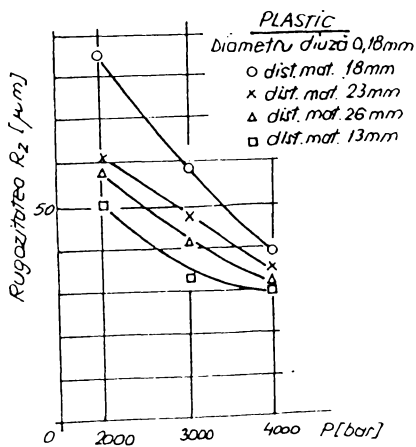


Fig.4.34. Variația rugozității funcție de presiune și distanța diuză material la prelucrarea cu jet de apă

4.3.11. Studiu comparativ între prelucrarea cu jet de apă și jet de apă cu abraziv

Datorită volumului mare de parametri pe baza datelor obținute de la firmele care au fost vizitate de autor, s-a putut realiza comparația dintre prelucrarea cu jet de apă și jet de apă cu abraziv. Datele au fost obținute pentru aluminiu și pe baza determinărilor de la prelucrarea cu particule singulare, se poate face o extensie asupra prelucrării placajului. Pentru aluminiu s-a realizat un experiment folosind ca factori debitul de abraziv, viteza de prelucrare, diametrul granulei de abraziv și presiunea jetului de apă.

În **fig.4.35**, se prezintă histograma rezultată pe baza datelor pe care autorul le-a luat în considerare.

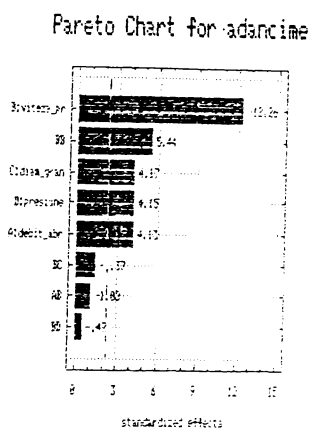


Fig.4.35. Histograma de influență a factorilor la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

Dacă comparăm datele din această histogramă cu cele rezultate din **fig.4.11**, se observă că viteza de prelucrare care a fost considerată de specialiști al cincelea factor este de fapt primul, diametrul granulei își păstrează locul, presiunea coboară pe locul trei împreună cu debitul de abraziv.

Natura materialului abraziv nu a mai fost inclusă ea fiind stabilită pe baza datelor existente. Influența tipului de abraziv asupra materialului supus prelucrării se prezintă în **fig.4.36**.

În **fig.4.37**, sunt prezentate suprafețele de răspuns și curbele de nivel pentru suprafețele care caracterizează procesul de prelucrare. Se observă că în timp ce adâncimea de prelucrare variază invers proporțional cu viteza de prelucrare după o suprafață parabolică, ceilalți factori prezintă o variație aproximativ liniară. Pe baza relației matematice de regresie s-a putut determina valoarea minimă de presiune care asigură erodare aluminiului la o adâncime comparabilă cu cea rezultată la prelucrarea cu jet de apă de 3 mm. Aceasta este de 1430 bar în condițiile în care debitul de abraziv a fost de 500

grame /min, viteza de prelucrare a fost de 66 mm/min, iar diametrul granulei de abraziv a fost de 350 μ m. Pentru un debit de 1500 grame/minut și o viteză de 10 mm/min rezultă o presiune de 350 bar.

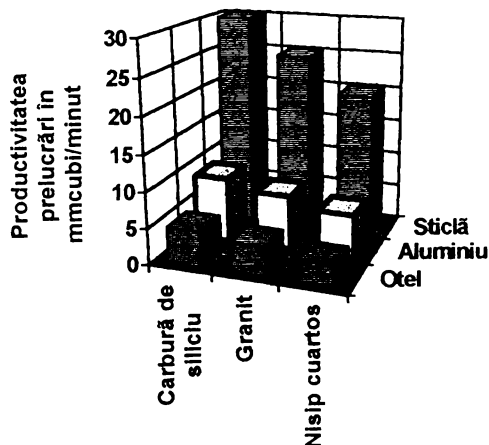


Fig.4.36. Influenta materialului abraziv la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv

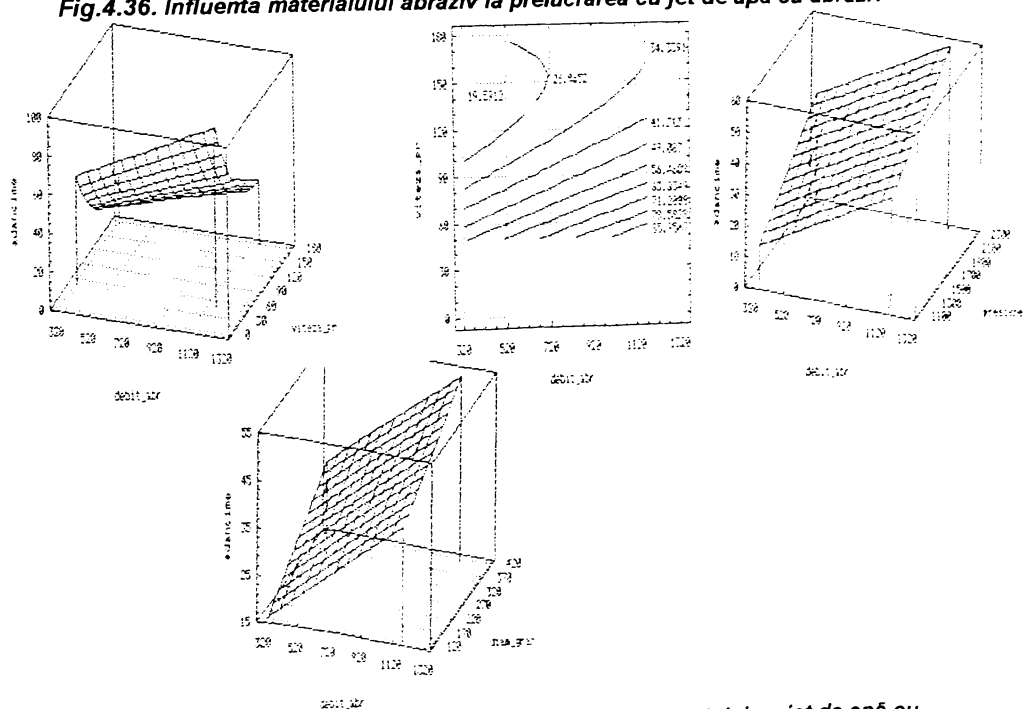


Fig.4.37. Suprafetele de răspuns pentru prelucrarea aluminului cu jet de apă cu abraziv

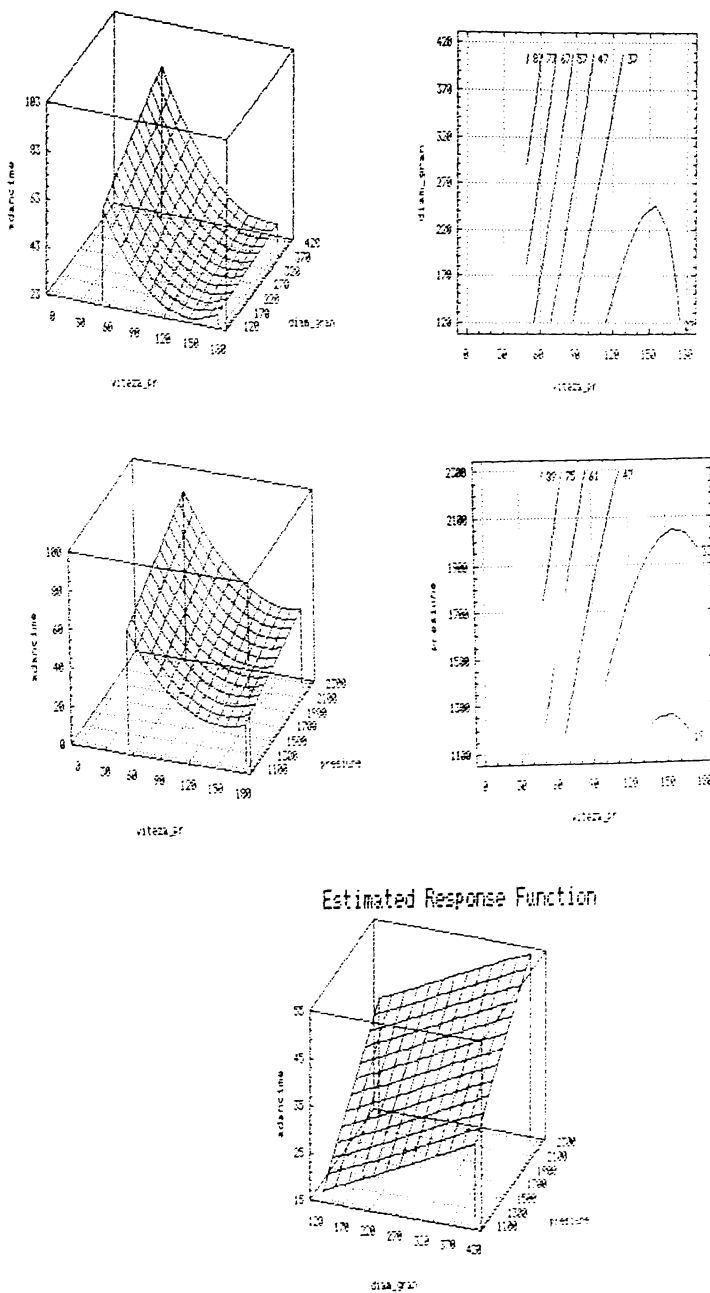


Fig.4.37. Suprafetele de răspuns pentru prelucrarea aluminiului cu jet de apă cu abraziv (continuare)

4.4. STUDIUL SPECTROMETRIC A TEMPERATURII REZULTATE LA PRELUCRAREA CU JET DE FLUID

În procesul de prelucrare cu jet de fluid temperatura maximă s-a constatat a se obține pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv. Temperatura realizată în punctul cel mai cald nu depășește 64°C . În **fig.4.38**, se prezintă rezultatul obținut prin metoda de măsurare a temperaturii pe cale optică, a modului în care variază temperatura la suprafața de contact dintre jetul de apă cu abraziv și material. Se observă existența a trei puncte de maxim de temperatură situate la 29°C , la 44°C și 56°C . Maximul se atinge la 44°C .

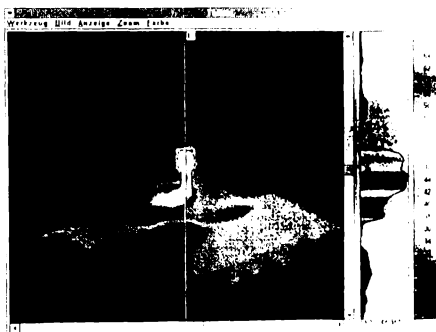


Fig.,4.38. Variația temperaturii în cadrul procesului de prelucrare cu jet de apă

O importanță majoră în această valoare mică a temperaturii o are conductibilitatea termică a materialelor și în același timp prezenta apei care asigură răcirea rapidă a zonei de prelucrare. Din punct de vedere termic căldura care se degajă la punctul de contact dintre particula abrazivă și material, este preluată de apa care antrenează particula, o mică parte este înmagazinată în particula propriu-zisă, iar o mare parte se transmite materialului care este supus prelucrării. Chiar dacă materialul nu este bun conducător de căldură înmagazinată nu duce la depășirea temperaturii de 100°C . Încercarea de temperatură a fost făcută în laboratorul IFY Jena [14.].

4.5. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL

În acest capitol s-a făcut o analiză a procesului de prelucrare cu jet de apă și jet de apă cu abraziv, în care a fost analizată influența fiecărui factor asupra parametrelor prelucrării și în final s-a determinat modelul matematic regresional pe baza căruia se poate realiza determinarea pentru alte materiale decât pentru cele studiate și a regimurilor optime de prelucrare cu jet de apă. Se poate concluziona că modelele matematice și studiul întreprins, pot să constituie baza de pornire pentru optimizarea procesului de prelucrare pentru diferite materiale, cât și pentru realizarea programului de simulare a procesului de

prelucrare cu jet de apă și respectiv jet de apă cu abraziv pe calculator, respectiv pentru elaborarea unui program expert de elaborare a tehnologiei de prelucrare cu jet de apă și respectiv jet de apă cu abraziv.

