



Universitatea
Transilvania
din Braşov

ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea Inginerie Tehnologică și Management Industrial

Ing. Bogdan Florin BARABAŞ

Optimizări privind prelucrarea
suprafețelor prin eroziune hidroabrazivă

Optimizations regarding surface
processing by hydroabrasive erosion

REZUMAT / ABSTRACT

Conducător științific

Prof.dr.ing. Tudor DEACONESCU

BRAȘOV, 2019

D-lui (D-nei)

COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Brașov
Nr. 10062 din 10.09.2019

PREȘEDINTE:	Prof.dr.ing. Gheorghe OANCEA, Universitatea Transilvania din Brașov
CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC:	Prof.dr.ing Tudor DEACONESCU, Universitatea Transilvania din Brașov
REFERENȚI:	Prof.dr.ing. Miron ZAPCIU, Universitatea Politehnica București Prof.dr.ing. Cătălin Gabriel Dumitraș, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi Iași Prof.dr.ing. Romeo Cioară, Universitatea Transilvania din Brașov

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat:

Data 8.11.2019, ora 11, sala VPA

Eventualele aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării vă rugăm să le transmiteți în timp util, pe adresa barabas.bogdan.florin@unitbv.ro

Totodată vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

CUPRINS

	Pg. teza	Pg. rezumat
1. INTRODUCERE	15	9
1.1 Motivația tezei de doctorat	15	9
1.2 Metodologia cercetării	16	9
1.3 Actualitatea cercetării	17	9
2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PRELUCRAREA SUPRAFETELOR PRIN EROZIUNE HIDROABRAZIVĂ	19	10
2.1 Evoluția tehnologiei de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă	19	-
2.2 Clasificarea tehnologiilor hidroabrazive I	22	-
2.3 Utilaje de prelucrare cu jet hidroabraziv - tipologie	26	-
2.4 Componentele utilajelor cu jet hidroabraziv	40	10
2.4.1 Amplificatorul de presiune	40	-
2.4.2 Amplificarea presiunii cu acționare directă	45	-
2.4.3 Amplificatoare de presiune cu acționare electromecanică	48	-
2.4.4 Tuburi și conducte	51	-
2.4.5 Acumulatoare de presiune	55	-
2.4.6 Sistemul de generare a jetului	56	10
2.4.7 Sistemul de captare a jetului	69	-
2.5 Proprietățile apei în procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv	71	-
2.5.1 Compresibilitatea apei	72	-
2.5.2 Vâscozitatea apei	73	-
2.5.3 Diagrama de fază a apei	73	-
2.6 Materiale abrazive	75	-
2.6.1 Clasificarea materialelor abrazive folosite la prelucrările cu jet abraziv	76	-
2.6.2 Duritatea materialelor abrazive	80	-
2.7 Mecanismul aşchierii în procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv	82	11
2.8 Concluzii	87	12
OBIECTIVELE TEZEI	88	13
3. STUDIUL SISTEMIC AL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EROZIUNE HIDROABRAZIVĂ	90	15
3.1 Definirea sistemică a procesului de eroziune hidroabrazivă	90	-

	Pg. teza	Pg. rezumat
3.2 Six Sigma și proiectare pentru Six Sigma (Design for Six Sigma-DfSS).....	92	-
3.3 Analiza dispersională (ANOVA – Analysis of variance).....	93	-
3.4 Algoritmizarea procesului de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă din perspectivă sistemică.....	96	15
3.5 Variația, eroarea și funcția de pierdere a calității în analiza sistemului de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă.....	98	-
3.6 Parametrizarea procesului de eroziune hidroabrazivă.....	101	16
3.6.1 Analiza semnalelor de intrare/ieșire în sistemul tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv.....	103	-
3.6.2 Analiza elementelor de zgomot din sistemul tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv.....	107	-
3.6.3 Schema generală a sistemului deschis reprezentat de procesul de eroziune hidroabrazivă.....	109	17
3.6.4 Schema logică de configurare a parametrilor de control în procesul de eroziune hidroabrazivă.....	110	-
3.6.5 Raportul semnal – zgomot în sistemul tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv.....	113	18
3.7 Concluzii.....	120	18
4. METODE DE OPTIMIZARE A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET HIDROABRAZIV.....	121	19
4.1 Metode de experimentare.....	121	-
4.1.1 Planificarea experimentelor utilizând metoda testării aleatoare și metoda testării unui singur factor odată.....	123	-
4.1.2 Planificarea experimentelor utilizând metoda testării tuturor combinațiilor posibile.....	124	-
4.1.3 Planificarea experimentelor utilizând metoda testării fracționate și testarea prin utilizarea matricelor ortogonale de experimente (Taguchi).....	127	-
4.1.4 Planificarea experimentelor utilizând metoda suprafețelor de răspuns.....	131	-
4.2 Cercetări experimentale privind influența mărimilor de intrare asupra performanțelor procesului tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv.....	132	19

	Pg. teza	Pg. rezumat
4.3 Concluzii.....	143	27
5. EXPERIMENTĂRI DERULATE DUPĂ PLANURI FACTORIALE COMPLETE.....	144	28
5.1 Echipamentul utilizat.....	144	-
5.2 Software-ul utilizat.....	145	-
5.3 Alegerea parametrilor utilizați în configurarea operației de tăiere cu jet hidroabraziv.....	146	28
5.4 Alegerea materialelor prelucrate prin eroziune cu jet hidroabraziv.....	149	-
5.5 Desfășurarea experimentelor.....	149	29
5.6 Interpretarea rezultatelor.....	154	30
5.7 Concluzii.....	187	34
6. EXPERIMENTĂRI DERULATE DUPĂ PLANURI ORTOGONALE FACTORIALE FRAȚIONATE.....	188	35
6.1 Metoda clasică a planurilor de experimente.....	190	35
6.2 Metoda planurilor de experimente Taguchi.....	191	35
6.3 Optimizări Taguchi cu ajutorul unei aplicații Excel.....	193	36
6.4 Desfășurarea experimentelor.....	195	38
6.5 Aplicarea metodelor Taguchi cu ajutorul pachetului software Minitab.....	205	47
6.5.1 Utilizarea software-ului Minitab pentru confirmarea rezultatelor obținute cu aplicația Excel.....	206	48
6.5.2 Studiu de caz: utilizarea software-ului Minitab pentru 4 parametri cu 3 niveluri și 1 parametru cu 2 niveluri.....	209	49
6.6 Concluzii.....	212	52
7. CONCLUZII.....	214	53
7.1 Concluzii generale.....	214	53
7.2 Contribuții originale.....	216	54
7.3 Dezvoltări viitoare.....	218	57
7.4 Valorificarea tezei, diseminare.....	219	57
BIBLIOGRAFIE.....	220	58
ANEXE		
Anexa 1, Experimentări derulate după un plan factorial complet, oțel SAE 3310..	230	-
Anexa 2, Experimentări derulate după un plan factorial complet, oțel ASTM A2	237	-
Anexa 3, Rezumat.....	244	62
Anexa 4, Curriculum vitae.....	245	63

CONTENT

	Pg.	Pg.
	thesis	abstract
1. INTRODUCTION	15	9
1.1 Motivation of the doctoral thesis	15	9
1.2 Research methodology	16	9
1.3 The actuality of the research	17	9
2. THE CURRENT STAGE OF RESEARCH ON THE PROCESSING OF SURFACES BY HYDROABRASIVE EROSION	19	10
2.1 Evolution of the processing technology by hydroabrasive erosion	19	-
2.2 Classification of the hydroabrasive technologies	22	-
2.3 Hydroabrasive jet processing equipment - tipology	26	-
2.4 Components of the hydroabrasive jet equipment	40	10
2.4.1 Pressure amplifier	40	-
2.4.2 Pressure amplification by direct operation	45	-
2.4.3 Pressure amplifiers with electromechanical actuation	48	-
2.4.4 Tubes and pipes	51	-
2.4.5 Pressure accumulators	55	-
2.4.6 The generation system of the hydroabrasive jet	56	10
2.4.7 The jet capture system	69	-
2.5 The properties of water in the hydroabrasive jet processing	71	-
2.5.1 Water compressibility	72	-
2.5.2 Water viscosity	73	-
2.5.3 Water phase diagram	73	-
2.6 Abrasive materials	75	-
2.6.1 Classification of abrasive materials used in hydroabrasive jet processing	76	-
2.6.2 Hardness of abrasive materials	80	-
2.7 The mechanism of cutting in hydroabrasive processing	82	11
2.8 Conclusions	87	12
THE OBJECTIVES OF THE THESIS	88	13
3. SYSTEMIC STUDY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF HYDROABRASIVE EROSION	90	15
3.1 Systemic definition of the hydroabrasive erosion process	90	-

	Pg. thesis	Pg. abstract
3.2 Six Sigma and Design for Six Sigma-DfSS	92	-
3.3 ANOVA – Analysis of variance	93	-
3.4 Algorithmization of the processing of hydroabrasive erosion from a systemic perspective	96	15
3.5 Variation, error and quality loss function in the analysis of the processing system by hydroabrasive erosion	98	-
3.6 Parametrization of the hydroabrasive erosion process	101	16
3.6.1 Analysis of input/output signals in the technological system of hydroabrasive erosion process	103	-
3.6.2 Analysis of noise elements in the technological system of hydroabrasive erosion process	107	-
3.6.3 General scheme of the open system represented by the hydroabrasive erosion process	109	17
3.6.4 Logical scheme for configuring control parameters in the hydroabrasive erosion process	110	-
3.6.5 Signal-noise ratio in the technological system of hydroabrasive jet processing	113	18
3.7 Conclusions	120	18
4. METHODS OF OPTIMIZING THE PROCESS OF HYDROABRASIVE EROSION	121	19
4.1 Experimentation methods	121	-
4.1.1 Experiments planning using the random testing method and the single factor once testing method	123	-
4.1.2 Experiments planning using the test method of all possible combinations	124	-
4.1.3 Experiments planning using fractional testing method and testing using orthogonal matrix of experiments (Taguchi method)	127	-
4.1.4 Experiments planning using the response surfaces method	131	-
4.2 Experimental research regarding the influence of the input data on the performance of the technological process of hydroabrasive jet processing	132	19
4.3 Conclusions	143	27

	Pg. thesis	Pg. abstract
5. EXPERIMENTS DEVELOPED AFTER FULL FACTORIAL PLANS.....	144	28
5.1 The used equipment.....	144	-
5.2 The used software.....	145	-
5.3 Selection of the parameters used in configuration of hydroabrasive process erosion.....	146	28
5.4 The materials processed by hydroabrasive jet erosion.....	149	-
5.5 Experiments conducting.....	149	29
5.6 Results interpretation.....	154	30
5.7 Conclusions.....	187	34
6. EXPERIMENTS CONDUCTED BY FACTORIAL FRACTIONAL ORTHOGONAL PLANNING.....	188	35
6.1 The classic method of experiments planning.....	190	35
6.2 The method Taguchi of experiments planning.....	191	35
6.3 Taguchi optimization using an Excel application.....	193	36
6.4 Experiments conducting.....	195	38
6.5 Applying Taguchi methods with Minitab software package.....	205	47
6.5.1 Use of Minitab software to confirm the results obtained with the Excel application.....	206	48
6.5.2 Case study: use of Minitab software for 4 parameters with 3 levels și 1 parameter with 2 levels.....	209	49
6.6 Conclusions.....	212	52
7. CONCLUSIONS.....	214	53
7.1 General conclusions.....	214	53
7.2 Original contributions.....	216	54
7.3 Future research work.....	218	57
7.4 Dissemination.....	219	57
REFERENCES.....	220	58
ANNEXES		
Annex 1, Experiments conducted after a full factorial planning, steel SAE 3310....	230	-
Annex 2, Experiments conducted after a full factorial planning, steel ASTM A2....	237	-
Annex 3, Abstract.....	244	62
Annex 4, Curriculum vitae.....	245	63

1. INTRODUCERE

1.1 Motivația tezei de doctorat

Obiectivul general al cercetării este reprezentat de optimizarea prelucrării cu jet hidroabraziv prin utilizarea metodei de proiectare robustă a proceselor de fabricație, cu contribuții directe la dezvoltarea tehnologică, direcția principală de acțiune fiind cercetarea științifică exploratorie cu rezultate aplicabile în practică.

Implementarea metodei de proiectare robustă în parametrizarea debitării semifabricatelor cu jet hidroabraziv, precum și analiza statistică efectuată, demonstrează aplicabilitatea soluțiilor propuse.

1.2 Metodologia cercetării

Experimentarea s-a utilizat în cercetările efectuate pe mașină, pentru efectuarea testelor în vederea validării soluțiilor propuse pentru optimizarea prelucrării prin eroziune hidroabrazivă. În acest sens s-a utilizat metoda proiectării robuste, folosind baza materială a Institutului de Cercetare al Universității Transilvania Brașov (mașina de tăiat cu jet abraziv Maxiem 1530 și numeroase aparate de măsură și control, printre care și microscopul de forță atomică).

1.3 Actualitatea cercetării

Teza de doctorat propune o metodă generală de optimizare prin proiectare robustă a prelucrării cu jet hidroabraziv, *instrumentul de lucru obținut (aplicație informatică) putând fi inclus în software-ul utilajelor de prelucrare*. Instrumentul propus sugerează o configurare inițială optimă, bazată pe date statistice obținute prin metoda planurilor de experimente, integrate în baze de date și prelucrate conform metodei Taguchi. Modelarea statistică a fost efectuată în scopul restrângerii variabilității.

Literatura de specialitate studiată a scos în evidență, ca principal indicator de urmărit, *calitatea suprafețelor obținute. În acest sens, în teza de doctorat rugozitatea suprafețelor prelucrate va fi vizată drept criteriu de optimizat.*

Pentru stabilirea influenței modificării valorilor parametrilor de lucru asupra procesului (distanța de la duză la material, viteza de tăiere, presiunea jetului, diametrul particulelor abrazive, calitatea materialului prelucrat, calitatea abrazivului etc.) s-a utilizat metoda experimental-inductivă. Modelul utilizat a fost unul bazat pe 5 factori cu 3 și 2 niveluri.

2. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND PRELUCRAREA SUPRAFETELOR PRIN EROZIUNE HIDROABRAZIVĂ

2.4 Componentele utilajelor de prelucrare cu jet hidroabraziv

Apa din rețeaua de alimentare este adusă la o presiune foarte mare cu ajutorul amplificatoarelor de presiune, pulsațiile de presiune fiind atenuate de un acumulator. Acesta trimite mai departe, către sistemul de generare a jetului apa la o presiune constant înaltă prin tuburi.

2.4.6 Sistemul de generare a jetului

Forma jetului la ieșirea din orificiu se caracterizează prin existența a 3 zone (Fig. 2.1) [TIC92], [SUS08], [BAR16a]:

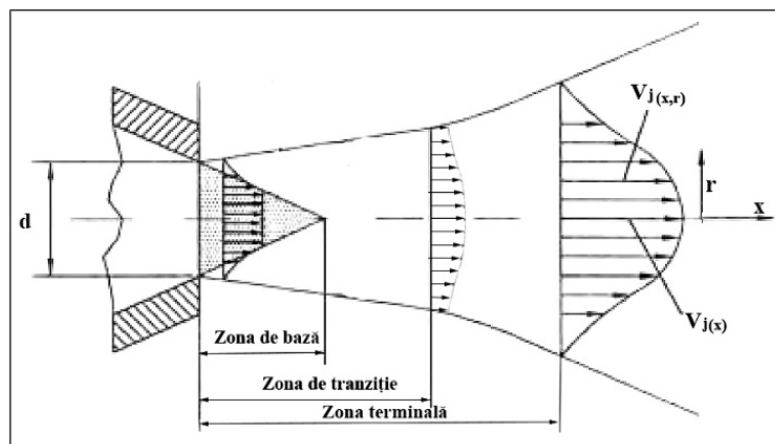


Fig. 2.1 – Zonele jetului de apă la ieșirea din duză

- Zona de bază, este zona cu o presiune constantă pe direcție axială. Lungimea acestei zone depinde de raza duzei și forma acesteia, respectiv de unghiul de trecere între diametrul jetului și al conductei [TET18].
- Zona de tranziție reprezintă o regiune în care forțele de frecare cu aerul diminuează viteza jetului. De asemenea, atragerea și încorporarea moleculelor de aer în jet, implozia lor determinată de presiunea mare, crează un fenomen de turbulență care conduce la mărirea diametrului jetului precum și la scăderea vitezei pe margini ($L_t = 5,33 \cdot L_b$, unde L_t este lungimea zonei de tranziție iar L_b este lungimea zonei de bază – Fig. 2.1) [YAN78], [TIC92], [MOM05]. Mărimile dinamice variază pe direcțiile axială și radială.
- Zona terminală este aceea în care jetul are tendința de a-și pierde coeziunea.

Determinarea lungimii fiecărei zone și dimensionarea corectă a capului de tăiere reprezintă probleme de importanță maximă la prelucrarea cu jet abraziv. Rezultă deci necesitatea coroborării datelor de intrare (presiunea jetului, debit, calitatea lichidului), a datelor intermediare (forma duzei, materialul duzei, dimensiunile duzei) și a datelor de ieșire (Fig. 2.2).

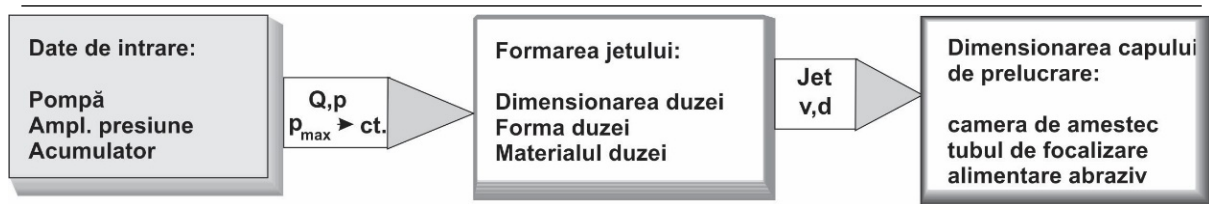


Fig. 2.2 – Diferitele mărimi care influențează procesul hidroabraziv

2.7 Mecanismul aşchierii în procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv

Aşchiera se produce în funcție de tipul de material și de valoarea parametrilor tehnologici de configurare ai procesului hidroabraziv după mai multe mecanisme de eroziune: mecanismul de eroziune casantă, plastică și elastică [MEL18]. Mecanismul de îndepărtare a materialului casant, studiat de Slikkerveer [SLI98], Buijs [BUI94], Jafar [JAF13], Nouraei [NOU13], Hlaváča [HLA18], este prezentat în Fig. 2.3.

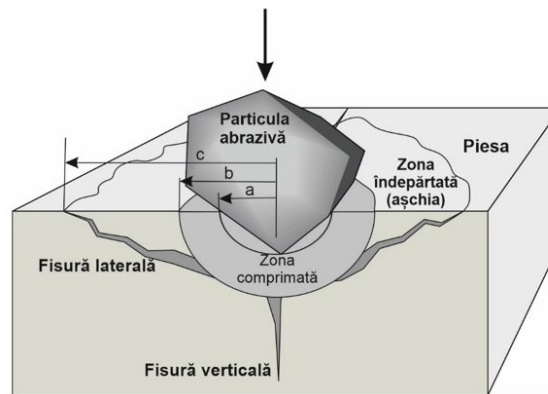


Fig. 2.3 – Mecanismul de eroziune hidroabrazivă pentru materiale casante

Eficiența eroziunii se poate calcula considerându-se energia cinetică consumată pentru îndepărtarea aşchii cu masă m_a .

$$E_e = \frac{m_a}{U} = \frac{\pi \rho_m a (a^2 + 3c^2)^2}{3 m_p v^2} \quad (2.1)$$

unde E_e reprezintă eficiența procesului de eroziune, calculată ca raportul dintre masa îndepărtată și energia consumată; m_p reprezintă masa particulei de abraziv și v este viteza particulei în momentul ciocnirii. Pentru prelucrarea materialelor casante acest lucru are o importanță deosebită datorită necesității menținerii lungimii fisurilor la un nivel care să nu permită propagarea acestora în întreaga masă a materialului [MIE17].

Mecanismul de eroziune al materialelor ductile este prezentat în Fig. 2.4

Secțiunea ariei de contact poate fi scrisă:

$$s = \frac{l^2 \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2}}{4} \quad (2.2)$$

unde δ este unghiul profilului îndepărtat [rad], l este lungimea zonei de contact a particulei [mm].

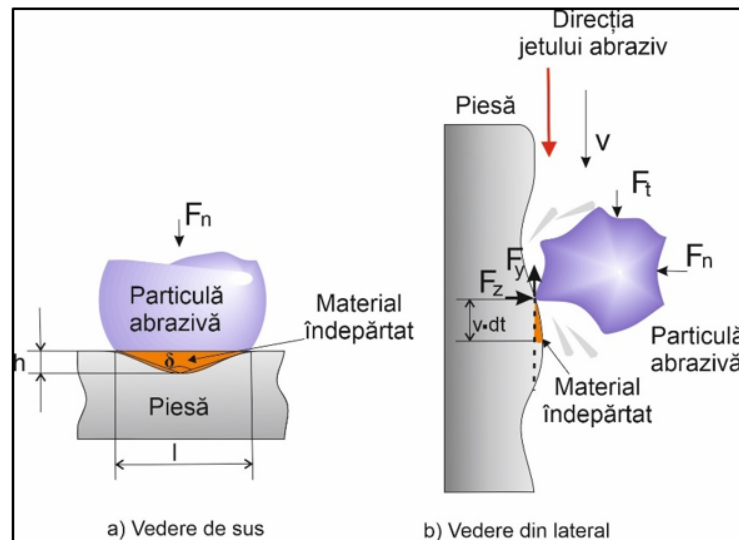


Fig. 2.4 – Mecanismul de eroziune hidroabrazivă pentru materiale ductile

Conform Fig. 2.4, volumul îndepărtat de o singură particulă, în unitatea de timp, considerând mecanismul de eroziune hidroabrazivă pentru materiale ductile, este:

$$dV = \frac{l^2 \cot \frac{\delta}{2}}{4} v dt \quad (2.3)$$

2.8 Concluzii

Utilizarea tehnologiei de prelucrare cu jet hidroabraziv se generalizează, fiind accesibilă și prezentând rezultate spectaculoase. Descoperirea de noi materiale a condus și ea la un salt uriaș în dezvoltarea tehnologiei de prelucrare cu jet hidroabraziv.

În acest capitol a fost realizată o analiză a celor mai noi realizări în domeniu, fiind alcătuită o clasificare a tehnologiilor hidroabrazive. În acest sens a fost sintetizată tipologia utilajelor de prelucrare cu jet hidroabraziv. S-a efectuat un studiu privind realizările inovative ale componentelor ce alcătuiesc instalațiile de prelucrare cu jet hidroabraziv și anume amplificatoarele de presiune, acumulatori de presiune, tuburile și conductele ce alcătuiesc sistemul de transport al apei la presiune înaltă.

S-a realizat o cercetare teoretică privind mecanismul de generare a jetului și sistemul de captare al acestuia. Impactul dintre particula abrazivă și semifabricat a fost analizat împreună cu studiul forțelor care apar și se dezvoltă la momentul contactului, atât pentru modelul unei singure particule cât și pentru mai multe particule, studiul fiind efectuat pentru modelele de eroziune plastică, elastoplastică și elastică. Au fost evidențiate efectele jetului hidroabraziv asupra calității produsului obținut. Procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv a fost studiat din perspectiva ultimelor descoperiri prin consultarea bazelor de date existente.

OBIECTIVELE TEZEI

Scopul cercetărilor doctorale constă în eficientizarea procesului tehnologic de eroziune hidroabrazivă în vederea creșterii calității suprafețelor prin folosirea metodei de proiectare robustă a proceselor de fabricație. Cercetările efectuate se doresc a fi un instrument util pentru utilizatorii acestei tehnologii, demonstrând posibilitatea configurării optime a instalațiilor de prelucrat cu jet hidroabraziv în vederea obținerii unei calități deosebite a suprafețelor prelucrate.

Un prim obiectiv al tezei de doctorat constă în realizarea unui studiu de sinteză asupra stadiului actual de implementare a metodei de proiectare robustă în vederea optimizării procesului tehnologic de eroziune hidroabrazivă. Atingerea acestui obiectiv presupune:

- realizarea unei analize riguroase a tehnologiei hidroabrazive, cu accent pe cele mai noi realizări în domeniu;
- studiul utilajelor de prelucrare și a componentelor acestora, a elementelor care înglobează tehnologie inovativă și care au permis generalizarea utilizării tehnologiei pentru obținerea unor produse de înaltă calitate;
- studiul modelelor existente privitoare la mecanismul de generare a jetului hidroabraziv și evidențierea efectelor jetului hidroabraziv asupra calității prelucrării (precizia conturului prelucrării, rugozitatea obținută, efectul de val, formarea unor cavități în materiale moi sau a microfisurilor în materiale casante);
- studiul impactului dintre particula abrazivă și semifabricat (analiza forțelor dezvoltate în momentul impactului, atât pentru modelul unei singure particule, cât și pentru modelul întregului jet, pentru aşchiera materialelor casante și ductile) și analiza disipării energiei jetului.

