



Universitatea  
Transilvania  
din Braşov

**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea de Inginerie tehnologică și management industrial**

**Ing.Dorinel POPA**

**Cercetări privind îmbunătățirea fabricării pulverizatoarelor  
de injecție la motoarele cu ardere internă  
Research on improving the manufacture of injection nozzles  
in internal combustion engines**

**REZUMAT**

**Conducător științific**

**Prof.dr. Cristin-Olimpiu MORARIU**

**BRAȘOV, 2023**

## CUPRINS

	Pag. teza	Pag. Rezumat
LISTA DE NOTAȚII.....	6	-
LISTA DE ABREVIERI.....	9	-
LISTA DE FIGURI.....	11	-
LISTA DE TABELE.....	19	-
MULȚUMIRI.....	22	5
REZUMAT SCURT( limba română/limba engleză).....	23	-
INTRODUCERE.....	25	6
<b>PARTEA a I-a – STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA FABRICĂRII PULVERIZATOARELOR DE INECȚIE LA MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ...</b>	27	8
<b>Capitolul 1. Sisteme de inecție moderne utilizate la autovehicule.....</b>	27	8
1.1. Noțiuni generale.....	27	-
1.2. Construcția si funcționarea sistemelor de inecție common rail.....	27	-
1.3. Componentele de înaltă presiune ale sistemului common rail.....	30	-
1.3.1. Pompa de înaltă presiune.....	30	-
1.3.2. Rampa comună (Acumulatorul de combustibil de înaltă presiune).....	32	-
1.3.3. Inecătoare.....	33	-
<b>Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor și analiza acestora în vederea îmbunătățirii proceselor de fabricare a pulverizatoarelor de inecție la motoarele cu ardere internă.....</b>	40	10
2.1. Tehnologii moderne de microgăurire a pulverizatoarelor de inecție.....	40	-
2.2. Tehnologii de fabricare aditivă a pulverizatoarelor de inecție.....	46	-
2.3. Tehnologii avansate de prelucrare și finisare cu flux abraziv.....	52	-
2.3.1. Prezentare generală a proceselor de prelucrare pe bază de abraziv.....	52	-
2.3.2. Tipuri de procese AFM.....	55	-
2.3.3. Parametrii procesului AFM.....	57	-
2.3.3.1. Parametrii regimului de așchiere AFM .....	58	-
2.3.3.2. Caracteristicile mediului abraziv AFM.....	58	-

2.3.3.3. Parametrii legați de piesa de prelucrat.....	64	-
2.3.3.4. Caracterizarea reologică și dezvoltarea mediului procesului de prelucrare cu flux abraziv.....	68	-
2.3.4. Stadiul actual al cercetărilor privind dezvoltarea proceselor hibride bazate pe AFM.....	74	-
2.4. Concluzii.....	85	-
<b>Capitolul 3. Obiectivele tezei de doctorat.....</b>	<b>87</b>	<b>12</b>
<b>PARTEA a II-a - CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND FABRICAREA PULVERIZATOARELOR DE INECȚIE CU FLUX ABRAZIV ASISTAT CU ULTRASUNETE.....</b>	<b>89</b>	<b>14</b>
<b>Capitolul 4. Procesul de prelucrare cu flux abraziv asistat cu ultrasunete a orificiilor pulverizatoarelor de inecție.....</b>	<b>89</b>	<b>14</b>
4.1. Necesitatea folosirii procesului de prelucrare cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de inecție .....	89	-
4.2. Noțiuni generale despre prelucrarea cu flux abraziv a pulverizatoarelor de inecție.....	91	-
4.3. Parametrii care influențează procesul de prelucrare cu flux abraziv.....	94	-
4.4. Alegerea mediului abraziv .....	95	-
4.4.1. Alegerea particulelor abrazive.....	95	-
4.4.1.1. Proprietățile materialelor abrazive.....	95	-
4.4.1.2. Clasificarea materialelor abrazive.....	98	-
4.4.1.3. Caracteristicile și domeniile de utilizare ale abrazivilor sintetici.....	107	-
4.4.1.4. Criterii de alegere a particulelor abrazive.....	108	-
4.4.2. Alegerea fluidului purtător al particulelor abrazive.....	110	-
<b>Capitolul 5. Modelarea și simularea numerică a prelucrării cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de inecție.....</b>	<b>111</b>	<b>17</b>
5.1. Modelarea prelucrării cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de inecție.....	111	-
5.1.1. Prezentare generală a modelelor fizice în ANSYS Fluent.....	111	-
5.1.2. Modelarea curgerii amestecului de fluid.....	112	-
5.1.3. Teoria modelului eulerian.....	117	-

5.1.4. Modelarea matematică a eroziunii suprafeței (rugozității suprafeței) de curgere a orificiului pulverizatorului de injecție.....	125	-
5.1.5. Metode de soluții utilizate în ANSYS Fluent.....	128	-
5.2. Analiza fluxului AFM pentru un model 2D.....	130	-
5.2.1. Introducere.....	130	-
5.2.2. Crearea modelului geometric și mesharea orificiului de curgere al pulverizatorului de injecție.....	131	-
5.2.3. Stabilirea tipurilor de limite .....	133	-
5.2.4. Detalii simulare.....	133	-
5.2.5. Rezultate și discuții.....	135	-
5.2.6. Concluzii.....	144	-
5.3. Analiza fluxului AFM pentru un model 3D.....	144	-
5.4. Concluzii.....	147	-
<b>PARTEA a III-a - CERCETĂRI EXPERIMENTALE REFERITOARE LA FABRICAREA ORIFICIILOR PULVERIZATOARELOR DE INECȚIE PRIN PRELUCRAREA CU FLUX ABRAZIV ASISTAT CU ULTRASUNETE .....</b>	<b>148</b>	<b>19</b>
<b>Capitolul 6. Proiectarea și realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic.....</b>	<b>148</b>	<b>19</b>
6.1. Proiectarea instalației experimentale.....	148	-
6.2. Realizarea și descrierea instalației de prelucrare hidroabrazivă a orificiilor pulverizatoarelor de injecție.....	149	-
<b>Capitolul 7. Rezultate experimentale obținute prin prelucrarea hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic a pulverizatoarelor de injecție.....</b>	<b>159</b>	<b>22</b>
7.1. Realizarea planului de experimente.....	159	22
7.2. Rezultate experimentale și discuții.....	161	22
7.3. Concluzii referitoare la cercetările experimentale de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat cu ultrasunete.....	195	44
<b>PARTEA a IV-a - CONCLUZII ȘI CONSTATĂRI FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚIILE VIITOARE ALE CERCETĂRII. DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII.....</b>	<b>197</b>	<b>46</b>
<b>Capitolul 8. Concluzii și constatări finale.....</b>	<b>197</b>	<b>46</b>
<b>Capitolul 9. Contribuții personale. Direcțiile viitoare ale cercetării. Diseminarea</b>	<b>199</b>	<b>48</b>

<b>rezultatelor cercetării.....</b>		
9.1. Contribuții personale.....	199	48
9.2. Direcții viitoare ale cercetării.....	200	49
9.3. Diseminarea rezultatelor cercetării.....	200	49
<b>BIBLIOGRAFIE.....</b>	201	50
<b>ANEXE .....</b>	215	-
ANEXA 1- Tabelul A1 Cercetări privind procesele derivate ale procesului de prelucrare hidroabrazivă.....	216	-
ANEXA 2 - Desenul de execuție pentru pulverizatorul tip RO DLLA-150 P44.....	245	-
ANEXA 3 - Desenul de execuție pentru piulița DELPHI.....	246	-
ANEXA 4 - Desenul de execuție pentru bucșa adaptoare a injectorului DELPHI.....	247	-
ANEXA 5- Desenul de execuție al piuliței asamblate a pulverizatorului pentru injectorul DELPHI.....	248	-
ANEXA 6 - Desenul de execuție pentru acul pulverizatorului DLLA-150.....	249	-
ANEXA 7 - Desenul de execuție pentru acul modificat al pulverizatorului DLLA-150.....	250	-

## MULȚUMIRI

Doresc să aduc mulțumiri tuturor colegilor și prietenilor mei, care au contribuit atât de generos la realizarea acestei experiențe care este un proiect complex, concretizat prin realizarea tezei de doctorat.

O mențiune specială îi revine îndrumătorului meu, prof.dr.ing. Cristin-Olimpiu Morariu care a contribuit prin sprijinul, direcția, semnificația și consolarea sa consecventă pentru a-mi finaliza eficient proiectul de cercetare. Este o oportunitate să lucrezi cu cineva atât de experimentat. Au existat câteva circumstanțe dificile la începutul schiței proiectului pentru a găsi abordarea și soluția corectă pentru realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă, dar în cele din urmă s-a găsit soluția optimă de realizare. Oricum ar fi, propunerile și gândurile sale semnificative m-au impulsionat în finalizarea cercetării.

De asemenea, doresc să mulțumesc comisiei de îndrumare care m-a sprijinit pe parcursul întregului demers al cercetării, respectiv, domnilor profesori prof.dr.ing. Anișor NEDELICU, prof.dr.ing. Mircea Viorel DRĂGOI și doamnei prof.dr.ing. Adela – Eliza DUMITRAȘCU.

Îi sunt, de asemenea, foarte recunoscător domnului prof.dr.ing. Vlad MĂRDĂRESCU care m-a sprijinit pe parcursul realizării experimentelor cu sfaturi și îndrumări care sunt de neuitat.

De asemenea îi sunt profund recunoscător doamnei prof.dr.ing. Luminița POPA, care a fost persoana care în momentele critice când nu se vedea „luminița de la capătul tunelului”, m-a ajutat să trec peste obstacole, printr-o implicare desăvârșită.

Nu în ultimul rând aș vrea să aduc mulțumiri domnului conf.dr.ing. Marius-Daniel NĂSULEA, domnului C.Ș. III Dr.ing. Mihai-Alin POP, coordonatorul centrului de cercetare Tehnologii și materiale avansate metalice, ceramice și compozite MMC (C08) din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov, domnului dr.ing. Dan POPESCU proprietarul firmei INMACRO din Brașov, domnului Ion EMILIANO proprietarul firmei EMILIANO-reparații injectoare și pompe de injecție din Craiova-Dolj care m-au sprijinit punându-mi la dispoziție baza materială pentru a efectua cercetările necesare.

De asemenea, aș dori să profit de ocazie pentru a mulțumi familiei mele pentru răbdarea, înțelegerea și sprijinul lor continuu pe parcursul activităților mele de cercetare.

Dorinel POPA,  
Brașov, 2023

## INTRODUCERE

În ultimul deceniu dezvoltarea tehnologiilor de fabricație a înregistrat progrese semnificative în special în domeniul construcției de autovehicule care au o pondere din ce în ce mai mare în producerea de emisii de poluanți. Emisiile de poluanți produse de autovehicule sunt în principal:

- ❖ monoxid de carbon (CO);
- ❖ hidrocarburi nearchive (HC);
- ❖ oxizii de azot NO și NO<sub>2</sub>;
- ❖ particule (funingine și cenușă).

Emisiile poluante produse de autovehicule afectează negativ calitatea aerului și sunt dăunătoare sănătății. Pentru îndeplinirea cerințelor standardelor de mediu s-a recurs la diferite optimizări ale proceselor de fabricație și utilizarea unor materiale cu efect redus asupra poluării. Cu toate că tendința actuală este de trecere la o propulsie electrică a autovehiculelor, în special pentru transportul din aglomerările urbane, unde densitatea populației este foarte ridicată și poluarea se află la niveluri foarte ridicate periclitând astfel sănătatea populației, motoarele cu ardere internă rămân încă un element foarte important pentru cercetare, întrucât dezvoltă puteri și cupluri motoare ridicate, necesare autovehiculelor de transport marfă, în comparație cu motoarele electrice.

În ultima perioadă, optimizarea sistemelor de injecție a combustibilului a înregistrat progrese semnificative care are rolul de a asigura atomizarea prin pulverizare a combustibilului în camera de ardere a motorului termic. Cea mai semnificativă dezvoltare a sa, o reprezintă tehnologia common rail care asigură presiuni de injecție ridicate (peste 2700 bari), și care este utilizată pentru optimizarea și îmbunătățirea procesului de pulverizare a combustibilului în camera de ardere, având ca rezultat reducerea produșilor nocivi ai arderii combustibilului, oferind flexibilitate și control pe perioada funcționării motorului termic.

Amestecurile aer-combustibil cu omogenitate ridicată produc întârzieri mai scurte la aprindere, temperaturi locale reduse și emisii de noxe scăzute, fapt datorat livrării energetice îmbunătățite către piston. Prin urmare, calitatea atomizării, evaporării și amestecării combustibilului afectează semnificativ eficiența performanței. Îmbunătățirea performanțelor motoarelor termice se poate realiza prin controlul atomizării și pulverizării combustibilului care depinde de proprietățile combustibilului, geometriei injectorului și condițiile de curgere din amonte și în aval de orificiile de curgere (în interior) a pulverizatoarelor de injecție.

Scopul principal al acestei cercetări este de identificare și studiere a tehnologiilor de fabricație care pot optimiza funcționarea sistemelor de injecție utilizate la autovehicule pentru reducerea poluării care afectează mediul înconjurător.

Astfel, prin analiza critică a cercetărilor și rezultatelor acestora din literatura tehnică de specialitate (prezentată în PARTEA a I-a – Stadiul actual al cercetărilor și analiza acestora privind îmbunătățirea proceselor de fabricare a pulverizatoarelor de injecție la motoarele cu ardere internă), a cercetărilor teoretice realizate prin modelarea și simularea curgerii unui fluid abraziv prin orificiile unui pulverizator de injecție (prezentate în PARTEA a II-a – Studii și cercetări teoretice privind fabricarea orificiilor pulverizatoarelor de injecție cu flux abraziv asistat cu ultrasunete), precum și prin conceperea, proiectarea , realizarea unei instalații de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic și analiza rezultatelor experimentale obținute (prezentate în PARTEA a III-a - Cercetări experimentale referitoare la fabricarea orificiilor pulverizatoarelor de injecție prin prelucrarea cu flux abraziv asistat cu ultrasunete), au fost evidențiate câteva rezultate care contribuie la îmbunătățirea caracteristicilor de curgere a fluidului prin orificiile pulverizatoarelor de combustibil, respectiv prin utilizarea instalației de prelucrare realizată în cadrul acestor studii de cercetare, s-a obținut o rotunjire a muchiei orificiului de curgere a pulverizatorului de combustibil în zona de intrare a fluxului de fluid.



## PARTEA a I-a – STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRIILOR PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA FABRICĂRII PULVERIZATOARELOR DE INECȚIE LA MOTOARELE CU ARDERE INTERNĂ

### Capitolul 1. Sisteme de inecție moderne utilizate la autovehicule

Sistemele de inecție common rail în comparație cu cele cu came prezintă avantajul că presiunea dezvoltată de pompa de înaltă presiune este independentă de inecția de combustibil realizată de către injector, permițând selecția presiunii în anumite limite în mod liber. Datorită flexibilității acestui sistem de inecție optimizarea formării și arderii amestecului de carburant în scopul reducerii poluării se realizează cu ușurință.