4.6. BIBLIOGRAFIE

- [1.] Vasilescu M. - *Studiul ordonării factorilor tehnologici la prelucrarea prin găurire cu jet de apă a materialelor nemetalice, A VIII-a Conferință internațională de inginerie managerială și tehnologică, Timisoara, 1998*
- [2.] Herman R. - *Contributii la optimizarea realizarii fantelor prin eroziune electrica complexa, Teză doctorat, Timisoara, 1995*
- [3.] Rosca L. - *Contributii tehnologice si manageriale privind prelucrarea suprafetelor prin eroziune electrica cu rupere de contact, Teza doctorat, Timisoara, 1996*
- [4.] Resiga R. - *Hidrodinamica jeturilor de mare viteză si aplicatii, Teză doctorat, Timisoara, 1996*
- [5.] Liviu M. - *Tăierea termică, Ed. Sedona Timisoara, 1996*
- [6.] Vîntu V. - *Masină de decapat betonul, Proiect de diplomă, Timisoara, 1995*
- [7.] Hashish M., sa. - *Prediction Equations relating high velocity jet cutting performance to stand off distance and multipasses, Journal of engineering for industry, august 1979, vol. 101*
- [8.] Whiting C., sa. - *Evaluation of parameters in a fluid cutting equation, Journal of engineering for industry, august 1990, vol. 112*
- [9.] Dumitriu G. - *Contributii la tehnologia tăieni cu jet a materialelor, Teză de doctorat, Bucuresti, 1991*
- [10.] Hashish M. - *A modeling study of metal cutting with abraziv waterjets, Trans. Of the ASME, 1984*
- [11.] Voin O. - *Studiul suprafetelor rezultate în urma tăieni cu jet de apă a aliajelor de aluminiu, Lucrare de disertatie, Timisoara, 1998*
- [12.] Hashish M. - *Machining with super-pressure (690mpa) waterjets, J. Mach. Tools Manufact, 1997.*
- [13.] Hashish M. - *Cutting with abrazive waterjets, Mechanical engineering, 1984*
- [14.] Kovacevic R. - *Cutting force dynamics as a tool for surface profile monitoring in abraziv waterjet, J. Of Engineering for industry, 1995*
- [15.] Chao J. - *Characteristics of abrazive waterjet generated surfaces and effects of cutting paramet and structure vibration, J. Engineering for Industry, 1995*
- [16.] Chen L. - *Kerf characteristics in abrazive waterjet cutting of ceramics materials, J. Mach. Tools Manuf., 1996*
- [17.] Hashish M. - *Material properties in abrazive waterjet machining, J. Of engineering for Industry, 1995*
- [18.] Gi Sang C. - *Process analysis and monitoring in abrazive water jet machining of alumina ceramics, J. Mach. Tools Manuf., 1997*
- [19.] Johnston C. - *Waterjet/abrazive waterjet machining, Nontraditional machining processes, 1994*
- [20.] Shimizu S. - *Acceleration of abrazive particles in premixed abrazive water jet nozzle, International Journal, 1996*
- [21] Ramulu M. - *The influence of abrazive waterjet cutting conditions on the surface quality of graphite/epoxy laminates, J. Mach. Tools Manufact., 1994*
- [22.] Nichici Al., Cicală E. Mee R. - *Prelucrarea datelor experimentale, Lito. UPTimisoara, 1996*
- [23.] Taloi D. - *Optimizarea proceselor tehnologice, Aplicatii în metalurgie. Ed. Academiei, 1987*
- [24.] Constantinescu I. - *Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numence, Ed. Tehnică, 1980*

5. PROIECTAREA STANDURILOR EXPERIMENTALE

5.1. PROIECTAREA STANDURILOR PENTRU PARTICULE SINGULARE

5.1.1. Consideratii generale

În cadrul capitolului 3 s-a impus studiul formei și dimensiunilor suprafeței rezultate ca urmare a impactului dintre particulă (picătură de apă sau granulă abrazivă) și material. Dacă pentru apă s-au luat de referință datele rezultate cu ajutorul unor instalații, la care picăturile de apă dozate prin intermediul unei diuze calibrate au fost picurate pe o suprafață deplasată cu o anumită viteză de rotație, pentru prelucrarea cu particule, din cauza lipsei de informații în lucrările din literatura de specialitate, s-a impus dezvoltarea unui studiu de realizare a unui stand experimental, care să permită accelerarea unei particulelor libere singulare sau multiple asupra unei suprafețe cu o anumită viteză determinată precis. În același timp s-a încercat și măsurarea forței de impact realizată între particulă și material. Din cercetările întreprinse s-au desprins mai multe posibilități de realizare a acestor instalații. Cele care s-au dovedit a fi eficiente atât din punct de vedere economic, ecologic cât și tehnologic au fost cele cu arc. Au mai fost încercată soluția cu aer comprimat. Principiul care stă la baza realizării unui astfel de accelerator este următorul: un element purtător, este accelerat până la atingerea unei viteze maxime, după care el este oprit de un element rigid, lăsând să plece din el o particulă sau mai multe, care lovesc suprafața supusă studiului.

Aparatele de studiu cu particule singulare se compun din trei părți distincte:

- acceleratorul propriu-zis;
- dispozitivul de măsurare a vitezei;
- dispozitivul de fixare al probei supuse studiului și măsurarea forței.

În literatura de specialitate există mai multe soluții de acceleratoare de particule. În cazul nostru se pot utiliza trei soluții constructive:

- accelerator cu corp purtător al particulei abrazive;
- accelerator cu un mediu gazos sau lichid purtător al particulei abrazive;
- accelerator cu corp lovit al particulei abrazive.

Fiecare dintre aceste soluții are avantajele și dezavantajele sale. În continuare se va dezvolta soluția constructivă cu corp purtător. Ea este de fapt din punct de vedere constructiv cea mai accesibilă. Ea se poate realiza pe varianta cu corp purtător care utilizează aerul comprimat ca element de realizare a accelerării corpului purtător, sau arcul ca element energetic.

Dispozitivul de măsurare a vitezei poate la rândul său să fie realizat pe mai multe variante.

Pentru ca să se poată determina viteza de deplasare a pistonului, la care este accelerată particula, există patru solutii posibile:

- determinare pe cale fotostroboscopică;
- determinarea cu aparat de filmat cu viteză ridicată;
- determinare pe cale electronică a vitezei;
- determinare pe cale analitică.

Pentru a alege care din cele patru variante este cea optimă, trebuie să tinem cont de condițiile impuse acceleratorului de particule.

Varianta întâi este foarte complicată, din punct de vedere constructiv, necesitând o lampă stroboscopică cu o frecvență de iluminare de 24 kHz, și o sincronizare foarte bună cu momentul pomirii particulei din teavă către țintă, trebuind să existe două iluminări pe parcursul deplasării proiectilului și menținerea opturatorului deschis pe tot timpul deplasării proiectilului. Frecvența stroboscopică ridicată poate fi asigurată numai de un disc rotitor cu fante.

Cea de-a doua variantă este foarte costisitoare din punct de vedere economic, necesitând o cameră de filmat cu viteză foarte mare, (24000 cadre/secundă) și o sincronizare foarte bună, între momentul în care proiectilul pomește din teava de accelerare, către țintă și pomirea filmării.

Solutia a treia rămâne nu numai din punct de vedere economic, cea mai indicată, ci și din punct de vedere constructiv. Ea constă din montarea a două sau mai multe traductoare de semnal, pe traseul de deplasare a microparticulei sau microjetului și sesizarea pe cale electrică a momentului, în care particula sau microjetul trece prin dreptul lor. Acest semnal electric va comanda pornirea numărării impulsurilor date de un generator de frecvență, până când se realizează trecerea prin dreptul celei de-al doilea traductor de semnal. Dacă se înmulțeste acum numărul de impulsuri cu frecvența și cu distanța dintre fotodiode, se va obține viteza particulei sau jetului de apă.

În vederea măsurării vitezei se va utiliza un dispozitiv special conceput, care se compune dintr-un tub propriu-zis, prevăzut cu două fototraductoare sau contacte electrice.

Cea de-a patra soluție, este cea care va fi folosită pentru verificarea rezultatelor obținute cu soluția a doua și se bazează, pe deplasarea după o parabolă a proiectilului. Se observă că există două tipuri de traiectorii posibile, în funcție de tipul de accelerator utilizat.

În **fig.5.1.** se prezintă soluția constructiv aleasă. Se poate observa existența a două tuburi (1), pentru fixarea celor două becuri de comandă. Opus acestora sunt situate două tuburi (3), în care sunt fixate fotodiodele. Aceste tuburi sunt dispuse la distanța L pe un tub (2).

În **fig.5.2.** se prezintă schema electronică de comandă a instalației de numărare. Ea este formată dintr-un generator de impulsuri dreptunghiulare cu plajă de frecvență de la 1 la 30 kHz. Sistemul de numărare a impulsurilor va porni, în momentul în care pe blocul sumator apar două semnale pozitive, care vor determina generarea unor impulsuri

dreptunghiulare înguste. Acestea vor fi numărate, atâta timp cât nu se primește la sumator semnal de la a doua fotodiodă, care va comanda bascularea sumatorului și afișarea rezultatului numărării.

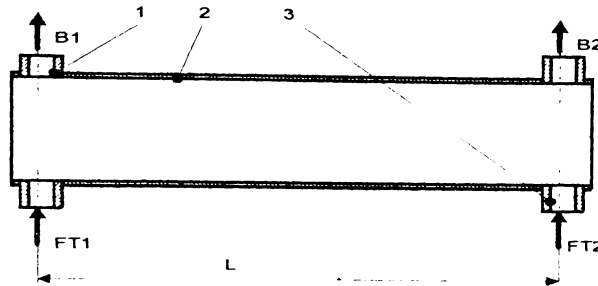


Fig. 5.1. Montura mecanică a dispozitivului de măsurarea vitezei

Din considerente de proiectare, rezultă distanța dintre cele două fotorezistoare de 0,05 m. Rezultă astfel pentru o viteză de 400 m/s, o frecvență de 24 kHz, care este foarte ușor de realizat din punct de vedere practic.

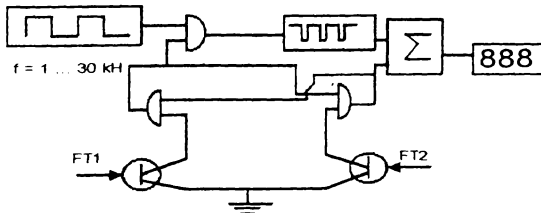


Fig. 5.2. Schema electronică de principiu a dispozitivului de măsurarea vitezei

Trebuie arătat că acest stand, se va utiliza la măsurarea vitezelor cu particule în mișcare și la cele cu fluide. Pentru fluide se poate măsura viteza frontului inițial care lovește materialul.

Dispozitivul de fixare a probelor a fost realizat pe principiul schemei din **fig. 5.3**. Soluția permite măsurarea cu un singur traductor central a forței rezultate în cadrul procesului de impact. Posibilitatea de rotire a probei în timpul impactului este în totalitate înlăturată. Instalația este formată din proba (5), fixată cu suruburi de masă (4), care se poate roti cu un unghi cuprins între 10 și 90 de grade. Ea se blochează în vederea rotirii cu suruburile de blocare (6). Pistonul (3) se deplasează în interiorul cilindrului (2), fixat de suportul (1). Stiftul (7) are rolul de a limita cursa pistonului, iar arcul (8) pretensionat cu capacul (9) de a aduce suportul în poziția inițială.

5.1.2. Accelerator de particule singulare de tip pneumatic

Dimensionarea unui accelerator de particule trebuie să pomească de la vitezele de prelucrare care sunt utilizate pentru prelucrare. Pe baza părți de modelare a procesului de prelucrare și a datelor din cap.2 s-a optat pentru realizarea unui accelerator de particule cu viteză de la 30 m/s până la 375 de m/s. Această plajă de viteză corespunde la o presiune a jetului de apă de 5 bar la 703 bar.

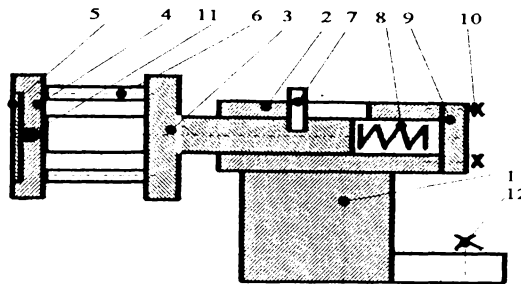


Fig.5.3. Dispozitiv de fixarea și orientarea probei supuse prelucrării

Se pot folosi mai multe soluții de realizare a acestui accelerator. Una dintre acestea este cea a tunului pneumatic, care utilizează presiunea aerului comprimat, iar a doua cea a unui accelerator pe bază de arc elicoidal.