Modelarea sistemică a procesului tehnologic de eroziune hidroabrazivă constituie un alt obiectiv important al tezei, necesar pentru stabilirea unei metode de obținere a unor rezultate constant bune ale prelucrării. În acest scop sunt utilizate instrumente statistice bazate pe modele matematice și pe grafice originale care descriu evoluțiile mărimilor care influențează procesul tehnologic. Pentru realizarea acestui obiectiv se urmărește:

- analiza semnalelor de intrare, a parametrilor controlați și a factorilor de zgomot în scopul realizării modelului de optimizare al prelucrării prin eroziune hidroabrazivă;
- stabilirea factorilor care influențează procesul de prelucrare cu jet abraziv și a nivelurilor acestora (studiul acelor factori care pot fi modificați real pe mașina Maxiem 1530; se are în



vedere modificarea presiunii de lucru, a diametrului tubului, a vitezei de traversare, a tipului de abraziv, a distanței dintre tub și piesă);

- utilizarea tehnicilor de proiectare robustă ca metode de optimizare a procesului de prelucrare hidroabrazivă (alegerea planului de experimente și a matricei de experiențe corespunzătoare).

Alegerea metodei de optimizare constituie al treilea obiectiv important al cercetării. Utilizatorul este cel care se confruntă cu necesitatea stabilirii valorilor parametrilor de configurare ai procesului în așa fel încât rezultatele să fie optime. Configurarea este stabilită în funcție de capacitatea utilajului de a genera diferite valori ale parametrilor care influențează procesul și de cunoștințele tehnice ale utilizatorului. Metoda de optimizare avută în vedere în Teza de doctorat permite utilizatorului să asigure configurarea cea mai bună cu un număr minim de experimente. Pentru atingerea acestui obiectiv se urmărește:

- utilizarea de software de analiză statistică (Excel, Minitab) în scopul optimizării prelucrării, alegându-se calea configurării procesului de o manieră care să-l facă insensibil la factorii de zgomot;
- conceperea și realizarea unui produs software care să folosească metoda planurilor de experimente pentru optimizarea statistică a prelucrării prin eroziune hidroabrazivă. Cu această aplicație se stabilește combinația optimă a nivelurilor (valorilor) parametrilor modificabili, având ca obiectiv obținerea unei rugozități minime. Instrumentul de lucru obținut poate fi inclus în software-ul utilajelor de prelucrare.

Un al patrulea obiectiv constă în validarea metodei de optimizare propusă. Rezultatele obținute sunt înregistrate în baze și prelucrate analitic și grafic cu programe specializate de tip Minitab, Microsoft Excel, Statistica Tibcosoft. Pentru realizarea acestui obiectiv se urmărește:

- efectuarea de prelucrări și măsurători prin modificarea valorilor factorilor de influență;
- introducerea și prelucrarea rezultatelor experimentale în tabele de date;
- prelucrarea rezultatelor și calculul efectelor factorilor testați;
- alegerea configurației optime a nivelurilor factorilor testați;
- validarea optimizării prelucrării cu jet hidroabraziv, realizată prin metoda proiectării robuste, prin compararea rezultatelor obținute cu cele determinate cu planuri factoriale complete.

3 STUDIUL SISTEMIC AL PROCESULUI TEHNOLOGIC DE EROZIUNE HIDROABRAZIVĂ

3.4 Algoritmizarea procesului de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă din perspectivă sistemică

Procesul de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă, privit ca un sistem deschis, formează un ansamblu organizat caracterizat prin următoarele elemente definitorii [DEA08]:

- mărimi de intrare;
- mărimi de ieșire;
- factori de influență controlabili;
- factori de influență necontrolabili.

Algoritmizarea optimizării procesului tehnologic de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă este prezentată în fig. 3.1 [BAR18].

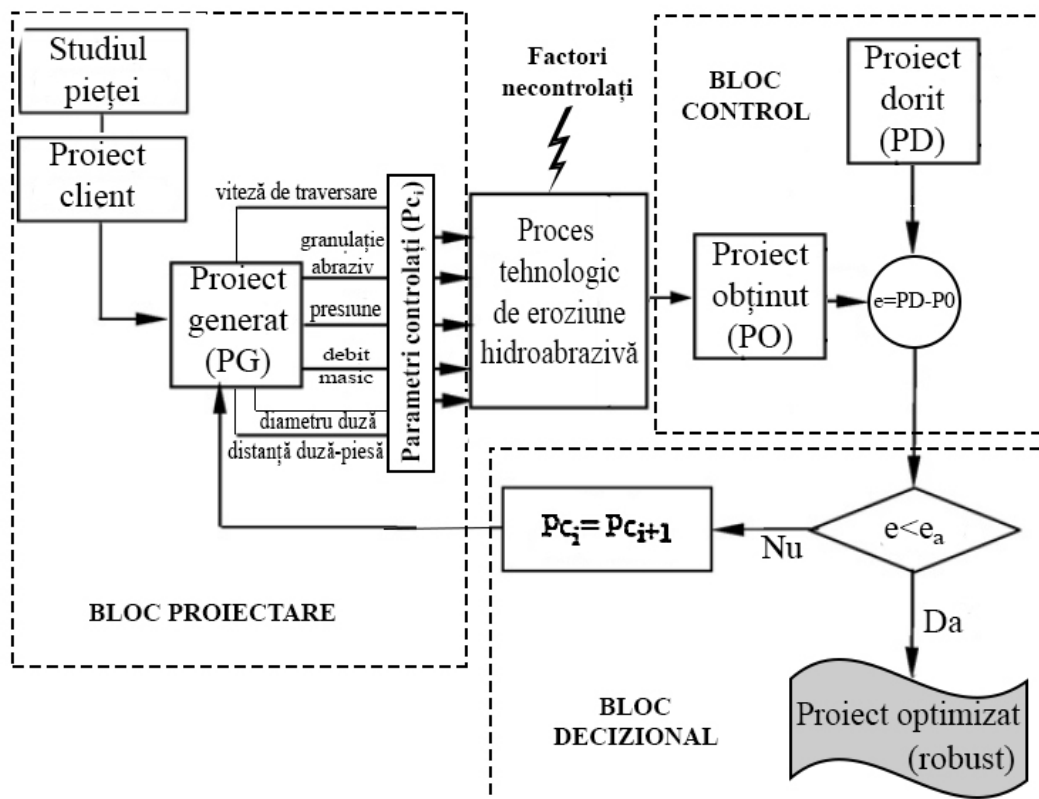


Fig. 3.1 - Algoritmizarea optimizării procesului tehnologic de eroziune hidroabrazivă

Aranjarea parametrilor controlați astfel încât, indiferent de acțiunea factorilor necontrolați, diferența dintre rezultatul dorit și rezultatul obținut ($e = PD - PO$) să fie mai mică decât o eroare admisibilă e_a conduce la obținerea rezultatului robust. Dacă $e > e_a$, se trece la o

nouă combinație de factori controlați, până când algoritmul generează o soluție de parametri controlați care insensibilizează sistemul la acțiuni și influențe necontrolate.

Considerând, de exemplu, rugozitatea suprafeței prelucrate R_a drept obiectiv al optimizării procesului de prelucrare hidroabrazivă, algoritmul din Fig. 3.1, permite următorul enunț:

$$Optim = Minim[R_a^*(Pc_i)], \quad R_a^*(Pc_i) \leq R_a(Pc_i) \quad (3.1)$$

unde R_a^* este rugozitatea obținută [μm]; R_a este rugozitatea dorită [μm]; Pc_i reprezintă configurația de parametri controlați.

În cazul obținerii unei cote dimensionale tolerate, relația (3.20) devine:

$$Optim = Minim|X^*(Pc_i) - X(Pc_i)|, \quad X^*(Pc_i) \in [a, b] \quad (3.2)$$

unde X^* este cota dimensională obținută [mm]; X este cota dimensională dorită [mm]; $[a, b]$ reprezintă intervalul dimensional tolerat admis pentru cota nominală X .

În ambele cazuri optimizarea se realizează prin minimizarea erorilor și prin insensibilizarea rezultatelor la orice alte tipuri de influență în afara celei date de parametrii controlați.

3.6 Parametrizarea procesului de eroziune hidroabrazivă

Sistemul de prelucrare cu jet hidroabraziv este unul deschis, cu intrări stabilite în funcție de posibilitățile tehnice și cu ieșiri care constau în piese finite cu cote și condiții tehnologice clare, cu parametri de influență care pot fi controlați și cu parametri variabili care acționează fără posibilități de control.

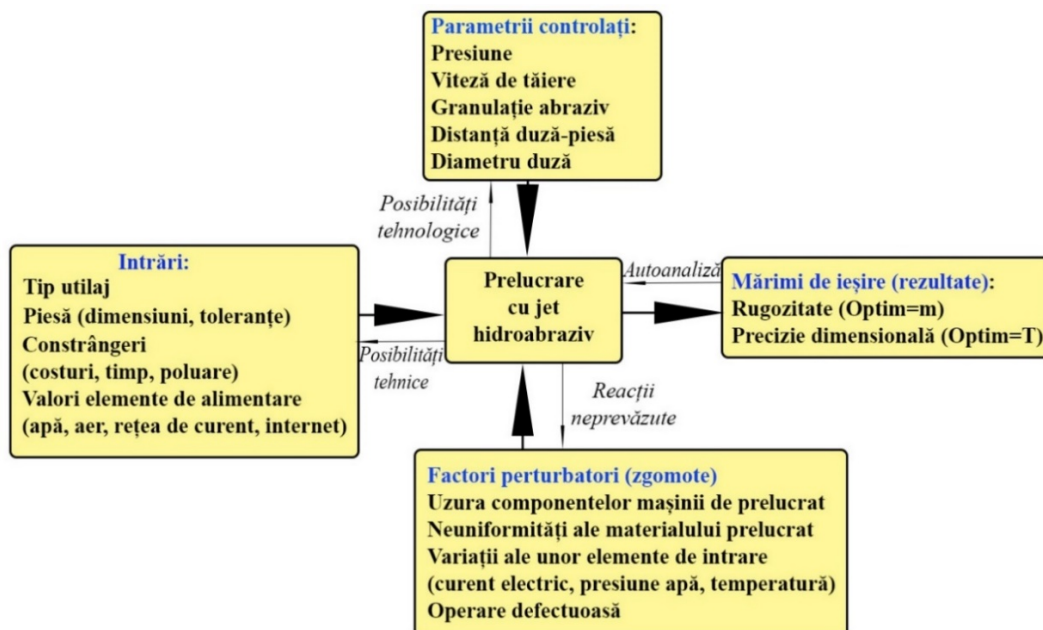


Fig. 3.2 - Procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv - diagrama parametrică [BAR17.a]

În figura 3.2 este prezentat procesul de prelucrare cu jet hidroabraziv. Optimizarea acestuia cu ajutorul metodei proiectării robuste se realizează aplicând criteriile de tipul $Optim = m$ (mai mic, mai bine) pentru rugozitate, și $Optim = T$ (atingerea țintei) pentru precizia dimensională.

3.6.3 Schema generală a sistemului deschis reprezentat de procesul de eroziune hidroabrazivă

În figura 3.3 este prezentat un tablou care cuprinde ansamblul mărimilor care influențează prelucrarea cu jet hidroabraziv.

Posibilitatea utilizatorului de a controla valoarea rezultatului se face prin configurarea parametrilor de control. Alegerea unei anumite configurații a parametrilor controlați se manifestă prin obținerea de rezultate cu o variabilitate mai mare sau mai mică față de țintă (aria lor de răspândire în jurul țintei este mai mare sau mai mică) [BAR16b].

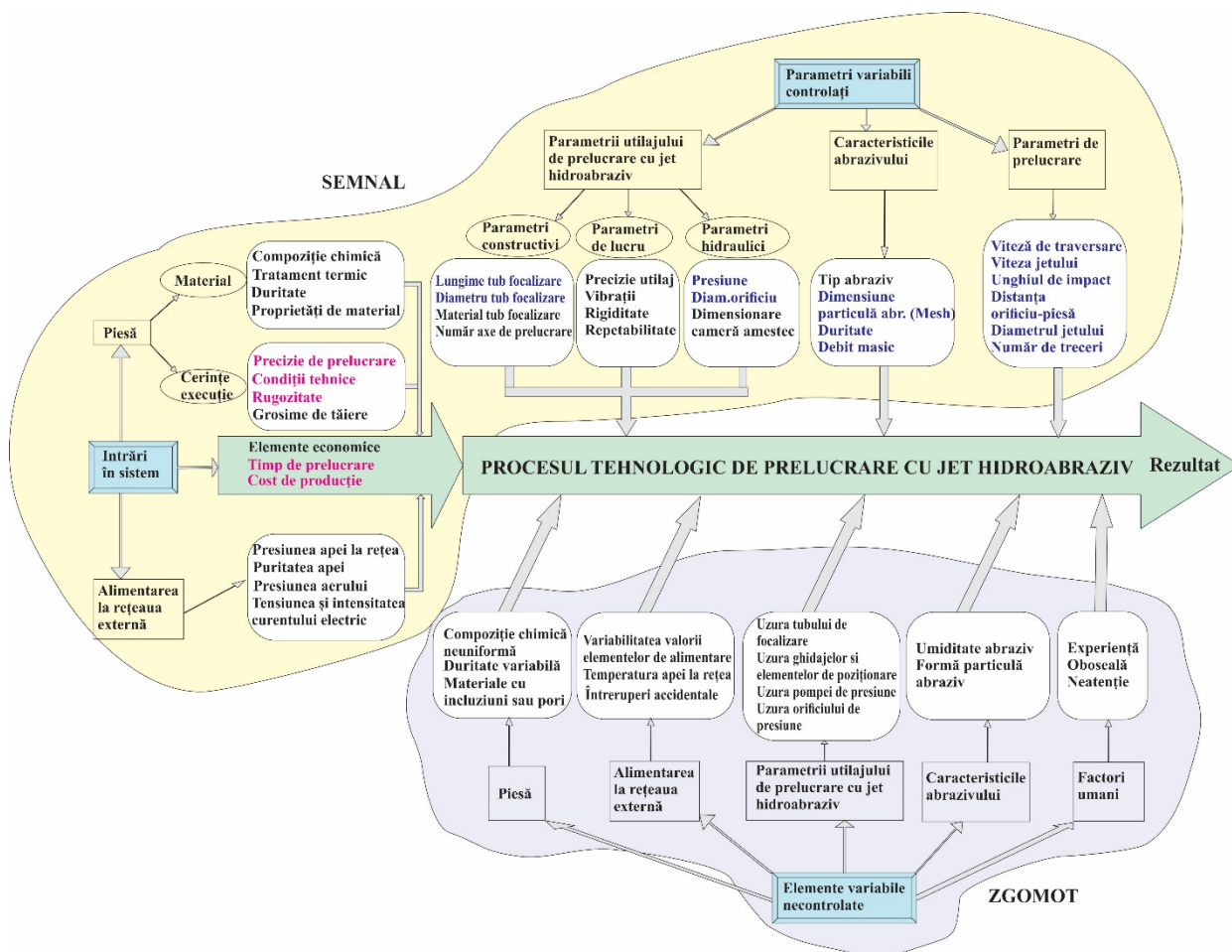


Fig. 3.3 - Ansamblul mărimilor care influențează prelucrarea cu jet hidroabraziv

3.6.5 Raportul semnal – zgomot în sistemul tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv

Raportul S/N (raportul semnal-zgomot) reprezintă raportul dintre pătratele sensibilității și variabilității [TAG04].

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Sensibilitate}^2}{\text{Variabilitate}^2} = \frac{\beta_s^2}{V_R^2} \quad (3.3)$$

unde V_R reprezintă variabilitatea rezultatelor și β_s este sensibilitatea sistemului.

Optimizarea se realizează prin calibrarea sistemului de parametri, prin definirea nivelurilor pe care acești parametri le pot avea și prin determinarea zgomotelor care afectează sistemul (Fig. 3.4).

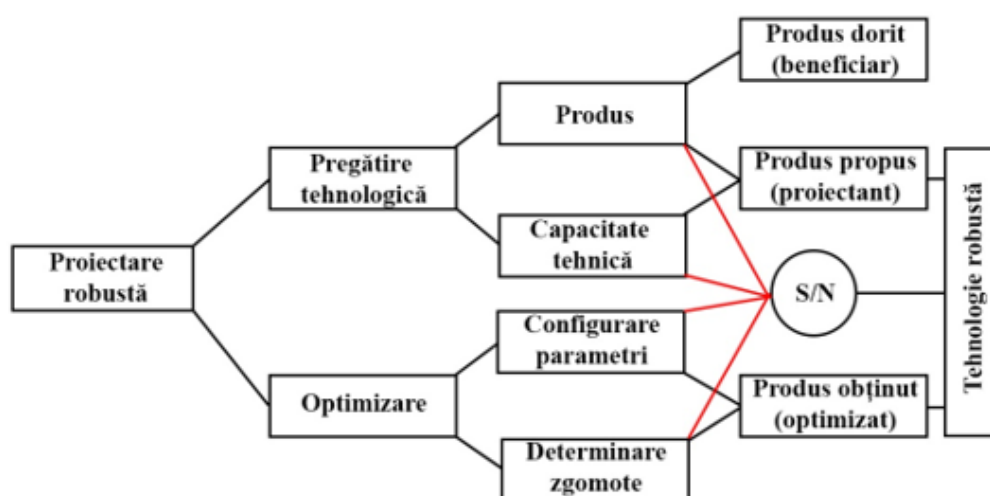


Fig. 3.4 - Relația dintre proiectarea robustă, raportul Semnal-Zgomot și tehnologia robustă rezultată

3.7 Concluzii

În acest capitol a fost realizată modelarea sistemică a procesului de eroziune hidroabrazivă. Au fost utilizate instrumente statistice bazate pe modele matematice și grafice, realizându-se algoritmi de optimizare și scheme logice de configurare originale. Tehnologia de eroziune hidroabrazivă a fost studiată ca un sistem deschis, supus acțiunii semnalelor de intrare, configurabil cu ajutorul parametrilor variabili controlați, afectat de zgomote, elemente variabile necontrolate, și furnizând rezultate.

Au fost identificate și analizate elementele componente ale acestui sistem deschis și modul de acțiune în scopul obținerii unor rezultate constant bune. În acest sens a fost stabilită caracteristica de calitate ce urmează a fi optimizată, criteriul de optimizare utilizat și metoda de optimizare folosită. De asemenea, au fost identificați parametrii configurabili ai căror modificare influențează caracteristica de calitate.

4 METODE DE OPTIMIZARE A PROCESULUI DE PRELUCRARE CU JET HIDROABRAZIV

4.2 Cercetări experimentale privind influența mărimilor de intrare asupra performanțelor procesului tehnologic de prelucrare cu jet hidroabraziv

Experimentele au fost executate pe mașina de tăiat cu jet hidroabraziv MaxiEM 1530, pe un oțel aliat X5CrNiMo17-12-2. Probele au avut grosimea de 30 mm, iar mărimile de intrare studiate au fost viteza de traversare V_t [mm/s], presiunea P [MPa], distanța duză-piesă h [mm], granulația abrazivului G [Mesh] și diametrul tubului de amestec D [mm]. Rezultatul urmărit al procesului tehnologic a fost creșterea calității suprafeței prelucrate, concretizată prin rugozitatea R_a [μm], calculată ca medie a 3 măsurători, la jumătatea probei (15 mm).

Fiecărui parametru configurabil i s-au atribuit 3 valori posibile conform tabelului 4.1.

Tabelul 4.1 Valorile parametrilor de configurare

Nr. crt.	Viteză de traversare V_t [mm/s]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diametrul tubului D [mm]
1	40	250	1	80	0,25
2	50	300	1,5	100	0,50
3	60	345	2	120	0,83

Dependența rugozității suprafeței prelucrate în funcție de modificarea fiecărui factor analizat a fost studiată menținând ceilalți parametri la o valoare constantă (*testarea unui singur factor odată*).

Tabelul 4.2 Valorile rugozității obținute prin modificarea vitezei de traversare

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
40	300	1,5	100	0,50	1,901	1,857	1,893	1,883
50	300	1,5	100	0,50	2,238	2,195	2,210	2,214
60	300	1,5	100	0,50	2,906	3,122	2,844	2,957

Tabelul 4.3 Valorile rugozității obținute prin modificarea presiunii

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. duzei D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
50	250	1,5	100	0,50	3,159	3,372	3,288	3,273
50	300	1,5	100	0,50	2,145	2,237	2,084	2,155
50	345	1,5	100	0,50	1,720	1,854	1,829	1,801

Tabelul 4.4 Valorile rugozității obținute prin modificarea distanței duză-piesă

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
50	300	1	100	0,50	1,929	1,987	2,017	1,977
50	300	1,5	100	0,50	2,198	2,204	2,211	2,204
50	300	2	100	0,50	2,305	3,412	2,362	2,693

Tabelul 4.5 Valorile rugozității obținute prin modificarea granulației abrazivului

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
50	300	1,5	80	0,50	2,101	1,951	1,992	2,014
50	300	1,5	100	0,50	2,225	2,179	2,213	2,205
50	300	1,5	120	0,50	2,316	2,428	2,294	2,346

Tabelul 4.6 Valorile rugozității obținute prin modificarea diametrului duzei

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
50	300	1,5	100	0,25	2,437	2,501	2,392	2,443
50	300	1,5	100	0,50	2,270	2,193	2,198	2,220
50	300	1,5	100	0,83	2,016	2,122	1,948	2,028

Graficele aferente rezultatelor prezentate în tabelele de mai sus sunt arătate în figurile 4.1, ..., 4.4.

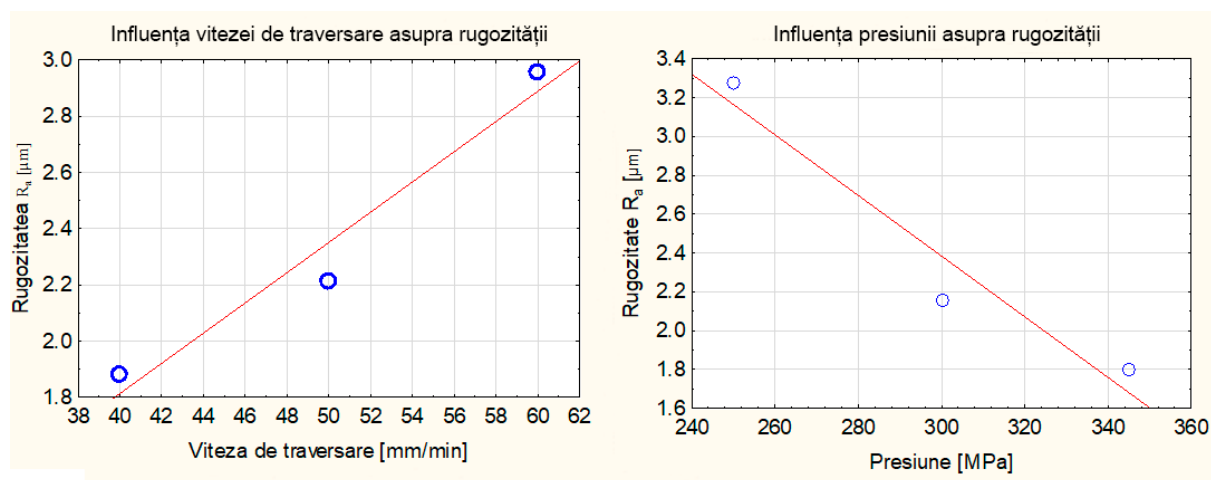


Fig. 4.1 - Reprezentarea grafică a influenței vitezei de traversare și a presiunii asupra rugozității

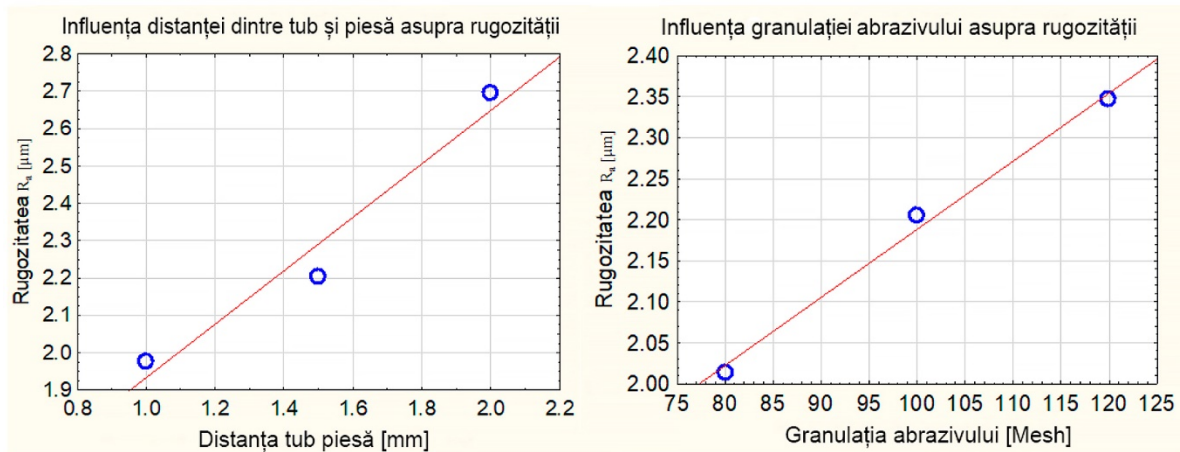


Fig. 4.2 - *Reprezentarea grafică a influenței distanței dintre tub și piesă și a granulației abrazivului asupra rugozității*

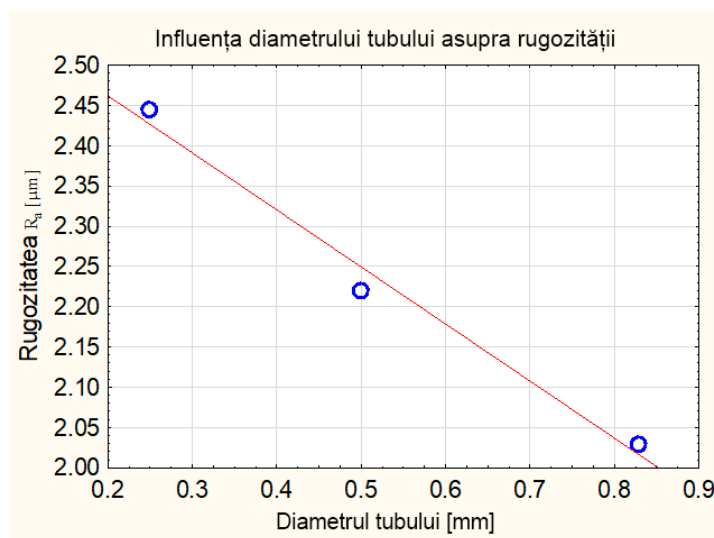


Fig. 4.3 - *Reprezentarea grafică a influenței diametrului tubului asupra rugozității*

Testarea a câte unui singur factor odată a permis obținerea unor concluzii privind influența fiecăruia dintre ei asupra calității procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv. Astfel, din Fig. 4.1 se remarcă faptul că odată cu creșterea vitezei de traversare, calitatea suprafeței scade, iar odată cu mărirea presiunii, rugozitatea scade. Din figura 4.2 rezultă faptul că mărirea distanței dintre duză și piesă sau utilizarea unor abrazivi cu o granulație mai mare influențează negativ rugozitatea. Graficul din figura 4.3 prezintă influența diametrului tubului de amestec asupra rugozității. Se observă o îmbunătățire a calității obținute odată cu creșterea diametrului tubului, datorată creșterii debitului masic.