Primul sistem Common Rail controlat electronic a fost lansat de Bosch în 1997 pentru autoturisme, care dezvoltă o presiune de 1350 bari, a urmat în 1999 un sistem pentru cu 1400 bari, iar în 2004 a fost lansat pe piață sistemul care dezvoltă 1600 de bari, ajungând în prezent la presiuni de peste 2500 de bari.

Un sistem tipic de echipament de inecție common rail cu componentele sale principale este prezentat în figura 1.1. Presiunea este dezvoltată independent de ciclul de inecție. Pompa de înaltă presiune care funcționează continuu, acționată de motor, livrează combustibilul care a fost comprimat la presiunea sistemului, în rampa comună, (6). Datorită livrării aproape uniforme, dimensiunea și cuplul maxim al pompei de înaltă presiune sunt mai mici decât în cazul sistemelor de inecție controlate cu camă.

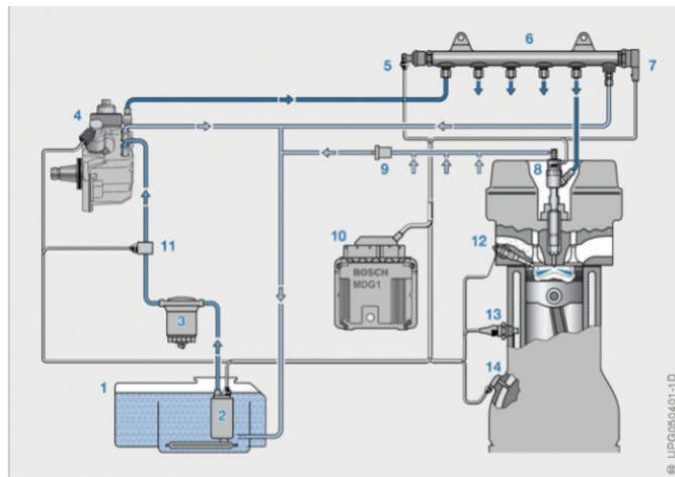


Figura 1.1. Sistem common rail pentru autovehicule:

1 - rezervor; 2 - pompa de prealimentare cu filtru de sită; 3 - filtru de combustibil; 4 - pompa de înaltă presiune cu unitate de măsurare; 5 - senzor de presiune pe rampă; 6 - rampa comună; 7 - supapă de control al presiunii; 8 - injector; 9 - supapă de reținere (numai pentru injectorul electrovalvei, opțional) sau supapa de reținere a presiunii (numai pentru injector piezoelectric); 10 - unitate de comandă cu intrări pentru senzori și ieșiri pentru servomotoare; 11 - senzor de temperatură a combustibilului; 12 - bujie incandescentă; 13 - senzor de temperatură a apei de răcire; 14 - senzor de turație a arborelui cotit, [REI2020]

Timpul de deschidere și presiunea sistemului determină cantitatea de combustibil injectat. Prin urmare, este independent de turația motorului sau a pompei.

Sistemele Common Rail prezintă o serie de avantaje în comparație cu sistemele de injecție cu came, astfel:

- ❖ presiunea de injecție dorită este disponibilă permanent, indiferent de viteză și sarcină;
- ❖ la viteze și sarcini reduse se pot dezvolta presiuni ridicate și astfel se îmbunătățește calitatea amestecului;
- ❖ flexibilitate ridicată în ceea ce privește injecțiile multiple, respectiv numărul lor, cât și distanța dintre ele;
- ❖ atașarea ușoară la motor și necesită un cuplu de acționare redus.

La motoarele în V, fiecărei laturi de cilindri i se atribuie o rampă de presiune separată. Alimentarea cu combustibil de la pompa de presiune poate fi conectată direct la una dintre rampe sau printr-un bloc distribuitor. Acumulatorii de combustibil (rampele de presiune) sunt apoi conectați între ei printr-o conductă de înaltă presiune, existând numeroase opțiuni de conectare și conexiune.

În zona de înaltă presiune a sistemului common rail se realizează generarea și stocarea presiunii și de asemenea măsurarea combustibilului injectat, cu următoarele componente:

- ❖ pompă de înaltă presiune;
- ❖ rampă comună;
- ❖ senzor de presiune;
- ❖ senzor de reglare a presiunii;
- ❖ supapă de limitare a presiunii;
- ❖ conducte de înaltă presiune;
- ❖ injectoare.

Pompa de înaltă presiune este acționată de motor. Raportul de transmisie trebuie selectat astfel încât rata de livrare a combustibilului să fie suficientă pentru a realiza volumul nominal al sistemului. În plus, livrarea trebuie să aibă loc în mod sincron cu injecția pentru a obține, în mare măsură, aceleași condiții de presiune în momentul injecției. Combustibilul comprimat de pompa de înaltă presiune este transportat în rampa de combustibil prin linia (conducele) de înaltă presiune și de aici este distribuit către injectoarele conectate.

Rampa comună este utilizată pentru stocarea combustibilului primit de la pompa de înaltă presiune și pentru alimentarea cu cantitatea necesară de combustibil a injectoarelor.

Injectoarele common rail sunt alcătuite în principal dintr-un pulverizator de injecție, corp de susținere, supapă de control și cameră de control și asigură pulverizarea combustibilului în camera de ardere..

## Capitolul 2. Stadiul actual al cercetărilor și analiza acestora în vederea îmbunătățirii proceselor de fabricare a pulverizatoarelor de injecție la motoarele cu ardere internă

Din analiza cercetărilor cu privire la îmbunătățirea proceselor de fabricare a pulverizatoarelor de injecție utilizate la motoarele cu ardere internă se remarcă următoarele tehnologii de fabricație:

- a) Microgăurirea secvențială cu laser și EDM
- b) Fabricarea aditivă a pulverizatoarelor de injecție prin fuziune laser în pat de pulbere (Laser Powder Bed Fusion- LPBF), și pulverizare cu jet de liant (Binder Jetting- BJ);
- c) Tehnologii avansate de prelucrare și finisare cu flux abraziv

Din analiza literaturii de specialitate studiate s-au desprins o serie de direcții de cercetare specifice tehnologiilor de fabricare a pulverizatoarelor de injecție, pentru care nu există informații suficiente, sau nu au fost obținute rezultate concludente.

Analiza menționată a dus la următoarele concluzii:

- ❖ Realizarea orificiilor de curgere a combustibilului prin pulverizatoarelor de injecție utilizând microgăurirea secvențială cu laser și EDM înlătură dezavantajele prelucrării prin EDM, și a utilizării laserului. Prelucrarea se realizează cu cost redus, dar în schimb, costul instalației de prelucrat este ridicat. Un avantaj al acestei metode este curgerea fluxurilor rezultate în urma prelucrării în timpul procesului de găurire fapt care reduce timpul de prelucrare și creșterea eficienței găuririi.
- ❖ Pulverizatoarele de injecție proiectate și fabricate aditiv în urma testării au indicat o descărcare și un regim termic ridicat. Prin această tehnologie de fabricare se obține o distribuție mai omogenă a pulverizării carburantului în comparație cu geometriile obținute prin tehnologii clasice, determinând astfel îmbunătățirea performanțelor de ardere, dar durabilitatea acestora este mai redusă datorită porozității care apare în procesul de fabricare, fapt pentru care utilizarea acestora în fabricarea componentelor complexe să fie mai restrânsă.
- ❖ Procesul de prelucrare cu flux abraziv este un proces complex , întrucât depinde de mulți factori.
- ❖ Materialele cu duritate ridicată pot fi prelucrate doar prin abraziune.
- ❖ Calitatea suprafeței prelucrate prin abraziune depinde de proprietățile materialului abraziv și parametrii regimului de prelucrare, care au ponderea cea mai ridicată.
- ❖ Procesul de abraziune se caracterizează prin: precizie ridicată, finisare superioară a suprafeței și productivitate ridicată.
- ❖ Unele dintre procesele hibride și derivate ale procesului de finisare cu flux abraziv au unele limitări în funcție de principiul de prelucrare și de aranjamentele particulare ale dispozitivelor auxiliare folosite.
- ❖ Durata a finisării relativ mare și îndepărtarea scăzută a materialului reprezintă principalele limitări ale procesului AFF; deci, mai sunt necesare cercetări pentru optimizarea acestui proces de prelucrare;

- ❖ Nu au fost realizate cercetări amănunțite cu privire la prelucrarea prin abraziune a suprafețelor cu dimensiuni reduse, așa cum sunt orificiile pulverizatoarelor de injecție.

### Capitolul 3. Obiectivele tezei de doctorat

Din analiza stadiului cercetărilor actuale cu privire la tehnologiile de fabricație inovative în domeniul fabricării pulverizatoarelor de injecție la motoarele cu ardere internă, s-au desprins următoarele direcții de cercetare specifice acestui domeniu:

- ❖ îmbunătățirea tehnologiei de prelucrare hidroabrazivă pentru creșterea performanțelor și obținerea creșterii calității suprafețelor de dimensiuni reduse prin optimizarea parametrilor de proces;
- ❖ modelarea matematică a procesului de prelucrare hidroabrazivă;
- ❖ optimizarea parametrilor instalației de prelucrat.

Având în vedere concluziile rezultate din analiza stadiului actual al cercetărilor și direcțiile de cercetare desprinse, se poate formula următorul obiectiv principal al cercetării științifice:

**„Desfășurarea unor cercetări de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic, a orificiilor de curgere ale pulverizatoarelor de injecție utilizate la motoarele cu ardere internă”.**

Pentru îndeplinirea obiectivului principal sunt necesare următoarele obiective derivate:

- a) analiza și sintetizarea cercetărilor inovative actuale în domeniul fabricării pulverizatoarelor de injecție;
- b) studii și cercetări teoretice pentru îmbunătățirea fabricației prin modelarea și simularea numerică a prelucrării cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de injecție care presupun :

- ❖ stabilirea condițiilor pentru modelarea și simularea prelucrării cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de injecție;
- ❖ crearea modelului geometric și mesharea, (crearea plasei), orificiului de curgere al pulverizatorului injectorului de combustibil;
- ❖ stabilirea tipurilor de limite;
- ❖ realizarea simulării;
- ❖ determinarea variației presiunii statice, a presiunii dinamice, a energiei turbulente, a intensității turbulenței, a vitezei medii de curgere și a tensiunii de forfecare a peretelui orificiilor de curgere, ale pulverizatorului de combustibil, pentru cazul orificiilor cu muchie de intrare dreaptă;
- ❖ determinarea variației presiunii statice, a presiunii dinamice, a energiei turbulente, a intensității turbulenței, a vitezei medii de curgere și a tensiunii de forfecare a peretelui orificiilor de curgere, ale pulverizatorului de combustibil pentru cazul orificiilor cu muchie de intrare rotunjită;
- ❖ analiza și interpretarea rezultatelor obținute;

- c) cercetări experimentale pentru îmbunătățirea fabricării orificiilor pulverizatoarelor injectoarelor de injecție utilizate la motoarele cu ardere internă prin prelucrarea cu flux abraziv asistat cu ultrasunete, care presupun:

- ❖ proiectarea și realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic:
  - stabilirea condițiilor necesare realizării instalației de prelucrare hidroabrazivă;

- realizarea schemei funcționale a instalației de prelucrare hidroabrazive;
- identificarea componentelor necesare ;
- asamblarea componentelor instalației;
- realizarea probelor funcționale și optimizarea funcționării instalației;
- ❖ proiectarea planului de experimentare;
- ❖ realizarea studiului experimental:
  - efectuarea prelucrării hidroabrazive a orificiilor pulverizatoarelor de injecție în condițiile stabilite în planul experimentului;
  - testarea și verificarea pulverizatoarelor de injecție pe standul de verificat și încercat injectoare:
    - proiectarea și prelucrarea componentelor auxiliare necesare realizării testării pulverizatoarelor prelucrate hidroabraziv pe standul de verificat și testat injectoare;
    - determinarea caracteristicilor de debit pentru pulverizatoarele prelucrate hidroabraziv;
    - stabilirea raportului procentual al debitului maxim al pulverizatoarelor prelucrate în raport cu debitul maxim al pulverizatorului neprelucrat;
  - analiza calității suprafeței orificiilor de curgere ale pulverizatoarelor prelucrate, (analiza dimensională și a rugozităților);
- ❖ analiza și interpretarea rezultatelor experimentale.

## PARTEA a II-a - CERCETĂRI TEORETICE PRIVIND FABRICAREA PULVERIZATOARELOR DE INJEȚIE CU FLUX ABRAZIV ASISTAT CU ULTRASUNETE

### Capitolul 4. Procesul de prelucrare cu flux abraziv asistat cu ultrasunete a orificiilor pulverizatoarelor de injecție

Având în vedere creșterea nevoii de realizare a unor piese cu suprafețe complexe și cu grad ridicat de finisare la costuri reduse și cu un nivel ridicat al poluării, a crescut și nevoia apariției unor procese de prelucrare care să satisfacă aceste cerințe, respectiv prelucrarea cu flux abraziv asistat cu ultrasunete, oferind o finisare cu acuratețe și precizie ridicată. Această operație utilizează particulele abrazive pentru îndepărtarea materialului ca unealtă așchietoare [JJD1999]. Pentru menținerea în suspensie omogenă a particulelor abrazive se utilizează un omogenizator ultrasonic.

Sistemul prelucrării cu flux abraziv este alcătuit din următoarele componente: pompă hidraulică, cilindri hidraulici, pistoane și aranjamente auxiliare pentru fixarea piesei de prelucrat (figura 4.1).

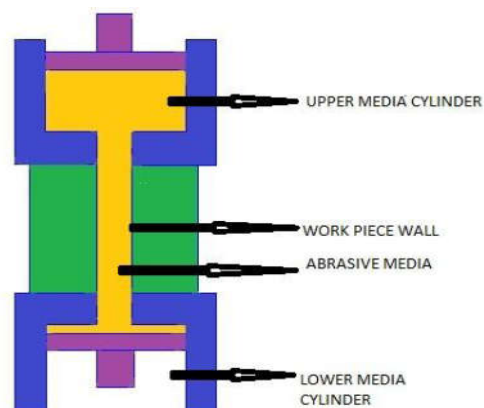


Figura 4.1. Procesul de prelucrare cu curgere abrazivă, [WAS2014]

Sistemul hidraulic forțează mediul să treacă prin piesa de prelucrat de la un cilindru de mediu abraziv la altul la o anumită presiune de curgere (10 bari la 200 de bari) a mediului de fluid abraziv.

Pulverizatoarele de injecție au orificii care trebuie să aibă un finisaj bun al suprafeței, o rază netedă la admisia fluidului în zona de intrare în orificiu de injecție al combustibilului.