Schema de principiu a acceleratorului cu corp purtător pe principiul tunului pneumatic pe bază de aer comprimat este prezentată în **fig.5.4**. Se observă existența corpului purtător (2), care este prevăzut cu un orificiu circular transversal și cu unul frontal. În cel transversal se va introduce o sârmă, care în urma forței generate de aerul comprimat din spatele pistonului, va determina ruperea acesteia prin forfecare și accelerarea pistonului de la capacul (1), către capacul (4), în interiorul cilindrului (3). În orificiul frontal se va introduce particula (5) care se dorește a se proiecta, pe suprafața materialului de cercetat.

Pentru calculul dimensiunilor de gabarit ale unui astfel de accelerator, se pleacă de la valoarea lucrului mecanic dezvoltat de forța pneumatică și energia cinetică.

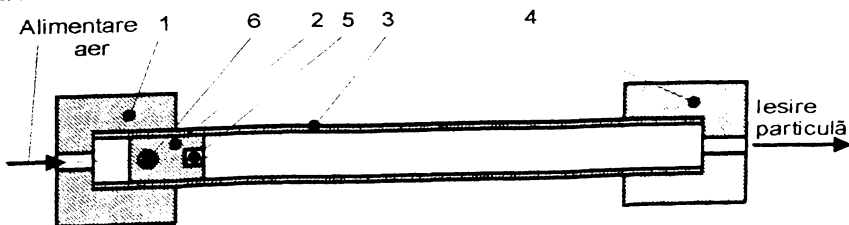


Fig.5.4. Tun pneumatic pentru accelerarea particulelor singulare

Din egalarea acestora a rezultat formula vitezei:

$$v = \sqrt{\frac{1,6 \times p \times S \times g \times l}{G}} \quad (5.1)$$

înlocuind pe g = accelerația gravitațională cu $9,81 \text{ m/s}^2$, se obține:

$$v = \sqrt{\frac{1,5696 \times p \times S \times l}{G}} \quad (5.2)$$

unde:

- p este presiunea aerului în bar;
- S este secțiunea pistonului în mm^2 ;
- l este lungimea tevii de accelerare în m;
- G este greutatea pistonului în kg.

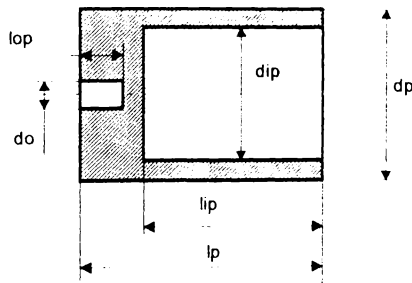


Fig.5.5. Geometria corpului purător

Corpul accelerator are o geometrie care se prezintă în **fig.5.5.** și pe baza acesteia se poate calcula greutatea pistonului care este dată de formula:

$$G = V \times 9,81 \times \rho \quad (5.3)$$

unde:

- V este volumul pistonului care se calculează cu formula:

$$V = \frac{\pi * d_p^2 * l_p}{4} - \frac{\pi * d_{ip}^2 * l_{ip}}{4} - \frac{\pi * d_o^2 * l_o}{4} \quad (5.4.)$$

- ρ este densitatea materialului din care este confecționat pistonul.

Din considerente constructive au fost alese pentru dimensiunile pistonului valorile:

$d_p = 22 \text{ mm}$, $l_p = 20 \text{ mm}$, $d_{ip} = 16 \text{ mm}$, $l_{ip} = 14 \text{ mm}$, $d_o = 5 \text{ mm}$, $l_o = 5 \text{ mm}$

Cu aceste valori rezultând formula pentru volum:

$$V = 0,00468723 \text{ dm}^3.$$

Secțiunea pistonului fiind:

$$S = 379,94 \text{ mm}^2$$

În **fig.5.6.** se prezintă standul pneumatic realizat pentru studierea impactului dintre particulele abrazive și material.

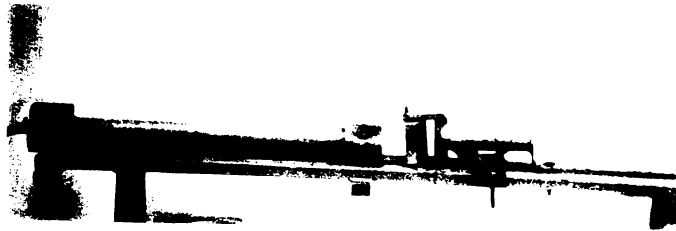


Fig.5.6. Stand pneumatic pentru accelerarea particulelor abrazive

5.1.3. Accelerator de particule singulare de tip arc

Standul experimental conceput este multifunctional el permitând atât obținerea unei cantități de apă la cantități mici, cât și accelerarea de particule abrazive.

Principiul constructiv al standului constă din tensionarea unui arc elicoidal, care apoi eliberează ca urmare a rupei unor stifturi energia potențială. Această energie se transformă în energie cinetică, prin deplasarea unui element purtător de o anumită greutate, care are în mijlocul său în partea frontală particulele care constituie elementul lovitor.

În **fig.5.7.** se prezintă matrita în care au fost vulcanizate garniturile din cauciuc mari. Autorul a realizat și două matrite pentru vulcanizat garnituri din cauciuc de diametru mic necesare pentru cele două soluții de piston pe care le-a adoptat..



Fig.5.7. Matrită pentru vulcanizat garnituri de etansare din cauciuc

Din punct de vedere al dimensionării constructive, se pune problema determinării vitezei volumului de apă care va iesi din incintă. Determinarea se va face pornind tot de la formula vitezei, pentru determinarea vitezei pistonului incident. Aceasta împreună cu masa pistonului, ne va da o energie cinetică, care se va transfera volumului de apă din incintă.

Din egalarea energiilor cinetice mai sus mentionate rezultă:

$$v_i = \sqrt{\frac{\eta \times v_p^2 \times m_p}{m_l}} \quad (5.5)$$

unde:

- v_p este viteza pistonului incident;
- m_p este masa pistonului;
- m_l este masa lichidului;
- η este randamentul de 0,8.

Pentru o mai bună realizare a urmăririi fenomenului de interacțiune jet de apă material s-a determinat durata de evacuare a întregului volum de apă din recipient. Aceasta s-a făcut pe baza următoarelor formule:

- viteza jetului:

$$v = 0,8 \times \sqrt{2 \times (p_j - p_a) \times 100} \quad , \text{ în m/s}; \quad (5.6)$$

- debitul de apă:

$$Q_a = \frac{\pi \times dd^2 \times v}{3600000} \quad , \text{ în l/min}; \quad (5.7)$$

- timpul prelucrării:

$$t = \frac{V}{1000 \times Q_a} = \frac{360 \times V}{\pi \times dd^2 \times 0,8 \times \sqrt{2 \times (p_j - p_a)}} \quad (5.8)$$

unde:

- dd este diametrul duzei în mm;
- p_j este presiunea jetului în bari;
- p_a este presiunea atmosferică în bari;
- V este volumul în dm^3 .

În **fig.5.8.** se prezintă standul pentru prelucrare cu particule singulare de viteză 40 m/s.

Determinarea cantității de material deformat, rupt sau tasat s-a realizat prin măsurare și cântărire, așa după cum se observă și din **fig.5.9.** pe o probă plană lovită cu o particulă. Măsurarea dimensiunilor din planul orizontal s-au realizat cu microscopul optic de atelier, iar cele în plan vertical cu ajutorul unui comparator cu precizia de micron. Se observă că după direcția de impact materialul prezintă o îngroșare, cea mai ridicată h_2 . În zona diametrală

supraînălțarea scade la valoarea h_3 , iar la intrare ea este 0. Lățimea zonei deformată este dată pe diametru de l_4 , l_5 , iar în zona frontală de l_2 și l_3 . Adâncimea maximă de pătrundere a particulei în material este h_1 .

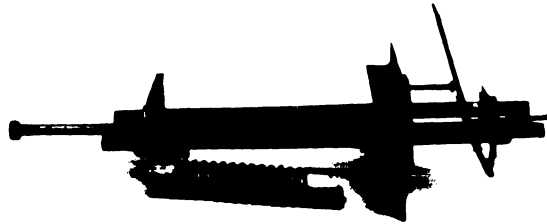


Fig.5.8. Stand pentru studiul impactului particulă singulară material

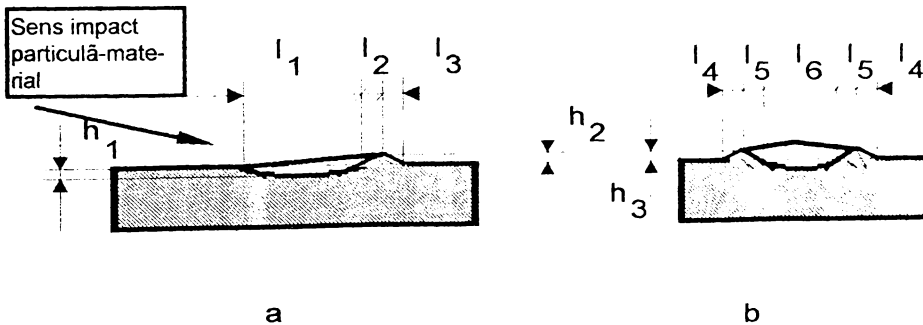


Fig.5.9. Dimensiunile măsurate pentru craterele formate pe suprafață impactată cu particule

Determinarea cantității de material îndepărtat, se face prin cântărirea probei, după prelucrare, determinând apoi prin diferență de volume între volumul de material îndepărtat și volumul de crater obținut, cantitatea de material deformat.

5.2. PROIECTAREA STANDURILOR PENTRU JET DE APĂ SI JET DE APĂ CU ABRAZIV

5.2.1. Consideratii generale

Pentru a se realiza studiul comportamentului materialului la jeturi continui de apă sau jeturi de apă cu abraziv s-a trecut la dimensionarea și realizarea unor

standuri experimentale, care să permită folosirea unor debite continui de fluid. În primă fază s-a apelat la utilizarea unei instalații din industria petrolieră de tip pompă de noroi care permite realizarea unei presiuni de apă de 500 bar și 700 bar. La această pompă a fost adaptat un cap special prevăzut cu mai multe diuze de apă și un dispozitiv de fixare a materialului la diferite distanțe.

5.2.2. Proiectarea standului pentru prelucrare cu jet de apă continuă

Standul pentru jet de apă continuă utilizat, este un dispozitiv hidraulic de multiplicarea presiunii. S-a optat pentru această soluție, datorită randamentului ridicat pe care îl asigură varianta aleasă, față de toate celelalte soluții existente, randament de 90%.

Din schema de principiu se observă că generarea apei sub presiune, se realizează în camera (5), ca urmare a acțiunii presiunii aerului sau uleiului asupra pistonului (2). Alimentarea cu apă a camerei (5), se va realiza și alimentarea cu ulei a camerei (3). Camera (3) este realizată în cilindrul (1). În **fig.5.10.** se prezintă soluția de principiu.

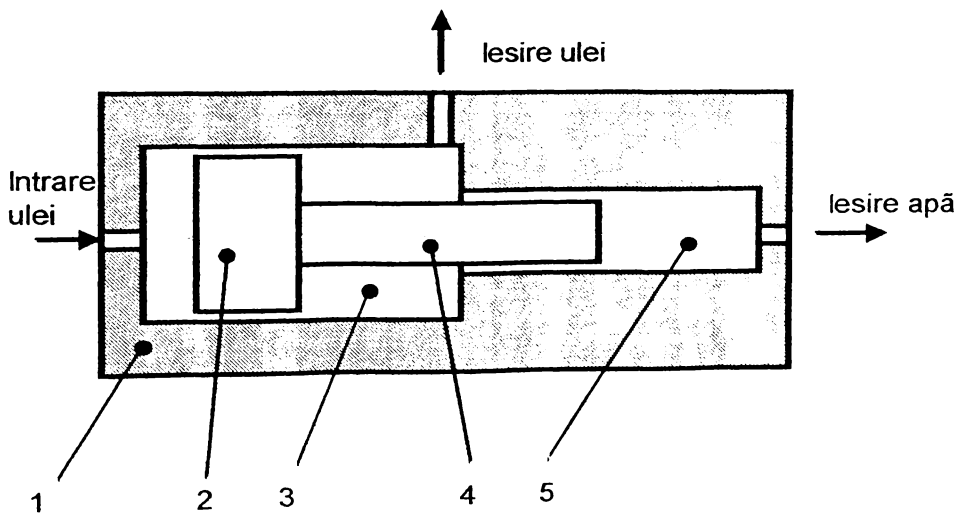


Fig.5.10. Schema de principiu a multiplicatorului de presiune folosit

La dimensionarea principalelor elemente constructive ale multiplicatorului se pornește de la condițiile de continuitate ale debitului în diferitele secțiuni ale instalației, pornind de la diuză către pompa de ulei și de la ecuațiile de echilibru ale forței hidraulice dezvoltate în multiplicatorul de presiune. Deoarece alegerea componentelor hidraulice nu ridică probleme mari, ea făcându-se din catalog pe bază de nomograme, s-a impus numai determinarea dimensiunilor elementelor care compun circuitul de presiune ridicată. Pentru asigurarea condițiilor de protecția muncii s-au folosit conducte de legătură metalice fretate,

iar camera de presiune a fost realizată în soluție fretată. În plus materialele folosite la realizarea părților componente au fost materiale forjate la cald din inox, netratate termic în vederea măririi durtății și controlate ultrasonic pentru a se verifica dacă nu prezintă fisuri sau pori din forjare. Dimensionarea camerei de generare a apei de presiune ridicată s-a făcut după un program realizat de autor în limbajul VISIOBASIC. În **fig.5.11**. se prezintă schema logică a programului.