În figura 4.4 se poate observa variația calității suprafeței rezultate în procesul de debitare cu jet hidroabraziv în funcție de valoarea parametrilor de configurare.

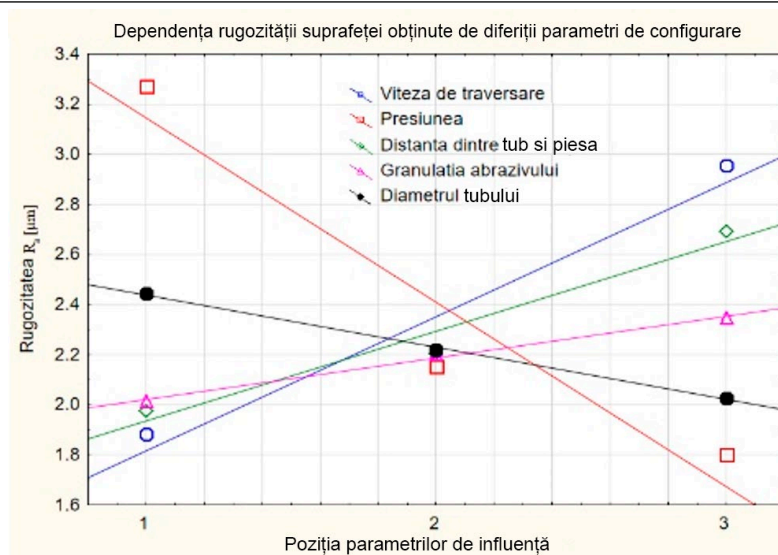


Fig. 4.4 - Influența variației diferiților parametri de control asupra rugozității

O calitate bună a suprafeței se obține alegând o viteză de traversare mică, o presiune de lucru ridicată, o distanța dintre duză și piesă cât mai mică, o granulație mai fină a abrazivului și un diametru al tubului mai mare.

Un răspuns mai amplu la problema influenței mărimilor de intrare asupra performanțelor procesului tehnologic s-a obținut utilizând *metoda suprafețelor de răspuns*, metodă aplicată prin *variația a doi parametri*, considerându-se și interacțiunea care apare între ei. Datele obținute au fost rezumate în tabelele 4.7...4.10. Testele ce prezintă valori ale configurațiilor identice nu au fost repetate (ex.: pentru tab. 4.7, ...4.10, pozițiile 4, 5 și 6 prezintă valori ale configurațiilor identice). S-a procedat în acest fel pentru a putea păstra constanță în interpretarea rezultatelor.

Tabelul 4.7 Valorile rugozității obținute prin modificarea vitezei de traversare și a presiunii

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
40	250	1,5	100	0,5	2,265	2,347	2,291	2,301
50	250	1,5	100	0,5	2,689	2,717	2,758	2,721
60	250	1,5	100	0,5	3,471	3,369	3,403	3,414
40	300	1,5	100	0,5	1,901	1,857	1,893	1,883
50	300	1,5	100	0,5	2,238	2,195	2,210	2,214
60	300	1,5	100	0,5	2,906	3,122	2,844	2,957
40	345	1,5	100	0,5	1,612	1,704	1,649	1,655
50	345	1,5	100	0,5	1,972	2,034	1,938	1,981
60	345	1,5	100	0,5	2,526	2,724	2,605	2,618

Tabelul 4.8 Valorile rugozității obținute prin modificarea vitezei de traversare și a distanței duză-piesă

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
40	300	1	100	0,5	1,673	1,702	1,695	1,690
50	300	1	100	0,5	2,059	2,121	2,045	2,075
60	300	1	100	0,5	2,764	2,639	2,680	2,694
40	300	1,5	100	0,5	1,901	1,857	1,893	1,883
50	300	1,5	100	0,5	2,238	2,195	2,210	2,214
60	300	1,5	100	0,5	2,906	3,122	2,844	2,957
40	300	2	100	0,5	2,008	2,117	2,085	2,070
50	300	2	100	0,5	2,358	2,423	2,416	2,399
60	300	2	100	0,5	3,183	3,141	3,227	3,813

Tabelul 4.9 Valorile rugozității obținute prin modificarea vitezei de traversare și a granulației

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
40	300	1,5	80	0,5	1,874	1,797	1,810	1,827
50	300	1,5	80	0,5	2,125	2,009	2,087	2,073
60	300	1,5	80	0,5	2,723	2,954	2,861	2,846
40	300	1,5	100	0,5	1,901	1,857	1,893	1,883
50	300	1,5	100	0,5	2,238	2,195	2,210	2,214
60	300	1,5	100	0,5	2,906	3,122	2,844	2,957
40	300	1,5	120	0,5	2,141	2,076	2,093	2,103
50	300	1,5	120	0,5	2,352	2,279	2,401	2,344
60	300	1,5	120	0,5	3,141	3,169	3,128	3,146

Tabelul 4.10 Valorile rugozității obținute prin modif. vitezei de traversare și a diametrului tubului

Viteză de traversare V_t [mm/min]	Presiune P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Granulația abrazivului G [Mesh]	Diam. tub D [mm]	Rugozitatea R_a [μm]			
					Testul			
					1	2	3	\bar{y}
40	300	1,5	100	0,25	2,075	2,147	2,059	2,093
50	300	1,5	100	0,25	2,311	2,298	2,373	2,327
60	300	1,5	100	0,25	3,174	3,096	3,149	3,139
40	300	1,5	100	0,5	1,901	1,857	1,893	1,883
50	300	1,5	100	0,5	2,238	2,195	2,210	2,214
60	300	1,5	100	0,5	2,906	3,122	2,844	2,957
40	300	1,5	100	0,83	1,861	1,837	1,722	1,806
50	300	1,5	100	0,83	2,177	2,182	2,096	2,151
60	300	1,5	100	0,83	2,785	2,844	2,782	2,803

Efectele modificării vitezei de traversare și al unui alt parametru configurabil, în condiția menținerii celorlalți parametri fiși, precum și efectele interacțiunii celor doi parametri variabili sunt prezentate în figurile 4.5 și 4.6.

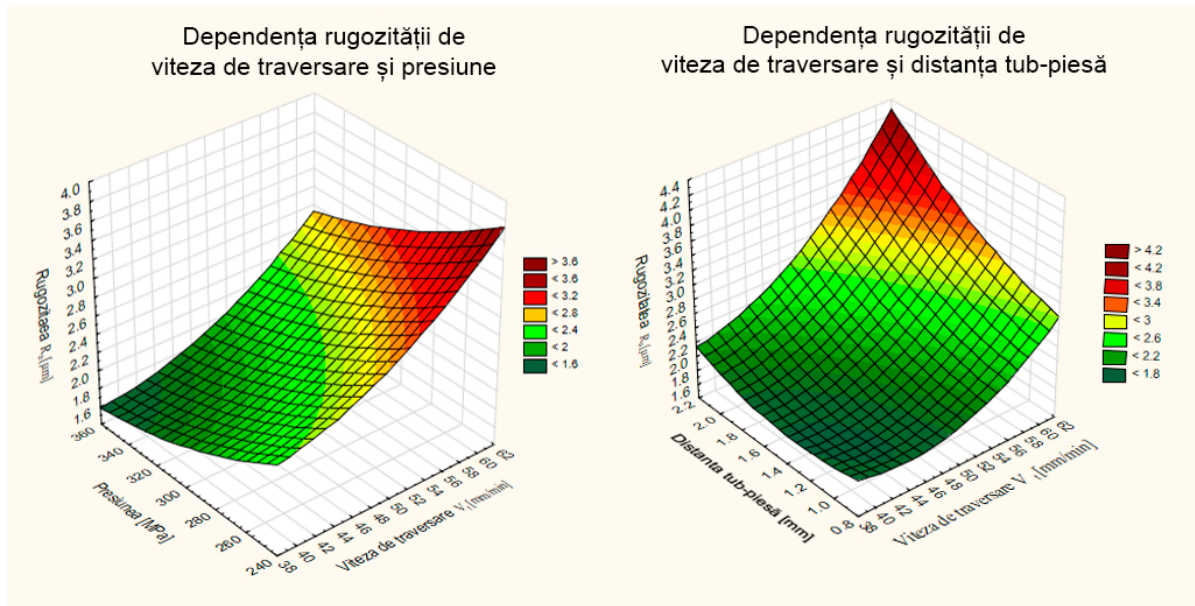


Fig. 4.5 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea vitezei de traversare și a presiunii, respectiv față de modificarea vitezei de traversare și a distanței tub-piesă

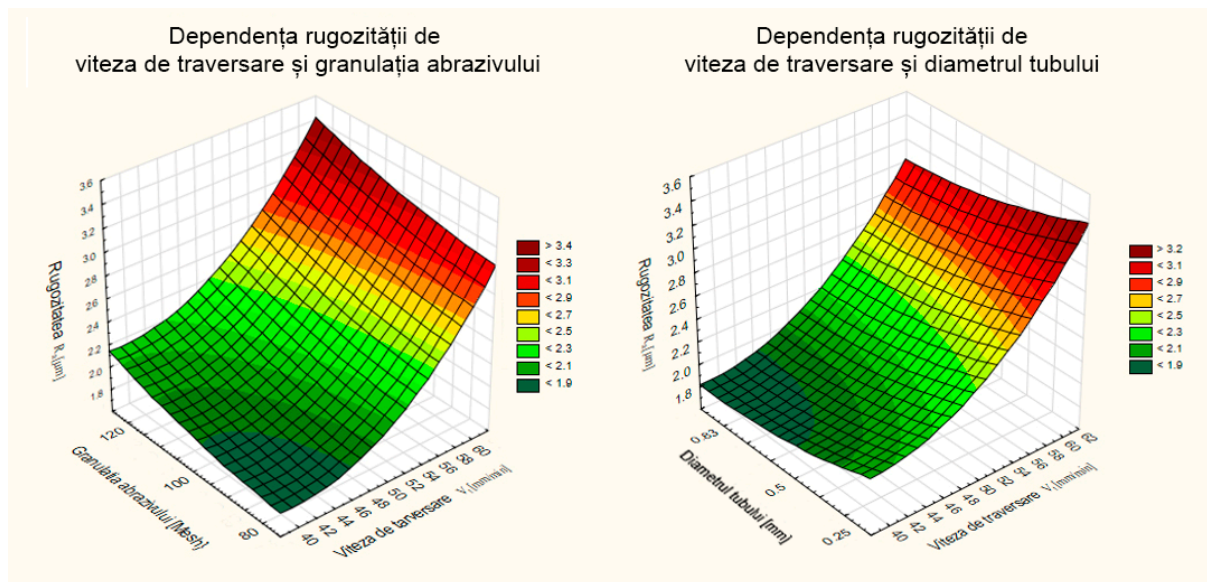


Fig. 4.6 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea vitezei de traversare și a granulației abrazivului, respectiv față de modificarea vitezei de traversare și a diam. tubului

Analiza rezultatelor permite următoarele concluzii:

- creșterea vitezei de traversare, combinată cu mărirea distanței dintre tub și piesă conduce la creșterea accentuată a rugozității, calitatea suprafeței având de suferit;
- scăderea presiunii concomitent cu creșterea vitezei de traversare influențează negativ calitatea suprafeței;
- o viteză mare de traversare + o granulație crescută afectează și ele calitatea suprafețelor prelucrate;
- o viteză mare de traversare + micșorarea diametrului tubului conduc la creșterea rugozităților obținute.

În continuare, sunt prezentate date obținute în urma măsurării rugozității suprafețelor prelucrate după efectuarea configurării altor parametri de influență, luați câte doi.

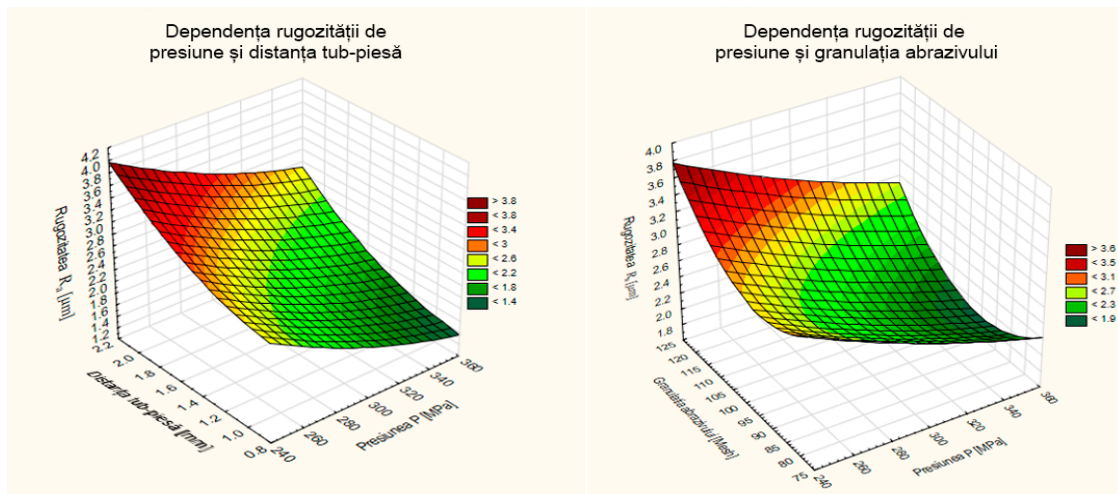


Fig. 4.7 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea presiunii și a distanței duză – piesă, respectiv față de modificarea presiunii și a granulației abrazivului

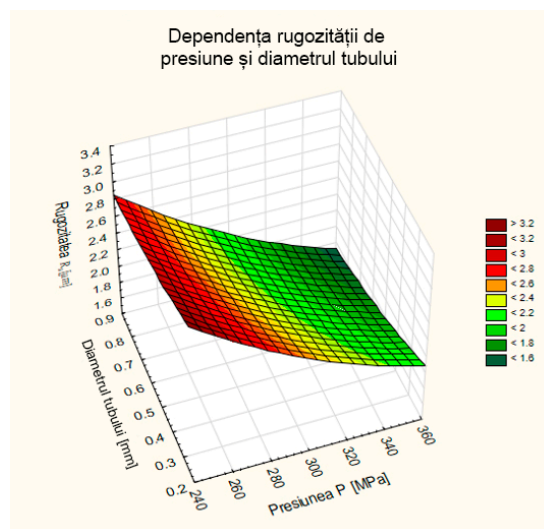


Fig. 4.8 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea presiunii și a diametrului tubului

Din cele trei grafice de mai sus se desprind următoarele concluzii:

- creșterea presiunii de lucru concomitent cu scăderea distanței dintre tub și piesă asigură obținerea unei rugozități mai mici;
- rugozitatea scade odată cu creșterea presiunii și cu folosirea unor abrazivi cu o granulație mai mică;
- utilizarea unor presiuni ridicate și a unor tuburi cu diametre mai mari favorizează obținerea unor rugozități mai mici.

Următoarele grafice prezintă evoluția rugozității suprafețelor prelucrate ținând cont și de modificarea valorilor ultimelor perechi de parametri studiați (distanță tub – piesă/granulație abraziv, distanță tub – piesă/diametrul tubului, respectiv granulație abraziv/diametrul tubului).

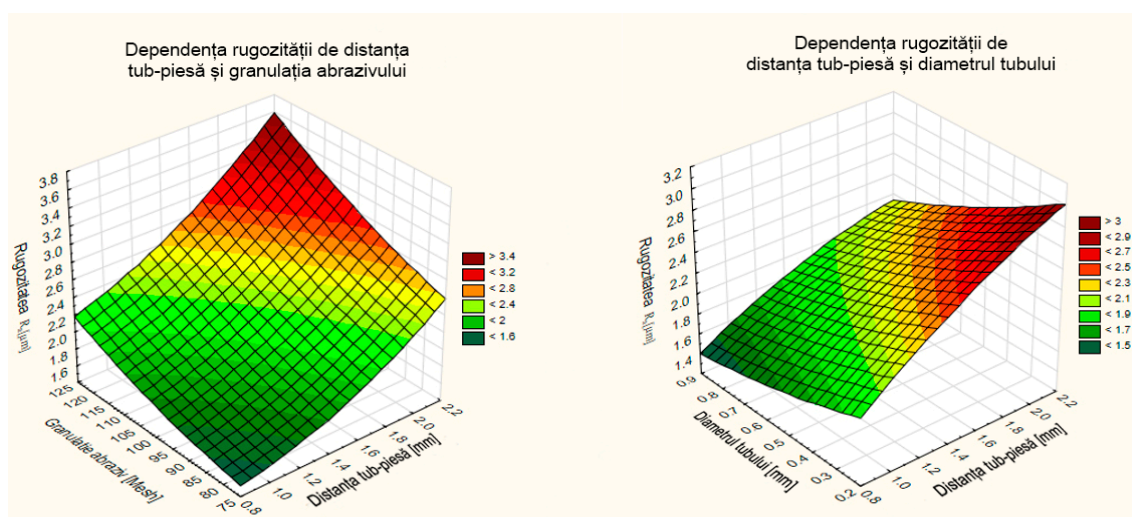


Fig. 4.9 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea distanței dintre tub-piesă și granulația abrazivului, respectiv față de modificarea distanței tub-piesă și diametrul tubului

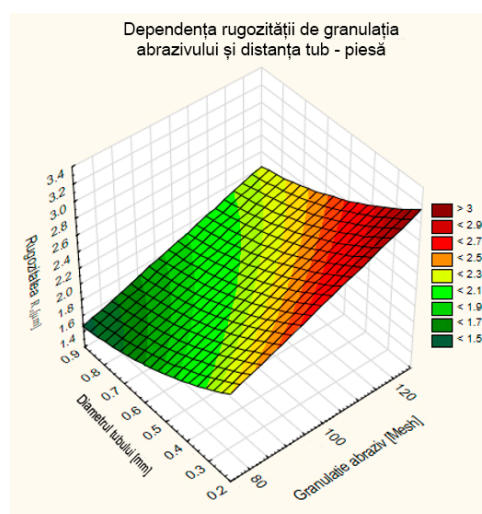


Fig. 4.10 - Reprezentarea grafică a dependenței rugozității față de modificarea granulației abrazivului și a diametrului tubului

Rezultatele obținute arată că:

- o bună rugozitate se obține atunci când se utilizează o granulație fină și când distanța tub – piesă este mică;
- un diametru mai mare al tubului și o distanță tub – piesă cu valori mici determină o mai bună rugozitate;
- granulații fine și diametre mari ale tubului asigură obținerea unor rugozități mai mici.

Experimentele efectuate au demonstrat influența parametrilor de control asupra procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv, atât individual, cât și grupat în perechi. În continuare, în capitolele următoare se propune utilizarea ca metode de cercetare a prelucrării cu jet hidroabraziv a experimentărilor bazate pe planuri factoriale complete și apoi pe metodologia Taguchi - a planurilor de experiențe ortogonale factoriale fracționate.

4.3 Concluzii

În acest capitol au fost stabilite metodologiile de experimentare necesare aflării acelei combinații de factori care permite optimizarea răspunsului sistemului de prelucrare.

Au fost studiate posibilitățile de experimentare, luându-se în calcul variantele:

- testarea unui singur factor odată;
- testarea după metoda suprafețelor de răspuns (modificarea a doi factori);
- metoda tuturor combinațiilor posibile;
- metoda testării ortogonale fracționate.

Au fost realizate experimente referitoare la metoda modificării unui singur factor odată și la metoda suprafețelor de răspuns, rezultatele fiind stocate în baze de date. Acestea au fost interpretate și analizate cu ajutorul reprezentărilor grafice executate cu aplicația profesională *Statistica*, obținându-se caracteristicile de influență pentru fiecare parametru configurabil utilizat.

5 EXPERIMENTĂRI DERULATE DUPĂ PLANURI FACTORIALE COMPLETE

5.3 Alegerea parametrilor utilizați în configurarea operației de tăiere cu jet hidroabraziv

La fel ca și în Capitolul 4, parametrii de lucru de interes pentru prelucrarea cu jet hidroabraziv care au fost luați în considerare sunt următorii:

- presiunea jetului – parametru notat cu (A) și având 3 niveluri: A1, A2, A3;
- distanța tub - piesă, notată cu (B) și având 3 niveluri: B1, B2, B3;
- viteza de traversare – notată cu (C) și având 3 niveluri: C1, C2, C3;
- diametrul tubului, notat cu (D) și având 2 niveluri: D1, D2;
- granulația abrazivului, notată cu (E) și având 2 niveluri: E1, E2.

Configurarea presiunii s-a realizat cu ajutorul software-ului mașinii, atribuindu-se 3 valori: 350 MPa, 300 MPa și 250 MPa. Au fost utilizate două tuburi de mixare, având diametele $D_1 = 0,83$ mm și $D_2 = 0,25$ mm și două tipuri de abraziv având granulația $E_1 = 80$ Mesh și $E_2 = 100$ Mesh. Parametrul reprezentat de viteza de traversare V_t a fost ales în așa fel încât la presiune minimă, utilizând un tub cu diametrul minim și un abraziv cu o granulație mai mică, poziționând capul de tăiere la distanța maximă față de piesă, să fie realizată tăierea. Modificarea vitezei de traversare V_t s-a realizat indirect, prin varierea grosimii semifabricatului. S-au obținut astfel 3 viteze de traversare diferite: $V_{t1} = 30$ mm/min, $V_{t2} = 38$ mm/min, $V_{t3} = 46$ mm/min, atribuite parametrului C.

Distanța dintre capul de tăiere (tub) și piesă, atribuită parametrului B, a fost configurată pentru 3 valori diferite: 1 mm, 1,5 mm și 2 mm.

Valorile atribuite parametrilor de configurare ai procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv sunt centralizate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 Valorile parametrilor de configurare a procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv

Poziția parametrului	Presiunea P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Viteza de traversare V_t [mm/min]	Diametrul tubului D [mm]	Granulația abrazivului [Mesh]
	A	B	C	D	E
1	350	1	30	0,83	80
2	300	1,5	38	0,25	100
3	250	2	46	-	-

5.5 Desfășurarea experimentelor

Experimentele efectuate au urmărit obținerea unei rugozități R_a minime a suprafeței prelucrate, prin asocierea factorilor de influență într-o combinație optimă.

Valorile parametrilor prezentați în Tabelul 5.1, cu excepția vitezei de traversare V_t , au fost utilizate pentru toate experimentele. Viteza de traversare V_t a fost modificată și calculată pentru fiecare tip de material în parte din cauza prelucrabilității diferite a acestora. Valorile atribuite parametrului V_t din Tabelul 5.1 sunt valabile pentru oțelul SAE 3310. Valorile vitezei de traversare V_t pentru fiecare material sunt prezentate în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2 Valorile vitezei de trecere V_t atribuite parametrului C în procesul de configurare

Viteza de traversare	SAE 3310	SAE 8620	316L (Inox)	201 (Inox)	ASTM A2	EN AB 43000 AlSi10Mg	EN AB 45100 AlSi5Cu
$V_{t1}=C_1$ [mm/min]	30	40	33	38	20	55	65
$V_{t2}=C_2$ [mm/min]	38	49	43	47	25	65	75
$V_{t3}=C_3$ [mm/min]	46	58	49	56	30	75	85

Toate eșantioanele prelucrate au avut aceeași grosime $t = 30$ mm, executându-se debitări pe o distanță de 40 mm. Pentru fiecare combinație de factori s-au făcut câte 5 măsurători ale rugozității R_a , pe o distanță de 4 mm (Fig. 5.1). Măsurarea rugozității R_a s-a făcut în 3 zone diferite (Fig. 5.1): zona I, între 0 – 10 mm, la aproximativ 5 mm de zona de impact, zona II, între 10 – 20 mm, la aproximativ 15 mm de zona de impact și zona III, între 20 și 30 mm, la aproximativ 25 mm de zona de impact.