Analiza dinamică a fluidelor (CFD) a demonstrat că particulele abrazive lovesc pereții orificiului de curgere al pulverizatorului la intrare în orificiu, creând prin impact cu peretele orificiului o eroziune internă [DAB2007], înrăutățind performanțele curgerii.

Cercetările au demonstrat că rotunjirea marginii ascuțite a orificiului pulverizatorului de injecție prin prelucrare hidroerozivă reduce efectele cavitației [BWK1999].

Din analiza cercetărilor referitoare la prelucrarea cu flux abraziv, deducem că principalii parametri care influențează rezultatele procesului de prelucrare sunt:

- presiunea de extrudare (presiunea optimă pentru îmbunătățirea calitatății suprafeței de prelucrat este de 80 bari);
- dimensiunea și concentrația abrazivilor (o îmbunătățire a calității suprafeței de prelucrat se obține pentru concentrații de 10 % și 20 %);
- cantitatea (rezultate bune ale finisării suprafeței pe prelucrat se obțin pentru o cantitate redusă de fluid, respectiv  $V_{\text{fluid}} = 1$  l/trecere) și vâscozitatea fluidului abraziv;
- numărul de treceri ale mediului abraziv prin orificiile pulverizatoarelor de combustibil ( $N = 4, 6, 8$ );
- temperatura de lucru (25 °C);

Procesul de prelucrare cu flux abraziv este un proces avansat care se aplică în mod obișnuit la finisarea pieselor cu formă complexă, pentru a obține o rugozitate mai bună a suprafeței și toleranțe mai reduse.

Particulele abrazive sunt particule foarte dure, cu vârfuri și muchii cu forme neregulate și ascuțite, cu rolul de a desprinde așchii de mici dimensiuni de pe suprafețele supuse prelucrării. Acestea sunt cunoscute încă din neolitic, fiind folosite pentru șlefuirea suprafețelor anumitor obiecte.

Pentru a putea detașa aceste așchii, particulele abrazive trebuie să fie antrenate într-o mișcare relativă față de suprafața piesei care urmează să fie prelucrată, fiind înglobată într-un material solid (discuri și pietre abrazive etc.), suspensii fluide, într-un jet de mediu gazos sau într-un câmp magnetic. Unealta așchietoare prezintă în acest caz particulele abrazive care au muchii tăietoare dispuse în mod aleatoriu și care au înclinări diferite a vârfurilor de tăiere.

Selectarea particulelor abrazive utilizate la prelucrarea cu flux abraziv se realizează de obicei în funcție de trei criterii principale:

- ❖ după natura materialului abraziv;
- ❖ după granulație;
- ❖ prețul de cost.

Aceste criterii de selectare a materialelor abrazive nu sunt independente, ele fiind în strânsă corelație cu materialul de așchiat, tipul procedurii de prelucrare și calitatea dorită pentru prelucrare. Din studiile și analizele efectuate se constată că particulele abrazive cele mai utilizate sunt cele de SiC pentru că sunt mai ieftine și au o durată de utilizare mai îndelungată față de alți abrazivi ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ , Granat).



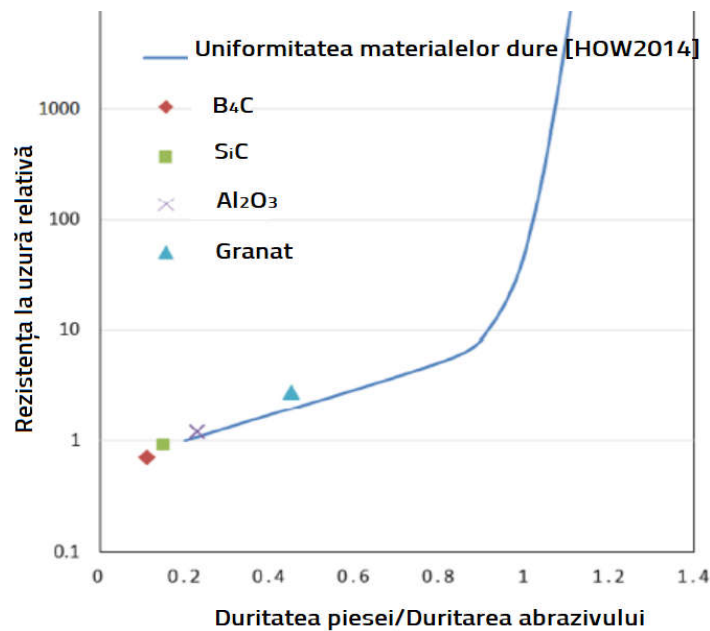


Figure 4.2. Variația rezistenței la uzură în funcție de rata durității oțelului de scule X155CrVMo12-1 cu duritatea de 55HRC [KUO2016]

Îmbunătățirea suprafeței prelucrate prin abraziune este influențată de rezistența la uzură a particulelor abrazive. Cantitatea de material îndepărtată scade cu duritatea materialelor abrazive respectiv de la B<sub>4</sub>C → SiC → Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> → Granat.

Având în vedere cele prezentate anterior, pentru acest studiu se vor utiliza microparticule abrazive de SiC. Mediile abrazive sunt componentele principale ale procesului de prelucrare hidroabrazivă, constând dintr-un polimer vâscoelastic ranforsat cu particulele abrazive, care acționează ca un mediu purtător, iar particulele abrazive acționează ca un instrument de așchiere care asigură îndepărtarea materialului din piesa de prelucrat. Din analiza cercetărilor specifice acestui domeniu s-a constatat că mediile polimerice utilizate în mod obișnuit sunt poliborosiloxanul și cauciucul siliconic.

Dar având în vedere acest studiu de prelucrare a orificiilor pulverizatoarelor injectoarelor de combustibil, se va folosi un fluid care are caracteristici apropiate cu combustibilul diesel respectiv fluidul de calibrare pentru echipamente de injecție diesel ISO 4113.

Tabelul 4.1. Proprietățile combustibilului diesel și ale uleiului ISO 4113

Proprietăți	Combustibil Diesel	Ulei ISO 4113
Denstatea la 15°C [g/ml]	0,820	0,825
Vâscozitatea cinematică [mm <sup>2</sup> /s]	2,87	2,53
Lubricitatea HFRR [micron]		410

Acest fluid are proprietăți apropiate cu ale combustibilului diesel și este un ulei mineral cu efect de degresare care protejează injectoarele după calibrare permițând funcționarea acestora după o perioadă de depozitare la parametrii nominali.

## Capitolul 5. Modelarea și simularea numerică a prelucrării cu flux abraziv a orificiilor pulverizatoarelor de injecție

Având în vedere că ANSYS Fluent oferă capacități complete de modelare pentru o gamă largă de probleme de curgere a fluidelor compresibile, incompresibile, laminare și turbulente, pentru studiu s-a folosit acest soft. În ANSYS Fluent este combinată o gamă largă de modele matematice pentru fenomene de transport (cum ar fi căldura transfer și reacții chimice) cu capacitatea de a modela geometrii complexe.

Analiza fluxului mediului de fluid presupune următoarele etape:

- ❖ crearea modelului geometriei și mesharea, (discretizarea), orificiului de curgere al pulverizatorului injectorului de combustibil;
- ❖ specificarea tipurilor de limite și implementarea problemei în Fluent;
- ❖ rezolvarea;
- ❖ analiza rezultatelor.

Pentru o analiză riguroasă a curgerii fluidului prin orificiul pulverizatorului se au în vedere două tipuri de orificii de curgere, respectiv cu muchie dreaptă la intrarea lichidului și cu muchie rotunjită.

În acest studiu au fost investigate caracteristicile mediilor de curgere prin orificiile pulverizatorului de injecție, în ceea ce privește profilul presiunii, turbulenței și forfecarea peretelui în procesul de curgere al fluidului abraziv folosind instrumentul software ANSYS FLUENT.

Din analiza distribuțiilor intensității turbulențelor fluidului de curgere prin orificiul pulverizatorului de injecție, pentru cele două cazuri respectiv, cu muchie dreaptă și cu muchie rotunjită, se observă că în cazul pulverizatorului cu muchia rotunjită, fenomenul cavitației se reduce semnificativ îmbunătățind astfel caracteristicile curgerii și se diminuează efectele nedorite ale cavitației față de cazul unui pulverizator cu muchie dreaptă.

Din analiza distribuțiilor energiilor cinetice se observă că disiparea turbulentei și energia cinetică turbulentă se intensifică cu creșterea presiunii, granulației și concentrației abrazivului, și prezintă în zona de intrare a orificiului de curgere o fluctuație datorată fenomenului de cavitație. Cu cât energia cinetică turbulentă este mai mare, cu atât zona curgerii turbulente este mare. Cu cât amestecul este mai omogen, cu atât consistența lustruirii este mai bună.

Din analiza distribuțiile tensiunilor de forfecare în zona muchiei orificiului pulverizatorului atât pentru muchia dreaptă cât și pentru muchia rotunjită, se obțin următoarele rezultate:

- menținând presiunea și dimensiunea granulelor constante, la o creștere a concentrației particulelor abrazive în mediul fluid, tensiunea de forfecare în zona muchiei crește, reducând astfel timpul de finisare în cadrul finisării hidroabrazive a muchiei, iar dacă reducem concentrația abrazivilor crește durata finisării;

- dacă presiunea și concentrația abrazivilor, în suspensie, se menține constantă, dar modificăm crescător granulația abrazivilor observăm că tensiunea de forfecare se reduce, realizându-se astfel o creștere a duratei finisării suprafeței interioare a orificiului pulverizatorului;
- dacă se mențin granulația și concentrația abrazivilor constante și modificăm crescător presiunea de extrudare prin orificiu, se obține o creștere a tensiunii de forfecare, determinând astfel reducerea duratei finisării muchiei.

Din analiza rezultatelor acestui studiu se pot desprinde următoarele concluzii majore:

- ❖ Ecuațiile de conservare a curgerii fluidului au fost rezolvate numeric pe grile numerice complet nestructurate, ceea ce permite modelarea a geometriilor complexe ale pulverizatorului și a fazei de cavitație.
- ❖ Adăugarea vibrației ultrasonice asigură o menținere uniformă a abrazivelor în suspensie realizând astfel o interacțiune uniformă cu suprafața piesei de prelucrat, crescând astfel gradul de îndepărtare a materialului și îmbunătățirea finisării suprafeței.
- ❖ Modificarea geometiei traseului de curgere al piesei de prelucrat, respectiv modificarea ariei secțiunii transversale, influențează semnificativ distribuțiile profilurilor de presiune, de viteză și de forfecare a peretelui. Prin rotunjirea muchiei de intrare în orificiul de curgere se reduce cavitația, crescând astfel presiunea de injecție, viteza de curgere și tensiunile de forfecare a peretelui îmbunătățind astfel caracteristicile curgerii.
- ❖ Presiunea de extrudare pe suprafața piesei de prelucrat scade pe lungimea piesei de prelucrat datorită interacțiunii particulelor abrazive cu suprafața de finisat.
- ❖ Utilizarea presiunii de 80 de bari asigură condițiile de finisare a muchiei peretelui de intrare prin rotunjire în condiții optime.
- ❖ Rata de îndepărtare a materialului crește odată cu presiunea de extrudare și concentrația procentuală de abrazivi în mediu, dar valoarea sa scade cu dimensiunea ochiurilor de granule abrazive.
- ❖ Rata de uzură este corelată pozitiv cu debitul la aceeași secțiune unghiulară a microcanalului de curgere a fluidului.

Rezultatele simulării numerice arată că îmbunătățirea ratei de îndepărtare a materialului și a calității suprafeței, depinde de dimensiunea particulelor abrazive respectiv, rata de îndepărtare a materialului este proporțională cu dimensiunea particulelor abrazive, în timp ce calitatea suprafeței este invers proporțională cu aceasta.

Rezultatele acestui studiu au fost folosite la proiectarea instalației pentru cercetarea experimentală.

## PARTEA a III-a. CERCETĂRI EXPERIMENTALE REFERITOARE LA FABRICAREA ORIFICIILOR PULVERIZATOARELOR DE INECȚIE PRIN PRELUCRAREA CU FLUX ABRAZIV ASISTAT CU ULTRASUNETE

### Capitolul 6. Proiectarea și realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat cu ultrasunete

Din analiza stadiului actual al cercetărilor se constată că sunt necesare noi studii experimentale cu privire la îmbunătățirea calității suprafețelor de curgere ale echipamentelor de inecție, respectiv a orificiilor pulverizatoarelor de inecție care au un rol semnificativ în asigurarea cantității și calității debitului de combustibil pentru ardere, cu implicații aspra produșilor arderii care influențează calitatea aerului. Aceasta este reglementată prin standarde din ce în ce mai stricte din acest punct de vedere. De remarcat faptul că din studiile analizate se constată că nu este prezentat modul de menținere în suspensie al mediului abraziv în timpul prelucrării, precum și date tehnice detaliate ale unei instalații de prelucrare de acest nivel, fapt pentru care s-a procedat la proiectarea unei asemenea instalații.

La realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă s-au avut în vedere următoarele cerințe:

- să realizeze o presiune ridicată, de minim 80 de bari (această condiție rezultă din analiza stadiului actual și din analiza simulării curgerii fluidului abraziv prin orificiile pulverizatorului de combustibil);
- să asigure distribuția fluidului eroziv la un moment bine determinat;
- să aibă un gabarit redus;
- să fie economică din punct de vedere al costurilor de fabricație;
- să îndeplinească normele de sănătate și securitate în muncă și PSI.

La realizarea instalației au fost utilizate următoarele componente:

- a) motor electric;
- b) pompa de presiune,
- c) transmisia prin curea trapezoidală;
- d) conductele de înaltă presiune;
- e) acumulator de presiune;
- f) furtune hidraulice de presiune;
- g) supapa pentru reglarea presiunii hidraulice;
- h) robinet hidraulic cu bilă  $\frac{3}{4}$  cu două căi;
- i) supapa de sens;
- j) manometru presiune cu lichid pentru presiune maximă de 160 bari;
- k) cilindru hidraulic cu dublu efect;
- l) amortizor telescopic pentru acționarea cilindrului cu dublu efect;
- m) rezervoarele de fluid;
- n) tabloul de pornire;
- o) omogenizatorul ultrasonic de vibrații;

- p) masa instalației;  
r) injectorul port pulverizator.