În **fig.5.13**. se prezintă schema bloc generală a unei instalații de prelucrare cu jet de apă, iar în **fig.5.12**. se prezintă standul practic realizat pe două soluții constructive și anume cu piston mic de 13,5 mm și respectiv cu piston mare de 32,5 mm.

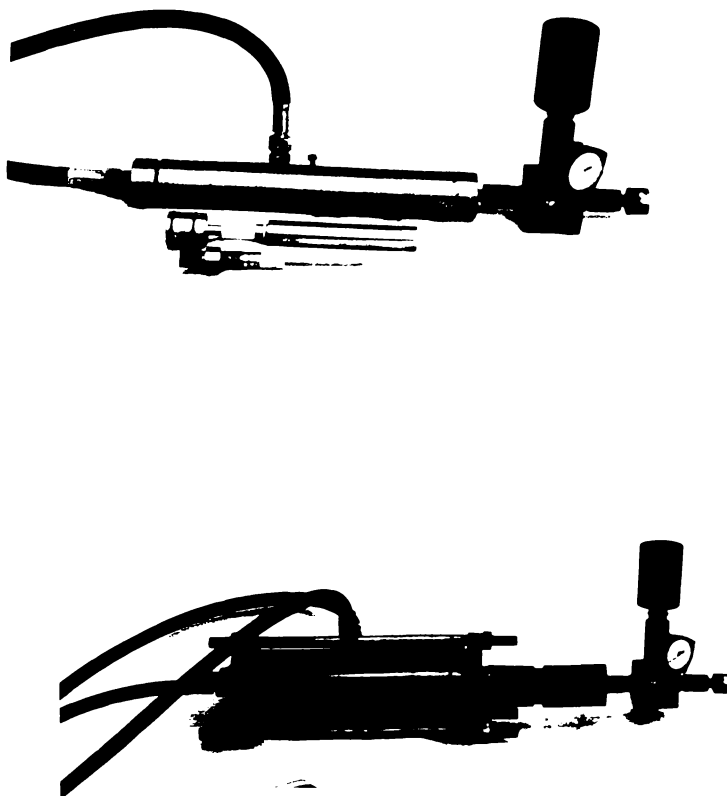


Fig.5.12. *Multiplicatoare de presiune pentru obtinerea apei la presiune de 400 bar și 900 bar*

Elementele folosite în schema bloc au următorul rol funcțional. Rezervorul de ulei (2) conține uleiul de acționare pentru treapta de joasă presiune. Acesta este trimis către multiplicatorul (6), prin intermediul pompei (1) și a distribuitorului (3). Alimentarea treptei de înaltă presiune se realizează din rezervorul (5), care trimite apă către multiplicatorul (6), prin intermediul pompei (4). Apa la presiune ridicată este evacuată din multiplicator prin intermediul unor supape de înaltă presiune către acumulatorul și duza (7).

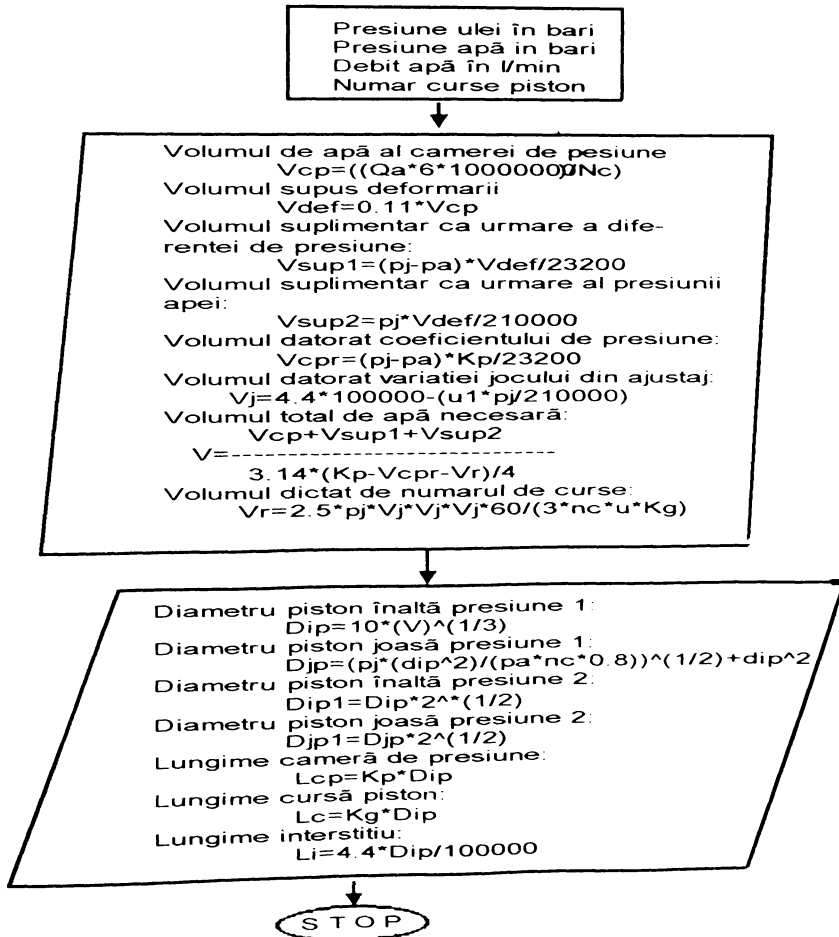


Fig.5.11. Program de dimensionare a multiplicatorului hidraulic de presiune [15], [19.]

Rezervorul de ulei folosit de regulă în treapta de joasă presiune, este dimensionat astfel încât să permită răcirea și filtrarea uleiului. Rezervorul este prevăzut cu sistem de filtrare a uleiului, atât la alimentarea acestuia, cât și pe conducta de aspirație

În construcția lui, s-a prevăzut și un sistem automat de indicare a nivelului minim și maxim de ulei, care emite semnalul de deconectare a instalației, în cazul în care apare una din cele două situații limită. Cazul de nivel maxim depășit, ne indică uzura înaintată a etanșărilor, fiind necesară înlocuirea acestora. Cazul de nivel minim, ne va indica pierderi de ulei pe circuit.

Pompa de ulei este de tipul celor cu roți dinate, deoarece are fiabilitatea cea mai ridicată. Fluctuațiile de presiune care apar, sunt compensate de inerția pistonului multiplicatorului, acesta având pe toată lungimea cursei de lucru, aceeași viteză și masă relativ mare.

Surasa de apă este în majoritatea cazurilor apă industrială. Aceasta trebuie filtrată la o puritate de $1\mu\text{m}$, datorită cerințelor de rezistență impuse atât de funcționarea în condiții optime a pompei de înaltă presiune, cât și a diuzei. Se știe din experiență, că orice particulă cât de mică, accelerată la viteze de ordinul sutelor de m/sec. poate să ducă la distrugerii foarte mari, care se suprapun peste efectul cavitațional generat de bulele de aer din apă.

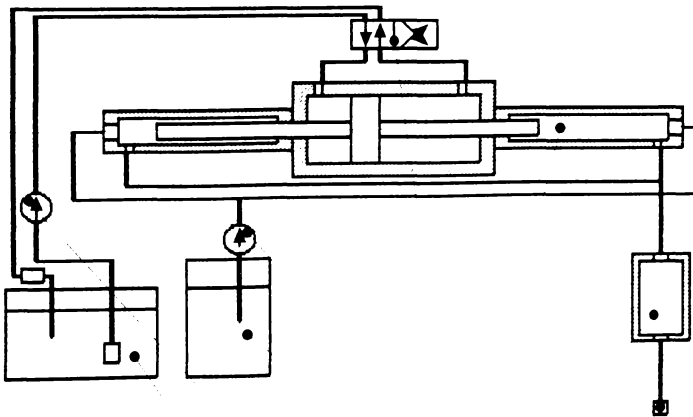


Fig.5.13. Schema bloc generală a instalației de generare a presiunii de apă

Sistemul de reglare a presiunii pe treapta de joasă presiune este compus din supapa de descărcare, manometru pe conducta de joasă presiune, drosel și supapă de siguranță pe conducta de retur. Acest sistem asigură atât debitul de fluid necesar cât și presiunea activă pe conducta de joasă presiune, respectiv contrapresiunea pe conducta de retur.

Multiplicatorul de presiune hidraulic analizat și proiectat a fost ales dintre soluțiile posibile:

- multiplicator de presiune în tandem simplu [11.].

- multiplicator de presiune dublu lateral ;
- multiplicator de presiune cu două camere diferite ca volum .

La ora actuală toate firmele producătoare lucrează după varianta b), care prezintă dezavantajul unui recipient suplimentar, cu rol de amortizor de socuri. Prima și ultima variantă nu necesită acest element suplimentar, deoarece comanda este de asemenea manieră încât apa, se află la aceeași presiune tot timpul, neapărând socuri în circuit. În **fig.5.14.** se prezintă ciclograma de funcționare a unei astfel de variante. Pentru ambele instalații autorul a identificat a fi recomandabil a se utiliza supape de închidere comandate electromagnetic. Avantajul utilizării soluției cu supape comandate, exclude inerția de închidere și deschidere a acestora și permite o alimentare și evacuare mai ușoară a apei din incintele utilizate la multiplicarea presiunii, reducând astfel acțiunea efectului cavitational și nealimentarea completă cu apă a camerelor.

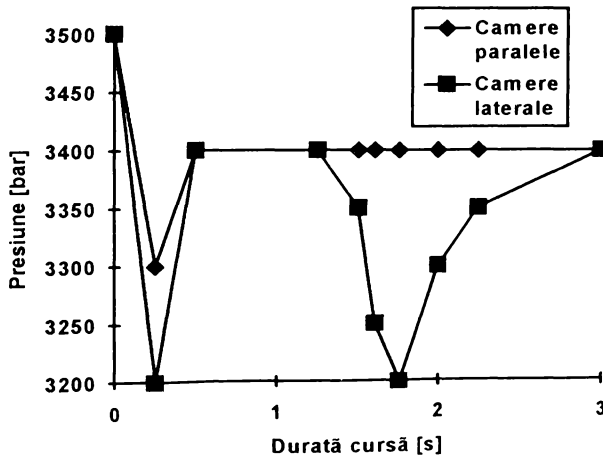


Fig.5.14. Ciclogramă funcționare multiplicatoare

Din considerente de eficiență economică a fost realizată funcțional preima variantă, cea de-a treia fiind în lucru. A treia variantă constituie noutate pe plan mondial ea nefiind întâlnită ca și soluție constructivă în astfel de instalații de prelucrare cu jet de apă.

Din studiul comparativ al celor două variante, așa după cum se observă și din **fig.5.15.**, din punct de vedere al diametrului pistonului de apă și respectiv de ulei, precum și din **fig.5.16.**, din punct de vedere al cursei pistonului și respectiv al lungimii camerei, se poate observa că varianta a treia asigură o construcție mai compactă și cu un consum de material mult mai mic utilizat. Acest lucru se realizează în condițiile în care, numărul de curse realizat de piston în varianta a treia se va dubla.