Pentru cazul unor experimentări derulate după un *plan factorial complet*, diferitele combinații ale parametrilor de lucru au condus la obținerea a 108 probe pentru fiecare material (trei parametri cu câte 3 nivele + doi parametri cu câte 2 nivele $\rightarrow 3^3 \cdot 2^2 = 108$ experimente).

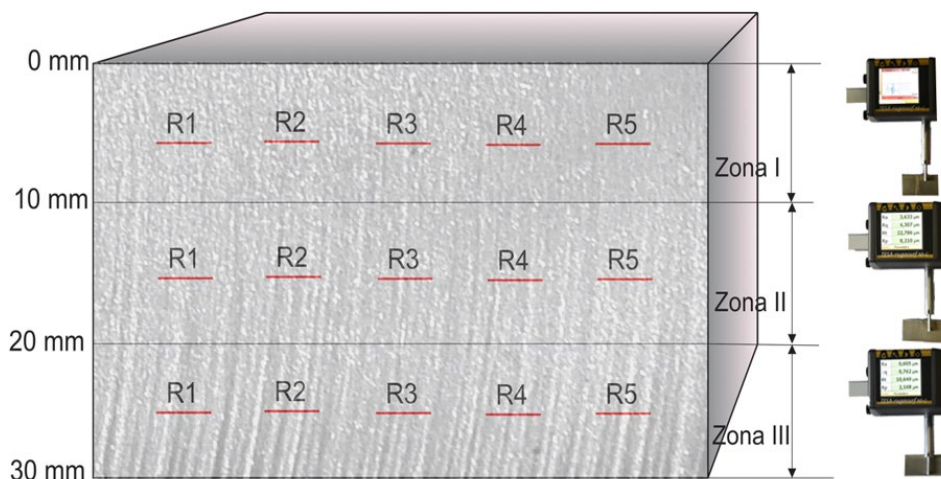


Fig. 5.1 - Zonele de măsurare a rugozității R_a

5.6 Interpretarea rezultatelor

Pe baza datelor conținute în tabelele A1.1, ..., A1.3 din ANEXA 1 au fost trasate graficele necesare observării evoluției rugozității suprafeței prelucrate în funcție de variația parametrilor de influență. La trasarea graficelor au fost utilizate valorile medii ale rugozității pentru fiecare test. În figurile 5.2 este arătat graficul care descrie influența *presiunii jetului* asupra rugozității măsurate la diferite distanțe față de punctul de impact al jetului.

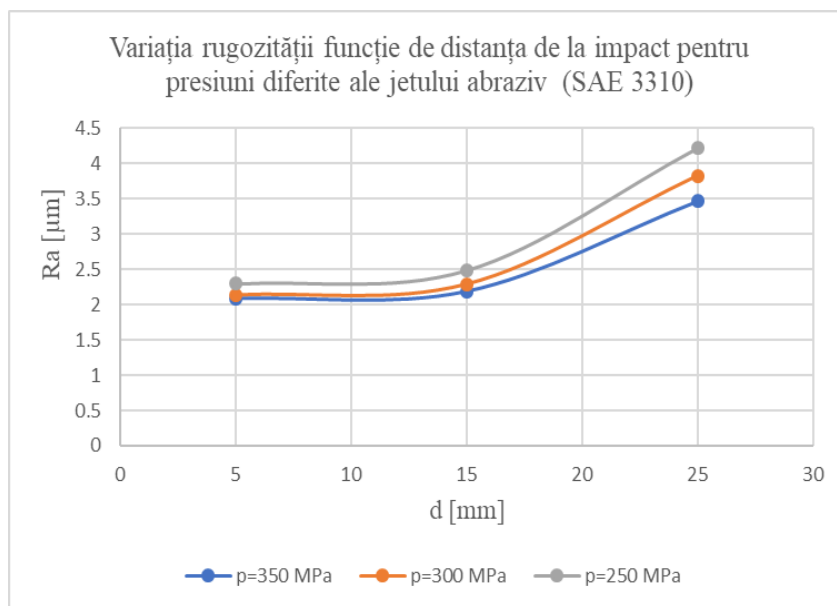


Fig. 5.2 - Influența modificării presiunii jetului hidroabraziv asupra rugozității (ceilați 4 parametri studiați au atribuite valoarea aferentă poziției 1 – Test 1,2,3)

Variația rugozității pentru presiunile utilizate, pe lungimea tăieturii se poate observa în graficul din figura 5.2. Astfel pentru presiunea $p = 350$ MPa, rugozitatea crește de la $2,088 \mu\text{m}$ la 5 mm de zona de impact, până la $3,469 \mu\text{m}$ la 25 mm de zona de impact, înregistrând o creștere de $66,13\%$, pentru presiunea $p = 300$ MPa, creșterea rugozității pe aceeași distanță este de $78,96\%$, iar pentru $p = 250$ MPa, creșterea rugozității este de $83,78\%$.

$$R_a = f(p, d) \quad (5.1)$$

Expresiile matematice ce determină aceste valori, conform Microsoft Excel sunt:

$$- p = 350 \text{ MPa} \quad R_a = 0,589d^2 - 1,666d + 3,165 \quad (5.2)$$

$$- p = 300 \text{ MPa} \quad R_a = 0,692d^2 - 1,925d + 3,368 \quad (5.3)$$

$$- p = 250 \text{ MPa} \quad R_a = 0,772d^2 - 2,127d + 3,649 \quad (5.4)$$

Graficul din figura următoare (5.3) descrie influența *distanței tub – piesă* asupra rugozității măsurate la diferite distanțe față de punctul de impact al jetului.

$$R_a = f(h, d) \quad (5.5)$$

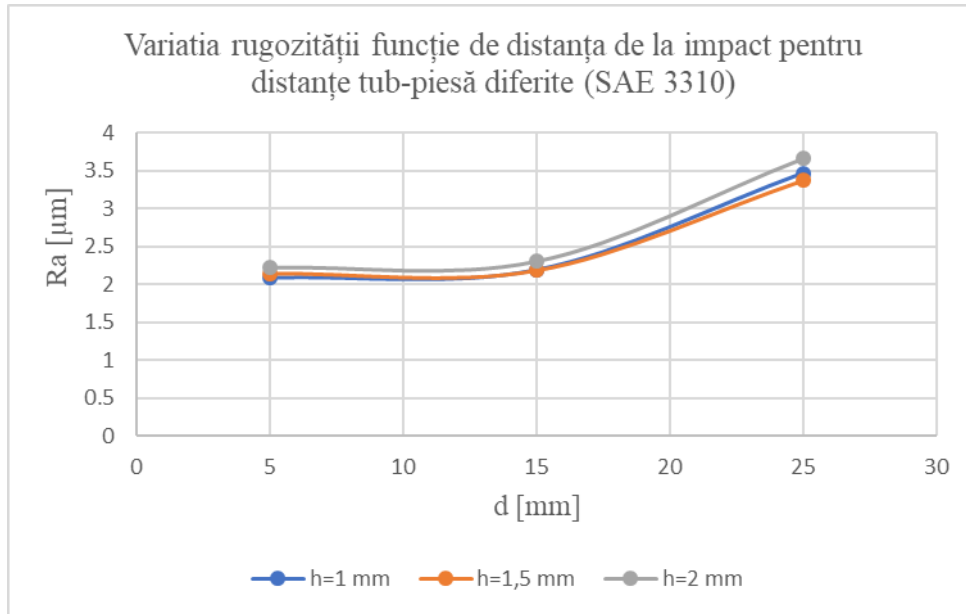


Fig. 5.3 - Influența modificării distanței dintre tub și piesă asupra rugozității (ceilalți 4 parametri sunt setați în pozițiile 1,1,1,1- Test 1, 4, 7)

Distanța tub-piesă are o influență relativ mică, creșterea rugozității fiind de 6,32% la 5 mm, de 5,07% la 15 mm și de 8,48% la 25 mm.

Un alt parametru de mare influență asupra calității suprafeței este viteza de traversare V_t , practic viteza de avans care determină timpul efectiv de lucru.

$$R_a = f(V_t, d) \quad (5.6)$$

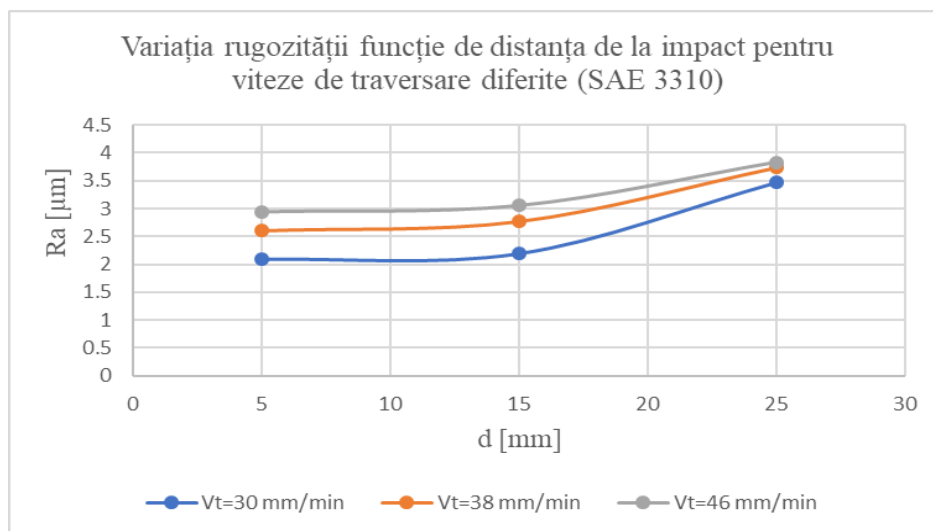


Fig. 5.4 – Influența vitezei de traversare asupra rugozității (ceilalți 4 parametri sunt setați în pozițiile 1,1,1,1- Test 1, 10, 19)

Din analiza grafică rezultă următoarele ecuații de stare:

$$- V_t = 30 \text{ mm/min} \quad R_a = 0,0059d^2 - 0,1077d + 2,4793 \quad (5.7)$$

$$- V_t = 38 \text{ mm/min} \quad R_a = 0,004d^2 - 0,0638d + 2,8287 \quad (5.8)$$

$$- V_t = 46 \text{ mm/min} \quad R_a = 0,0033d^2 - 0,0553d + 3,1364 \quad (5.9)$$

Viteza de traversare este un factor cu influență mare asupra rugozității tăieturii. Rezultatele obținute indică o creștere a rugozității odată cu majorarea vitezei de traversare astfel: creșterea vitezei de la 30 mm/min la 46 mm/min conduce la o creștere a rugozității cu 40,94% la 5 mm de la impact, cu 39,56% la 15 mm de la impact și cu 10,49% la 25 mm de la impact.

Diametrul tubului este un alt parametru a cărui influență a fost studiată. Încercările s-au efectuat utilizându-se 2 capete de lucru cu $D_1 = 0,83$ mm și $D_2 = 0,25$ mm. Influența modificării diametrului tubului de ieșire a abrazivului este prezentată în graficul din figura 5.5.

$$R_a = f(D, d) \quad (5.10)$$

$$- D = 0,83 \text{ mm} \quad R_a = 0,0059d^2 - 0,1077d + 2,4793 \quad (5.11)$$

$$- D = 0,25 \text{ mm} \quad R_a = 0,003d^2 - 0,0119d + 1,9005 \quad (5.12)$$

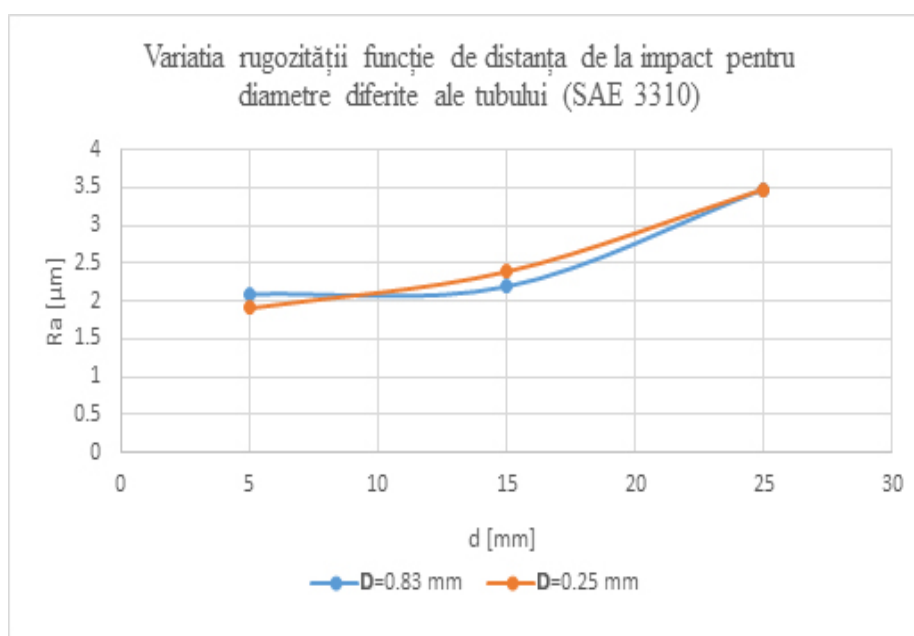


Fig. 5.5 - Influența diametrului tubului de ieșire asupra rugozității (ceilalți 4 parametri sunt setați în pozițiile 1,1,1,1 - Test 1, 28)

Interpretarea rezultatelor conduce la concluzia că diametrul tubului are o influență mică asupra rugozității. Astfel, la 5 mm de la impact, rugozitatea este mai bună la utilizarea tubului cu $D = 0,25$ mm cu 8,97%, pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 1 și cu 1% pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 2. La 15 mm de la impact, rugozitatea este mai bună la utilizarea tubului cu $D = 0,83$ mm cu 9,5%, pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 1 și cu 7,32% pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 2.

La 25 mm de la impact, rugozitatea este mai bună la utilizarea tubului cu $D = 0,25$ mm cu 0,2%, pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 1 și cu 4,36% pentru poziționarea parametrilor A, B, C, și E în poz. 2. Utilizarea celor două capete de lucru (tuburi) cu diametre

diferite, $D_1 = 0,83$ mm și $D_2 = 0,25$ mm, influențează calitatea suprafeței obținute într-o măsură moderată. Practic, în zona I și în zona III rugozitatea R_a nu este influențată de diametrul tubului. Zona II prezintă o scădere a rugozității odată cu creșterea diametrului tubului, fiind cel mai puternic influențată de schimbarea diametrului tubului de ieșire.

Un alt factor modificat în desfășurarea experimentelor a fost *granulația abrazivului*. Au fost utilizate două tipuri de abraziv, cu granulații de 80 Mesh și 100 Mesh. Graficele trasate pentru cele două tipuri de abraziv sunt prezentate în figurile următoare.

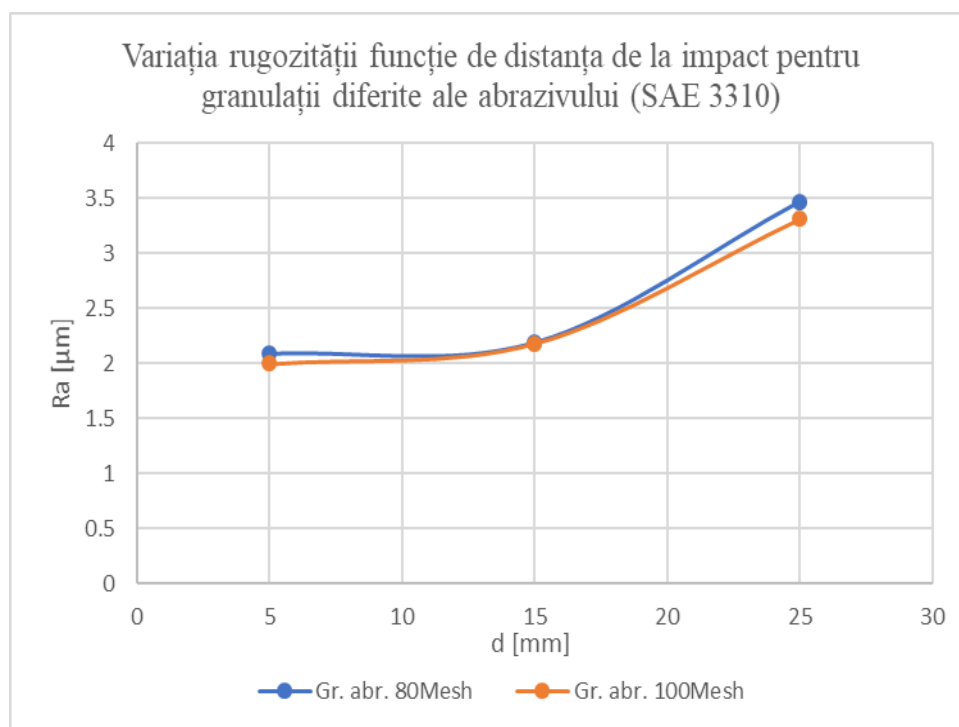


Fig. 5.6 - Influența granulației abrazivului asupra rugozității (ceilalți 4 parametri sunt setați în pozițiile 1,1,1,1- Test 1, 55)

$$R_a = f(G, d) \quad (5.13)$$

unde G reprezintă granulația abrazivului [Mesh].

Din analiza graficului din figura 5.6 rezultă următoarele ecuații de variație a rugozității:

$$- G = 80 \text{ Mesh} \quad R_a = 0,0059d^2 - 0,1077d + 2,4793 \quad (5.14)$$

$$- G = 100 \text{ Mesh} \quad R_a = 0,0047d^2 - 0,0758d + 2,258 \quad (5.15)$$

Granulația abrazivului are o influență neglijabilă asupra rugozității suprafețelor prelucrate. Aceleași experimente au fost efectuate și pentru oțelul **ASTM A2**. Duritatea mult mai mare a oțelului de scule ASTM A2, tratat termic la 60 HRC (650 HB), față de SAE 3310, normalizat, cu o duritate de 30 HRC (276 HB), a condus la o modificare a prelucrabilității de la 78, pentru SAE 3310, la 60 pentru ASTM A2.

Valorile aferente măsurătorilor efectuate asupra unor probe confecționate din acest material sunt incluse în tabelele din ANEXA 2. Pe baza acestor valori s-au trasat grafice care descriu variația rugozității obținute în funcție de modificările valorilor parametrilor de lucru.

Calitatea suprafeței este mai bună (rugozitatea are valori mai mici) comparativ cu cea obținută pentru oțelul SAE 3310 pentru zonele I și II. Zona III prezintă o rugozitate asemănătoare cu cea a oțelului SAE 3310, cu observația că scăderea presiunii jetului hidroabraziv influențează mai mult creșterea rugozității

Experimentările derulate după planuri factoriale complete au permis studiul tuturor combinațiilor posibile ale nivelurilor parametrilor care influențează prelucrarea cu jet hidroabraziv.

5.7 Concluzii

Experimentele derulate după planuri factoriale complete au fost executate pe utilaje moderne. Interpretarea rezultatelor a fost făcută utilizând concepte inovative din statistică, în acest fel asigurându-se studierea procesului de optimizare a tehnologiei hidroabrazive.

Rezultatele au fost înregistrate în baze de date și prezentate în Anexa 1 și Anexa 2.

A fost studiat comportamentul rugozității suprafețelor debitate utilizând toate combinațiile posibile ale nivelurilor parametrilor de lucru (trei parametri cu câte 3 niveluri + doi parametri cu câte 2 niveluri), realizându-se câte 5 măsurători pe 3 paliere diferite ale prelucrării, la intrarea jetului (5 mm de la zona de impact), la mijlocul zonei prelucrate (15 mm de la zona de impact), precum și la ieșirea jetului hidroabraziv (25 mm de la zona de impact). Au fost trasate și analizate curbe ale variației rugozității, studiindu-se influența fiecărui factor pentru diferite combinații ale celorlați 4 factori. În acest sens, viteza de traversare V_t , urmată de presiunea utilizată P au cea mai mare influență asupra calității suprafețelor.

Efectuarea experimentelor după planuri complete a permis alegerea unor combinații optime pentru fiecare zonă de măsurare. Astfel, pentru oțelul SAE 3310, la 5 mm de la zona de impact, combinația optimă a celor 5 parametri de configurare este 1,1,1,2,2, ($R_a = 1,774 \mu\text{m}$), la 15 mm de zona de impact, combinația optimă este 1,1,1,1,2, ($R_a = 2,183 \mu\text{m}$) și la 25 mm de zona de impact, în zona de ieșire a jetului, combinația optimă este 1,1,1,1,2 ($R_a = 3,313 \mu\text{m}$), unde 1 și 2 reprezintă valori ale nivelurilor parametrilor de configurare conform tabelului 5.1.

În situația în care numărul parametrilor analizați și cel al nivelurilor lor este mare, așa cum este cazul supus cercetărilor din teza de doctorat, această metodă de lucru nu este recomandată. Din acest motiv, în capitolul următor este propusă și utilizată metoda experimentărilor derulate după planuri ortogonale factoriale fracționate (metoda Taguchi).

6 EXPERIMENTĂRI DERULATE DUPĂ PLANURI ORTOGONALE FACTORIALE FRAȚIONATE

6.1 Metoda clasică a planurilor de experimente

Metoda clasică a planurilor de experimente oferă răspunsul ținând cont doar de media aritmetică a măsurărilor efectuate cu aceeași combinație de parametri, fără să ia în considerare dispersia acestora. Utilizând această metoda există posibilitatea ca o anumită combinație de parametri să acționeze în așa fel încât media răspunsurilor să fie conformă cu ținta, dar unele răspunsuri să fie în afara intervalului dorit

Taguchi rezolvă această problemă, introducând calculul raportului Semnal/Zgomot.

6.2 Metoda planurilor de experimente Taguchi

Metoda planurilor de experimente Taguchi, [DEA08], [YAN03], are la bază raportul Semnal/Zgomot (S/N) utilizat în identificarea configurației factorilor, configurația optimă corespunzând unei valori maxime a raportului S/N.

Maximizarea raportului S/N reprezintă de fapt realizarea insensibilizării răspunsului sistemului la factorii de zgomot. Spre deosebire de metoda clasică a planurilor de experimente, unde răspunsul este calculat pe baza mediei aritmetice \bar{y} , Taguchi introduce un alt element în stabilirea configurației optime, și anume dispersia s^2 :

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (6.1)$$

unde s^2 este dispersia răspunsurilor sistemului la aceeași configurație a parametrilor, s reprezintă abaterea standard calculată pentru fiecare test cu aceeași configurație, \bar{y} reprezintă media aritmetică a răspunsurilor efectuate cu aceeași configurație, y_i este răspunsul i al sistemului.

Funcția pierderii de calitate pentru un criteriu de minimizat (cazul rugozității R_a) are expresia:

$$L_y = k[s^2 + \bar{y}^2] \quad (6.2)$$

Având în vedere relațiile 3.47, 3.48 și 6.6 rezultă:

$$\frac{S}{N} = -10 \log[s^2 + \bar{y}^2] \quad (6.3)$$

Răspunsul sistemului privind raportul S/N la nivelul i al parametrilor A, B, ..., K se calculează ca medie aritmetică a rapoartelor S/N la acel nivel (vezi rel. 6.3)

$$\bar{r}_i = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{S}{N}\right)_i}{m} \quad (6.4)$$

unde \bar{r}_i este răspunsul mediu al sistemului cuantificat ca raport S/N în cazul unui anumit parametru aflat la nivelul i .

Efectul variabilității valorilor se calculează ca diferență între răspunsul mediu sistemului S/N, pentru nivelul i și media variabilității valorilor măsurate:

$$E_{r_i} = \bar{r}_i - \bar{U} \quad (6.5)$$

unde E_{r_i} reprezintă efectul parametrului K, cuantificat ca valoare a raportului S/N, la nivelul i , iar \bar{U} reprezintă media aritmetică a valorilor medii a raportului S/N.

Comparația între cele două metode este favorabilă celei a planurilor de experimente Taguchi deoarece ține cont de variabilitatea răspunsului prin calculul raportului S/N. Posibilitatea programului Microsoft Excel de a efectua calcule statistice și larga răspândire a acestuia au condus la conceperea unei aplicații ușor de accesat care permite utilizatorului configurarea rapidă a parametrilor de intrare, cu un număr minim de teste, bazat pe implementarea metodelor Taguchi de optimizare, utilizând planurile ortogonale factoriale fracționate.

6.3 Optimizări Taguchi cu ajutorul unei aplicații Excel

Optimizarea prelucrării suprafețelor cu jet hidroabraziv a presupus adoptarea ca mărime relevantă de ieșire din sistem a *rugozității suprafeței prelucrate* (Ra), ale cărei valori sunt dependente de parametrii de intrare și de influența diferiților factori de zgomot.

Criteriul utilizat pentru optimizarea rugozității este criteriul de minimizare.

În continuare se stabilesc parametrii de influență configurabili și nivelurile (valorile) pe care aceștia le pot lua.

Tabelul 6.1 Valorile parametrilor de configurare și a nivelurilor acestora

Poziția parametrului	Presiunea P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Viteza de traversare V_t [mm/min]	Diametrul tubului D [mm]	Granulația abrazivului [Mesh]
	A	B	C	D	E
1	350	2	V_{t1}	0,83	100
2	250	1	V_{t2}	0,25	80

V_{t1} și V_{t2} se stabilesc în funcție de tipul materialului prelucrat.

Alegerea matricei de experimente este o consecință directă a numărului parametrilor a căror influență este studiată și a numărului de niveluri pe care aceștia le iau. În cazul de față se alege matricea L_8 .

Aplicația Excel (fig.6.1), o contribuție originală la Teză, conține un tabel cu testele efectuate pentru fiecare configurație și cu rezultatele necesare parcurgerii metodei de optimizare.