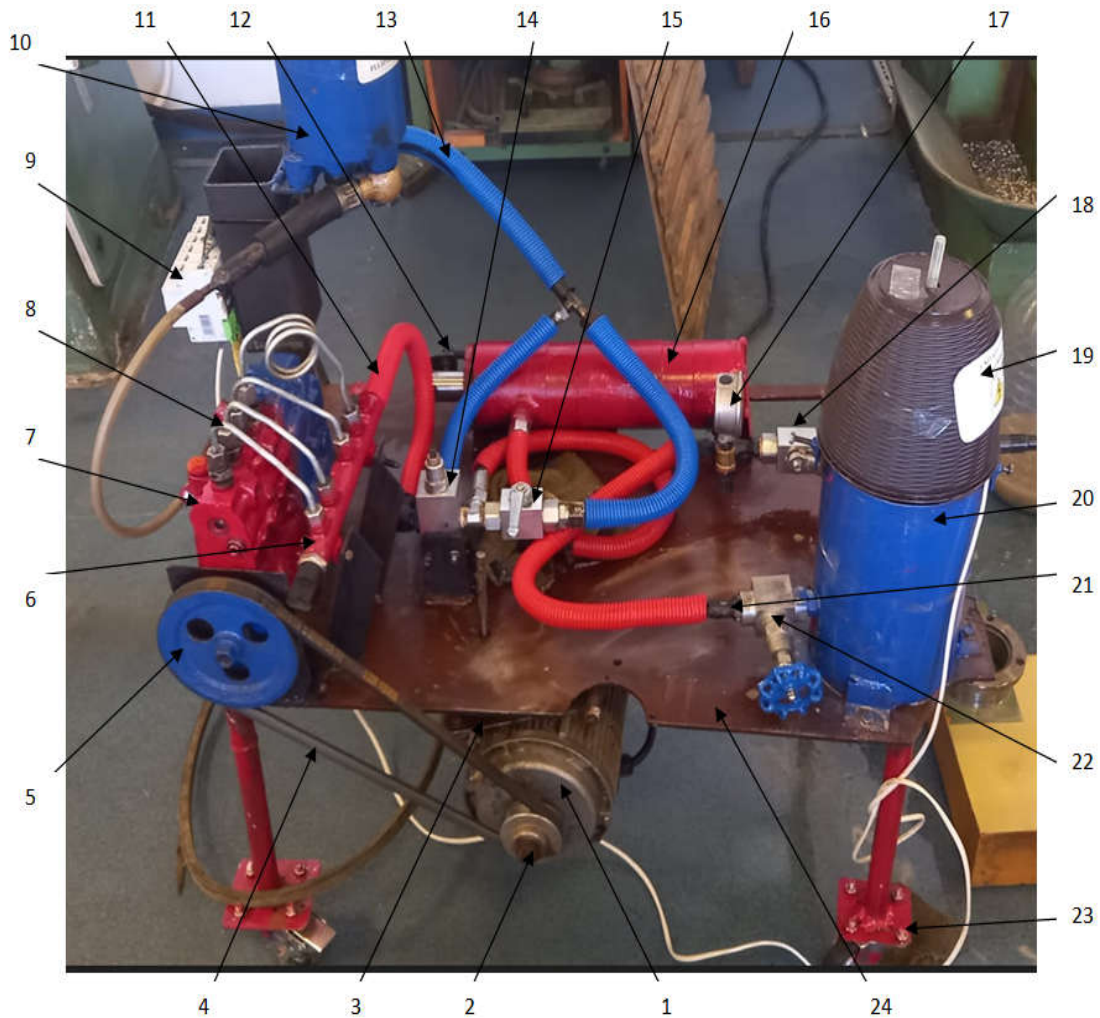


Figura 6.1. Instalația de prelucrare hidroabrazivă- vedere generală: 1 - motor electric; 2 - roată cureaua conducătoare; 3 - sistem de întindere motor; 4 - cureaua trapezoidală; 5 - roată cureaua condusă; 6 - acumulator presiune; 7 - pompă injecție; 8 - conductă înaltă presiune; 9 - panou comandă; 10 - rezervor cu fluid hydraulic; 11 - traseu de înaltă presiune; 12 - amortizor telescopic; 13 - traseu de joasă presiune; 14 - supapă reglare presiune; 15 - robinet; 16 - cilindru cu dublu efect; 17 - manometru presiune; 18 - robinet; 19 - omogenizator ultrasonic; 20 - rezervor cu fluid abraziv; 21 - supapă de sens; 22 - robinet; 23 - role de deplasare; 24 - masa instalației

## Capitolul 7. Rezultate experimentale obținute prin prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat cu ultrasunete a pulverizatoarelor de injecție

### 7.1. Proiectarea planului de experimente

Din analiza cercetărilor efectuate în domeniul prelucrării abrazive a pulverizatoarelor de injecție, precum și din analiza cercetărilor teoretice din partea a II-a a prezentei teze de cercetare, deducem că pentru a obține rezultate optime, cercetarea experimentală se va desfășura în următoarele condiții:

- ❖ fluidul purtător utilizat este fluidul de calibrare - ISO 4113:2010 –Cantitate :2 litri;
- ❖ Pulbere abrazivă SiC, (carbură de siliciu), F800: granulație de 7  $\mu\text{m}$ , achiziționată din Anglia prin firma GERO TOOLS SRL din Sibiu-România;
- ❖ Concentrația particulelor abrazive în fluidul purtător:  $c = 0,1 \text{ dm}^3/\text{litru}$  și  $0,2 \text{ dm}^3 /\text{litru}$ ;
- ❖ Presiunea de extrudare : 80 bari;
- ❖ Numărul de treceri ale fluidului abraziv prin orificiile pulverizatorului de combustibil: 4, 6 și 8.

Pentru studiul experimental se vor utiliza pulverizatoare de combustibil tip DLLA-150 P44 care au tratament intermediar în zona canalului de curgere (duritatea este 51 HRC).

În vederea desfășurării cercetărilor experimentale a fost proiectat, folosind produsul software Minitab, un plan de experimentare complet având doi factori, (Frația de volum, [%] și Volumul de flux abraziv utilizat prelucrare, [l]), fiecare având două și respectiv trei niveluri.

Tabelul 7.1. Valorile parametrilor corespunzători cercetărilor experimentale

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Frația de volum, [%]	Numărul de treceri	Volum, [l]
4	1	1	1	20	4	4
6	2	1	1	20	8	8
1	3	1	1	10	4	4
3	4	1	1	10	8	8
2	5	1	1	10	6	6
5	6	1	1	20	6	6

Scopul acestei etape de proiectare este acela de a obține rezultate experimentale cu o acuratețe maximă.

### 7.2. Rezultate experimentale și discuții

În vederea desfășurării cercetării prelucrării hidroabrazive a pulverizatoarelor de tipul RO-DLLA-150 P44, reper 297.11.055, cu 5 orificii de injecție cu  $\phi=0,24 \text{ mm}$ , cu unghiul de așezare de  $\delta=150^\circ$ , au fost

utilizate 6 pulverizatoare identice cu tratament intermediar aplicat orificiilor de curgere ale pulverizatoarelor de injecție. Aceste tratamente termice intermediare se practică atunci când pulverizatoarele sunt destinate echipării modelelor funcționale sau a motoarelor prototip, pentru care echipamentele de injecție au o altă configurație a orificiilor de injecție atât din punctul de vedere al diametrului cât și al unghiului de așezare. Aceasta este o practică a tuturor firmelor producătoare de echipamente de injecție pentru serii mici sau pentru cercetare.

Pentru experimente s-au măsurat și cântărit cantitatea de fluid purtător și doza de abraziv necesară pentru fiecare caz de testare în parte. S-au realizat experimentele cu cele șase duze pe standul de prelucrare respectând condițiile stabilite în planul experimentului și după fiecare probă s-au marcat, (numerotat), duzele de injector pentru identificare.



Figura 7.1. Prelucrarea pulverizatoarelor de injecție : a) - prezentare funcțională; b) - prezentarea pulverizării jetului de combustibil în rezervorul de colectare; c) - prezentare micropulbere SiC - F 800, și ulei de calibrare 4113 utilizate la prelucrare

Pe parcursul celor șase experimente s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 7.2 și tabelul 7.3.



Tabelul 7.2. Variația timpului de trecere al fluidului abraziv prin orificiile pulverizatorului de combustibil

Pulverizator	Cantitate abraziv utilizată [dm <sup>3</sup> /litru]	Timpul de trecere [s]								
		1	2	3	4	5	6	7	8	total
1	0,2	39,04	38,14	38,39	39,04					154,61
2	0,2	38,27	38,38	38,54	38,22	38,67	38,26			230,34
3	0,2	38,68	38,42	38,21	38,34	38,18	38,78	38,56	38,34	307,51
4	0,1	37,16	36,67	36,84	37,08					147,75
5	0,1	36,82	36,16	36,28	36,44	36,65	36,62			218,97
6	0,1	36,54	36,61	36,45	36,18	36,87	36,11	36,54	36,13	291,43

Tabelul 7.3. Variația vitezei medii de curgere prin orificiile pulverizatorului de combustibil

Pulverizator	Cantitate abraziv utilizată [dm <sup>3</sup> /litru]	Viteza medie de curgere/trecere [m/s]								
		Număr trecere								Medie/pulverizator
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	0,2	113,24	115,91	115,16	113,24					114,39
2	0,2	115,52	115,19	114,71	115,67	114,33	115,55			115,16
3	0,2	114,30	115,07	115,70	115,31	115,79	114,00	114,6	115,31	115,02
4	0,1	118,97	120,56	120,00	119,23					119,69
5	0,1	120,07	122,26	121,86	121,32	120,63	120,73			121,14
6	0,1	120,99	120,76	121,29	122,19	119,91	122,43	120,99	122,36	121,37

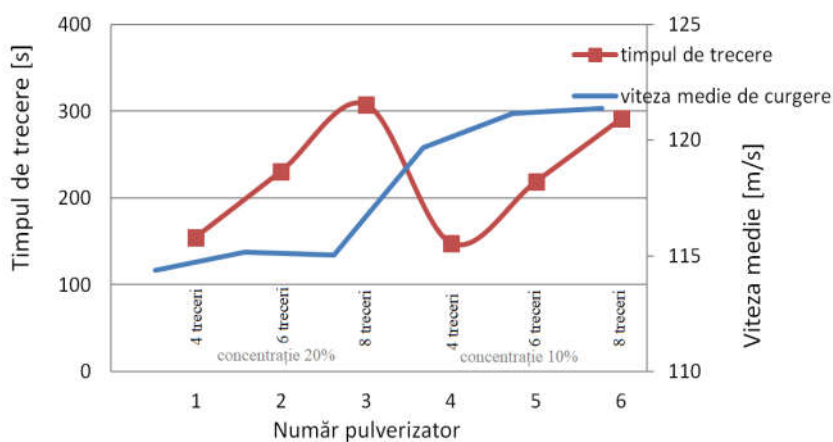


Figura 7.2. Graficele de variație a vitezei medii de curgere și a timpului de trecere prin orificiile pulverizatoarelor de combustibil în funcție de concentrația fluidului abraziv și numărul de treceri



Din figura 7.2 se observă că pe măsură ce crește numărul de treceri scade durata trecerii fluidului prin orificiu și creșterea vitezei de curgere, datorită fenomenului de uzare al particulelor abrazive în timpul abraziunii suprafeței interioare a orificiului de curgere al pulverizatorului.

De asemenea odată cu scăderea concentrației abrazivului se observă o creștere a vitezei de curgere și reducerea duratei perioade de trecere a fluidului abraziv.

Eficiența eroziunii este influențată de presiunea și viteza mediului abraziv extrudat prin piesa de prelucrat.

După prelucrarea orificiilor pulverizatoarelor de injector s-a trecut la verificarea caracteristicilor de injecție la bancul de verificat injectoare, pentru diferite condiții de exploatare.

Având în vedere că pulverizatoarele folosite pentru prelucrare nu pot fi montate pe injectoare piezoelectrice, am procedat la realizarea unei piulițe de adaptare pentru prindere pe injectoarele piezoelectrice Delphi COD A0C9F3E3 BE31F270, disponibile la Service.

Pentru a putea fi montate pulverizatoarele pe platoul de dozare al injectorului Delphi au fost operate modificări pentru piulița specială originală ce fixează pulverizatorul de corp, conform figurii 7.3 se poate vedea configurația piuliței speciale Delphi.

Pentru adaptarea avută în vedere montajului pulverizatoarelor de tipul RO-DLLA-150 P44, reper 297.11.055, pe corpul de injector Delphi, a fost proiectată o bucșă suport pentru piulița modificată Delphi. Prin sudura celor două repere s-a obținut piulița specială pentru asamblarea pulverizatorului pe corpul injectorului.

În figura 7.3. este prezentată piulița adaptoare pentru montarea pulverizatorului pe corpul injectorului precum și un injector piezoelectric Delphi COD A0C9F3E3 BE31F270 care are piulița adaptoare montată.

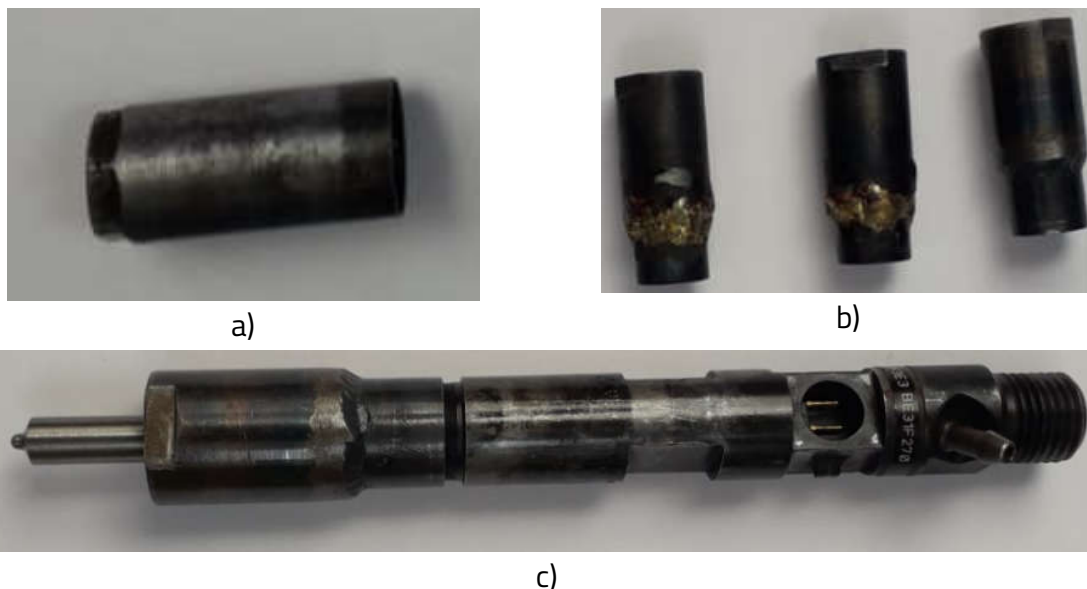


Figura 7.3. Injector Delphi : a) piulița Delphi; b) piuliță confecționată; c) injector Delphi asamblat

De asemenea acul pulverizatorului este prea lung și pulverizatorul nu se deschide în injectorul Delphi, fapt pentru care am procedat la rectificarea acestuia pe mașina de rectificat pentru reducerea dimensiunii de la 4,5 mm la 3,2 mm, deci cu 1,3 mm. Mașina de rectificat utilizată este prezentată în figura 7.4.



a)



b)

Figura 7.4. Mașina de rectificat UMG Cugir : a) prezentare generală; b) detaliul procesului de rectificare



Figura 7.5. Dispozitiv pentru fixarea acului pulverizatorului pe mașina de rectificat UMG Cugir

Pentru a studiul debitelor la diferite presiuni de de injecție și diferiți timpi de comandă a deschiderii injectorului, am efectuat probe în urma cărora au rezultat caracteristicile de injecție pentru fiecare pulverizator, pe un stand de model Hardridge Cri-PC, tip PED 97/23/EC PS2000BAR (figura 7.6).