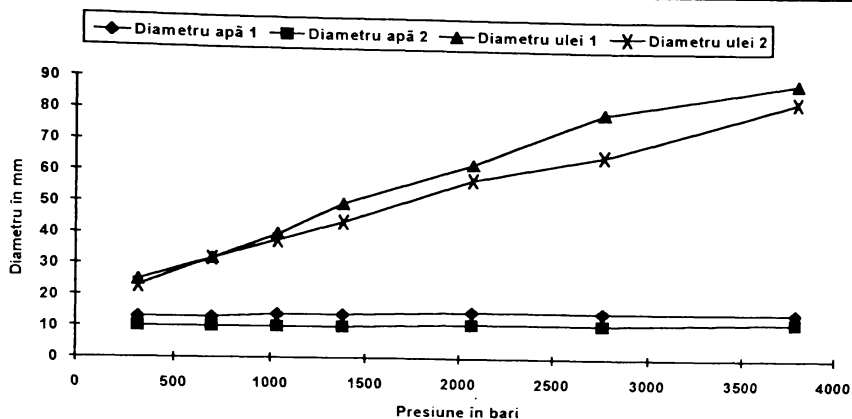


Fig.5.15. Evoluția funcției de presiune a diametrului pistonului de apă și ulei [16.]

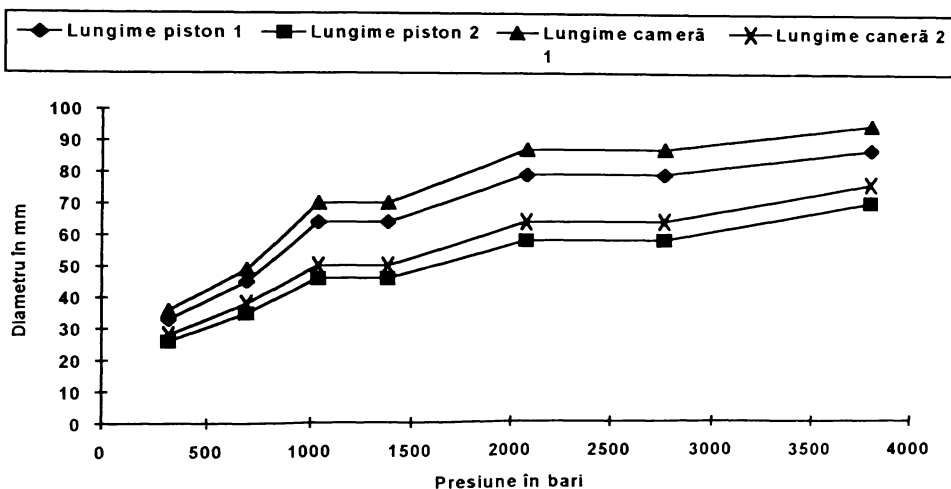


Fig.5.16. Evoluția funcției de presiune lungime cursă piston și lungime cameră de apă [17.], [20.]

Un alt element important al oricărei variante de multiplicator, este **etansarea**. Se utilizează etansări atât în treapta de joasă presiune, cât și în cea de înaltă presiune. Dacă etansările din treapta de joasă presiune, sunt în general cunoscute și prezentate pe larg în literatura de specialitate, etansările fixe și mobile din treapta de înaltă presiune sunt mai puțin prezentate în literatura de specialitate.

În cazul etansărilor fixe s-a optat pentru realizarea unor etansări pe teflon sau cupru de tip delta, așa după cum se observă și din **fig.5.17**. Cele două conducte 1 și 4 sunt fixate cu ajutorul unei bucle de strângere filetată 2, care crează forța de presare a extremităților unghiulare pe suprafețele conice. Se realizează astfel o predeformare a inelului

delta 3, care ulterior ca urmare a presiunii interioare este deformat suplimentar. Se realizează în acest mod o bună etansare indiferent de presiunea interioară din circuit.

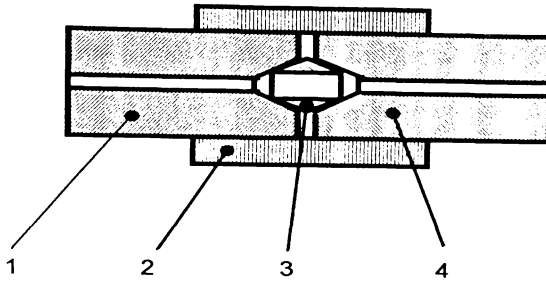


Fig.5.17. Etansare fixă de presiune ridicată [18.]

În cazul etansărilor mobile se poate utiliza garnituri de mansete de tip V sau etansări de tip special care îmbină avantajele mansetelor de tip V și pe cele ale celor de tip U.

Supapele de sens sunt supape speciale, care rezistă atât la acțiunea apei cât și la un număr mare de comutații, pe care trebuie să le realizeze într-un interval de timp dat. De aceea se vor folosi supape cu element de închidere de tip conic cu unghi de 30°, cu arc de comandă sau cu sistem electromagnetic de comandă, dispuse la exteriorul pompei pentru soluția cu camere laterale, și supape pe element sferic fără arc de comandă, ansamblul fiind încorporat în interiorul pistonului pompei, pentru pompa cu camere diferite ca și volum ceea ce constituie un avantaj al pompei adoptate.

Unitatea de comandă [9.], [14.], [13.] este subansamblul care are în componența sa următoarele componente:

- pompa de presiune, la care se comandă pornirea sau oprirea instalației când nu sunt satisfăcute anumite condiții restrictive;
- supapa rezervorului de abraziv, care comandă admisia de abraziv în instalație;
- sistem de avans și poziționare, la care se comandă traiectoria de prelucrare a materialului;
- sistem de alimentare și evacuare, la care se comandă în mod automat alimentarea cu repere și se oprește instalația, în condițiile în care nu sunt repere de prelucrat;

În general ea este realizată pe baza unui calculator de proces, aceasta permițând să se realizeze toate funcțiile mai sus menționate, în timpul cel mai scurt posibil.

Rezervorul de abraziv este atașat de regulă deasupra duzei și are un volum de 10 litri. Acest rezervor este prevăzut cu un sistem automat de pornire a alimentării instalației cu abraziv. Trebuie arătat că el se conectează cu instalația, după duza de apă prin intermediul unei camere de amestec.

Mediul abraziv este sortat pe granulații bine determinate, într-o instalație specială de

separare prin metoda vibratorie, fiind apoi introdus în rezervor. Este importantă granulația abrazivului folosit.

Sistemul de filtrare și evacuare a apei [12.] asigură eliminarea granulelor de abraziv și a particulelor de material tăiat. El este necesar în cazul reutilizării apei, sau în cazul când aceasta se va deversa în rețeaua de canalizare, pentru recuperarea abrazivului și deversarea unei ape lipsite de impurități. Finetea de filtrare este de 10 μm. La această finete se poate considera că apa se poate refolosi în instalație apă. Sistemul de filtrare lucrează pe principiul decantării și al filtrării centrifugale. Acest lucru îl face ca să fie foarte ușor de realizat din punct de vedere practic și constructiv. El este prevăzut cu două corpuri distincte și anume unul pentru decantare și unul pentru filtrare centrifugală.

Măsurarea presiunii [8.], [10.] jetului se poate realiza, prin măsurarea duratei cât jetul este trimis prin duză, raportată la lungimea tăieturii realizate, cât și cu ajutorul unui traductor piezoceramic plasat într-o montură specială pe conducta de ieșire spre diuza de safir.

Este indicat ca dispozitivul din considerente de protecția muncii, să fie montat în poziție verticală. Între suprafața de prelucrat și dispozitiv, se va interpune sistemul de măsurare al vitezei, iar apoi se va regla distanța dintre duză și material pentru o prelucrare optimă.

5.2.3. Proiectarea dispozitivului pentru prelucrarea cu jet de apă cu abraziv.

Dispozitivul de prelucrare cu jet de apă cu abraziv este un element care se adaptează la conducta de apă de presiune. El are încorporată diuza de safir sau carbură și permite realizarea amestecului apă cu abraziv. Din studiile întreprinse s-au desprins două posibilități de amestec apă cu abraziv. Datorită acestui fapt autorul a analizat modalitatea de realizare a unui dispozitiv care cu mici modificări constructive să permită atât amestecul apă cu abraziv la interior cât și la exterior. În **fig.5.18.** dispozitivul cu părțile componente.



Fig.5.23. Dispozitivul de amestec apă cu abraziv

Alimentarea cu abraziv se poate realiza liber prin succiune, sau cu o anumită viteză prin realizarea unei presiuni date în rezervorul de alimentare cu abraziv.

5.3. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL

Prin proiectarea și realizarea standurilor experimentale s-a putut realiza desfășurarea programului experimental propus în capitolele anterioare, dar s-au adus și informații și soluții originale atât în direcția standurilor pentru particule singulare, cât și pentru instalația de prelucrare cu jet de apă continuă. Prin soluțiile adoptate, s-a urmărit îmbinarea eficienței economice cu realizarea unui grad de fiabilitate și siguranță maximă a instalației.

5.4. BIBLIOGRAFIE

- [1.] Demian T. - *Elemente constructive de mecanică fină Aplicații*, Ed. DP București, 1980
- [2.] Bălăsoiu V. - *Actionări hidraulice și pneumatice*, vol. 1, Lito. IP Timisoara, 1990
- [3.] Alexandrescu I. - *Alegerea și utilizarea materialelor metalice*, Ed. DP București, 1997
- [4.] Oprean A. - *Hidraulica mașinilor unelte*, Ed. DP București, 1983
- [5.] Posea N. - *Rezistența materialelor, Probleme*, Ed. St. Enc. București, 1986
- [6.] Drăghici I. - *Indrumar de proiectare în construcția de mașini*. Ed. Tehnică, București, 1981
- [7.] Găfitanu M. - *Organe de mașini*, Ed. Tehnică, București, 1981
- [8.] Vasilescu M. - *Considerații asupra posibilităților de măsurare a presiunilor în instalațiile de prelucrare cu jet de apă cu abraziv*, Simpozionul TEHNONUS, Suceava, 1993
- [9.] Vasilescu M. - *Masă de prelucrare materialelor cu jet de apă*, Simpozion TEHNONUS, Suceava, 1993
- [10.] Mnerie D. - *Senzor de înaltă presiune piezoceramic*, Simpoz. TEHNONUS; Suceava, 1993
- [11] Vasilescu M. - *Considerații asupra concepției unei noi familii de mașini de prelucrare cu jet de apă*, Anale Univ. "Eftimie Murgu" Resita, 1996
- [12.] Vasilescu M. - *Considerații asupra realizării unui sistem de filtrare al apei la prelucrare materialelor cu jet de apă*, Anale Univ. "Eftimie Murgu" Resita, 1996
- [13.] Vasilescu M. - *Sistem de avans cu masă inertială mică folosit la o instalație de prelucrare cu jet de apă*, Univ. "Aurel Vlaicu", Arad, 1996
- [14.] Vasilescu M. - *Studierea sistemului de avans la instalația de prelucrare cu jet de apă*, Conferința a 3-a TCM Craiova, 1994
- [15.] Vasilescu M. - *Program pentru determinarea principalilor parametri ai unei instalații de prelucrare cu jet de apă*, Conferința a 3-a TCM Craiova, 1994
- [16.] Vasilescu M. - *Studiul variației jocului dintre cilindri conjugati în funcție de construcția acestora, în cadrul unui multiplicator de presiune*, A 2-a Sesiune, Arad, 1994
- [17.] Vasilescu M. - *Studiul influenței diametrului exterior asupra jocului dintre cilindri de înaltă presiune*, A 2-a Sesiune, Arad, 1994

[18.] Vasilescu M. - *Consideratii teoretice asupra etansărilor fixe la instalatiile de presiune înaltă*,
Ses. Tehn.st., Timisoara, 1989

[19.] Vasilescu M. - *Proiectarea asistată de calculator a cilindrilor de înaltă presiune din
instalatiile de tăiere cu jet de apă*, Anale Univ. Oradea, 1992

[20.] Vasilescu M. - *Studiul influenței compresibilității și al coeficientului cursei și etansării
asupra dimensiunilor constructive la prelucrarea materialelor cu jet de apă*, A 6-a
Conf. Națională de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1993

6. CONTRIBUTII MANAGERIALE SI TEHNOLOGICE PRIVIND ACTIVITĂȚILE PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET DE APĂ SI JET DE APĂ CU ABRAZIV

6.1. ALEGEREA PROCEDEULUI DE PRELUCRARE LA PRELUCRAREA CU JET DE FLUID

Prelucrarea materialelor cu jet de apă poate fi structurată în două domenii mari, și anume prelucrarea suprafețelor materialelor și prelucrarea materialelor în volumul piesei. Se va face o analiză a acestor domenii tabelar pentru o mai bună comparație a acestora.

Prin **prelucrarea suprafețelor materialelor** se înțeleg acele prelucrări, la care grosimea stratului de material pe care îl supunem prelucrării este mai mic decât 6 mm. În gama acestor prelucrări intră acelea de curățire, durificarea suprafețelor și cea de tăiere după contur a materialelor subțiri. Aceste prelucrări sunt prezentate în **tabelul nr.6.1**.