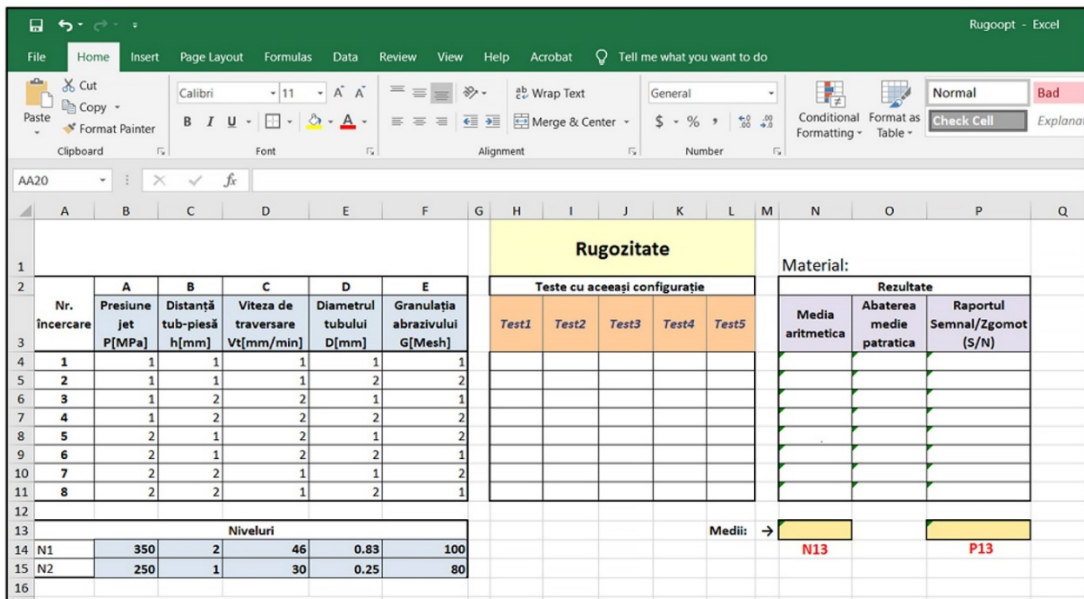


Fig. 6.1 – Fereastra aplicației Excel conținând matricea de experiențe cu parametri stabiliți (stânga), tabelul de înregistrare a testelor experimentale (mijloc), tabelul de calcul a rezultatelor obținute (dreapta) și nivelul parametrilor utilizați pentru efectuarea testelor (jos)

Aplicarea celor două metode de experimentare este exemplificată în Fig. 6.2 și Fig. 6.3, conform cerințelor expuse.

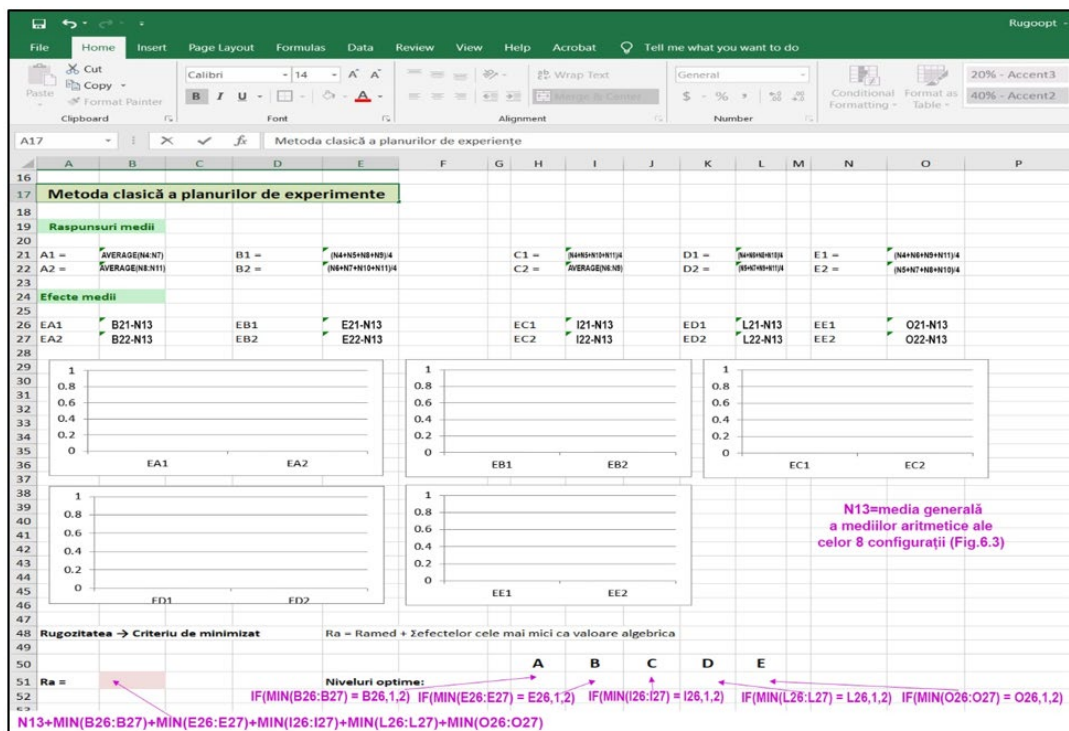


Fig. 6.4 – Fereastra aplicației Excel conținând rezolvarea după metoda clasică

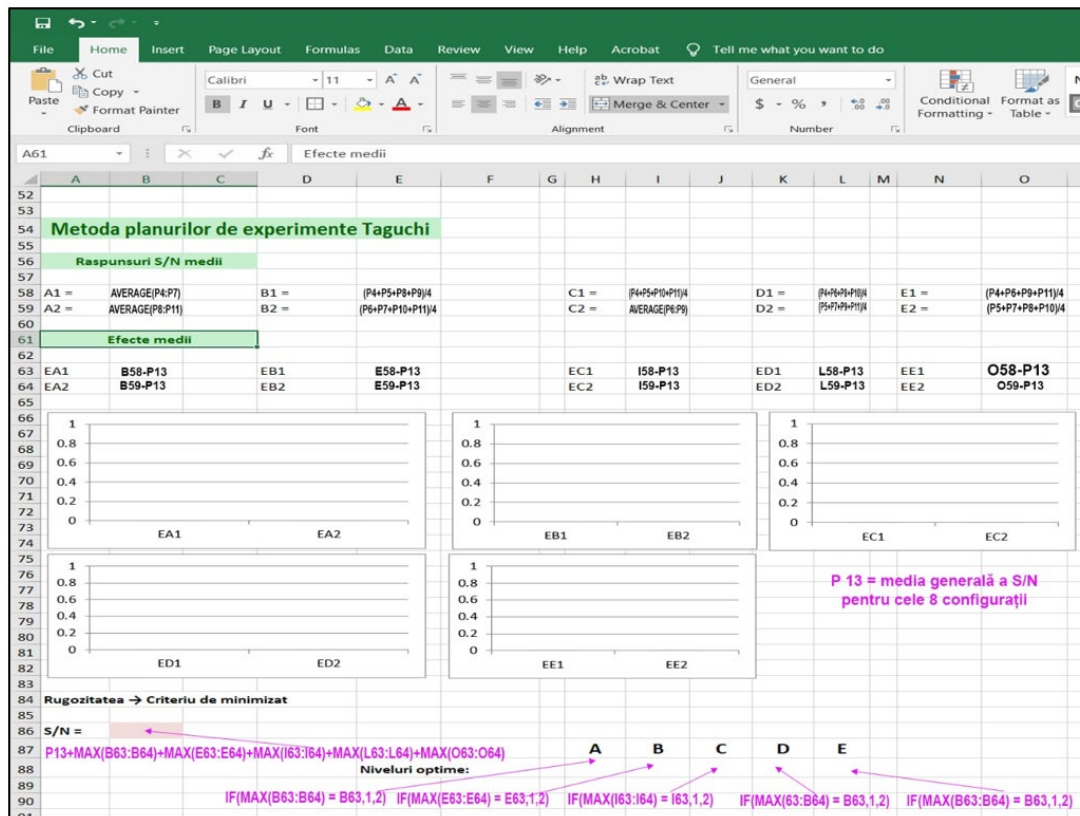


Fig. 6.3 – Fereastra aplicației Excel conținând rezolvarea după metoda planurilor de experimente ortogonale factoriale fracționare Taguchi

6.4 Desfășurarea experimentelor

Materialele alese acoperă o gamă largă de oțeluri și aliaje de aluminiu:

Valorile vitezei de traversare s-au stabilit conform paragrafului 5.5 și sunt conform cu tabelul 6.2. Prelucrabilitatea și durabilitatea diferită a materialelor a condus la calcularea și modificarea vitezei de traversare V_t pentru fiecare material în parte.

Tabelul 6.2 Valorile vitezelor de traversare pentru diferitele materiale testate

Viteza de traversare	SAE 3310	SAE 8620	316L (Inox)	201 (Inox)	ASTM A2	EN AB 43000 AlSi10Mg	EN AB 45100 AlSi5Cu
$V_{t1}=C_1$ [mm/min]	46	58	49	56	30	75	85
$V_{t2}=C_2$ [mm/min]	30	40	43	47	20	55	65

S-au executat prelucrări de debitare pe o distanță de 20 mm. Prelucrarea s-a oprit și a fost repornită în aceeași configurație. Pentru fiecare variantă de configurare a parametrilor s-au făcut câte 5 măsurători ale rugozității R_a , pe o distanță de 4 mm. Măsurarea rugozității R_a s-a făcut la aproximativ 15 mm de zona de impact.

Rezultatele obținute în urma măsurării au fost înregistrare și prelucrate cu aplicația Excel (Fig.6.5). În Tabelul 6.3 este arătată matricea de experimente utilizată (L_8).

Tabelul 6.3 Matricea planurilor de experimente pentru oțelul SAE 3310

Parametri					R _a							
A	B	C	D	E	Test							
P	h	V _t	D	G	1	2	3	4	5	\bar{y}	s	S/N
1	1	1	1	1	3,634	3,417	3,702	3,501	3,459	3,542	0,12068	-10,991479
2	1	1	2	2	4,071	3,622	3,79	3,842	3,956	3,856	0,16995	-11,731618
3	1	2	2	1	2,177	1,986	2,372	1,893	2,249	2,135	0,19473	-6,625540
4	1	2	2	2	2,376	2,692	2,211	2,465	2,35	2,418	0,17784	-7,6954149
5	2	1	2	1	4,166	3,782	4,047	3,928	3,87	3,958	0,15066	-11,957119
6	2	1	2	2	3,204	3,061	2,785	2,848	2,903	2,960	0,1704	-9,4407892
7	2	2	1	1	3,713	3,507	3,299	3,462	3,516	3,499	0,14791	-10,887624
8	2	2	1	2	3,681	3,927	3,935	3,743	3,837	3,824	0,11192	-11,655438
Media										3,274		-10,12312

Rugozitate											Material: SAE 3310		
Nr. încercare	Presiune jet P[MPa]	Distanță tub-piesă h[mm]	Viteza de traversare Vt[mm/min]	Diametrul tubului D[mm]	Granulația abrazivului G[Mesh]	Teste cu aceeași configurație					Rezultate		
						Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Media aritmetica	Abaterii medie patratică	Raportul Semnal/Zgomot (S/N)
1	1	1	1	1	1	3.634	3.417	3.702	3.501	3.459	3.542	0.1206826	-10.99147943
2	1	1	2	2	2	4.071	3.622	3.79	3.842	3.956	3.856	0.1699506	-11.73161832
3	1	2	2	1	1	2.177	1.986	2.372	1.893	2.249	2.135	0.1947391	-6.6255409
4	1	2	2	2	2	2.376	2.692	2.211	2.465	2.35	2.418	0.1778474	-7.695414953
5	2	1	2	1	2	4.166	3.782	4.047	3.928	3.87	3.958	0.1506678	-11.95711918
6	2	1	2	2	1	3.204	3.061	2.785	2.848	2.903	2.960	0.1704075	-9.440789233
7	2	2	1	1	2	3.713	3.507	3.299	3.462	3.516	3.499	0.1479165	-10.88762427
8	2	2	1	2	2	3.681	3.927	3.935	3.743	3.837	3.824	0.1119232	-11.65543805
Niveluri											Medii: → 3.274475 -10.12312969		
N1	350	2	46	0.83	100				N13				
N2	250	1	30	0.25	80				P13				

Fig. 6.5 – Înregistrarea rezultatelor testelor și calculul mediei aritmetice \bar{y} , abaterii pătratică medii s^2 și a raportului semnal/zgomot S/N pentru materialul SAE 3310

Rezultatele oferite de aplicația Excel pentru metoda clasică a planurilor de experimente se observă în Fig. 6.6:

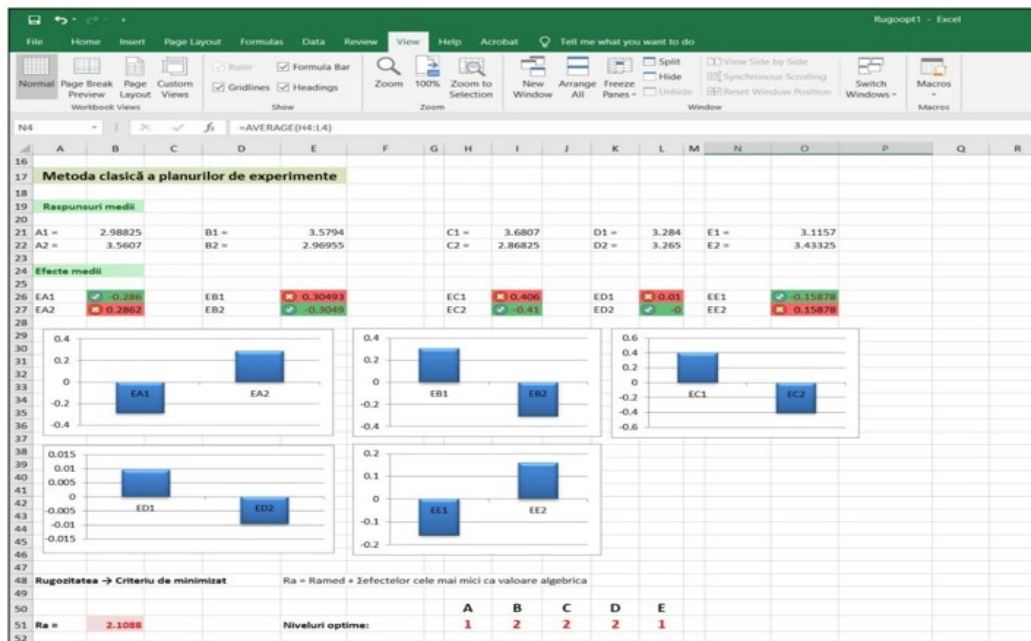


Fig. 6.6 – Aplicarea metodei clasice a planurilor de experimente pentru oțelul SAE 3310

Combinăția optimă a nivelurilor factorilor rezultată în urma aplicării metodei clasice este **A1, B2, C2, D2, E1**, adică $P = 350 \text{ MPa}$; $h = 1 \text{ mm}$; $V_t = 30 \text{ mm/min}$; $D = 0,25 \text{ mm}$; $G = 100 \text{ Mesh}$. Rugozitatea preconizată a fi obținută cu această combinație de parametri este $R_a = 2,1088 \text{ } [\mu\text{m}]$.

Aplicarea metodei planurilor de experimente Taguchi se observă în Fig. 6.7.

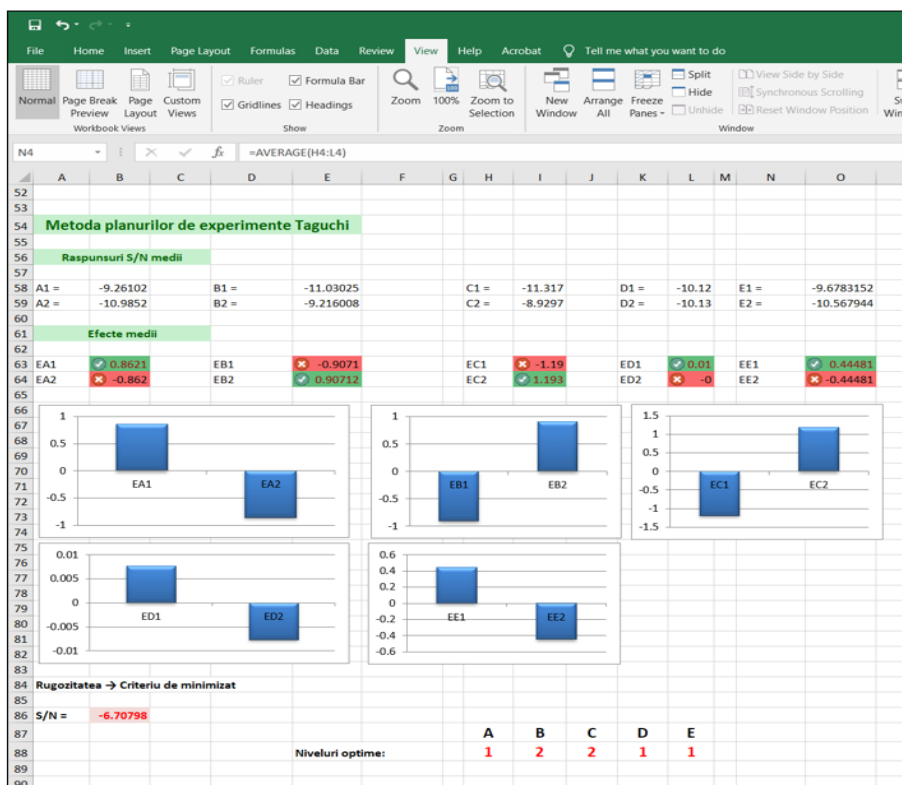


Fig. 6.7 – Aplicarea metodei planurilor de experimente Taguchi pentru oțelul SAE 3310

În acest caz, combinația optimă a nivelurilor factorilor este **A1, B2, C2, D1, E1**, adică $P = 350 \text{ MPa}$; $h = 1 \text{ mm}$; $V_t = 30 \text{ mm/min}$; $D = 0,83 \text{ mm}$; $G = 100 \text{ Mesh}$.

Următorul material încercat este oțelul **SAE 8620**. În Fig. 6.8 se poate vedea fereastra de înregistrare a datelor pentru oțelul SAE 8620, iar în Fig. 6.9 și 6.10 se observă rezultatele obținute prin aplicarea celor 2 metode.

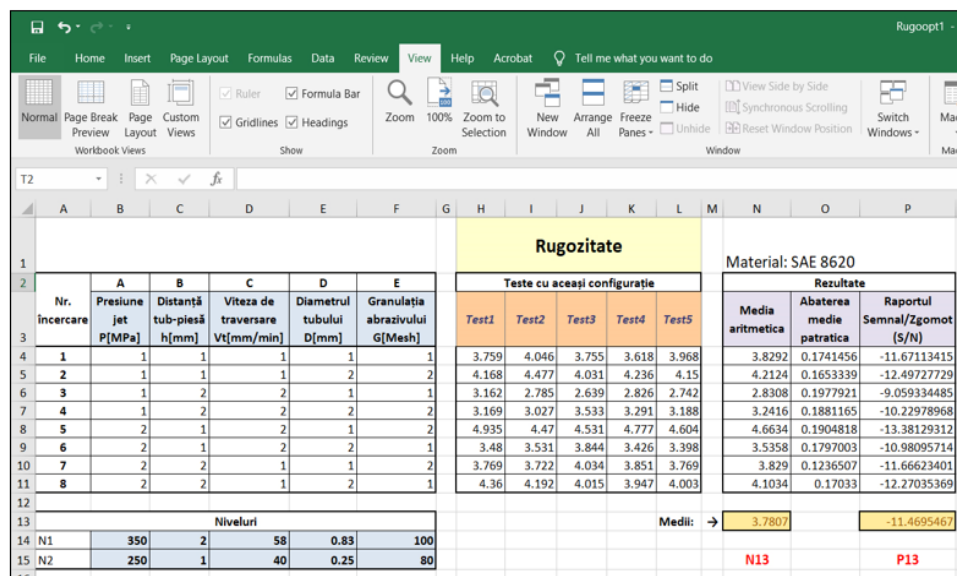


Fig. 6.8 – Înregistrarea datelor și calculul mediei aritmetice \bar{y} , a abaterii patratică medii s^2 și a raportului semnal/zgomot S/N pentru oțelul SAE 8620

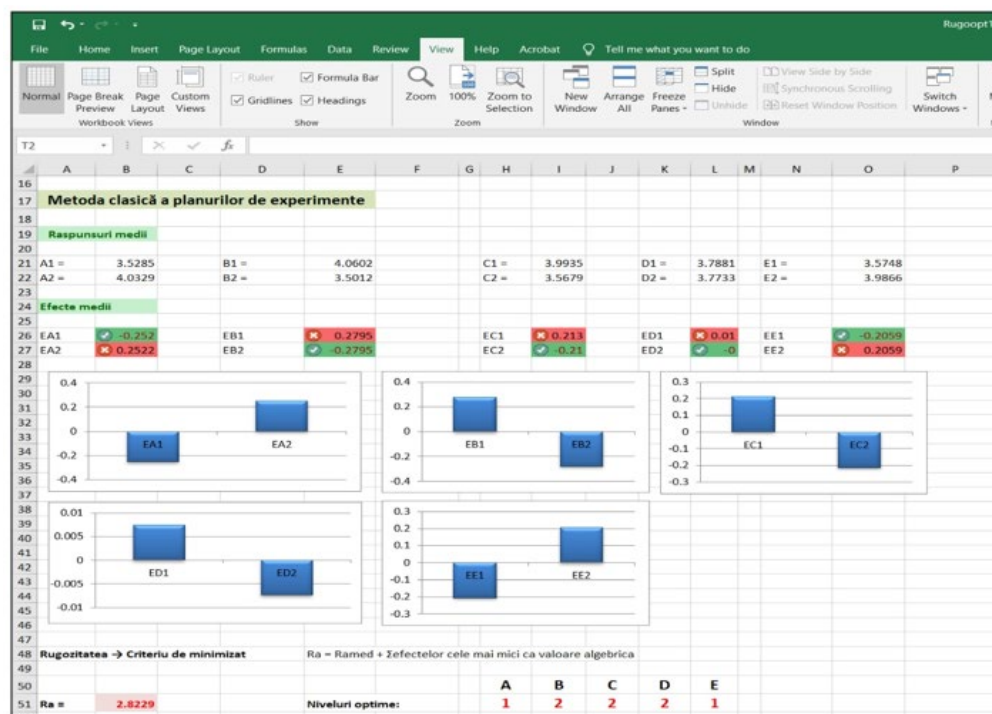


Fig. 6.9 – Aplicarea metodei clasice a planurilor de experimente pentru oțelul SAE 8620

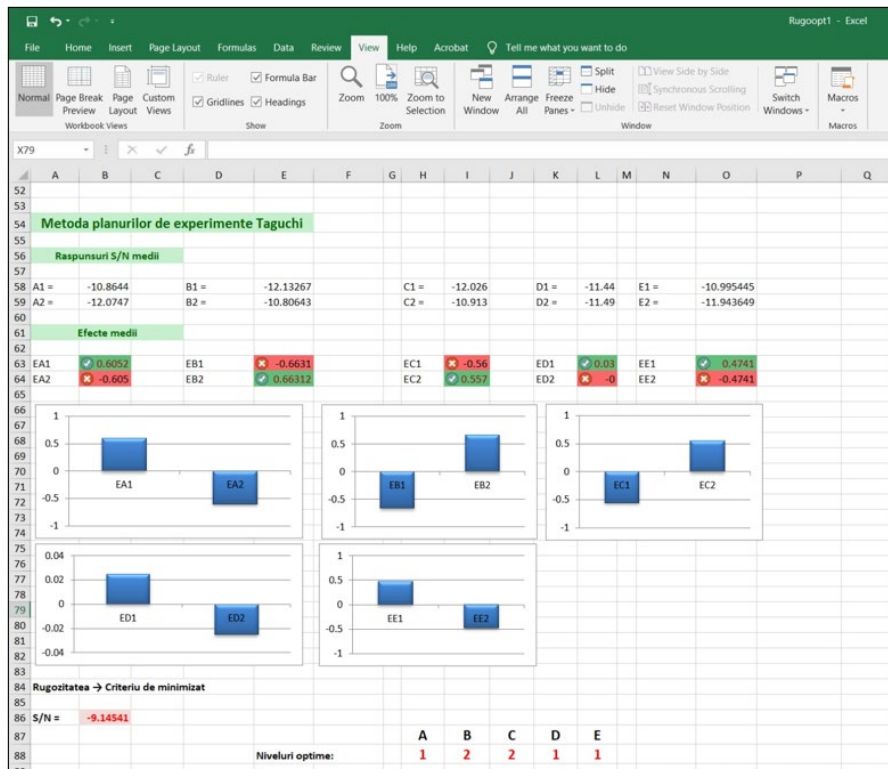


Fig. 6.10 – Aplicarea metodei planurilor de experimente Taguchi pentru oțelul SAE 8620

Combinățiile optime rezultate în acest caz sunt următoarele:

- Metoda clasică: **A1, B2, C2, D2, E1**
- Metoda Taguchi: **A1, B2, C2, D1, E1**.