Figura 7.6. Stand de verificat injectoare Hardridge Cri-PC

În figurile 7.7 ÷ 7.12 se prezintă caracteristicile de injecție pentru pulverizatoarele 1÷6, neprelucrate. Pentru toate probe durata semnalului a fost : 400, 500, 600, 700, 800, 900 și 1000  $\mu$ s, iar presiunile în rampa de alimentare au fost: 35, 50, 70, 90, 100 și 120 MPa.

#### Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.1 neprelucrat

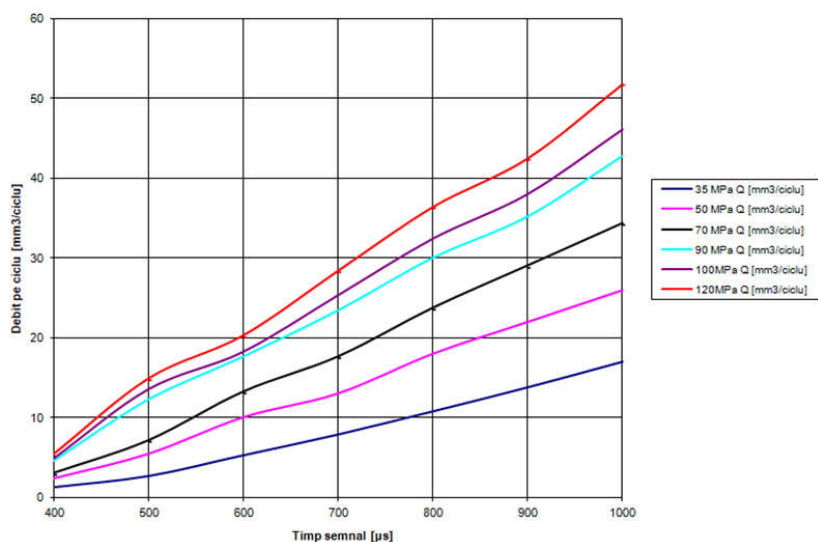


Figura 7.7. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul 1 neprelucrat

### Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.2 neprelucrat

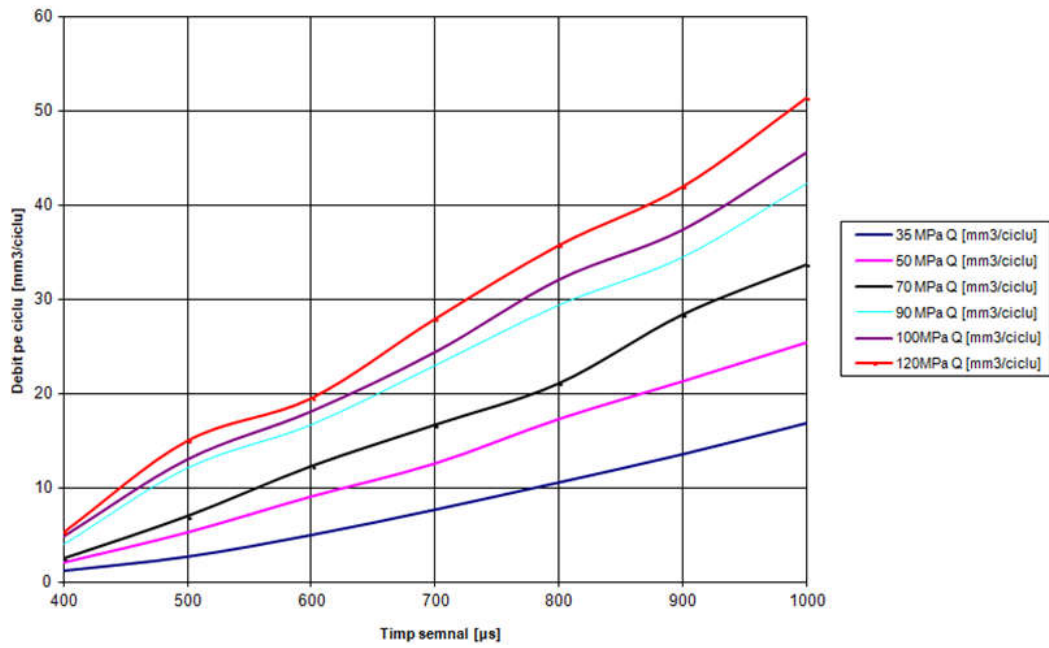


Figura 7.8. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 2 neprelucrat

### Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.3 neprelucrat

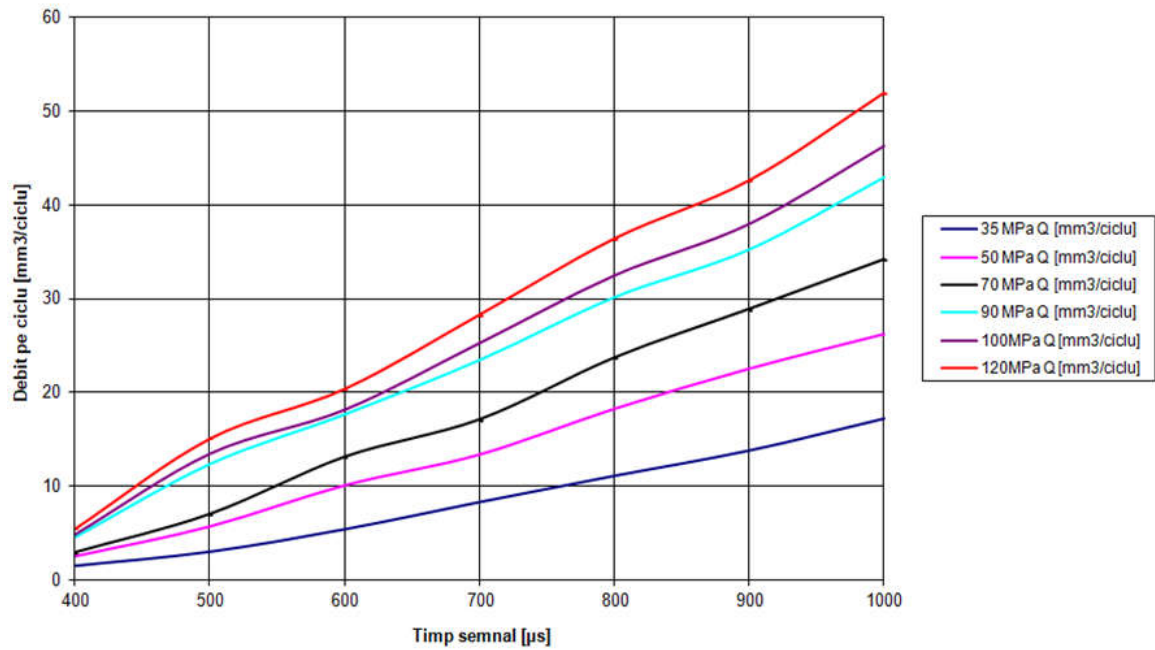


Figura 7.9. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul 3 neprelucrat

**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.4  
neprelucrat**

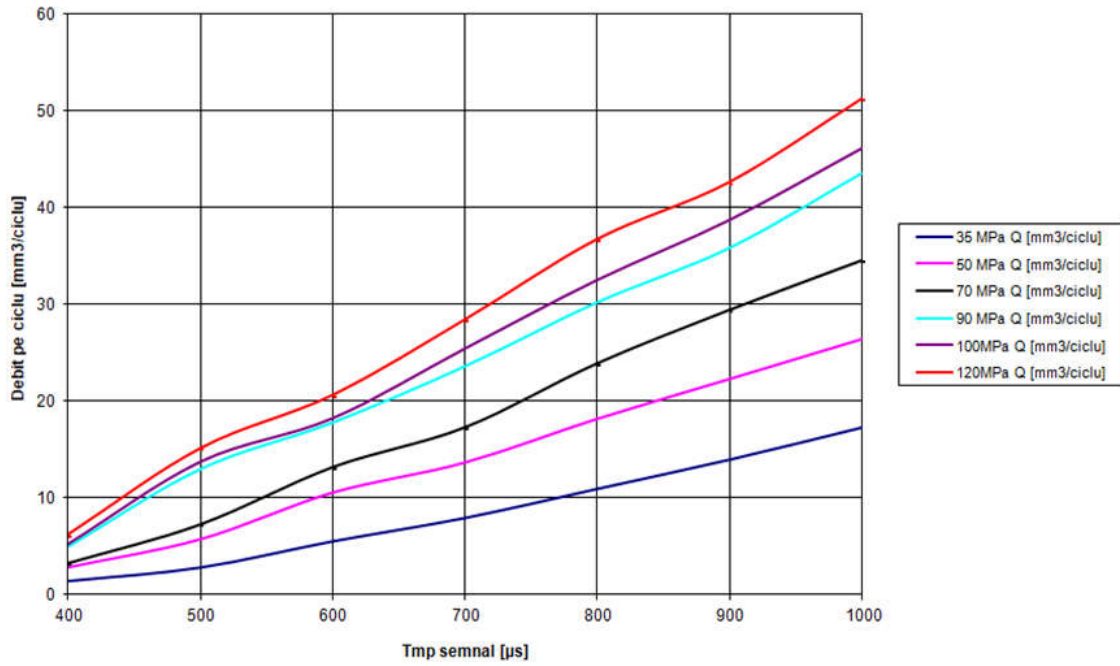


Figura 7.10. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul 4 neprelucrat

**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.5  
neprelucrat**

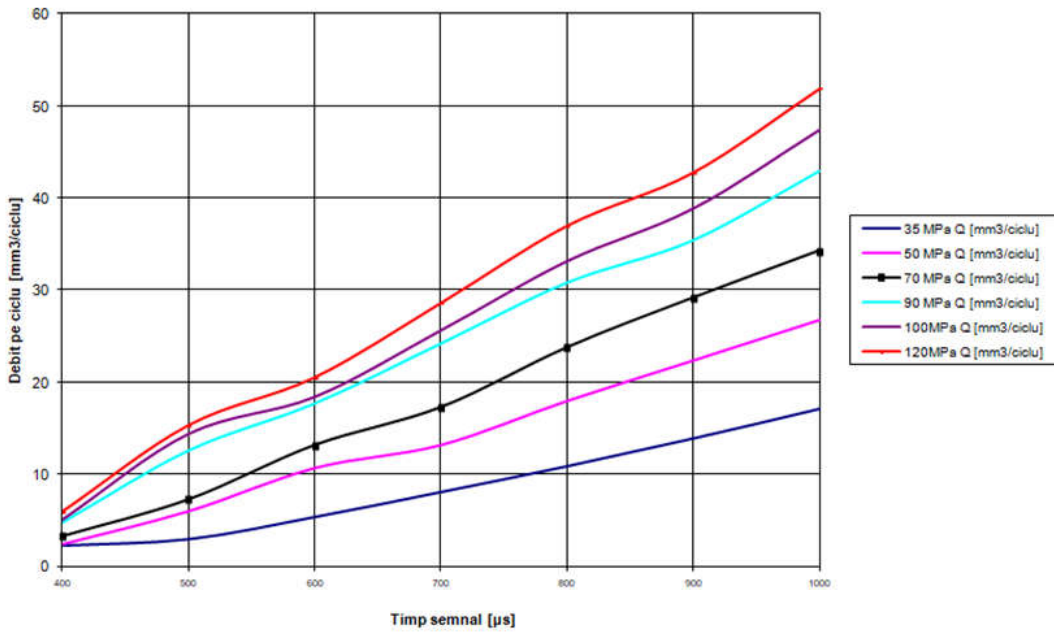


Figura 7.11. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul 5 neprelucrat

### Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.6 neprelucrat

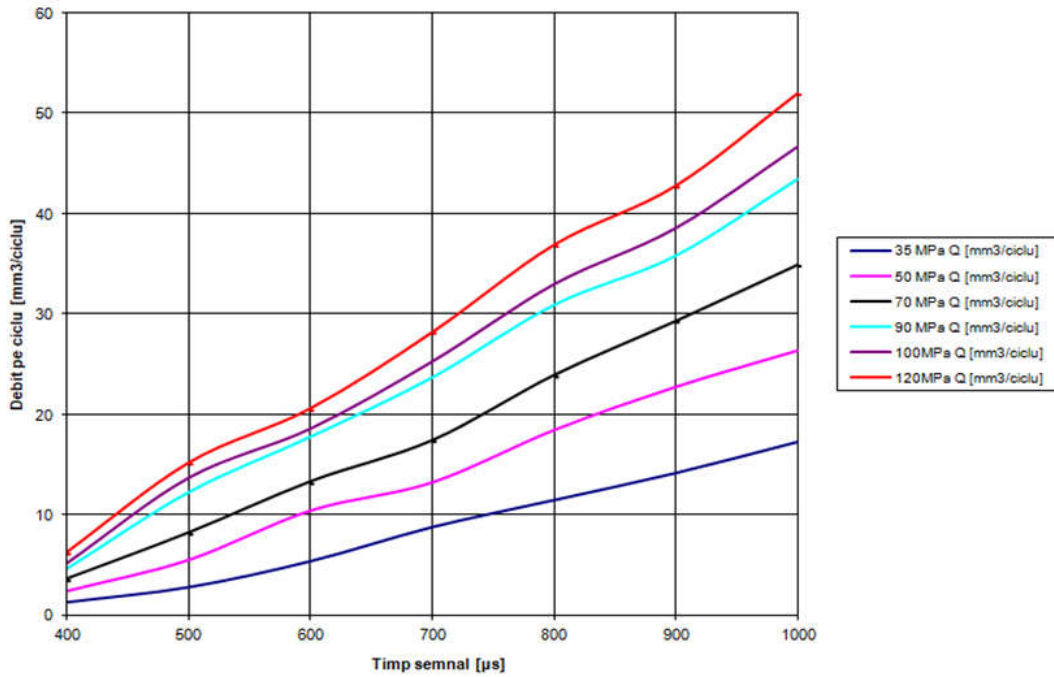


Figura 7.12. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul 6 neprelucrat

În continuare sunt prezentate rezultatele obținute pentru caracteristicile de injecție după prelucrare.

În figurile 7.13÷ 7.18 se prezintă caracteristicile de injecție pentru pulverizatoarele 1÷6, prelucrate. Pentru toate probele durata semnalului a fost : 400, 500, 600, 700, 800, 900 și 1000 μs, iar presiunile în rampa de alimentare au fost: 35, 50, 70, 90, 100 și 120 MPa.

### Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.1 prelucrat - patru treceri - 200 cm<sup>3</sup>/SiC/litru

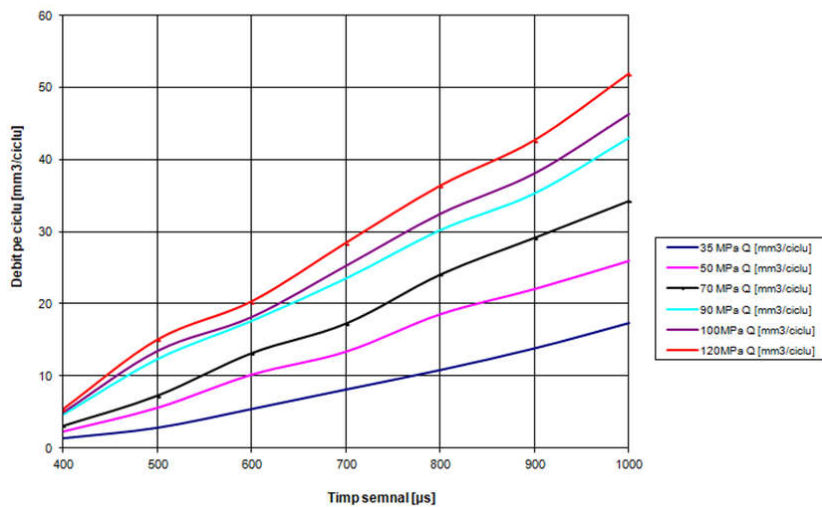


Figura 7.13. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul nr.1 prelucrat: 4 treceri



**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.2 prelucrat  
- șase treceri  
- 200 cm<sup>3</sup> /SiC/litru**

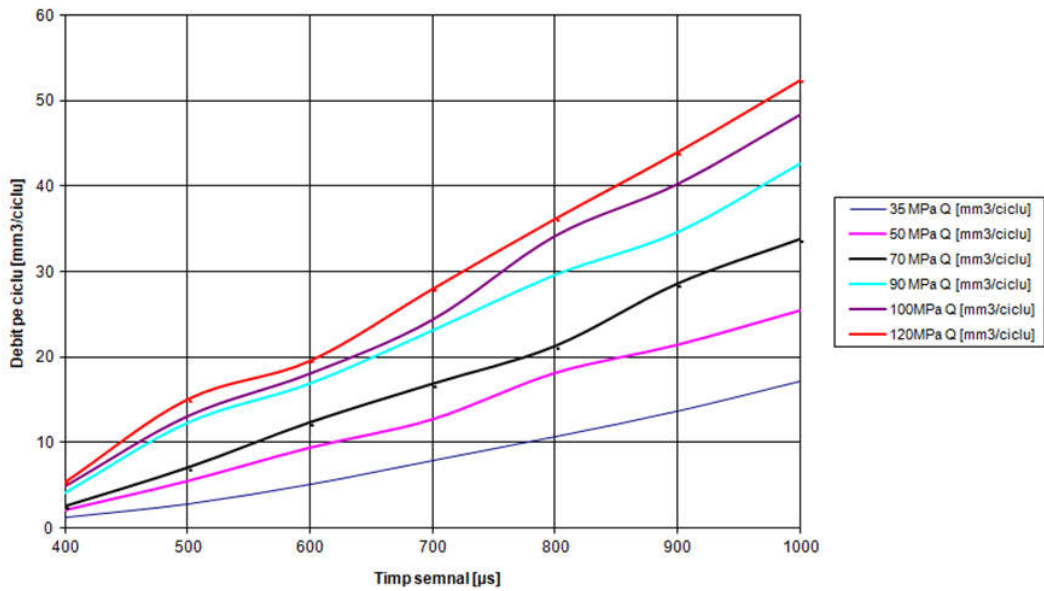


Figura 7.14. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 2 prelucrat: 6 treceri

**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.3 prelucrat  
- opt treceri  
- 200 cm<sup>3</sup>/SiC/litru**

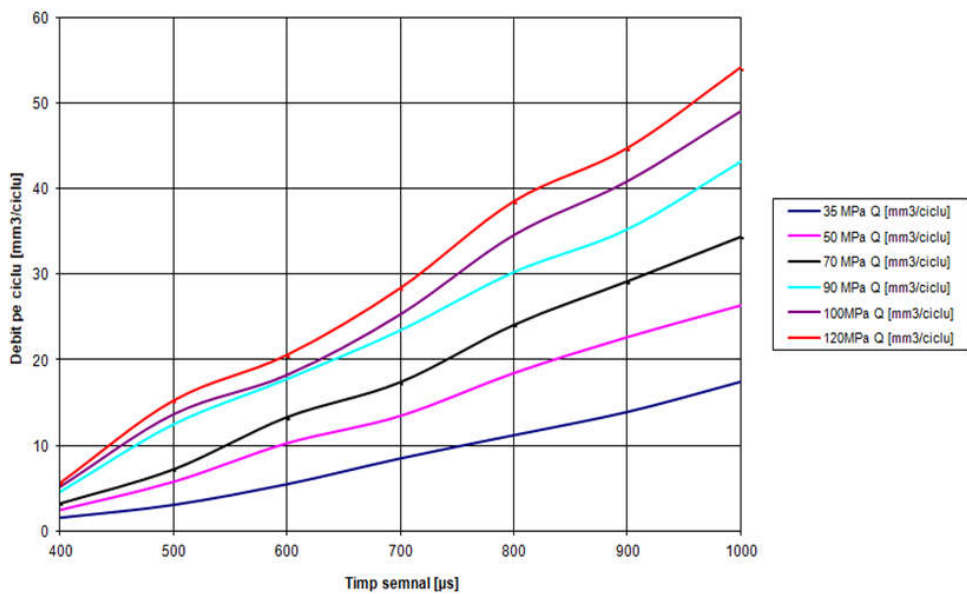


Figura 7.15. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 3 prelucrat: 8 treceri

**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.4 prelucrat**  
 - patru treceri  
 - 100 cm<sup>3</sup>/SiC/litru

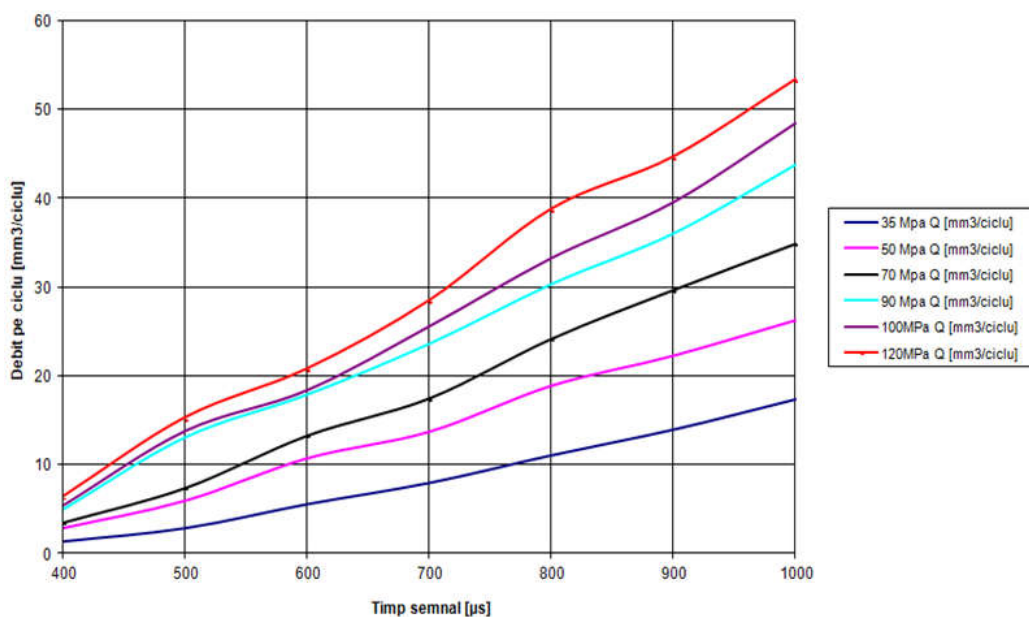


Figura 7.16. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 4 prelucrat: 4 treceri

**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.5 prelucrat**  
 - șase treceri  
 -100 cm<sup>3</sup>/SiC/litru

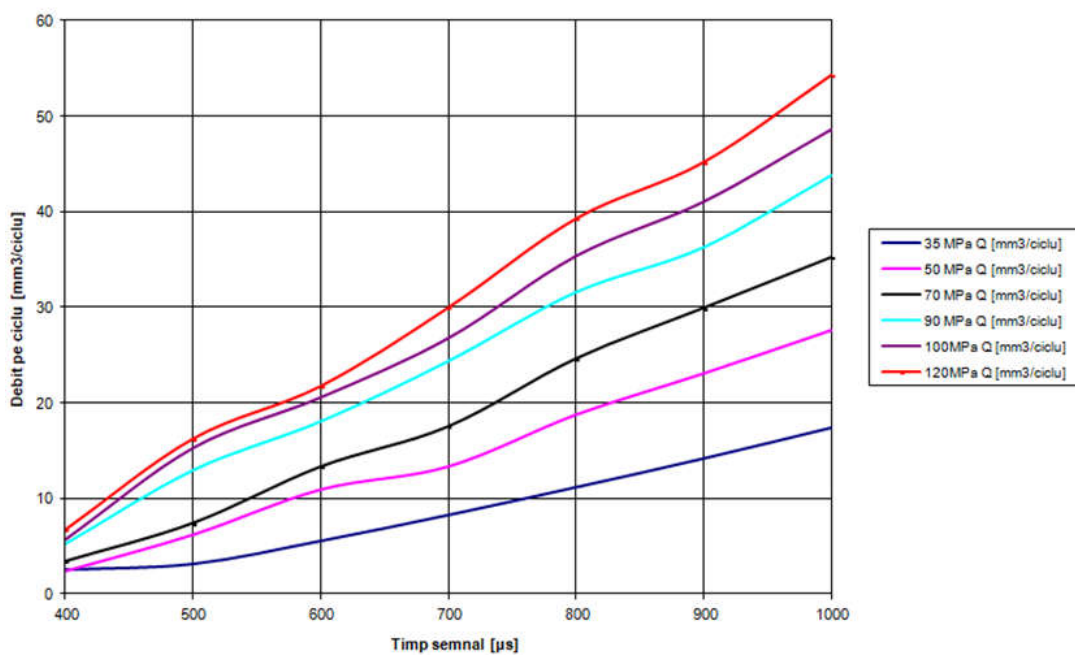


Figura 7.17. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 5 prelucrat: 6 treceri



**Evoluția debitului pe ciclu pentru pulverizatorul nr.6 prelucrat  
- opt treceri  
-100 cm<sup>3</sup>/SiC/litru**

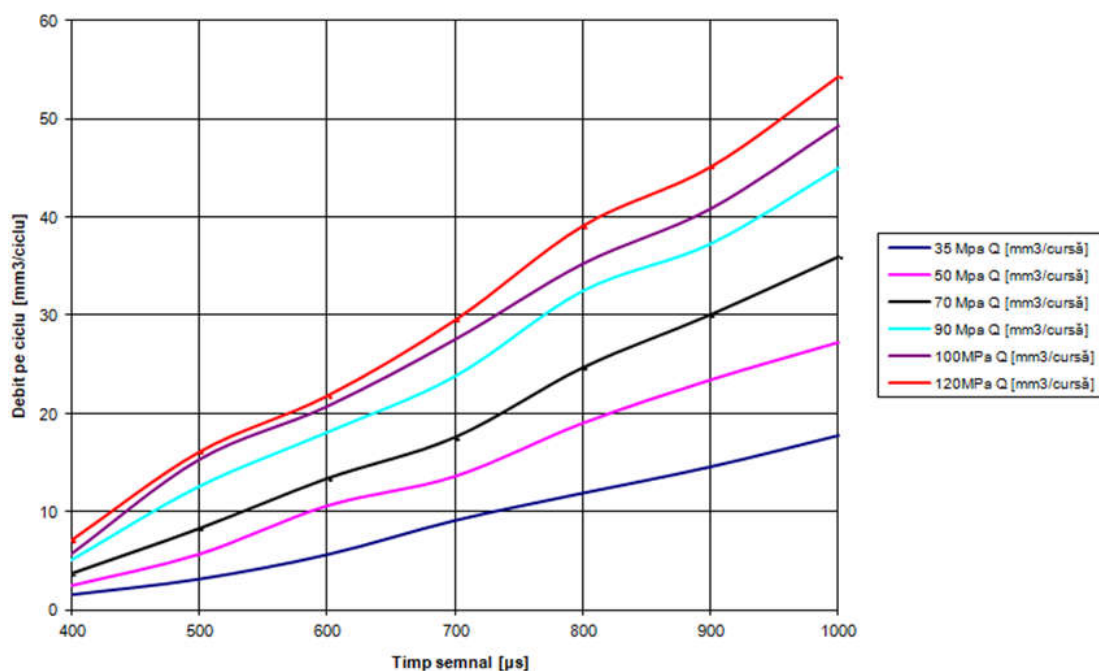


Figura 7.18. Caracteristica de injecție pentru pulverizatorul numărul 6 prelucrat: 8 treceri

Pentru analiza variației debitului între pulverizatoarele neprelucrate și cele prelucrate, respectiv pentru analiza a prelucrării hidroabrazive a pulverizatoarelor în condițiile stabilite în planul experimentului, s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4. Valorile procentuale ale raportului  $(Q_p/Q_{np})_{max}$  [%] pentru cele șase pulverizatoare

Pulverizator	Presiune p[MPa]					
	35	50	70	90	100	120
P1	3,704	3,704	3,333	2,222	4,167	1,852
P2	3,704	4,624	4,000	2,500	7,754	5,012
P3	6,667	4,372	6,667	2,222	7,632	5,769
P4	7,143	4,420	6,061	2,041	5,206	5,722
P5	8,696	3,889	3,361	8,333	11,413	13,559
P6	15,385	4,167	3,347	8,511	11,679	12,698

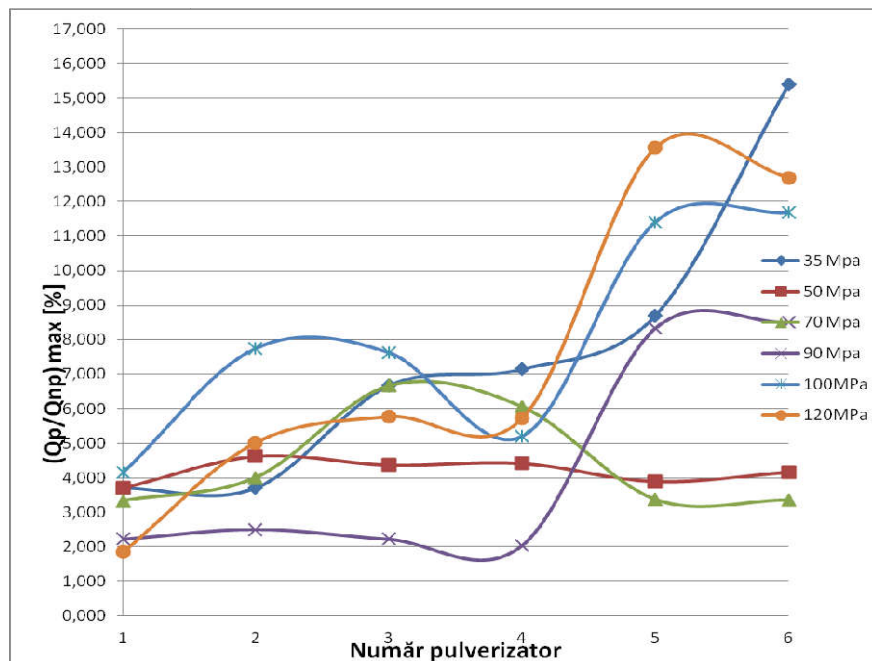


Figura 7.19. Diagrama de variație a raportului procentual al debitului maxim al pulverizatoarelor prelucrate în raport cu debitul maxim al pulverizatorului neprelucrat

Din analiza diagramei de variație, figura 7.19, a raportului procentual al debitului maxim al pulverizatoarelor prelucrate în raport cu debitul maxim al pulverizatoarelor neprelucrate se constată că pulverizatorul numărul 5 are o caracteristică de injecție superioară în comparație cu celelalte pulverizatoare prelucrate. De menționat că acest raport exprimă efectul rotunjirii muchiei de intrare a orificiului pulverizatorului de injecție.