Tabelul nr.6.1. Clasificare procedee de prelucrare cu jet de fluid a suprafețelor

Nr. crt.	Prelucrare	Suprafata	Material îndepărtat	Presiune în bari
1	Curățire	Plană exterioară și interioară	Calcar, Alge, Baleză, Oxizi Beton Incluziuni de amestec de formare	350...700 800...900 350...700
2	Curățire	Cilindrică interioară	Calcar, Oxizi Depuneri alimentare	350...700 150...400
3	Curățire	Cilindrică exterioară și oarecare	Oxizi, Calcar Depuneri vegetale	100...350 100...200
4	Tratament de durificare	Plană și cilindrică exterioară	Suprafață metalică	500...650
5	Tăiere după contur	Plană	Metalic și granit Nemetalic textil Nemetalic piele	2500...4000 1500...2000 1500...2000

Din compararea datelor din **tabelul nr.6.1** cu cele din **tabelul nr.6.2** se observă că, între durificarea suprafețelor și curățirea suprafețelor diferența majoră este dată de forma duzei și de distanța de la duză la material. Aceasta face ca să se realizeze în cazul curățirii, concentrarea energiei pe suprafață, iar în cazul durificării această energie se concentrează pe o zonă liniară. În **tabelul nr.6.2** se face o prezentare a

• **Contributii manageriale si tehnologice privind activitățile procesului de prelucrare** •

caracteristicilor tehnologice care sunt impuse procesului de prelucrare pentru ca să se realizeze prelucrarea cu jet de fluid.

Tabelul nr.6.2. *Principalele caracteristici tehnologice ale proceselor de prelucrare cu jet de fluid a suprafetelor*

Nr. crt.	Prelucrare	Forma diuzei	Diametru (mm)	Dist.mate- rial (mm)	Modul de avans	Vit. avans (m/min.)
1	Curățire cu jet de apă	Ovală	1 / 0,25	1...100	manual	--
2	Curățire cu jet de abraziv	Cilindrică	10...50	1...30	manual	--
3	Tratament de durificare	Ovală	1 / 0,25	0...10	automat	1...3
4	Tăiere cu jet de apă	Cilindrică	0,1...0,5	10...50	automat	0,01...0,1
5	Tăiere cu jet de abraziv	Cilindrică	1...2	--	automat	0,1...3

Prin **prelucrarea materialelor în volum** se înțelege acea prelucrare, la care grosimea stratului prelucrat este mai mare de 6 mm, sau adâncimea stratului prelucrat este variabil în profunzimea acestuia. În gama acestor prelucrări intră acelea de tăiere, frezare, strunjire și găurire. Aceste prelucrări sunt prezentate în **tabelul nr.6.3**.

Tabelul nr.6.3. *Clasificarea procedeelor de prelucrare cu jet de fluid a volumelor*

Nr. crt.	Prelucrarea	Suprafata	Material îndepărtat	Domeniu de presiune
1	Tăiere cu abraziv	Plană oarecare	Otel, Sticlă, Ceramică Lemn, Piele	1000...4000 800...2400
2	Strunjire cu abraziv	Cilindrică oarecare	Otel, sticlă Lemn, piele	1000...4000 800...2400
3	Frezare cu abraziv	Oarecare	Idem strunjire	Idem strunjire
4	Găurire	Orificiu cilindric	Idem strunjire	Idem strunjire

A. Domeniul prelucrărilor mecanice

Curățirea suprafetelor:

Ea este unul dintre domeniile în care această tehnologie cunoaște cea mai mare dezvoltare, masinile echipate cu acest sistem, pot îndepărta straturi foarte aderente din cele mai diferite materiale, recurgându-se doar la forța apei, fără adăugarea nici unui solvent chimic. De asemenea, noile legi de protecție a mediului ambiant, vin să recomande aceste noi mașini. Această nouă tehnologie este din ce în ce mai utilizată, la îndepărtarea materialelor contaminate, în domeniul chimic și nuclear.

În această direcție s-a întreprins un studiu al modului în care se comportă o probă din OL 37 la acțiunea jetului de apă. A fost astfel supusă acțiunii jetului de apă o probă din tablă laminată din materialul mai sus menționat. După impactarea materialului cu jeturi obținute prin patru diametre diferite ca și mărime dispuse la o distanță diuză material de 163 mm și o presiune de 700 bar timp de 5 secunde s-a realizat pe suprafață patru zone care sunt prezentate în **fig.6.1**. și care după 30 de zile de la desfășurarea procesului de impactare cu jet de apă nu au prezentat tendința de coroziune.

Din analiza probei s-a desprins concluzia care a fost prevăzută prin modul de desfășurare al procesului de prelucrare că la durate de timp scurte de impact jet material se produce o comprimare puternică a materialului care duce în unele cazuri la schimbarea structurii de cristalizare a materialului. Deoarece s-a presupus o producere a unui proces de transformare amorfă a suprafeței impactate proba a fost decupată în vederea studierii prin difracție cu raze X și pentru determinarea adâncimi de strat afectat de acțiunea jetului de apă. Investigatiile efectuate au susținut presupunerea impunându-se desfășurarea unui studiu în această direcție.

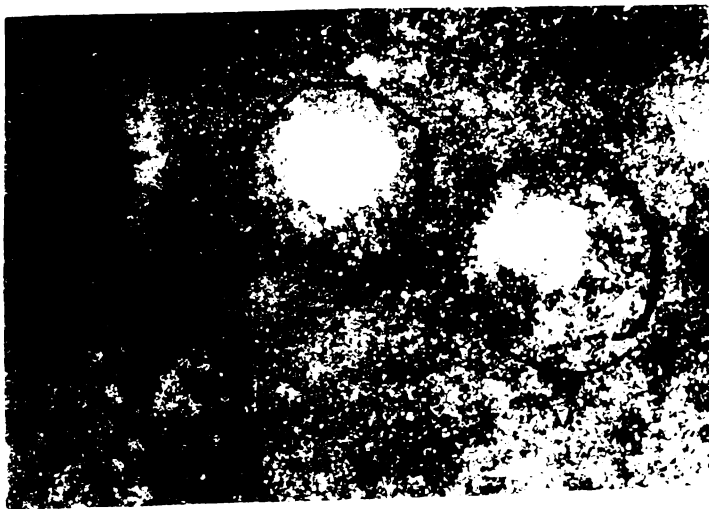


Fig.6.1 Probă de oțel impactată cu jet de apă

Polizări și microuzini:

Jetul de apă de înaltă presiune va găsi aplicații interesante în efectuarea de operații de polizare a pieselor mecanice, de asemenea și uzini în domeniul opticii speciale.

B. Tăierea materialelor textile, cauciucului și a pielii

În domeniul confecțiilor, cauciucului și a pielii prelucrarea cu jet de apă cunoaște o largă utilizare ca urmare a eficienței economice pe care o asigură. Prelucrarea

este aproape la fel de rapidă ca și prelucrarea cu fasciul laser, în plus neapărând fenomene de natură termică la marginea suprafeței prelucrate se poate afirma că prelucrarea cu jet de apă a acestor materiale este net superioară.

C. Tăierea materialelor fragile și monolite cu jet de apă

Din punct de vedere tehnologic prelucrarea materialelor ceramice, a betonului și materialelor monolite se utilizează la prelucrarea materialelor. Câteva dintre aplicațiile care pot fi amintite sunt, cele de refacere a integrității suprafețelor de beton prin erodarea betonului cu jet de apă și rebetonarea suprafeței fără ca să fie afectată structura de fier beton, refacerea structuri de beton a podurilor, etc.

D. Domeniul alimentar

Principalele sectoare echipate cu aceasta tehnologie sunt:

- industria cămii;
- industria piscicolă;
- la patiserie și prăjituri

Peste 20% din instalațiile existente, utilizează procedeul de tăiere a produsului așezat pe o bandă transportoare (miscarea pe X):

- longitudinal, grație a unui aranjament special al capetelor de tăiere,
- transversal, grație a mai multor capete ce se deplasează simultan pe Y.

Pentru sectorul cămii de zburătoare și a pestelui au fost dezvoltate mașini speciale ce permit proporționarea fileurilor de carne în bucăți egale de greutate fixată. Deplasarea jetului este pilotată urmărind traiectorii precise ce corespund diverselor obiective de producție (eliminarea oaselor, eliminarea părții grase, realizarea de porții maxime de greutate fixă din bucăți inițial diferite, etc). Se poate tăia 50 până la 300 de bucăți de fileuri de carne de pasăre sau pește, ceea ce înseamnă aproape 1.8 tone/h.

Porțiile obținute au o precizie de 5%. De asemenea tăieturile realizate sunt curate, rapide și precise.

În domeniul decupării de miniporturi în patiserie, se lucrează cel mai mult pe produse usoare (300...700 kg/m) și fragile ce sunt așezate pe transportoare cu bandă, care înaintază cu viteză mică (<20 m/min). În aceste condiții productivitatea se situează, de exemplu, între 20000 la 40000 de biscuiți pe oră, ceea ce corespunde la 0.5-1.5 tone/h.

Avantajele jetului de apă pură în raport cu mașinile echipate cu cutite, la decuparea aceluiași produs (de obicei multistrat), vine din faptul că produsul nu se sparge (acesta nu se deformează, glazura nu se fisurează), produsul nu se lipește de 'sculă' (cremele nu sunt împrăștiate, posibilitatea tăierii produselor proaspete scoase din cuptor) și se pot tăia produse cu duritate diferită (de la nuci la creme din cele mai moi).

În cursul decupării unui material alimentar cu jet de apă pură de mare presiune, contaminarea tranșelor obținute poate proveni din mai multe surse.

6.2. STUDIAREA DOMENIILOR DE APLICARE ALE PRELUCRARILOR CU JET DE APA CU ABRAZIV

Jetul de apă cu abraziv s-a impus ca alternativă la prelucrarea unor materiale care sunt greu prelucrabile prin alte tehnologii, ca alternativă la unele procedee care sunt poluante, ca alternativă la procedee conventionale de prelucrare usurând prelucrarea cu jet de apă asistat. De aceea s-a impus realizarea unui sistem care asigură atât protecția mediului înconjurător, cât și a utilizatorului. Plecând de la dispozitivarea unor sisteme tehnologice deja existente, s-a ajuns la realizarea unor utilaje complexe, specifice acestor procedee noi de prelucrare dimensională. În acest context se înscrie și prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, pentru care trebuiesc realizate sisteme tehnologice corespunzătoare.

Tăierea materialelor dure:

Progresele recent obținute, în dezvoltarea diuzelor de bor (B4C), permit utilizarea de abraziv foarte performant, ce poate fi folosit la tăierea materialelor dure (ceramică industrială, carburi metalice, etc.).

Noile materiale actual elaborate se caracterizează în general printr-o slabă capacitate de prelucrare. Diferitele studii realizate asupra jetului de apă cu abraziv au demonstrat agresivitatea și eficacitatea jetului ca 'scula aschiitoare'.

Munca depusă în laboratoare a dus la următoarele rezultate:

- realizarea uzinării prin generarea suprafeței cu ajutorul jetului de apă. Studiul acesta a debutat prin montarea capului de lucru pe o freză;
- obținerea unor performanțe deosebite și o calitate a piesei superioară;
- realizarea de pise tipice reprezentative în condiții reale industriale, permițând astfel verificarea interesului industrial;

Principalul avantaj al acestei uzinari este câștigul important de timp ce se obține datorită faptului că nu se mai necesită relizarea de corecții pentru suprimarea uzurii sculei și de asemenea reducerea timpului de schimbare a sculei.

Instalația se bazează pe același principiu cinematic ca și al unui strung, scula fiind înlocuită de jetul de apă cu abraziv care este injectat în interstițiul dintre plăcuta și carbura și aschie.

C. Tăieri fine/microgauri:

Noile camere de amestec pentru tăiere cu injecție controlată permit realizarea de tăieri fine, cu o lărgime a fantei tăiate începând de la 0.2 mm. Aceste camere permit de asemenea realizarea de microgauri precise.

D.Uzinări:

În acest domeniu sunt așteptate progrese importante, ce vor permite realizarea de operații complexe, ce vor concura tehnologia de electro-eroziune prin străpungerea dielectricului;

Polizări si microuzinări:

Jetul de apă cu abraziv, va găsi aplicații interesante în efectuarea de operații de polizare a pieselor mecanice.

6.3.TIPURI DE UTILAJE UTILIZATE LA PRELUCRAREA CU JETURI DE FLUIDE

Utilajele folosite sunt specifice tipurilor de prelucrări, la care se utilizează instalațiile de prelucrare cu jeturi de fluide.