Pentru oțelul inox **ASTM 316L**, în Tabelul 6.4 sunt incluse valorile rezultatelor experimentale și datele rezultate în urma prelucrării lor. Rezultatele aplicării celor două metode de optimizare sunt prezentate în Fig. 6.11. Utilizarea lor conduce, în acest caz, la obținerea unor rezultate identice, propunându-se aceeași combinație de parametri: **A1, B2, C1, D1, E1**. Ceea ce atrage atenția este faptul că în cazul parametrului viteză de traversare V_t , este preferată valoarea mai mare $V_{t1} > V_{t2}$ (diferența dintre ele este însă mică: $V_{t1} = 49$ m/min, $V_{t2} = 43$ m/min).

Tabelul 6.4 Matricea planurilor de experimente pentru oțelul ASTM 316L

	Parametri					R _a					\bar{y}	s	S/N
	A	B	C	D	E	Test							
	P	h	V _t	D	G	1	2	3	4	5			
1	1	1	1	1	1	3,624	3,489	3,75	3,478	3,689	3,606	0,120438	-11,145356
2	1	1	1	2	2	4,168	3,902	3,833	3,958	3,819	3,936	0,141210	-11,906688
3	1	2	2	1	1	3,351	3,491	3,21	3,052	3,297	3,280	0,163351	-10,328763
4	1	2	2	2	2	3,276	3,499	3,29	3,35	3,576	3,398	0,132982	-10,631624
5	2	1	2	1	2	4,723	4,362	4,408	4,311	4,416	4,444	0,161503	-12,961213
6	2	1	2	2	1	4,283	4,19	3,969	3,844	4,176	4,092	0,180120	-12,247966
7	2	2	1	1	2	3,762	3,399	3,376	3,589	3,758	3,576	0,186557	-11,081691
8	2	2	1	2	1	4,056	3,796	3,848	3,976	4,126	3,960	0,138263	-11,960071
Media											3,786		-11,53292

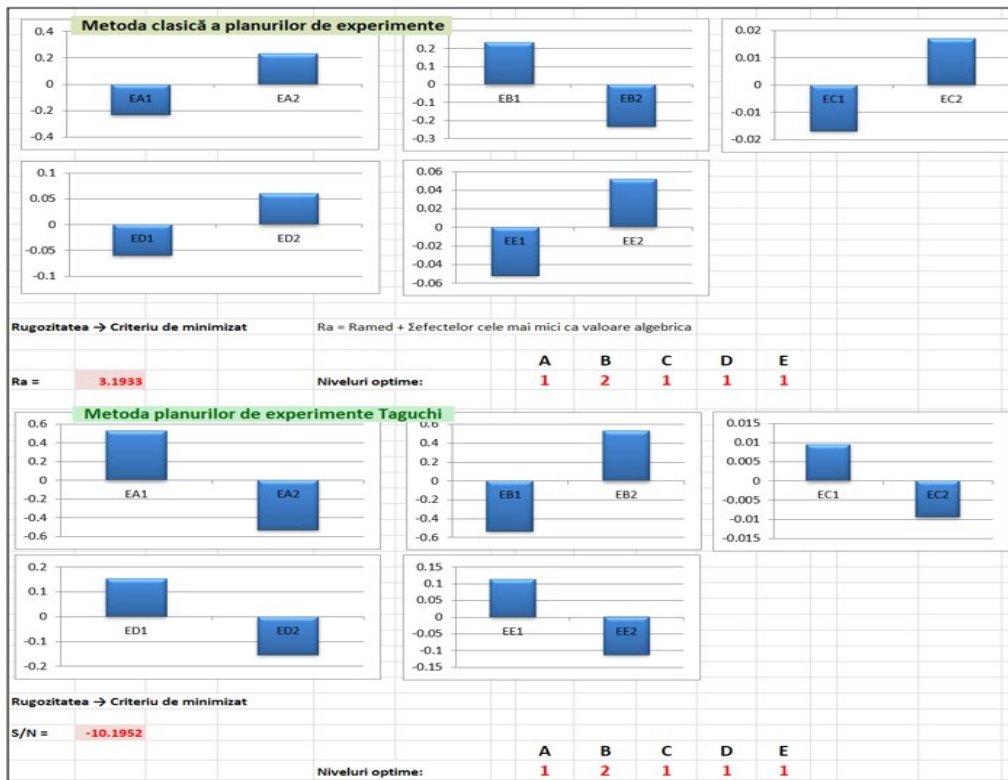


Fig. 6.11 – Aplicarea metodei clasice a planurilor de experimente și a metodei planurilor de experimente Taguchi pentru oțelul ASTM 316L Inox
 Studiile efectuate asupra oțelului 201 (Inox) sunt arătate în continuare:

Metoda clasică a planurilor de experimente					
Raspunsuri medii					
A1 = 3.4319	B1 = 4.0075	C1 = 3.8682	D1 = 3.717	E1 = 3.5579	
A2 = 3.972	B2 = 3.3964	C2 = 3.5357	D2 = 3.6869	E2 = 3.846	
Efecte medii					
EA1 ✓ -0.27	EB1 ✗ 0.30555	EC1 ✗ 0.166	ED1 ✗ 0.02	EE1 ✓ -0.14405	
EA2 ✗ 0.2701	EB2 ✓ -0.3056	EC2 ✓ -0.17	ED2 ✓ 0	EE2 ✗ 0.14405	
Rugozitatea → Criteriu de minimizat Ra = Ramed + Zefectelor cele mai mici ca valoare algebrica					
Ra = 2.801	Niveluri optime: A: 1, B: 2, C: 2, D: 2, E: 1				
Metoda planurilor de experimente Taguchi					
Raspunsuri S/N medii					
A1 = -10.632	B1 = -12.03264	C1 = -11.752	D1 = -11.29	E1 = -10.965915	
A2 = -11.9549	B2 = -10.5542	C2 = -10.834	D2 = -11.29	E2 = -11.620924	
Efecte medii					
EA1 ✓ 0.6614	EB1 ✗ -0.7392	EC1 ✗ -0.46	ED1 ✓ 0	EE1 ✓ 0.3275	
EA2 ✗ -0.661	EB2 ✓ 0.73922	EC2 ✓ 0.459	ED2 ✗ -0	EE2 ✗ -0.3275	
Rugozitatea → Criteriu de minimizat S/N = -9.10557					
Niveluri optime: A: 1, B: 2, C: 2, D: 1, E: 1					

Fig. 6.12 – Aplicarea metodei clasice a planurilor de experimente și a metodei planurilor de experimente Taguchi pentru oțelul 201 Inox, afișarea răspunsurilor medii și calculul efectelor medii

În acest caz, nivelurile optime ale parametrilor de lucru sunt:

- Metoda clasică: A1, B2, C2, D2, E1
- Metoda Taguchi: A1, B2, C2, D1, E1.

În Fig. 6.13, 6.14, 6.15 sunt prezentate rezultatele pentru oțelul ASTM A2, un oțel de scule cu prelucrabilitate scăzută și duritate ridicată.

						Rugozitate					Material: ASTM A2		
Nr. încercare	A	B	C	D	E	Teste cu aceeași configurație					Rezultate		
	Presiune jet P[MPa]	Distanță tub-piesă h[mm]	Viteza de traversare Vt[mm/min]	Diametrul tubului D[mm]	Granulația abrazivului G[Mesh]	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Media aritmetica	Abaterea medie patratice	Raportul Semnal/Zgomot (S/N)
1	1	1	1	1	1	3.072	3.411	3.283	3.147	3.19	3.2206	0.1309401	-10.16590871
2	1	1	1	2	2	3.605	3.718	3.422	3.35	3.418	3.5026	0.1531529	-10.89610629
3	1	2	2	1	1	2.043	2.152	1.698	1.732	1.834	1.8918	0.1981166	-5.584874608
4	1	2	2	2	2	1.76	1.942	1.865	2.004	2.283	1.9708	0.1968698	-5.935973114
5	2	1	2	1	2	2.704	2.388	2.401	2.361	2.61	2.4928	0.1542099	-7.950337116
6	2	1	2	2	1	2.785	2.516	2.748	2.931	2.572	2.7104	0.1677716	-8.677276013
7	2	2	1	1	2	2.588	2.851	3.016	2.749	2.774	2.7956	0.1560298	-8.9430081
8	2	2	1	2	1	2.426	2.795	2.588	2.68	2.75	2.6478	0.1465612	-8.47098936
Niveluri						Medii: →					2.65405	-8.328059164	
N1	350	2	30	0.83	100						N13	P13	
N2	250	1	20	0.25	80								

Fig. 6.13 – Înregistrarea datelor și calculul mediei aritmetice \bar{y} , a abaterii pătratice medii s^2 și a raportului semnal/zgomot S/N pentru oțelul ASTM A2

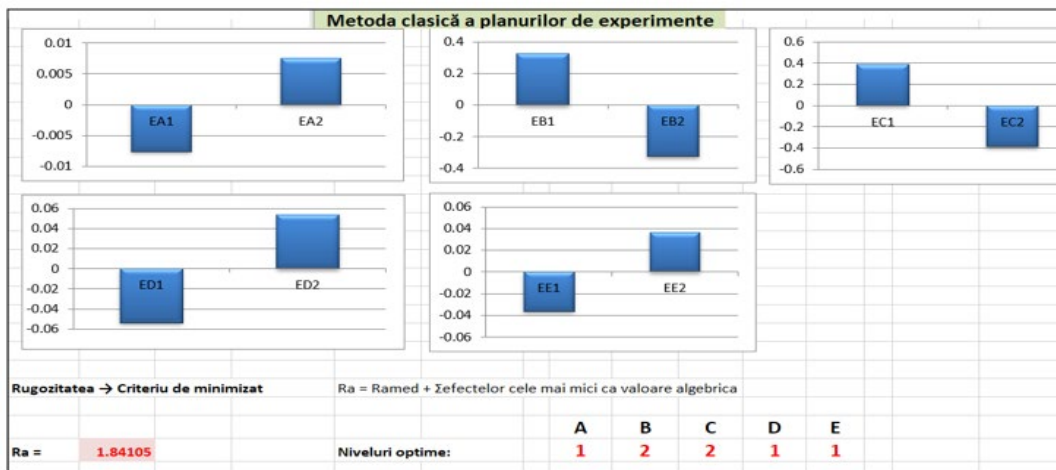


Fig. 6.14 – Aplicarea metodei clasice a planurilor de experimente pentru oțelul ASTM A2

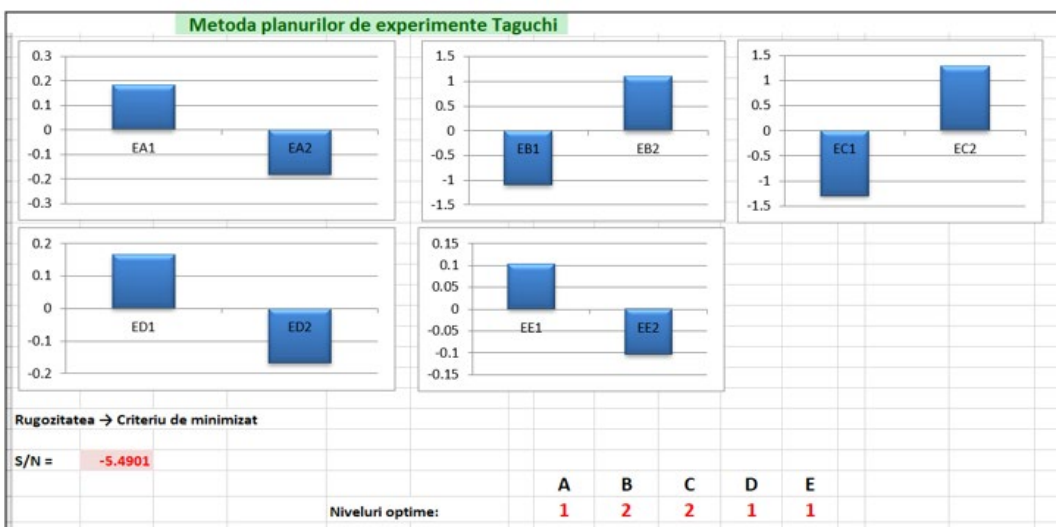


Fig. 6.15 – Aplicarea metodei planurilor de experimente Taguchi pentru oțelul ASTM A2

În Fig. 6.16 și Fig. 6.17 sunt prezentate rezultatele aplicării metodelor Taguchi pe aliajele de aluminiu EN AB 43000 (AlSi10Mg) și EN AB 45100 (AlSi5Cu).

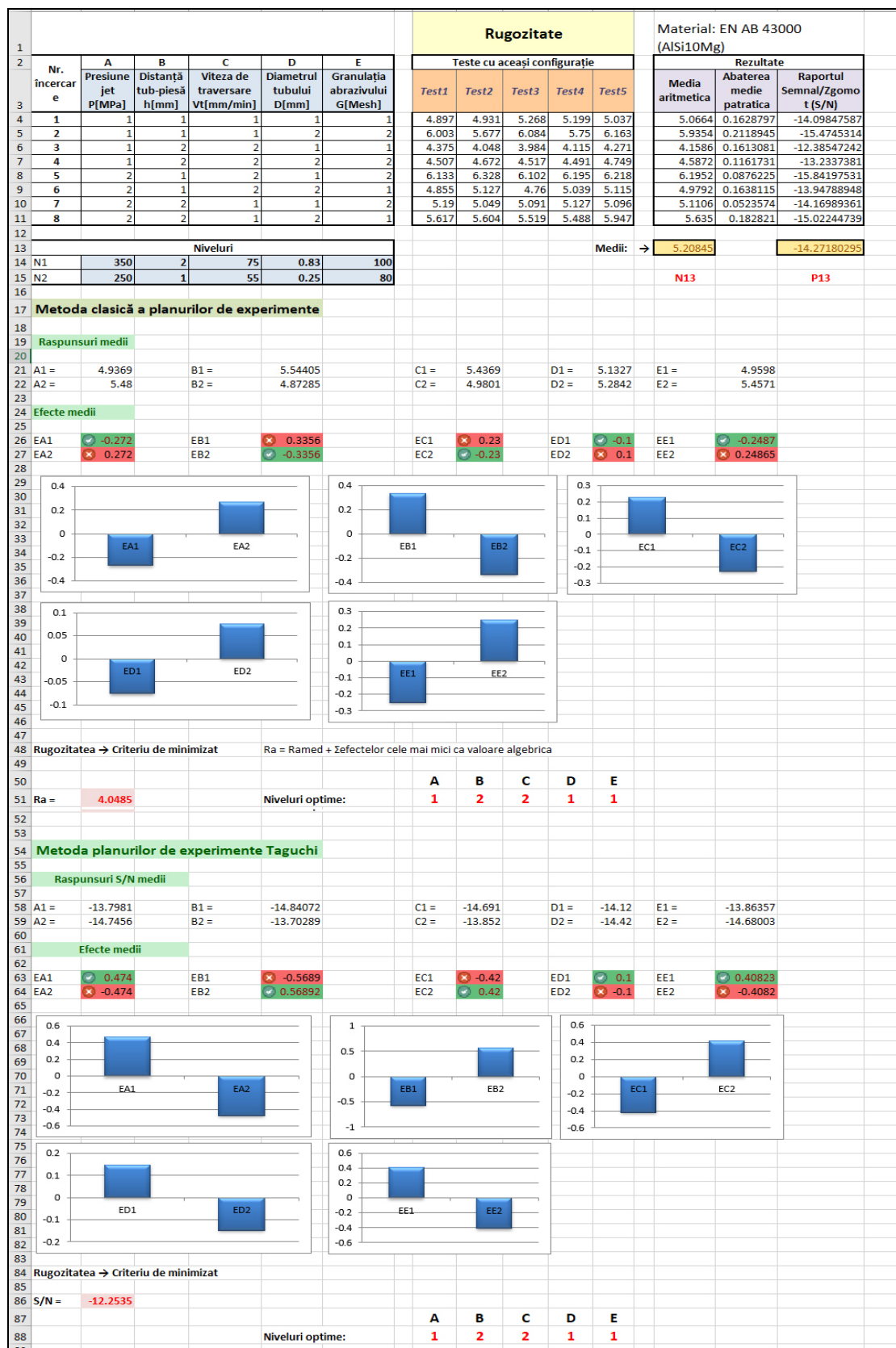


Fig. 6.16 – Aplicarea metodelor Taguchi pentru aliajul de aluminiu EN AB 43000

						Rugozitate					Material: EN AB 45100 (AlSi5Cu)					
Nr. încercare	A	B	C	D	E	Teste cu aceeași configurație					Rezultate					
						Test1	Test2	Test3	Test4	Test5	Media aritmetica	Abateri medii patratică	Raportul Semnal/Zgomot (S/N)			
1																
2																
3																
4	1	1	1	1	1	5.234	5.301	5.178	5.444	5.34	5.2994	0.10195	-14.48614106			
5	2	1	1	1	2	5.613	5.29	5.212	5.437	4.829	5.2762	0.2930831	-14.45980493			
6	3	1	2	2	1	4.189	3.979	3.616	4.001	3.727	3.9024	0.2294119	-11.84161881			
7	4	1	2	2	2	4.153	4.078	4.125	4.328	4.507	4.2382	0.177521	-12.55124167			
8	5	2	1	2	1	4.564	4.479	4.291	4.351	4.318	4.4006	0.1163413	-12.87327232			
9	6	2	1	2	2	4.706	4.703	4.722	5.006	5.077	4.8428	0.1832586	-13.70814522			
10	7	2	2	1	1	4.819	4.703	5.166	5.031	4.975	4.9388	0.1812352	-13.87827311			
11	8	2	2	1	2	4.726	4.649	4.995	4.937	4.802	4.8218	0.143787	-13.66804407			
12																
13	Niveluri					Medii: →					4.715025	-13.43331765				
14	N1	350	2	85	0.83	100										
15	N2	250	1	65	0.25	80										
16																
17	Metoda clasică a planurilor de experimente															
18	Raspunsuri medii															
19	Raspunsuri medii															
20	Raspunsuri medii															
21	A1 =	4.67905	B1 =	4.95475	C1 =	5.0841	D1 =	4.6353	E1 =	4.7166						
22	A2 =	4.751	B2 =	4.4753	C2 =	4.346	D2 =	4.7948	E2 =	4.71345						
23	Efecte medii															
24	Efecte medii															
25	Efecte medii															
26	EA1	✓ -0.036	EB1	✗ 0.23973	EC1	✗ 0.37	ED1	✓ -0.1	EE1	✗ 0.00157						
27	EA2	✗ 0.036	EB2	✓ -0.2397	EC2	✓ -0.37	ED2	✗ 0.1	EE2	✓ -0.0016						
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48	Rugozitatea → Criteriu de minimizat Ra = Ramed + Zefectelor cele mai mici ca valoare algebrica															
49																
50																
51	Ra =	3.989	Niveluri optime:		A	B	C	D	E							
52					1	2	2	1	2							
53																
54	Metoda planurilor de experimente Taguchi															
55	Raspunsuri S/N medii															
56	Raspunsuri S/N medii															
57	Raspunsuri S/N medii															
58	A1 =	-13.3347	B1 =	-13.88184	C1 =	-14.123	D1 =	-13.27	E1 =	-13.42599						
59	A2 =	-13.5319	B2 =	-12.98479	C2 =	-12.744	D2 =	-13.6	E2 =	-13.44065						
60	Efecte medii															
61	Efecte medii															
62	Efecte medii															
63	EA1	✓ 0.099	EB1	✗ -0.4485	EC1	✗ -0.69	ED1	✓ 0.2	EE1	✓ 0.00733						
64	EA2	✗ -0.099	EB2	✓ 0.44852	EC2	✓ 0.69	ED2	✗ -0.2	EE2	✗ -0.0073						
65																
66																
67																
68																
69																
70																
71																
72																
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84	Rugozitatea → Criteriu de minimizat															
85																
86	S/N =	-12.0256	Niveluri optime:		A	B	C	D	E							
87					1	2	2	1	1							
88																
89																

Fig. 6.17 – Aplicarea metodelor Taguchi pentru aliajul de aluminiu EN AB 45100



Aplicarea metodelor Taguchi pentru cele 7 materiale alese a condus la următoarele concluzii:

- rezultatele obținute prin cele două metode au diferit la 4 din cele 7 materiale, însă doar pentru un singur parametru de lucru, metodei planurilor Taguchi trebuind să i se acorde însă întâietate;
- aplicația dezvoltată poate fi utilizată pentru orice tip de material, pe orice tip de utilaj, producând rezultate concrete în optimizarea procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv, în sensul obținerii de valori ale parametrilor de configurare care să permită optimizarea rezultatului;
- proprietățile fizico-chimice ale materialelor influențează valoarea rezultatelor:
 - creșterea durității conduce la scăderea rugozității;
 - creșterea prelucrabilității determină creșterea rugozității;
- aplicația utilizată oferă soluții (combinații ale parametrilor la diferite niveluri), fără ca acestea să fi fost testate în prealabil;
- validarea rezultatelor furnizate de aplicație (configurațiile optime) a fost făcută direct pe utilajul MaxiEM 1530, aflat la ICDT.

6.5 Aplicarea metodelor Taguchi cu ajutorul pachetului software Minitab

Utilizarea metodei Taguchi ca instrument important de modelare statistică pentru optimizarea proceselor tehnologice a condus la includerea acestuia în pachete software profesionale de analiză statistică (Minitab Statistical Software, Design Expert (Stat-Ease), Sigma XL, Qualitek 4 (Nutek Inc.)).

Modelarea Taguchi cu software specializat profesional se bazează pe principiile enunțate în capitolele anterioare, având un grad de generalizare mai mic sau mai mare în funcție de complexitatea programului, transformându-le în instrumente de cu grade diferite de utilizare. La acest lucru contribuie și prețul acestora. Minitab Statistical Software este unul din cele mai cunoscute programe de analiză și modelare statistică, prezentând un grad ridicat de complexitate și o interfață intuitivă care permite utilizatorului să poată studia procesul dorit. În continuare sunt prezentate două analize efectuate cu programul Minitab, prima dintre ele având rolul de a confirma rezultatele obținute cu aplicația Excel.

6.5.1 Utilizarea software-ului Minitab pentru confirmarea rezultatelor obținute cu aplicația Excel

Confirmarea rezultatelor obținute cu ajutorul aplicației Excel pentru cazul oțelului SAE 3310 a fost realizată cu ajutorul programului Minitab. Cei cinci parametri de configurare au fost aleși conform Tabelului 6.1: presiunea P [MPa], distanța tub-piesă h [mm], viteza de traversare V_t [mm/min], diametrul tubului D [mm] și granulația abrazivului [Mesh]. Valorile de configurare ale parametrilor au fost păstrate.

Pentru analiză a fost utilizat programul Minitab, versiunea 18.1.

Configuratorul programului permite alegerea tipurilor de experimente, selecție bazată pe factori cu niveluri diferite. În funcție de numărul parametrilor și de nivelurile pe care aceștia pot să le dețină, se alege matricea de experimente. În figura 6.18 se observă alegerea a 5 parametri cu 2 niveluri fiecare, selecție care conduce la apariția în fereastra din dreapta a imaginii matricelor de experimente recomandate. A fost aleasă matricea L_8 , în scopul comparării rezultatelor cu cele obținute în aplicația Excel.

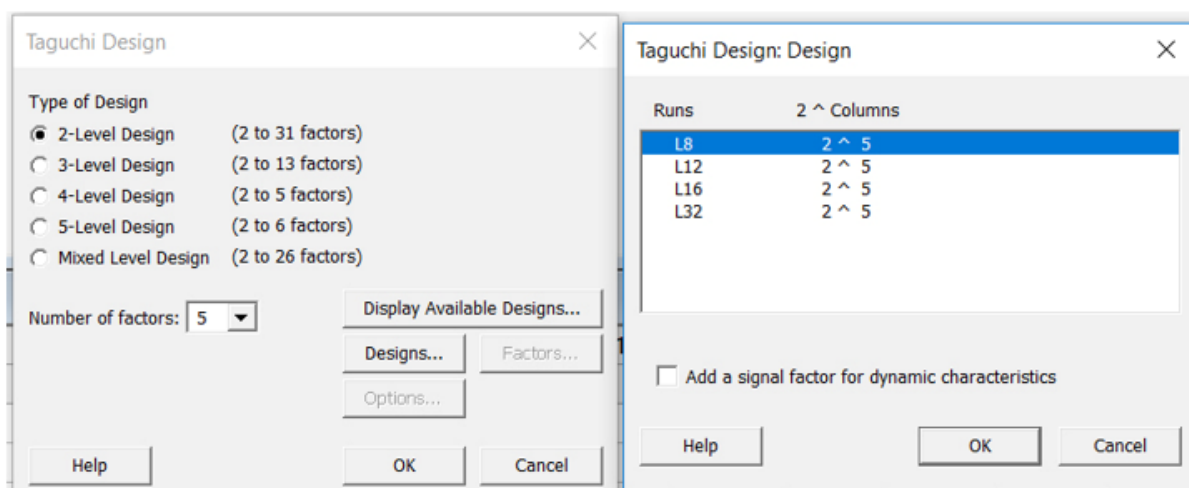


Fig. 6.18 – Configurarea metodei Taguchi pentru cinci parametri cu 2 niveluri fiecare

Parametrii de configurare A, B, C, D și E sunt cei din Tabelul 6.1. Numărul de teste pentru fiecare configurație a parametrilor s-a păstrat la fel, adică 5.

Rezultatele obținute în urma măsurării cu rugozimetrul TESA Rugosurf 10G au fost stocate și utilizate în programul Minitab, în coloanele C6 - C10.

Pentru analiza datelor, programul Minitab solicită criteriul de optimizare dorit. În cazul rugozității s-a ales criteriul Smaller is better (Mai mic, mai bine). Rezultatele analizei efectuate sunt prezentate în figura 6.19, acestea coincidând cu cele obținute cu ajutorul aplicației Excel, validând astfel corectitudinea aplicației create.