În concluzie prin prelucrarea cu un fluid abraziv cu o concentrație de abraziv în suspensie de  $100 \text{ cm}^3/\text{litru}$  și 5 treceri se obține caracteristica de injecție cea mai bună, care implică caracteristici de curgere superioare, respectiv îmbunătățirea performanțelor de funcționare ale motoarelor termice.

Pentru analiza suprafețelor interioare ale probelor rezultate în urma experimentului a fost necesară secționarea pulverizatoarelor de injecție pe axa de simetrie a canalului de curgere al fluidului abraziv. Pentru secționare s-a folosit mașina de ascuțit scule și debitat EWAG tip WS11SP, figura 7.20 și un disc de CBN, (borazon), tip B54, (granulație  $54 \mu\text{m}$ ).



a)



b)



c)



d)

Figura 7.20. Mașina de ascuțit scule și debitat EWAG tip WS11SP: a), c) - prezentare generală; b) - dispozitiv de fixare tip menghină; d) - disc borazon

Mașina de ascuțit WS11SP este alcătuită din următoarele componente importante : panou de comandă și control , micrometru pentru a putea rectifica și prelucra piese de dimensiuni reduse, mecanism de fixare a piesei de prelucrat, dispozitiv port sculă, transmisie prin curea, motor electric de acționare, sistem de răcire și dispozitiv de aspirare a așchiilor rezultate din prelucrare.

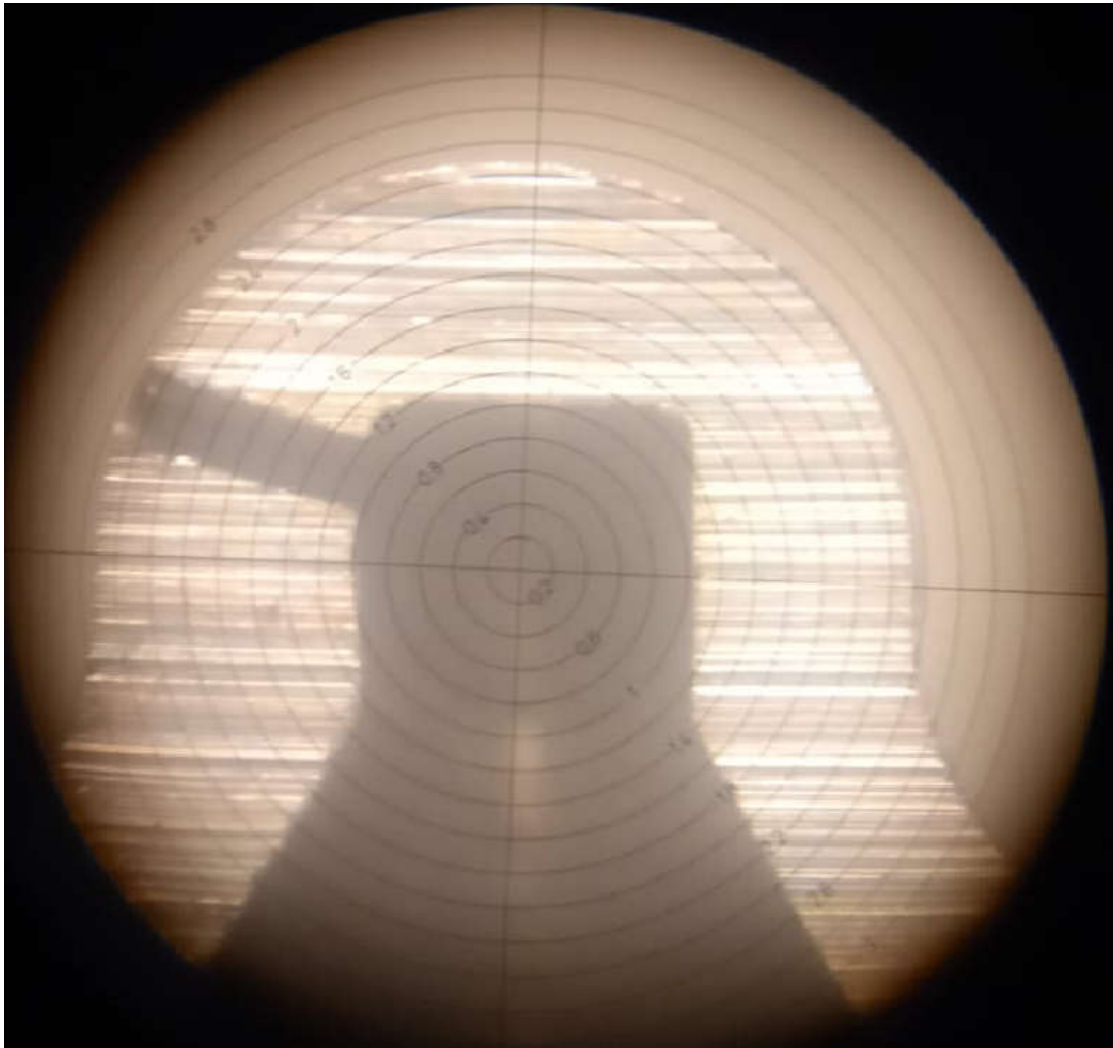


Figura 7.21. Imaginea secțiunii pulverizatorului de injecție pe axa de simetrie a orificiului de pulverizare

Trebuie menționat faptul că secționarea pe axa de simetrie este dificilă datorită faptului că orificiile de curgere ale pulverizatoarelor nu se află în planul de simetrie al corpului pulverizatorului, acestea aflându-se cu câteva grade înclinate pentru a crea o anumită turbulență a jetului de combustibil pulverizat în camera de ardere.

Pulverizatoarele secționate cu acest tip de mașină sunt prezentate în figura 7.22.



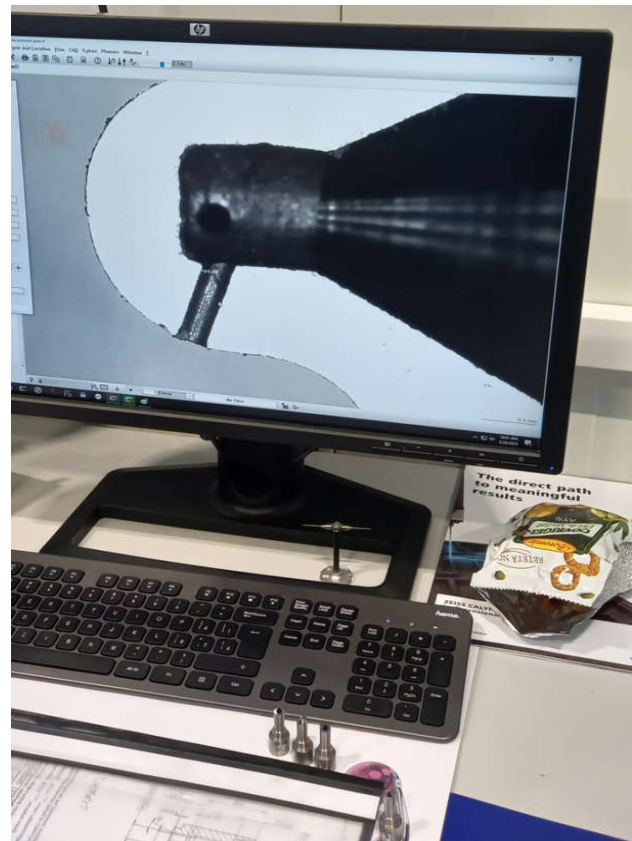
Figura 7.22. Pulverizatoarele de injecție secționare în zona canalului de pulverizare

După operația de secționare s-a trecut la analiza suprafețelor canalului de pulverizare utilizând dispozitivul de măsurare în coordonate și multisenzor digital ZEISS CALYPSO, figura 7.23. Cu acest dispozitiv de măsurare, măsurătorile pot fi efectuate cu ușurință, precizie și rapiditate.





a)



b)

Figura 7.23. Dispozitivul de măsurare multisenzor ZEISS CALYPSO: a) - prezentare generală dispozitiv; b) - unitate de prelucrare a datelor

În urma măsurărilor efectuate s-au obținut rezultatele prezentate în tabelul 7.5.

Tabelul 7.5. Variația diametrului orificiului de curgere minim/maxim pentru cele șase pulverizatoare

Pulverizator utilizat	Concentrație abraziv utilizată [dm <sup>3</sup> /litru	Nr. treceri pentru prelucrarea abrazivă	Diametrul interior al orificiului [mm]	Diametrul exterior al orificiului [mm]	Diametrul mediu al orificiului [mm]
N (neprelucrat)			0,2402	0,2525	0,24635
1	0,2	4	0,2497	0,2553	0,2525
2	0,2	6	0,2512	0,2514	0,2513
3	0,2	8	0,2503	0,2571	0,2537
4	0,1	4	0,2422	0,2482	0,2452
5	0,1	6	0,2477	0,251	0,24935
6	0,1	8	0,2496	0,2531	0,25135

Din analiza dimensională a orificiului de curgere al pulverizatoarelor, după prelucrare, se constată că diametrul mediu al orificiului crește cu creșterea concentrației de abraziv în suspensie, precum și cu numărul de treceri ale fluidului abraziv prin orificiul de prelucrat, (figura 7.24).

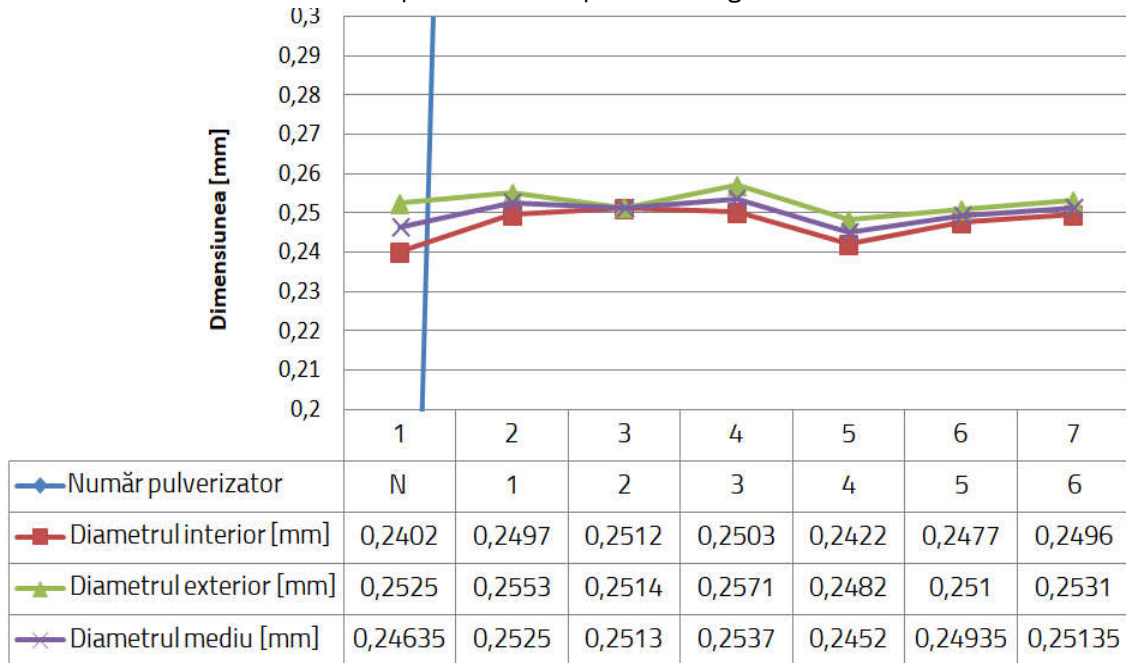


Figura 7.24. Graficul de variație a diametrului orificiilor de curgere al pulverizatoarelor de injecție

După secționarea pulverizatoarelor s-a procedat la măsurarea durițăților. Pentru măsurarea durițăților s-a folosit testerul de măsurarea durițății tip FM-700 (figura 7.25).

După măsurarea durițății pulverizatorului martor am constatat că durițata pulverizatorului de combustibil are durițata de 66HRC (în zona stratului cementat și nitrurat).



a)



b)

Figura 7.25. Tester FM-700 pentru măsurarea durițății: a) - prezentare generală a testerului; b) – afișajul digital al durițății măsurate

Având în vedere că măsurarea durității în zona orificiului de curgere al pulverizatorului nu poate fi realizată cu acest tip de tester (pulverizatorul având o dimensiune mică a microcanalului  $\phi = 0,24\text{mm}$ ), am măsurat duritatea la un tester digital pentru măsurarea durității model Qualitest prezentat în figura 7.26.