Acete utilaje se pot clasifica astfel:

- utilaje pentru curățire;
- utilaje pentru decupare;
- utilaje pentru aschiere (strunjire, frezare);
- utilaje pentru găurire, perforare.

Utilaje pentru curățire cu jet de apă si/sau cu abraziv

Curățirea hidraulică cu jet de apă se desfășoară cu succes la viteze ale jetului medii, între 40 și 370 m/s, corespunzătoare unor presiuni de 7 la 710 bari. La viteze mici de până la 40...50 m/s, curățirea este inefficientă, deoarece jetul nu are energie suficientă pentru a îndepărta crusta de pe suprafață. Viteze mai mari de 100 m/s sunt periculoase pentru țevile cu pereți subțiri putându-le străpunge. Pentru o calitate mai bună a curățirii hidraulice sunt necesare trei condiții:

- alegerea unei pompe cu presiuni de lucru între 25...700 bari, la un debit nu prea ridicat. Alegerea se face în funcție de numărul de diuze care se găsesc în capul de lucru. De exemplu pentru 2 orificii cu diametrul de 3 mm, se alege o pompă de 5 l/min, și diametru al conductei de presiune de 20 mm. Formulele de calcul sunt :

- pentru debit:

$$Q = 0,24 \times d^2 \times z \quad (6.1)$$

- pentru conductă:

$$D = (3...5) \times \sqrt{(d^2 \times z)} \quad (6.2)$$

cu cât este mai mare cu atât presiunea poate să fie mai ridicată.

- se aleg racordurile elastice pentru curățirea suprafețelor pe cale hidraulică.
Pentru că presiunea apei să ajungă în ajutor la valoarea cerută este necesar că

viteza apei în furtun să nu depășească 5 m/s sau mai simplu să se calculeze diametrul furtunului cu formula de mai sus.

- transformarea presiuni înalte și nefolosite în lucru mecanic de deplasare al capului. Se folosesc în general două tipuri de capuri de curățire și anume cu sistem fix și respectiv cu sistem mobil. Direcția jetului care înlătură crusta, trebuie să fie de aproximativ 45° cu axa tevii. Capul de curățire este dotat cu un sistem de perii din păr sau din otel. Capul de curățire rotitor este mai productiv, fiindcă se mărește suprafața activă a jetului reducându-se în mod implicit numărul de diuze printr-o alegere corespunzătoare a dispunerii acestora.

Efectul curățirii hidraulice depinde numai de acțiunea jetului asupra crustei și de caracteristicile de rezistență ale acesteia. Curățirea are loc și datorită faptului că teava care se supune curățării vibrează.

Utilajele pentru curățire hidro-abrazivă, utilizează o pompă, cu presiunea de lucru este mică ea fiind de 3...300 bari. În general ea este de tip centrifugal, dar poate fi și cu roți dintate, cu debite de până la 50 l/min. Raportul de amestec apă cu abraziv este de 2:1

10:1, în funcție de materialul de prelucrat și de tipul abrazivului utilizat. Diametrul particulei abrazive este de la 100 la 1000 μm . Capul de curățire este în general imobil el având diametre de până la 6 mm. După curățire se face clătirea minuțioasă pentru a se îndepărta complet abrazivul.

Generatorul de presiune pentru curățirea sau sablarea suprafețelor s-a realizat cu o pompă cu roți dintate pentru a se obține presiunea de până la 200 bar pentru apă. Se poate utiliza și un compresor de aer pentru amestecul aerului cu abraziv, în cazul prelucrării hidro-aero-abrazive. Se poate astfel obține pe același stand atât soluția de curățire cu jet de apă, cât și cea cu jet de apă cu abraziv. Pompa este acționată de un motor electric. Presiunea pompei cu roți dintate este reglată cu ajutorul unei suspape de reglare a presiunii special protejată în vederea vehiculării apei.

Elementul esențial pentru o astfel de instalație este diuza de prelucrare. În cazul prelucrării cu jet de apă, diuza este realizată pe principiul existenței unei diuze centrale și a trei sau mai multe diuze dispuse echidistant pe o circumferință frontală la un unghi de 60° față de diuza centrală. În același timp pentru a se realiza avansul axial, în partea anterioară sunt dispuse de asemenea trei sau mai multe diuze echidistant plasate, așa după cum au fost proiectate și realizate de către firmele producătoare, inclusiv de firma de la Săvinesti. La prelucrarea cu jet de apă cu abraziv, această diuză este realizată pe principiul existenței jetului central de apă și a unui jet inelar de aer sau apă amestecat cu abraziv, așa după cum se observă și în **fig.6.2**.

În **fig.6.3** se prezintă soluția constructivă a camerei de amestec adoptată de autor, din multitudinea de soluții posibile de realizat. Avantajul utilizării unei astfel de soluții este că se asigură atât mișcarea spiralată a jetului abraziv, cât și o compactitate bună a construcției mecanice a acesteia. În același timp forma diuzei de ieșire poate fi

foarte ușor schimbată prin înlocuirea acesteia. Se poate utiliza astfel o diuză cilindrică sau ovală cu un raport între diametrul mare și mic de la 1/2 la 1/8. Se poate studia astfel modul în care influențează forma diuzei asupra condițiilor de prelucrare.

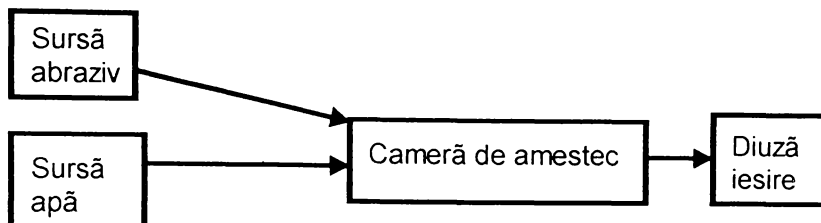


Fig.6.2. Schema de principiu a dispozitivului de amestec apă cu abraziv

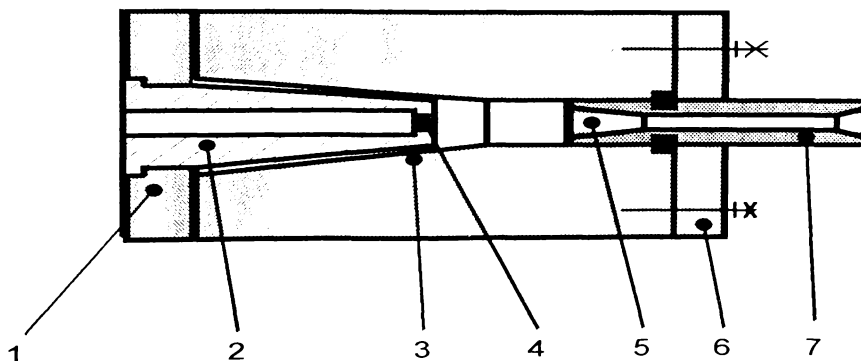


Fig.6.3. Dispozitiv de amestec apă cu abraziv

Camera de amestec este compusă din corpul central 3 prevăzut cu suprafața conică mare și zona cilindrică de ieșire. În zona conică se montează corpul conic 2 fixat în inelul 1 și prevăzut în partea frontală cu diuză de ieșire a abrazivului 4. În zona frontală se găsește diuză de amestec 7 montată în corpul 2 cu capacul 6. Conicitatea de intrare în această diuză este cu 5 grade mai mare decât cea a suprafeței conice din corpul central. Se realizează astfel o zonă inelară de apă de mare presiune exterioară care are în zona centrală un miez de abraziv. Putem astfel prin reglarea unghiului conului și a lungimii suprafeței cilindrice a diuzei de amestec să realizăm o mai bună transmitere a energiei apei la abraziv. Elementul esențial al camerei este jocul dintre cele două suprafețe conice mai sus menționate. Acesta se determină pe condiția de egalitate a suprafețelor mai sus menționate și este dat de formula:

$$j = \frac{\sqrt{d_a^2 - D_i^2} - D_i}{2} \quad (6.3.)$$

Între diametrul diuzei de intrare a abrazivului, a diuzei inelare de apă și D_c de ieșire a abrazivului amestecat cu apă există legătura matematică.

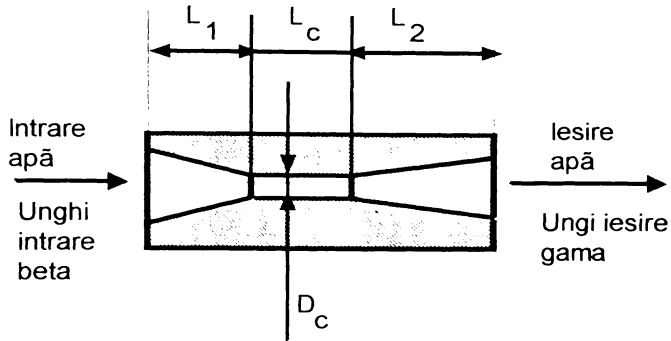


Fig.6.4. Geometria diuzei de abraziv

În **fig.6.4.** se prezintă soluția pentru diuza de apă cu abraziv aleasă. Diametrul zonei cilindrice este $D_c = (1 \dots 20 \text{ mm})$ cu o lungime egală 2.. 20 de ori diametrul (recomandabil $\approx (9 \dots 20) \text{ mm}$, iar unghiul de conului de intrare este de $(10 \dots 30^\circ)$ cu lungimea L_1 dată de formula:

$$L_1 = \frac{D_i - D_c}{2 * \sin(5..15^\circ)} \approx (7..10) \text{ mm} \quad (6.4.)$$

unde: D_i este cu de $(5 \dots 1,5)$ ori mai mare decât D_c .

Pentru ieșirea din diuza de amestec se adoptă o lungime L_2 dată de formula:

$$L_2 = \frac{D_e - D_c}{2 * \sin(2,5..5^\circ)} \quad (6.5.)$$

iar unghiul conului de ieșire este de $(5 \dots 20^\circ)$.

Lungimea totală a diuzei se situează la valori cuprinse între $15 \dots 50 \text{ mm}$.

Soluțiile adoptate se disting prin simplitate constructivă și tehnologică, ele fiind ușor de realizat și întreținut.

Utilaje pentru decupare cu jet de apă și/sau cu abraziv [5.], [6.], [7.], [8], [9.], [10.]

Utilajele de acest tip se pot clasifica principal după mișcările pe care le execută materialul sau diuza de prelucrare cu jet de apă sau jet de apă cu abraziv. O astfel de clasificare a instalațiilor de prelucrare a suprafețelor plane este următoarea:

1. - jet fix cu masa mobilă, după două axe, cu deplasare manuală.
2. - jet fix cu material desfășurat din balot;

3. - jeturi multiple;
4. - diuza mobilă după două axe de coordonate si material după cea de-a treia;
5. - diuza fixă si masa mobilă mecanic după două coordonate;
6. - instalatie automată de prelucrare cu alimentare automată cu semifabricate si evacuare a materialelor prelucrate;
7. - instalatie robotizată de prelucrare.

Se preferă conectarea instalatiei cu multiplicatorul de presiune printr-o teavă de lungime mare de 6 m. In noua solutie propusă de autor se poate realiza dispunerea multiplicatorului pe partea laterală a dispozitivului de prelucrare el având dimensiuni relativ mici. Se pot prelucra orice fel de dimensiuni de materiale, minim pomind de la cele mai mici de 0,5 m / 1 m., până la cele de lătimi de 2 m si respectiv derulate din baloti de lungimi de ordinul sutelor de metri. Forma pieselor poate fi plană cu grosimi mici de 0,1 mm si poate ajunge până la 300 de mm. În acelasi timp se pot prelucra si piese cu o formă neregulată în spatiu. În rândul acestor suprafete se pot considera si cele cilindrice de revolutie.

Indiferent care ar fi tipul de instalatie utilizat ele sunt prevăzute la partea inferioară cu un disipator de energie care este de tip mobil simultan cu diuza sau fix situat la partea inferioară a saniei de deplasare a materialului. Caracteristic este că cuva în care are loc disiparea energiei este prevăzută la partea inferioară cu un strat de pietris sau nisip dispus între plăci de deflexie înclinate la 30° față de verticală. Pentru sustinerea materialului se prevede la partea superioară a plăcilor înclinate un unghi înclinat la 60°.

Autorul a realizat proiectele a câtorva tipuri de astfel de instalati de prelucrare.

Au fost concepute solutiile constructive pentru utilaje de prelucrare a materialului din balot pentru industria textilă, pentru prelucrarea suprafetelor plane, pentru industria de prelucrare a sticlei, lemnului, pieli si materialelor metalice.