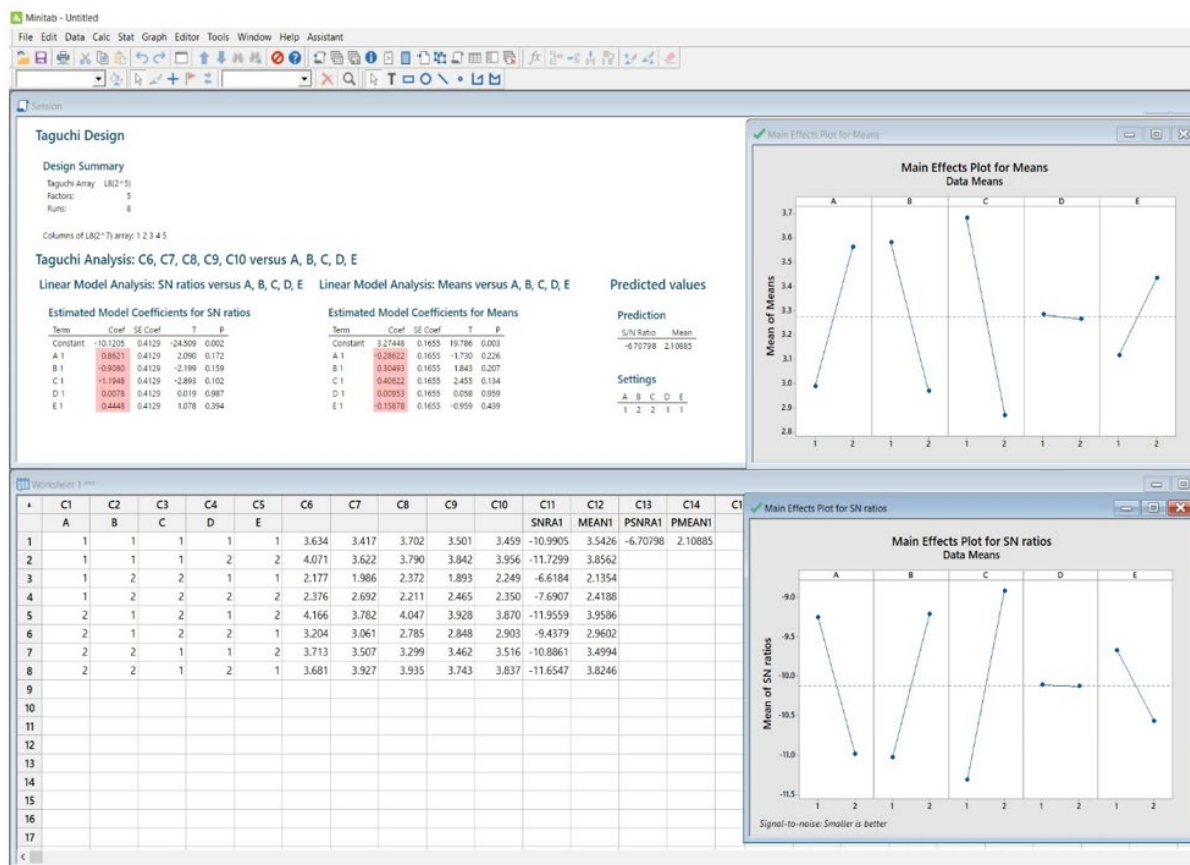


Fig. 6.19 – Rezultatele optimizării procesului tehnologic de prelucrare cu jet abraziv, utilizând metoda Taguchi de proiectare fracționată a planurilor de experimente, implementată în programul Minitab 18.1

În partea dreaptă a figurii 6.19 sunt prezentate graficele aferente fiecărui parametru de lucru. Metoda clasică a planurilor de experimente (figura 6.119 dreapta-sus) are rezultatul configurării parametrilor A, B, C, D, E cu optimul pentru nivelurile **A1, B2, C2, D2, E1**.

Metoda planurilor de experimente Taguchi (figura 6.19 dreapta-jos) are rezultatul configurării parametrilor A, B, C, D, E cu optimul pentru nivelurile **A1, B2, C2, D1, E1**.

Valorile recomandate pentru nivelurile parametrilor și pentru rugozitatea obținută confirmă rezultatele date de aplicația Excel.

6.5.2 Studiu de caz: utilizarea software-ului Minitab pentru 4 parametri cu 3 niveluri și 1 parametru cu 2 niveluri

A doua analiză efectuată cu programul Minitab se referă la același oțel **SAE 3310**, pentru cazul în care există 4 parametri configurabili cu trei niveluri fiecare și 1 parametru cu 2 niveluri. Parametrii și valorile corespunzătoare nivelurilor atribuite sunt prezentate în tabelul 6.5.

Tabelul 6.5 Valorile parametrilor de configurare și a nivelurilor acestora

Poziția parametrului	Diametrul tubului D [mm]	Presiunea P [MPa]	Distanța tub-piesă h [mm]	Viteza de traversare V_t [mm/min]	Granulația abrazivului [Mesh]
	A	B	C	D	E
1	0,83	350	2	46	120
2	0,25	300	1,5	38	100
3		250	1	30	80

În figura 6.22 se observă modul de configurare pentru 4 parametri cu 3 niveluri și un parametru cu 2 niveluri.

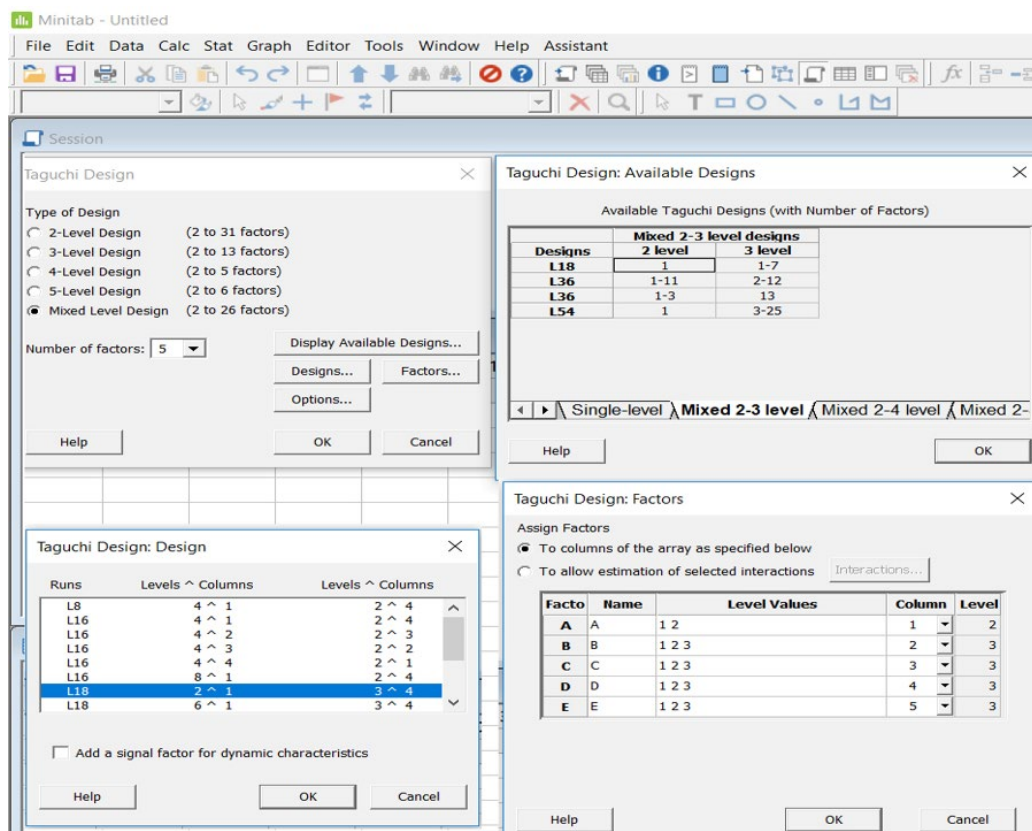


Fig. 6.20 – Configurarea programului Minitab 18.1 în cazul optimizării procesului de prelucrare hidroabrazivă cu 4 parametri cu 3 niveluri și 1 parametru cu 2 niveluri

Deoarece numărul de niveluri ai parametrilor configurabili diferă, tipul de proiectare a fost ales Mixed Design. Matricea rezultată este L_{18} .

Experimentele au constat în debitarea cu jet hidroabraziv a unui material SAE 3310 Au fost efectuate cinci măsurări în zone diferite pentru fiecare configurație. Măsurarea s-a făcut la 15 mm de suprafața de contact cu jetul hidroabraziv. Utilajul folosit pentru prelucrări a fost Maxi-em 1530. Alegerea valorilor parametrilor configurabili a ținut cont de posibilitățile tehnologice existente, de capacitatea software-ului Minitab și de modul de configurare a planurilor de experimente Taguchi.

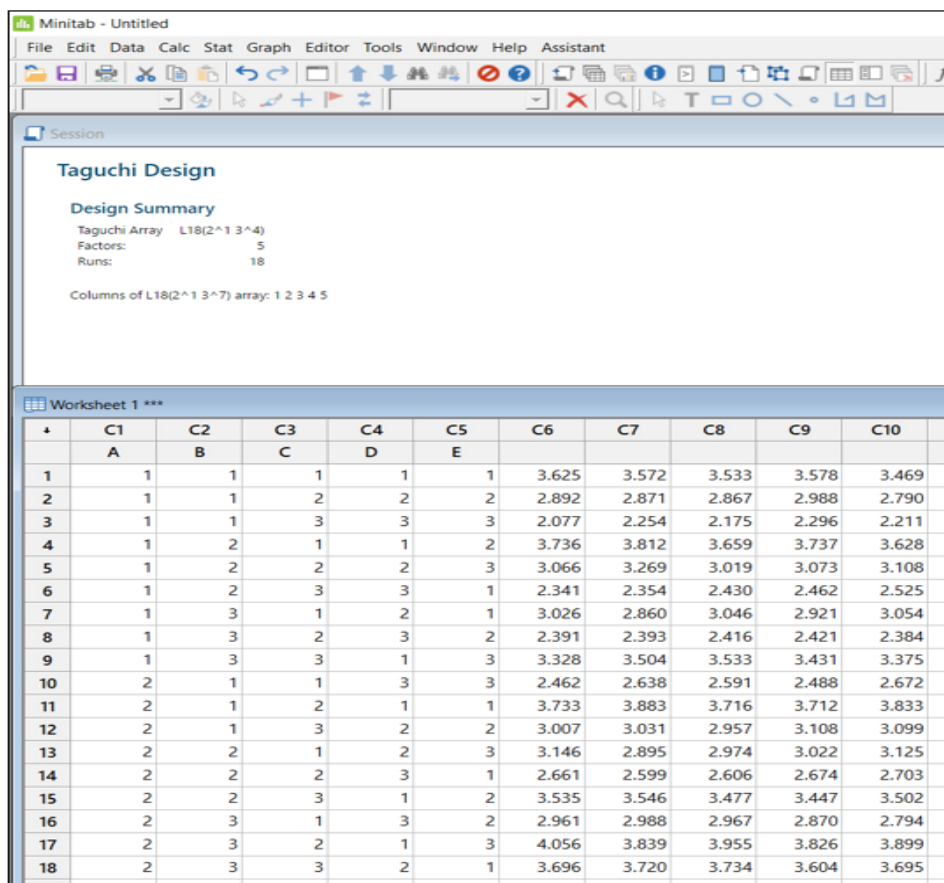


Fig. 6.21 – Forma matricei L₁₈ (coloanele C1-C5) și introducerea datelor măsurate (coloanele C6-C9)

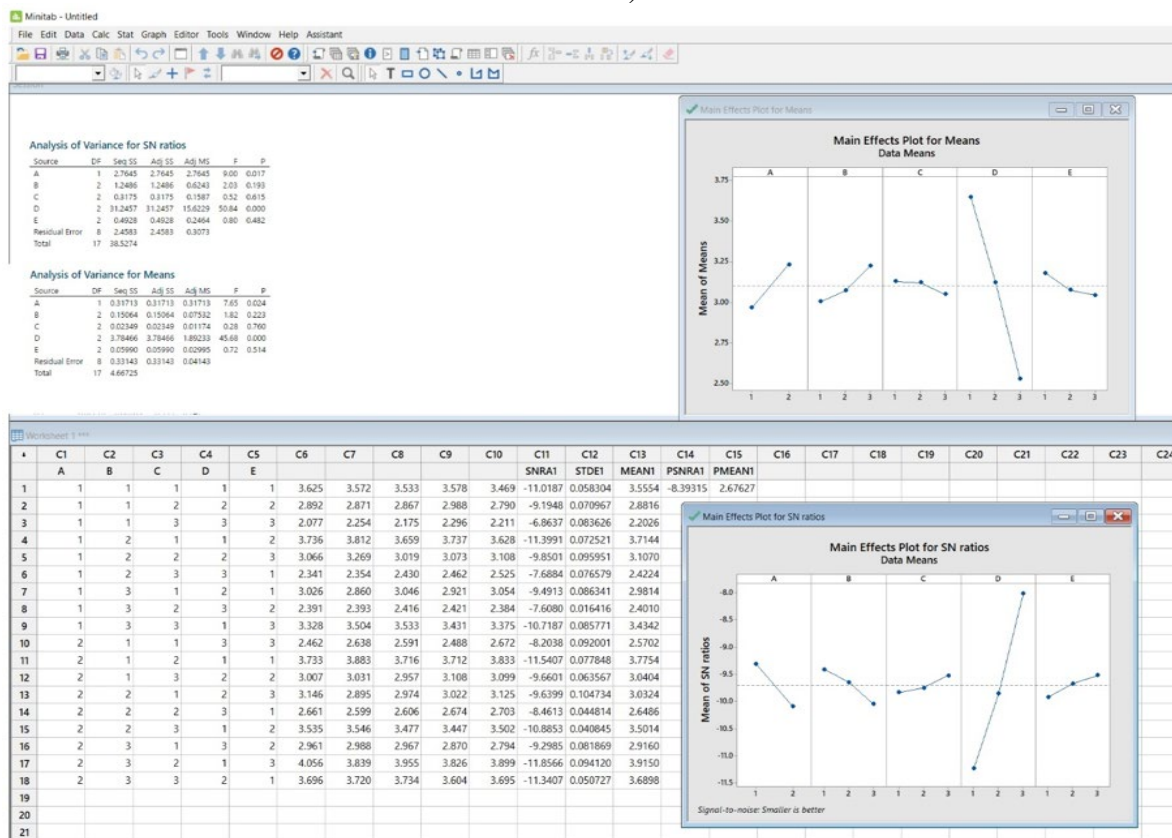


Fig. 6.22 – Rezultatele optimizării procesului tehnologic de prelucrare cu jet abraziv, pentru 5 parametri (4 parametri cu 3 niveluri + 1 parametru cu 2 niveluri)

Valorile măsurate ale rugozității R_a au fost stocate, apoi introduse în fereastra programului Minitab, conform figurii 6.21. Rezultatele aplicării metodei Taguchi pentru datele culese se pot observa în figura 6.22. Pentru obținerea unei rugozități cât mai mici s-a utilizat criteriul de optimizare *Smaller is better*.

Din analiza graficelor prezentate în figura 6.22 configurația optimă a parametrilor este: A1, B1, C3, D3, E3. Software-ul profesional Minitab oferă răspunsuri complete în domeniul optimizării proceselor de producție. Analiza statistică ce poate fi efectuată este diversificată (Regression, ANOVA, DOE, Screening, Factorial, Taguchi, Response Surface etc.). Implementarea datelor este facilă, iar rezultatele sunt afișate atât tabelar cât și grafic.

6.6 Concluzii

Pentru optimizarea procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv cu ajutorul planurilor de experimente ortogonale fracționate a fost dezvoltată o aplicație software în Excel. Aplicația permite optimizarea prelucrării hidroabrazive utilizând un număr minim de experimente, fiind ușor de folosit, adaptat și integrat în sistemele hardware ale utilajelor de prelucrare cu jet hidroabraziv.

Aplicația prezentată în teza de doctorat a fost concepută pentru obținerea unei configurații optime în cazul influenței a 5 parametri cu 2 niveluri, bazându-se pe metodele Taguchi de proiectare robustă a planurilor de experimente. Adaptarea programului pentru alte cazuri, precum și transformarea aplicației Excel în program executabil, reprezintă un obiectiv propus pentru studiu în viitor.

Rezultatele obținute au fost confirmate atât teoretic cât și practic, utilizându-se programele Statistica și Minitab.

Astfel au fost identificate avantajele aplicației de optimizare, și anume:

- instalare extrem de simplă;
- aplicație versatilă și prietenoasă;
- permite configurarea imediată a procesului după un număr mic de experimente;
- utilizează teoria proiectării robuste;
- conduce la rezultate clare și sigure;
- ***poate fi instalată pe orice tip de utilaj de prelucrare cu jet hidroabraziv.***

Rezultatele au fost confirmate și practic pe utilajul MaxiEM 1530, aflat în dotarea Institutului de Cercetare Dezvoltare al Universității Transilvania.

7 CONCLUZII

Tema tezei de doctorat abordează un subiect de mare interes în industrie. Prelucrarea cu jet hidroabraziv este utilizată pe scară largă, este ieftină, înglobează tehnologii inovative și are un potențial mare de îmbunătățire.

O analiză completă a procesului de prelucrare hidroabrazivă ar necesita rezolvarea unui număr imens de ecuații care să descrie cele trei faze ale mediului de lucru: faza solidă, compusă din particule abrazive, faza lichidă, conținând moleculele de apă la viteză supersonică și faza gazoasă, cu particule de aer care, ajunse în axa jetului, sunt supuse imploziei, cu degajare de energie, din cauza presiunilor mari din mijlocul fluidului.

La toate acestea se adaugă interacțiunile dintre particule, impactul cu pereții tubului, traiectoriile aleatorii, greu predictibile, ale particulelor după ciocniri, efectele termodinamice entropice, generarea și transferul de căldură în timpul fragmentării, compresibilitatea mediului de lucru în toate cele trei faze ale sale, considerarea unui comportament liniar neconstituind rezolvarea tuturor situațiilor posibile.

Modelarea comportamentului fluidului în zona capului de prelucrare și până la momentul impactului cu semifabricatul este, în acest moment, imposibilă. Acesta este motivul pentru care, în prezent, sunt depuse eforturi considerabile pentru obținerea unor rezultate experimentale concludente, cercetările curente concentrându-se pe măsurători efectuate la nivelul produsului rezultat.

7.1. Concluzii generale

Obținerea unei rugozități minime a suprafețelor debitate cu jet abraziv a constituit obiectivul cercetărilor experimentale efectuate. Rezultatele obținute au permis luarea unor decizii cu privire la configurarea optimă a procesului de prelucrare cu jet abraziv, astfel încât rugozitatea obținută să fie cât mai mică. Prin proiectare robustă se pot alege valorile optime ale parametrilor de lucru astfel încât rezultatul final să fie cel dorit. Efectuarea experimentelor asupra mai multor tipuri de materiale a condus la următoarele concluzii:

- creșterea presiunii jetului hidroabraziv conduce la scăderea rugozității, în special în zonele de intrare și ieșire ale jetului;
- creșterea distanței tub-piesă influențează rugozitatea în zona de intrare, în sensul creșterii acesteia, pe ultima zonă efectul fiind foarte mic;
- modificarea vitezei de traversare este principalul factor de influență a calității suprafeței rezultate. O viteză mai mică de traversare conduce la o suprafață cu o rugozitate scăzută,

influența cea mai mare fiind observată în zona de mijloc, apoi în zona de intrare. În zona de ieșire, deși se observă o modificare puternică a rugozității cu variația vitezei de traversare, valoarea acesteia este totuși mai mică decât în celelalte regiuni.

- variația diametrului tubului influențează într-o măsură mică rugozitatea suprafeței obținute. Modificări sesizabile apar în zona de mijloc, unde rugozitatea crește odată cu utilizarea unor capete de tăiere cu diametre mai mici.
- granulația abrazivului are o mică influență asupra calității suprafeței obținute, în zona de intrare și în zona de ieșire. În zona de mijloc nu există o diferențiere clară a rugozității în funcție de granulația abrazivului.
- experimentele, repetate pe oțeluri cu duritate diferită, au scos în evidență faptul că oțelurile moi prezintă, în urma prelucrării, o rugozitate mai mare. Același lucru se observă și la aliajele de aluminiu. Acest lucru nu poate fi explicat doar prin scăderea vitezei de traversare (aceasta a fost aleasă în așa fel încât pentru fiecare material să fie asigurată străpungerea în condițiile celei mai dezavantajoase configurări). Probele realizate pe oțeluri moi cu viteza de traversare corespunzătoare oțelurilor dure nu îmbunătățesc foarte mult rugozitatea.

Cercetările s-au efectuat prin studiul celor mai noi teorii, iar rezultatele obținute s-au materializat prin contribuții la studiul sistemic al procesului tehnologic de prelucrare hidroabrazivă. Rezultatele obținute prin experimentele din laborator au permis exprimarea concluziei conform căreia soluția de utilizare a proiectării robuste și a metodei Taguchi de planificare a experimentelor este una corectă. În acest sens tehnologia AWJC (abrasive water jet cutting) a fost asimilată unui sistem deschis de mare complexitate, cu posibilități maxime de a-și îmbunătăți performanțele. Definierea sistemului a avut în vedere obiectivele urmărite (maximizarea profitului, creșterea calității, deservirea clientului), acestea fiind exprimate prin funcții matematice optimizabile.

Din cercetările efectuate a rezultat faptul că optimizarea tehnologiei AWJC prin folosirea proiectării robuste poate fi generalizată. Caracteristica de calitate analizată este optimizabilă, proiectarea robustă a tehnologiei de debitare cu jet hidroabraziv fiind un rezultat al configurării parametrilor astfel încât obiectivul să atingă un grad maxim de insensibilizare la factorii de zgomot.

7.2. Contribuții originale

Studiile prezentate au un caracter original, fapt rezultat din modul de analiză a întregului sistem de prelucrare hidroabrazivă, acesta fiind tratat drept o tehnologie configurabilă și optimizabilă. Cele mai importante contribuții personale sunt următoarele:

- O analiză amănunțită a stadiul actual al cercetărilor privind prelucrarea suprafețelor prin eroziune hidroabrazivă, care a avut drept rezultate:
 - realizarea unei clasificări a tehnologiilor hidroabrazive, în funcție de proprietățile jetului.
 - efectuarea unui studiu amănunțit asupra componentelor utilajelor de prelucrare cu jet hidroabraziv, identificându-se cele mai noi inovații pe plan mondial și efectul acestora asupra randamentului energetic al utilajelor.
 - identificarea direcțiilor de interes pe plan mondial pentru asigurarea presiunilor înalte ale jetului prin dezvoltarea de noi concepte de amplificatoare a presiunii, precum și în cercetarea asigurării transportului apei la presiuni înalte prin tuburi și conducte.
 - realizarea unei analize complexe a generării și comportamentului jetului de apă și a celui hidroabraziv, precum și un studiu asupra influenței geometriei constructive a diferitelor componente care alcătuiesc sistemul de formare al jetului, asupra proprietăților acestuia.
 - structurarea unei serii de soluții constructive ale elementelor care alcătuiesc sistemul de generare a jetului hidroabraziv; clasificarea noilor materiale utilizate în fabricarea acestui sistem, materiale care au permis atingerea unor viteze ale jetului ce depășesc 1000 m/s.
 - efectuarea unei clasificări în funcție de duritate a abrazivilor naturali și sintetici care intră în componența jetului hidroabraziv, studiindu-se efectul acestora asupra diferitelor tipuri de materiale prelucrate.
 - studiul impactului particulei abrazive asupra semifabricatului, realizându-se o analiză a forțelor dezvoltate în momentul contactului atât pentru modelul unei singure particule cât și pentru întregul jet.
 - analiza disipării energiei jetului după prelucrare și a instalațiilor de disipare.
- Efectuarea unor studii cu privire la utilizarea proiectării robuste a sistemelor ca metodă de optimizare a procesului de prelucrare hidroabrazivă; indicarea unor tehnici de alegere a planului de experimente și a matricei de experiențe corespunzătoare.
- Realizarea unui studiu sistemic al procesului de eroziune hidroabrazivă, acesta fiind încadrat într-un model de analiză dispersională care a permis realizarea unui algoritm de optimizare original și obiectiv. S-a impus utilizarea statisticii matematice în studierea legăturilor funcționale dintre parametrii de configurare, estimându-se rezultatele obținute.
 - efectuarea unei parametrizări complexe a tehnologiei de prelucrare cu jet hidroabraziv și a unei analize a tuturor elementelor de influență (intrări, parametri de configurare, semnale de tip zgomot). S-a obținut o schemă generală a sistemului deschis reprezentat de procesul de eroziune hidroabrazivă.

- conceperea unei scheme logice originale de stabilire a etapelor necesare pentru executarea unei piese utilizând tehnologia de eroziune hidroabrazivă.
- realizarea unei cercetări teoretice asupra criteriilor de optimizare (minimizare, țintă, maximizare) atât pentru sisteme dinamice cât și statice, definitivându-se modelul matematic urmat în funcție de tipul caracteristicii de calitate urmărit.
- identificarea diferitelor metode de optimizare a proceselor productive prin utilizarea programelor de testări aleatoare, complete, fracționate etc., evidențiindu-se diferențele dintre acestea. A fost subliniată poziția metodei Taguchi între metodele de optimizare analizate.
- Efectuarea unor cercetări experimentale prin care a fost stabilită influența parametrilor de configurare ai procesului de prelucrare prin eroziune hidroabrazivă asupra rezultatului ales (calitatea suprafeței obținute, cuantificată prin valoarea rugozității acesteia, Ra). S-a avut în vedere modificarea presiunii de lucru, a diametrului tubului, a vitezei de traversare, a tipului de abraziv și a distanței dintre tub și piesă.
 - validarea rezultatelor influenței parametrilor configurabili asupra calității suprafeței rezultate s-a efectuat prin analiză teoretică și experimentală, utilizând software de nivel profesional (Statistica – metoda modificării unui singur parametru odată și metoda suprafețelor de răspuns, Minitab – metoda Taguchi a planurilor de experimente fracționate) și folosind metoda planurilor de experimente complete pentru șapte materiale diferite. Acestea acoperă o gamă largă de oțeluri și aliaje de aluminiu utilizate în aplicațiile practice.
 - executarea a peste 800 de experimente, fiind efectuate aproximativ 2000 de măsurători ale rugozității. Au rezultat 72 de grafice care prezintă influența parametrilor aleși asupra rezultatului (calitatea suprafeței), acestea conducând spre alegerea configurației optime a parametrilor pentru fiecare tip de material în parte.

Obținerea unui instrument de lucru utilizabil pentru optimizarea tehnologiei presupune accesibilitate și siguranță. Așa cum s-a observat, experimentele derulate după planuri complete, chiar dacă oferă rezultate sigure, sunt practic foarte greu de realizat, din cauza numărului foarte mare de teste necesare. În acest sens, o altă contribuție personală a fost:

- Conceperea cu ajutorul programului Excel a unei aplicații originale care folosește metoda planurilor de experimente fracționate Taguchi pentru optimizarea combinației valorilor parametrilor modificabili. Programul prezintă avantajul unei utilizări intuitive cu rezultat practic imediat, fiind ușor de implementat alături de software-ul cu care este prevăzută mașina de prelucrat cu jet hidroabraziv.

- Obținerea de rezultate sub formă grafică ale influenței parametrilor studiați, precum și rezultate ale unei configurări optimizate ale acestor parametri.

7.3. Dezvoltări viitoare

În ceea ce privește studiul echipamentelor și al sistemelor generatoare de înaltă presiune este utilă aprofundarea cunoștințelor în următoarele direcții:

- remodelarea camerei de amestec pentru obținerea unor distribuții de viteză cu un comportament previzibil, constant și liniar.
- estimarea și minimizarea pierderilor (cădere de presiune, de energie și impuls).
- simularea modelelor de accelerare ale abrazivului și ale aerului.
- determinarea unor algoritmi care să planifice utilizarea componentelor sistemelor de prelucrare, astfel încât acestea să devină modulare, permițând utilizări multiple și variate.

În ceea ce privește optimizarea procesului tehnologic, cercetări viitoare pot aborda:

- optimizarea procesului de prelucrare cu jet hidroabraziv în sensul minimizării deșeurilor rezultate, în scopul ecologizării procedurii.
- dezvoltarea aplicației Excel în așa fel încât aceasta să devină de sine stătătoare, fără a apela software-ul MS Office Excel, utilizând un număr variabil de factori cu niveluri diferite.
- implementarea în aplicația Excel a posibilității schimbării criteriului de optimizare, în scopul generalizării utilizării acesteia.
- analiza posibilității implementării aplicației Excel în software-ul proprietar al diferitelor utilaje de prelucrare.

7.4. Valorificarea tezei

Diseminarea rezultatelor obținute a constat în publicarea a 14 lucrări științifice din care 10 ca prim autor, lucrări susținute la conferințe naționale și internaționale, publicate în jurnale BDI, 5 dintre acestea fiind indexate ISI Web of Knowledge.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

Articole și cărți

- [BAR15a] **B. Barabas, A. Florescu, S. Barabas, G. Calefariu** - *Optimization of Plotting Process of CNC Machined Workpieces*, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) ISSN: 3159-0040 Vol. 2 Issue 9, p 2627-2630, September 2015.
- [BAR15d] **B. Barabas, A. Florescu, S. Barabas,** - *Machinability computation for multilayers materials processed by abrasive jet cutting*, International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH, 09-11 september 2015, Dubrovnik, Croatia, published in Proceedings volume p. 142-146, 2015.
- [BAR16a] **B. Barabas, A. Deaconescu** – *Study of kerf geometry of multilayers materials in abrasive water jet cutting process*, COSME 2016, Matec Web Conf. Vol. 94, Brasov, 2016.
- [BAR16b] **B. Barabas, T. Deaconescu** – *Hydroabrasive Machining Process Optimization through Statistical Analysis and Robust Design*, Rev. Recent, Vol. 17, no. 4(50), 2016.
- [BAR16c] **B. Barabas, T. Deaconescu** – *Abrasive absorption study in AWJ cutting*, Conference of the Academy of Romanian Scientists, Productica Scientific Session 27-28 may, 2016, Published in Proceedings of Conference, Vol. 8, no.1, p.30-44, ISSN: 2067-2160, 2016.
- [BAR17] G. Barsukov, T. Zhuravleva, O. Kozhus - *Quality of Hydroabrasive Waterjet Cutting Machinability*, Procedia Engineering 206, pag. 1034-1038, 2017.
- [BAR17a] **B. Barabas, T. Deaconescu** – *Researches regarding influence of traverse speed and stand-off distance to the roughness in AWJ process*, MSE 2017, Sibiu, 2017.
- [BAR17b] **B. Barabas, A. Deaconescu, S. Barabas** – *Reduction of dimensional variability of pieces, resulted in AWJ process, using robust design method*, MSE 2017, Sibiu, 2017.
- [BAR18] **B. Barabas, T. Deaconescu** - *Optimization of the hydro abrasive jet cutting process of thick steel sheets*, 3rd China-Romania Science and Technology Seminar (CRSTS), Transilvania Univ, Brasov, Romania, April 24-27, 2018, Published in IOP Conference Series-Materials Science and Engineering, Vol. 399, 2018.
- [BIL13] J. Billingham, C. B. Miron, D.A. Axinte, M.C. Kong - *Mathematical modelling of abrasive waterjet footprints for arbitrarily moving jets: Overlapped single and multiple straight paths*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 68, pag. 30-39, 2013.
- [BOX05] G.E.P. Box, J.S Hunter, and W.G. Hunter - *Statistics for Experimenters*, Wiley Interscience, 2005.
- [CHE91] W.L. Chen, E.S. Geskin - *Measurement of the velocity of abrasive waterjet by the use of laser transit anemometer*, Jet Cutting Technology, Elsevier Ltd., Amsterdam, pag. 23-36, 1991.
- [DEA05] T. Deaconescu – *Sisteme și Tehnologii Speciale*, Ed. Cartea Universitară, București, România, 2005.
- [DEA08] A. Deaconescu – *Proiectarea Sistemelor Robuste*, Ed. Univ. Transilvania Brașov, 2008.
- [DOD14] B. Dodson, P.C. Hammet, R. Klerx – *Probabilistic Design for Optimization and Robustness for Engineers*, Ed. Wiley, 2014.
- [ERV87] A. Ervine, H. T. Falvey - *Behaviour of turbulent water jets in the atmosphere and in plunge pools*, Paper 9136, Water Eng. Group, Proc. of the Institution of Civil Engineers, Part 2, Vol. 83, pag. 295-314, 1987
- [FIN72] I. Finnie - *Some Observations on the Erosion of Ductile Metals*, Wear, 19, pag. 81–90, 1972.

- [HAS84] M. Hashish - *A modeling study of metal cutting with abrasive waterjets*, ASME J. of Engineering Materials and Technology, vol. 106, no. 1, pag. 88–100, 1984.
- [HAS97] M. Hashish, D.E. Steele, D.H. Bothell- *Machining with super-pressure (690 MPa) waterjets*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 37, Pag. 465–479, 1997.
- [HIM92] U. Himmelreich - *Fluiddynamische Modelluntersuchungen an Wasserabrasivstrahlen*, VDI Fortschritt-Berichte, Reihe 7, no. 219, 1992
- [HLA18] L. M. Hlaváča, I. M. Hlaváčová, F. Arleob, F. Viganò, M. G. Annonic, V. Geryka- *Shape distortion reduction method for abrasive water jet (AWJ) cutting*, Precision Engineering 53, pag.194–202, 2018
- [HOL89] R. Hollinger, W. Perry, R. Swanson - *Precis with a LowPressure, Coherent Abrasive Suspension Jet*, The 5th American Waterjet Conference, pag. 245-252, Toronto, Canada, 1989
- [HOO06] A.M. Hoogstrate, T. Susuzlu, B. Karpuschewski - *High Performance Cutting with Abrasive Waterjets beyond 400 MPa*, Annals of the CIRP Vol. 55, nr1, 2006.
- [JAC11] M. J. Jackson, J. P. Davim - *Machining with Abrasives*, Springer, pag. 390-420, 2011.
- [JAF13] R. H. M. Jafar - *Erosion and Roughness Modeling in Abrasive Jet Micro-machining of Brittle Materials*, University of Toronto, 2013
- [JUR11] D. T. Juravle – *Introducere în geologie, curs* Univ. Al. I. Cuza, Iași, România, 2011.
- [KAR17] F. Kartal- *A review of the current state of abrasive water-jet turning machining method*, Springer-Verlag, London, 2016.
- [KEO81] E. J. McKeogh, D. A. Ervine - *Air entrainment rate and di_usion pattern of plunging liquid jets*, Chemical Engineering Science Vol. 36, Pag. 1161-1172, 1981.
- [LIA19] Z. Liang, S. Liao, Y. Wen, X. Liu1 - *Working parameter optimization of strengthen waterjet grinding with the orthogonal-experiment-design-based ANFIS*, Springer Science Business Media, New York, 2016.
- [LID99] D. R. Lide - *Handbook of chemistry and physics*, 80th Ed. CRC Press, Boca Raton, 1999.
- [LIN98] S.P. Lin, R.D. Reitz - *Drop and spray formation from a liquid jet*, Annual Review of Fluid Mechanics, no. 30, pag. 85-105, 1998.
- [LIU19] X. Liu1, Z. Liang, G. Wen, X. Yuan- *Waterjet machining and research developments: a review*, Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature, 2019.
- [LON17] X. Long, X. Ruan, Q. Liua, Z. Chenb, S. Xue, Z. Wuc- *Waterjet machining and research developments: a review*, Powder Technology 314, pag. 635–640, 2017.
- [MAR92] P. Martinec - *Mineralogical properties of abrasive materials and their role in waterjet cutting process*, Geomechanics 91, Rotterdam, pag. 353-382, 1992.
- [MEG77] S. A. Meguid, W. Johnson, S. T. S. Al-Hassani - *Multiple Impact Erosion of Ductile Metals by Spherical Particles*, Proceedings of the Seventeenth International Machine Tool Design and Research Conference, pag. 661-668, Birmingham, 1977.
- [MEL18] R. Melentieva, F. Fanga- *Recent advances and challenges of abrasive jet machining*, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 22, pag.1–20, 2018.
- [MIE17] M. Mieszala, P. L. Torrubia, D.A. Axinte, J.J. Schwiedrzik, Y. Guo, S. Mischler, J. Michler, L. Philippe - *Erosion mechanisms during abrasive waterjet machining: Model microstructures and single particle experiments*, Journal of Materials Processing Tech. 247, pag. 92–102, 2017.
- [MIT17] B. R. Mitchell, T. E. Bate, J.C. Klewicki, Y. P. Korkolis, B. L. Kinsey - *Experimental investigation of droplet impact on metal surfaces in reduced ambient pressure*, Procedia Manufacturing 10, pag. 730 – 736, 2017.

- [MOM01] A.W. Momber - *Energy transfer during the mixing of air and solid particles into a high-speed waterjet: an impact force study*, J. Experimental Thermal Fluid Sci., Vol. 25, pag. 31-41, 2001.
- [MOM02] A.W. Momber - *Hydroblasting and Coating of Steel Structures*, Published by Elsevier Advanced Technology, 2002.
- [MOM05] A.W. Momber – *Hydrodemolition of Concrete Surfaces and Reinforced Concrete Structures*, Published by Elsevier Ltd., 2005.
- [MON13] D.C. Montgomery – *Design and analysis of experiments*, Willey, 2013
- [MOR95] G. A. Mort - *Results of abrasive water jet market survey*, Proc. 8th American Water Jet Conference, Vol. 1, Water Jet Techn., St. Louis, pag. 259-282, 1995.
- [NAK83] M. Nakaya, N. Nishida, T. Kitagawa - *Development of variable delivery triple reciprocating plunger pump for water jet cutting*, Proceedings 2nd U.S. Water Jet Univ. of Missouri, pag. 111-118.
- [PRA18] K. S. Prasad, D. G. Chaitanya - *Selection of optimal process parameters by Taguchi method for Drilling GFRP composites using Abrasive Water jet machining Technique*, Proceedings 5, pag. 19714–19722, 2018.
- [QIA18] Z. Qiang, X. Miao, M. Wu, R. Sawhney - *Optimization of abrasive waterjet machining using multi-objective cuckoo search algorithm*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 99, pag. 1257–1266, 2018.
- [RAO17] R. V. Rao, D. P. Rai, J. Balic - *Multi-objective optimization of abrasive waterjet machining process using Jaya algorithm and Promethee Method*, Springer Science Business Media, Springer Nature, 2017.
- [RAO18] R. V. Rao, D. P. Rai, J. Balic, *Optimization of Abrasive Waterjet Machining Proces using Multi-objective Jaya Algorithm*, Proceedings 5, pag. 4930–4938, 2018.
- [RAD07] M. Radeş - *Rezistența Materialelor II*, Ed. Printech, 2007.
- [RAN85] R. Rohe – *Hydraulic mining in the American West*, Montana the Magazine of Western History, no.2, pag. 18-29, 1985
- [SAD03] S. Sadik, Y. Zimmels - *On the mechanism of spray formation from liquid jets*, J. Colloid and Interface Science, no. 259, pag. 261-274, 2003.
- [SAN95] G. J. De Santis - *Operational and maintenance misconceptions of high pressure power pumps*, Proceedings 3rd U.S. Water Jet Conference, US Bureau of Mines, WJTA, pag. 12-19, 1985.
- [SCH86] M. Schlatter - *Entgraten durch Hochdruckwasserstrahlen*, Springer-Verlag, Heidelberg, 1986
- [SCH 97] S.R. Schmidt, R.G. Launsby - *Understanding Industrial Designed Experiments*, Air Academy Press, 1997.
- [SHA08] B. A. Shannak, M.Q. Al-Odat, R.A. Damseh - *Two-phase flow resistance in flexible metal hoses*, Nuclear Engineering and Design, Volume 238, Issue 10, Pag. 2772–2778, October, 2008.
- [SHA72] D. S. Shavlovsky - *Hydrodynamics of high pressure fine continuous jets*. Proc. 1st Int. Symp. Jet Cutting Techn., BHRA Fluid Engineering., Cranfield, pp A6-A81, 1972.
- [SHA96] M. Shaw - *Principles of Abrasive Processing*, Clarendon Press Oxford, 1996.
- [SIN18] K. Singh, S. K. Maurya, S. Kumar - *A review on introduction to hybrid machining process*, International Journal of Advanced Engineering and Technology, Volume 2, Issue 3, pag.22-26., 2018.
- [SIN91] P. J. Singh, J. Munoz - *The alignability of jet cutting orifice and nozzle assemblies*, Jet Cutting Technology, Elsevier Sci. Pub., London, pag. 207-219, 1991.



- [SUP18] S. B. Supriya, S. Srinivas, *Machinability Studies on Stainless steel by abrasive waterjet* - Review, Proceedings 5, pag. 2871–2876, 2018.
- [SUS08] Tolga Susuzlu - *Development and Evaluation of Ultra High Pressure Waterjet Cutting*, Rotterdam, Netherland, 2008
- [TAG93] G. Taguchi – *Taguchi on Robust Technology Development*, University of Missouri, USA, 1993.
- [TAG02] G. Taguchi, R. Jugulum – *A pattern Technology System*, Wiley, 2002.
- [TAG04] G. Taguchi, S. Chowdhury, Y. Wu – *Taguchi Quality Engineering Book*, Wiley Interscience, 2004.
- [TET18] M. Teti, M. Papini, J. K. Spelt - *Jet properties and mixing chamber flow in a high-pressure abrasive slurry jet: part I—measurement of jet and chamber conditions*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 99, pag.1283–1291, 2018.
- [TIC92] R. Tikhomirov, A. Babanin - *High-Pressure Jetcutting*. ASME Press, New-York, 1992.
- [TRI07] F. Trieb, R. Karl, R. Moderer - *Pressure And Flow Rate Fluctuations At High Pressure Intensifier Pumps*, American WJTA Conference and Expo, Houston, USA, 2007.
- [VAU94] W. Vauck, H. Muller - *Grundoperationen chemischer Verfahrenstechnik*, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 10. Auflage, Leipzig-Stuttgart, 1994.
- [VEE00] S. Veenhuizen - *Operating Efficiency of Crankshaft Drive Pumps*, Proceedings of the 6th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, Sydney, Australia, October 9-11, pag. 249-252, 2000.
- [VIJ98] M. M. Vijay - *Power of pulsed jets. Waterjet Applications in Construction Engineering*, Rotterdam, Netherland, 1998.
- [WAN17] S. Wang, S. Zhang, Y. Wu, F. Yang - *Exploring kerf cut by abrasive waterjet*, Springer-Verlag London, 2017.
- [WEI19] H. Wei, C. Peng, H. Gao, X. Wang, X. Wang - *On establishment and validation of a new predictive model for material removal in abrasive flow machining*, International Journal of Machine Tools and Manufacture 138 79, 2019.
- [WIB18] A. Wibowo - *Hybrid kernel principal component regression and penalty strategy of multiple adaptive genetic algorithms for estimating optimum parameters in abrasive waterjet machining*, Applied Soft Computing 62, pag. 1102–1112, 2018.
- [WIE81] J. Wiedemeier - *Fließgeschwindigkeitsfreistrahlen hoher Relativgeschwindigkeit und Bruchkinetik spröder Werkstoffe*. PhD Thesis, Univ. Hannover, 1981.
- [WIL83] F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane – *The Theory of Error, Correcting Codes*, North Holland, 1983.
- [WRI99] D. Wright, J. Wolgamott, G. Zink - *A study of rotary jets for material removal*, Proc. 9th Amer. Water Jet Conf., WJTA, St Louis, pag. 525-539, 1999
- [YAN78] K. Yanaida, A. Ohashi - *Flow characteristics of water jets in air*, 4th Int. Symp. On Jet Cutting Technology, Cranfield, UK, pag. 39- 54, 1978.
- [ZEN07] J. Zeng - *Determination of machinability and abrasive cutting properties in AWJ cutting*, American WJTA Conference and Expo, Houston, Texas, August 19-21, 2007.
- [ZHA17] X. Zhang, C. Zhou, L. Jiang, R. Guo - *Influence of process parameters on abrasive particle motion characteristics in abrasive water jet descaling*, Springer-Verlag London, 2016.

Rezumat

Cercetarea doctorală desfășurată a urmărit elaborarea unei metode de optimizare a prelucrării cu jet hidroabraziv, bazată pe instrumente statistice, ușor de implementat în practică, care să permită configurarea utilajelor de prelucrat prin eroziune hidroabrazivă. În dezvoltarea metodei de optimizare au fost urmărite siguranța rezultatelor, implementarea facilă, performanța economică și performanța tehnică. Metoda de optimizare propusă a avut în vedere obținerea celei mai bune configurații a valorilor parametrilor posibil de modificat în desfășurarea procesului tehnologic, în scopul obținerii rezultatului urmărit, și s-a bazat pe efectuarea unui număr de experimente conform proiectării ortogonale fractionate, dezvoltată de Taguchi. Metoda propusă permite identificarea valorilor optime ale parametrilor ce influențează procesul tehnologic de prelucrare hidroabrazivă, utilizând un număr mic de experimente. În acest sens a fost creată o aplicație Excel, ușor de implementat și utilizat. Rezultatele obținute au fost verificate și validate atât teoretic cât și practic, utilizând pachetul de programe profesional Minitab (teoretic) și metoda planurilor de experimente complete (practic). În concluzie, scopul urmărit prin cercetarea doctorală și anume optimizarea configurării procesului de eroziune hidroabrazivă a fost atins.

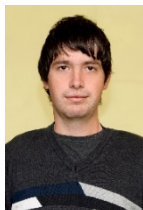
Abstract

The doctoral research, followed the development of a method of optimizing the processing with hydroabrasive jet, based on statistical tools, easy to implement in practice, allowing to configure the hydroabrasive erosion machines. The indicators were followed in the development of the optimization method: safe results, easy implementation, economic performance and technical performance. The proposed optimization method considered to obtain the best configuration of the parameter values possible to modify in the technological process, in order to obtain the desired result, and was based on performing a number of experiments according to the fractional orthogonal design, developed by Taguchi. The proposed method allows to identify the optimum values of the parameters that influence the technological process of hydroabrasive processing, using a small number of experiments. For this purpose an Excel application was created, easy to implement and use. The obtained results were verified and validated both theoretically and practically, using the Minitab professional program package (theoretically) and the method of the complete experiment plans (practically). In conclusion, the optimization of the configuration of the hydroabrasive process, the goal pursued through the doctoral research, was achieved

Curriculum Vitae

INFORMAȚII PERSONALE

Bogdan Florin BARABAȘ



✉ barabas.bogdan.florin@unitbv.ro

☎ Tel:

🌐 www.bogdanbarabas.ro

DOMENII DE COMPETENȚĂ PROFESIONALĂ / ARII DE INTERES ÎN CERCETARE

Tehnologii Neconvenționale,
Autovehicule rutiere, Securitate rutieră, Nanotehnologii.

EXPERIENȚA PROFESIONALĂ

- 2017 – prezent **Administrator**
F.B. Profimedia S.R.L. Str. Mureșenilor nr.13 Brașov
▪ Activități management, Foto-jurnalism
- 2014 – 2017 **Cadru didactic asociat**
Universitatea Transilvania din Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov, www.unitbv.ro
▪ Activități didactice și de cercetare
- 2012 – 2014 **Inginer**
TV Realitatea, Brașov
▪ Foto-jurnalism

EDUCAȚIE ȘI FORMARE

- 2016- prezent **Doctorand**
Universitatea Transilvania din Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
▪ Facultatea de Inginerie tehnologică și Management Industrial – Doctorand
- Inginer**
Universitatea Transilvania din Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
▪ Facultatea de Inginerie Mecanică, Specializarea Securitate rutieră, Transport și Interacțiunea cu Mediul
▪ Diplomă de inginer - master
- 2011 – 2013
Universitatea Transilvania din Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
▪ Facultatea de Inginerie Mecanică, Specializarea Autovehicule rutiere
▪ Diplomă de inginer - licență
- 2007 – 2011
▪ Diplomă de inginer - licență

Limba maternă	română		VORBIRE		SCRIERE
	INTELEGERE		Participare la conversație	Discurs oral	
Alte limbi străine cunoscute	Ascultare	Citire			
Engleză	C1	C1	C1	C1	C1
Franceză	B1	B1	B1	B1	B1

Competențe de comunicare bune competențe de comunicare

Competențe organizaționale/manageriale Administrator, F.B. Profimedia S.R.L.
Proiect Start-up Nation 2017.

Competențe informatice Catia, Autocad, Nastran, Minitab,
Prelucrare digitală a imaginii: softuri HDR

Activitate științifică 14 lucrări științifice publicate, din care 5 sunt indexate ISI Web of Knowledge

Curriculum Vitae

PERSONAL INFORMATION

Bogdan Florin BARABAȘ



✉ barabas.bogdan.florin@unitbv.ro

☎ Tel: 0

🌐 www.bogdanbarabas.ro

AREAS OF PROFESSIONAL COMPETENCE / AREAS OF INTEREST IN RESEARCH

Unconventional technologies,
Road vehicles, Road safety, Nanotechnologies.

WORK EXPERIENCE

- 2017 – present **Manager**
F.B. Profimedia S.R.L. Str. Mureșenilor nr.13 Brașov
Management activities, photojournalism
- 2014 – 2017 **Associate teacher**
Transilvania University of Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov, www.unitbv.ro
Teaching and research activities
- 2012 – 2014 **Engineer**
TV Realitatea, Brașov
Photojournalism

EDUCATION AND TRAINING

- 2014- present **PhD**
Transilvania University of Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
▪ Faculty of Technological Engineering and Industrial Management– PhD
- 2011 – 2013 **Engineer**
Transilvania University of Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
Faculty of Mechanical Engineering, Program: Road Safety,
Transport and Interaction with the Environment
▪ Master's Degree
- 2007 – 2011
Transilvania University of Brașov, Bd. Eroilor nr. 29, 500036 Brașov
▪ Faculty of Mechanical Engineering, Program: Automotive Engineering
▪ Bachelor's Degree

PERSONAL SKILLS

Mother tongue	Romanian				WRITING
	UNDERSTANDING		SPEAKING		
Other languages	Listening	Reading	Spoken interaction	Spoken production	
English	C1	C1	C1	C1	C1
French	B1	B1	B1	B1	B1

Communication skills Good communication skills

Organisational / managerial skills Manager, F.B. Profimedia S.R.L

Project Start-up Nation 2017.

Informatical skills Catia, Autocad, Nastran, Minitab, Digital image processing

Publications 14 published scientific papers, of which 5 are indexed ISI Web of Knowledge