Utilaje pentru aschiere cu jet de apă si/sau cu abraziv

Astfel de utilaje se pot realiza pe două directii constructive mari:

- realizarea unor scule care au prevăzute în zona activă orifici prin care jetul de apă si/sau abraziv va fi trimis simultan cu fenomenul de îndepărtare a aschilor;
- realizarea aschieri numai de jetul de apă cu abraziv.

Utilaje pentru găurire si perforare cu jet de apă si/sau cu abraziv

Acest tip de utilaje sunt specifice domeniului de prelucrare în constructii si îmbunătățiri funciare. Ele sunt utilaje specifice, manuale sau mecanice care au fost realizate de către firma Electrotimis SA Timisoara în colaborare cu Fibrex SA Săvinesti.

In vederea studierii modului de comportament al materialelor lemnoase, ceramice si plastice la actiunea jetului de apă s-a studiat modul de comportament al acestora la

acțiunea jetului de apă. Astfel se prezintă forma craterelor rezultate ca urmare a interacțiunii jetului de apă cu placajul în **fig.6.5**, și a gresiei în **fig.6.6**.



Fig.6.5. Placaj impactată cu jet de apă

Se observă pentru cazul placajului că datorită acțiunii simultane a jetului de apă la distanțe mici s-a produs desprinderea straturilor intermediare, lucru care a scăzut capacitatea de penetrare a jetului de apă în material. Nu același lucru se poate spune despre comportamentul gresiei la care materialul s-a rupt după plane de fisurare.



Fig.6.6. Gresie impactată cu jet de apă

6.4. CHELTUIELI PRIVIND IMPLEMENTAREA INDUSTRIALĂ A PROCEDEULUI DE PRELUCRARE CU JET DE FLUID [1.], [2.], [3.], [4.]

Implementarea industrială a procedurii de prelucrare cu jeturi de fluide presupune efectuarea unor cheltuieli atât în faza de cercetare cât și cea de materializare a cercetării. Aceste costuri sunt:

- costul activității de proiectare tehnologică;
- costul activității de proiectare a utilajului de prelucrare;
- costul echipamentelor utilizate;
- costul puneri în funcțiune;
- costul exploatarei.

Aceste costuri sunt dependente de situația analizată, care se poate clasifica în:

- instalație nouă;
- instalație existentă cu vechime redusă;
- instalație existentă cu vechime ridicată.

Judecarea efectuării cheltuielilor și a eficienței acestora trebuie făcută luând în considerare saltul de eficiență economică pe care procedeul de prelucrare cu jet de fluid îl aduce față de metoda de prelucrare anterioară. Se face astfel o paralelă între veniturile care se pot realiza prin procedeul nou și cel vechi. Pe baza cheltuielilor specifice celor două procedee și a celor comune celor două procedee se determină profitul realizat prin utilizarea fiecărei instalații și în final se determină rentabilitatea realizării investiției. Aceasta trebuie să țină cont de nivelul cheltuielilor care sunt date de renunțarea la vechea tehnologie care se adaugă la cea dată de achiziționarea noii tehnologii.

Un rol important în luarea factorului decizional economic îl are și aportul de ridicare a nivelului de protecție ecologic pe care noua tehnologie îl oferă.

În **tabelul nr.6.4.** sunt prezentate cheltuielile specifice care se fac pentru utilizarea unei instalații de prelucrare cu jet de apă sau jet de apă cu abraziv ambele la același nivel de presiune.

Tabelul nr.6.4. Cheltuieli cu instalația de prelucrare cu jet de apă sau abraziv (mii lei/oră)

Nr. crt.	Cheltuielile	Instalație de prelucrare cu jet de apă			Instalație de prelucrare cu jet de apă cu abraziv		
		8 ore	16 ore	24 ore	8 ore	16 ore	24 ore
1	Amortisment	80	40	26	80	40	26
2	Salar	10	30	70	10	30	70
3	Materiale	60	60	60	220	220	220
4	Cheltuieli de mentenanță	20	20	20	20	20	20
	Total cheltuieli	170	150	176	330	310	336

Se observă că o astfel de instalație este cu atât mai eficientă cu cât este folosită o durată de timp zilnică mai mare. În același timp se observă că nivelul cheltuielilor pentru instalația de apă cu abraziv, nu este semnificativ mai mare decât cea pentru instalația de prelucrare cu jet de apă. Dacă se are în vedere și faptul că nivelul de presiune este mai scăzut la prelucrarea cu jet de apă cu abraziv față de cel cu jet de apă, rezultă deci că va crește fiabilitatea instalației și implicit se va putea lucra o durată mai lungă cu instalația, fără ca să mai lucrăm la întreținerea ei.

Din punct de vedere tehnologic se impune pe baza rezultatelor experimentale, dintre care unele sunt prezentate în cadrul capitolului 4 ordonarea în funcție de parametri a factorilor prelucrării. Se stabilește pe baza de încercări pentru fiecare material în parte tehnologia corespunzătoare în vederea realizării prelucrării.

Nivelul de zgomot pe care îl produce o astfel de instalație este sub cel de 70 decibeli, fiind mai mic decât cel de la o stantă [11.] sau de la o mașină de prelucrare prin aschiere. Zgomotul cel mai mare care se produce este cel generat de grupul hidraulic de joasă presiune.

6.5. CONCLUZII LA FINAL DE CAPITOL

Prin studiul întreprins în direcția proiectării de utilaj de prelucrare cu jet de apă și jet de apă cu abraziv s-a urmărit îmbunătățirea atât a cunoașterii și delimitării posibilităților practice de utilizare a prelucrării materialelor cu jet de apă și respectiv jet de apă cu abraziv cât și posibilitatea de a se produce astfel de utilaje în țara noastră. În același timp s-a propus un model de calcul economic în vederea determinării eficienței introducerii noului sistem de prelucrare.

6.6. BIBLIOGRAFIE

- [1.] Vasilescu M. - *Studiul comparativ al eficienței economice la tăierea după contur a suprafețelor*, Lucr. St., Arad, 1992
- [2.] Vasilescu M. - *Considerații economice asupra prelucrării cu jet de apă a materialului lemnos*, Proc. Scient. Aurel Vlaicu, Arad, 1996
- [3.] Vasilescu M. - *Considerații economice asupra alegerii soluției de prelucrare cu jet de apă a marmorei de carieră*, A 3-a Conf. TCM, Craiova, 1994
- [4.] Vasilescu M. - *Studiul comparativ al eficienței economice la prelucrarea canalelor convenționale și cu jet de apă*, A 2-a Ses. Aurel Vlaicu, Arad, 1994
- [5.] Vasilescu M. - *Instalație de prelucrare a materialelor textile cu jet de apă*, A 6-a Conf. Nat. De tehn. Neconvenționale, Timisoara, 1993
- [6.] Vasilescu M. - *Sistem de prelucrare a materialelor lemnoase folosind o instalație de prelucrare cu jet de apă*, Anale Univ. Eftimie Murgu, Resita, 1996

- [7.] ***** - Prospecte instalatii de prelucrare cu jet de apă si multiplicatoare de presiune cu jet de apă, FLOW, 1996
- [8.] ***** - Prospecte instalatii de prelucrare cu jet de apă si multiplicatoare de presiune cu jet de apă, INGHERSOL, 1996
- [9.] ***** - Prospecte instalatii de prelucrare cu jet de apă si multiplicatoare de presiune cu jet de apă, Bistronic, 1996
- [10.] ***** - Prospecte instalatii de prelucrare cu jet de apă si multiplicatoare de presiune cu jet de apă, UHDE, 1994
- [11.] G. Matitschka - Emisii de zgomot la presele de tăiere si luarea măsurilor de reducere. Disertatie, 1978, Haidelberg

7. CONCLUZII

Prin cercetările pe care autorul le-a efectuat în decursul timpului asupra literaturi de specialitate în legătură cu procesul de prelucrare cu jet de fluide, s-a desprins concluzia că procedeul de prelucrare este un fenomen complex, dinamic și în plină dezvoltare.

Cercetările bibliografice, teoretice și experimentele care au stat la baza acestei lucrări dedicate aspectelor fenomenologice, tehnologice și manageriale privind prelucrarea materialelor cu jet de fluide, au permis autorului să aducă și **contributii originale**:

- (1) Pornind de la sistematizarea informațiilor din literatura de specialitate s-au identificat principalele direcții de cercetare ale proceselor de prelucrare.
- (2) Evidențierea modelelor matematice și experimentale, parțiale sau integrale a relevat lipsa datelor complete din literatura de specialitate necesare pentru modelarea procesului de prelucrare a suprafețelor și/sau volumelor cu jet de fluide. Pe această direcție autorul propune modele noi și adaptate unor aplicații precise de prelucrare cu jet de fluide.
- (3) S-au pus în evidență influențele diversilor parametri și factori asupra procesului de prelucrare cu jet de fluide și s-a făcut departajarea clară a celor două procedee de prelucrare cu jet de fluide, evidențiindu-se în același timp domeniile de utilizare a acestora.
- (4) Analiza maselor de material îndepărtate de pe suprafață de către particulele singulare de apă sau abraziv a permis evidențierea clară a modului în care materialul reacționează la acțiunea acestora, putându-se astfel modela procesul de îndepărtare de material de pe suprafață și rezultând astfel datele necesare pentru modelarea procesului volumic de prelucrare cu jet de fluide.
- (5) Analiza stadiului actual al cercetărilor privind sistemele tehnologice de prelucrare a reliefat existența unei foarte mari diversități de domenii în care se poate utiliza instalația de prelucrare cu jet de fluide.
- (6) Abordarea sistemică a procesului de prelucrare cu jet de fluide a permis evidențierea vectorilor de intrare, a celor perturbatori și respectiv de ieșire din proces.
- (7) Determinarea dependentelor cantitative și calitative dintre parametri și variabilele de stare a impus conceperea unui model experimental care a cuprins nivelul experimental, tehnologic, sistemul de măsurare, sistemul de prelucrarea datelor, sistemul de interpretare și prezentare a rezultatelor.
- (8) Utilizând metoda experimentului psihologic s-au identificat dependentele dintre parametri și variabilele din procesul de prelucrare cu jet de fluide.
- (9) Utilizând metoda experimentului clasic s-au verificat dependentele dintre parametri și variabile rezultate din experimentul psihologic.

- (10) Analiza modului de comportare a materialului la acțiunea jetului de fluid, a permis stabilirea comportamentului acestora la acțiunea jetului de fluidului.
- (11) Aplicarea modelării matematice a permis stabilirea ecuațiilor de regresie corespunzătoare pentru diferite tipuri de materiale
- (12) Cercetările metalografice au permis evidențierea modului în care se comportă suprafața materialului la acțiunea jetului de apă cu abraziv.
- (13) Proiectarea standului de accelerare a particulelor singulare a permis realizarea programului experimental și deschide drumul pentru studierea modului în care diferite tipuri de materiale interacționează cu particulele singulare.
- (14) Realizarea standului de jet de apă permite studierea modului de comportament al materialelor la acțiunea jetului de fluide și prin mici modificări ale acestuia se poate realiza și cea mai recentă soluție existentă pe plan mondial DIA-JET, autorul identificând modul de realizare a acesteia. DIA-JET reprezintă soluția de vehiculare a jetului de apă cu abraziv prin pompa de presiune.
- (15) S-au identificat elementele comune procesului decizional managerial și tehnologic în legătură cu prelucrarea cu jet de fluide și s-au propus soluții de determinare a modului de introducere pe scară industrială a noii tehnologii.
- (16) Implementarea industrială a noii tehnologii implică o serie de costuri. Acestea au fost identificate și s-a propus un model de calcul a costurilor de exploatare. Dacă se ține cont și de regimurile de prelucrare determinate prin modelul de cercetare experimental se poate spune că programul de cercetare pentru câteva materiale este realizat în totalitate.

Unele rezultate au fost valorificate prin:

- Elaborarea și publicarea a 31 de lucrări științifice prezentate și publicate la diferite conferințe și simpozioane științifice, dintre care 30 ca prim autor.
- realizarea a 5 standuri, două dispozitive și trei matrite, care pot fi utilizate și în scop didactic și respectiv în continuarea programului de cercetare început de autor.

In final se poate concluziona că cercetarea teoretică și experimentală efectuată a condus la elucidarea fenomenelor care apar la interfața jet de fluid material, a unor aspecte tehnologice și manageriale privind prelucrarea materialelor cu jet de fluide, fiind prima lucrare de acest tip din țară care face o paralelă între cele două direcții de prelucrare cu jet de fluide și prima care abordează domeniul de prelucrare cu jet de apă cu abraziv. Desigur rămân multe aspecte neacoperite care pot conduce la decizii și rezultate interesante