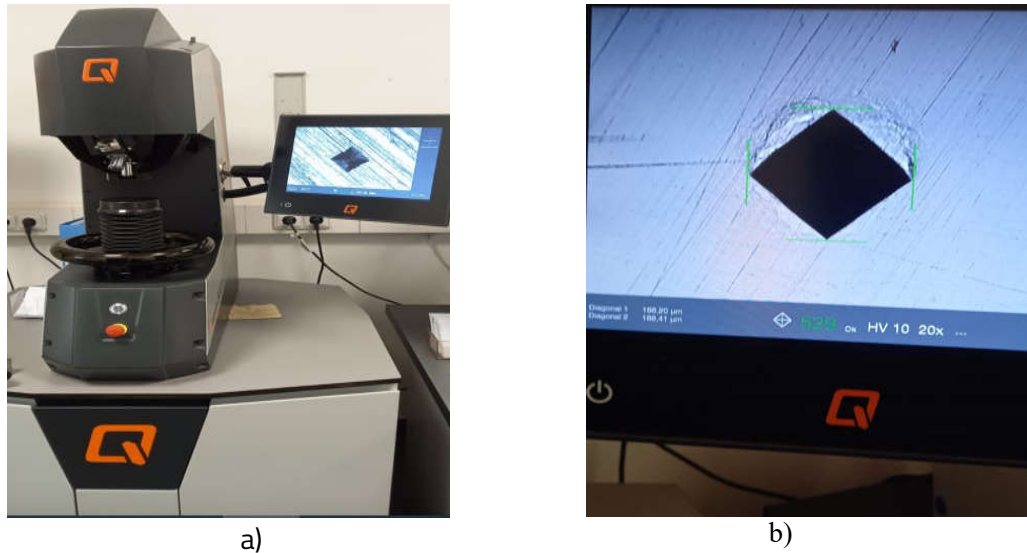


Figura 7.26. Tester digital pentru măsurarea durității model Q: a) prezentare generală tester; b) măsurarea durității orificiului de curgere al pulverizatorului

Testerul digital pentru măsurarea durității model Qualitest are o rezoluție de  $0,0625\ \mu\text{m}$  și utilizează metoda de măsurare în patru puncte (măsurare în două diagonale), raport de mărire  $\times 100$  și  $\times 400$ . După măsurare se observă că duritatea este de 529 HV, (figura 7.26,b), echivalentă cu 51HRC, [AST2019].

După măsurarea durității pulverizatorului martor (cu tratament intermediar) în zona microcanalului, s-au efectuat măsurători pentru determinarea rugozității suprafețelor folosind rugozimetrul marca Mahr tip Mar Surf SD26 cu un palpator PHT 6-350, pentru studiul suprafeței de curgere al fluidului pentru cele șase pulverizatoare prelucrate și una neprelucrată, obținând rezultatele prezentate în tabelul 7.6.

În tabelul 7.6 sunt prezentate rugozitățile suprafețelor interioare ale orificiilor de curgere ale pulverizatoarelor de combustibil.

Tabelul 7.6. Distribuția rugozităților suprafețelor pulverizatoarelor utilizate în experiment

	Număr pulverizator	N	1	2	3	4	5	6
Rugozitate [ $\mu\text{m}$ ]	Ra	0,272	0,261	0,232	0,211	0,204	0,185	0,176
	Rz	1,5626	1,701	1,167	1,067	0,267	1,095	0,981



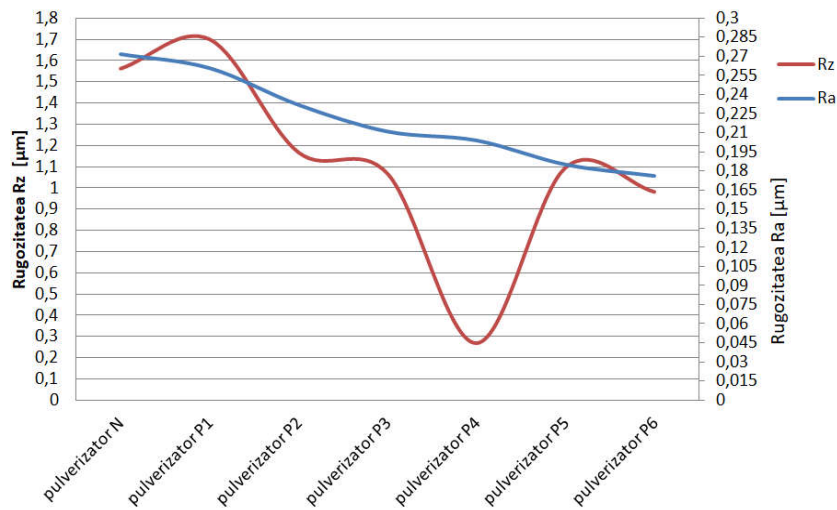


Figura 7.27. Graficul de variație al rugozității Ra, (abaterea medie aritmetica profilului), și Rz, (înălțimea medie a neregularităților)

Din analiza graficului de variație a rugozităților suprafețelor orificiilor pulverizatoarelor, figura 7.27, se observă rugozitatea suprafețelor Ra scade cu scăderea concentrației de abraziv și cu creșterea numărului de treceri prin orificii datorită faptului că particulele se rotunjesc cu creșterea perioadei de utilizare.

În continuare s-au efectuat măsurători pentru determinarea rotunjirii muchiei de intrare în orificiul pulverizatorului de injecție folosind microscopul LEICA, figura 7.28.



Figura 7.28. Microscop LEICA EMSPIRA3

În urma măsurătorilor s-au obținut următoarele rezultate care sunt prezentate în tabelul 7.7:

Tabelul 7.7. Valoarea razei de racordare a orificiului pulverizatoarelor de injector

Număr pulverizator	N	1	2	3	4	5	6
Concentrație abraziv [dm <sup>3</sup> /litru]	-	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Număr treceri	-	4	6	8	4	6	8
Valoare rază[mm]	0,015	0,02	0,025	0,035	0,02	0,022	0,026

Din analiza valorilor din tabelului 7.6 se observă că odată cu creșterea concentrației de abraziv respectiv a numărului de treceri ale fluidului abraziv, crește și raza de rotunjire, fapt benefic pentru curgerea fluidului (se diminuează efectul apariției cavitației). De menționat că rotunjirea din tabel este medie pentru că la măsurători există o oarecare eroare de măsurare datorită neuniformității suprafeței tăiate.

După efectuarea cercetărilor experimentale și determinarea valorilor razei de racordare rezultate în urma prelucrărilor cu flux abraziv, s-au prelucrat datele obținute utilizând metoda regresiei liniare multiple cu scopul de a exprima calitativ relația dintre:

$$Raza = f(\text{Frația de volum}, \text{Volumul de flux abraziv})$$

Într-o primă etapă asupra datelor experimentale a fost aplicat un test de eliminare a valorilor aberante (testul Grubbs) cu scopul de a identifica dacă rezultatele experimentale sunt afectate de erori de măsurare. A fost utilizat și în acest caz Minitabul, cu un nivel de semnificație  $\alpha = 0.05$ .

### Method

Null hypothesis All data values come from the same normal population  
 Alternative hypothesis Smallest or largest data value is an outlier  
 Significance level  $\alpha = 0.05$

### Grubbs' Test

Variable	N	Mean	StDev	Min	Max	G	P
Raza, [mm]	6	0.02467	0.00565	0.02000	0.03500	1.83	0.093

\* NOTĂ \* Nu există valori aberante la nivelul de semnificație de 5%.

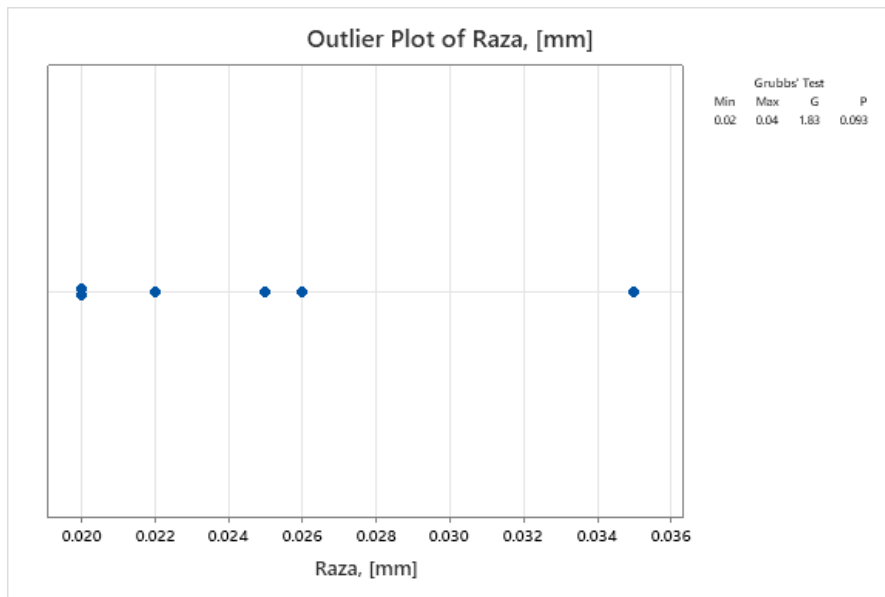


Figura 7.29. Repartizarea grafică a repartiției punctelor experimentale ale razei de rotunjire a muchiei orificiului pulverizatorului de combustibil

Concluzia este că datele experimentale nu sunt afectate de erori de măsurare.

A doua etapă de prelucrare constă în efectuarea unui test de concordanță a datelor experimentale cu modelul repartiției normale. S-a utilizat în acest caz testul Anderson-Darling cu un nivel de semnificație de  $\alpha = 0.05$ .

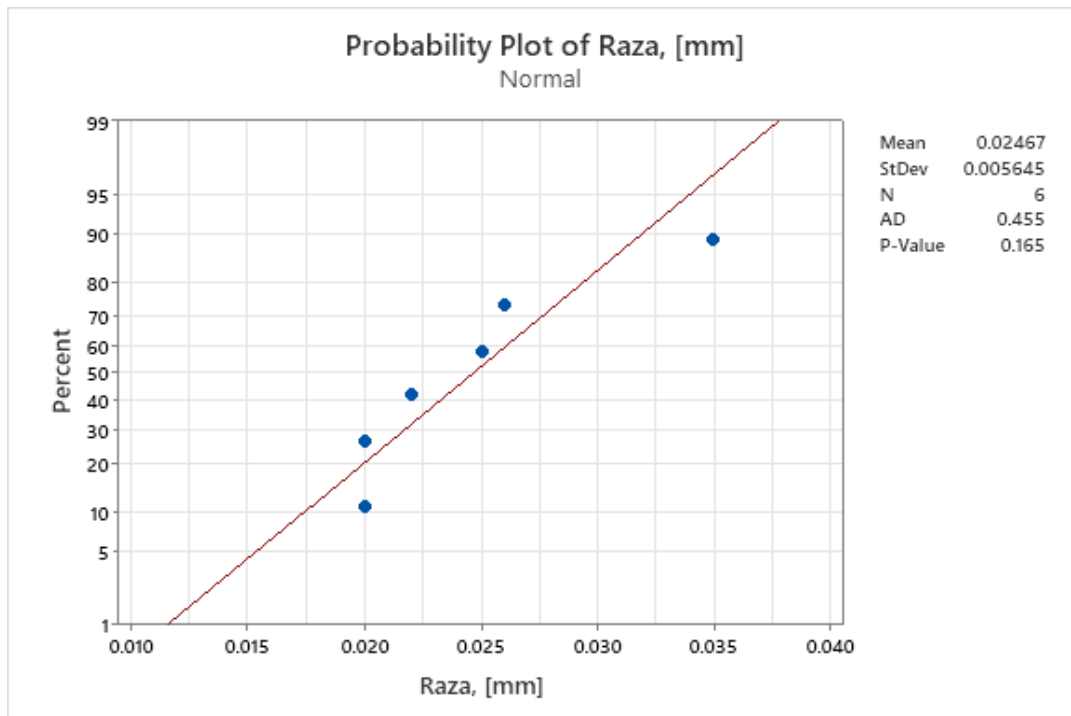


Figura 7.30. Rețeaua de probabilitate normală a razei de rotunjire a muchiei orificiului pulverizatorului de combustibil

Scopul aplicării acestui test este acela de a verifica dacă ipoteza normalității datelor utilizate, ce stă la baza calculului de regresie este îndeplinită. Concluzia este aceea că valorile razei obținute sunt normal repartizate cu media:

$$\mu = 0,02467$$

și abaterea medie pătratică:

$$\sigma = 0,005645.$$

Relația de regresie liniară multiplă obținută prin folosirea Minitab-ului este:

### Regression Equation

$$\text{Raza, [mm]} = 0.00292 + 0.000400 \text{ Frația de volum, [\%]} + 0.002625 \text{ Volum, [l]}$$

Valoarea coeficientului de determinație:

$$R^2 = 84,26 \text{ [\%]}$$

indică faptul că ecuația anterioară explică 84,26 % din variabilitatea procesului analizat. Restul de 15,74 % se datorează influenței unor factori care nu au fost considerați în analiza efectuată.

Ca pondere a celor doi factori independenți considerați:

- ❖ volumul de flux abraziv utilizat la prelucrare are o pondere de 69,19%, iar
- ❖ fracția de volum are o pondere de 15,06 %.

### 7.3. Concluzii referitoare la cercetările experimentale de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat cu ultrasunete

Cercetarea experimentală s-a desfășurat în trei etape :

(a) În prima etapă a fost proiectată și realizată instalația de prelucrare hidroabrazivă cu flux asistat ultrasonic.

Folosirea unui sistem hidraulic pentru crearea presiunii necesare efectuării testelor experimentale în cadrul dispozitivului experimental, poate duce la parametrii de testare care sunt ușor de controlat și să realizeze reglarea cu ușurință a presiunii și a debitului, care corespund diferitelor cerințe pentru presiune și debit în testul comparativ. În același timp, sistemul hidraulic este ușor de controlat și asigură protecție la suprasarcină respectând normele de protecția muncii , realizându-se testele în siguranță.

Acest dispozitiv de testare proiectat și realizat îndeplinește cerințele de rezistență ale materialelor. Toate componentele pot suporta o presiune în funcționare de peste 200 bari, fapt dovedit din caracteristicile tehnice ale componentelor, fiind capabil să satisfacă cerințele necesare efectuării experimentelor și finalizarea acestora cu succes.

(b) În etapa a II-a s-au efectuat cercetările experimentale conform planului experimental stabilit.

În cadrul acestei etape au fost prelucrate orificiile de curgere ale pulverizatoarelor de injecție, au fost realizate testele acestora pe standul de verificat și încercat injectoare, au fost secționat pulverizatoarele

pe axa de simetrie a orificiului pulverizatorului, a fost stabilită geometria orificiilor de curgere a pulverizatoarelor de injector și au fost efectuate teste de duritate ale pulverizatoarelor.

Deoarece piesele prelucrate au geometrii complexe și dimensiuni reduse pentru diagnosticare au fost utilizate aparate și dispozitive performante de ultimă generație, precum și secționarea probelor în zona orificiilor pulverizatoarelor pentru a verifica starea suprafețelor după prelucrare.

(c) În etapa a III-a s-a efectuat colectarea și interpretarea rezultatelor obținute în urma efectuării testelor experimentale.

Eficiența prelucrării este influențată de presiunea și viteza medie de curgere a fluidului abraziv.

Reducerea efectelor negative ale cavitației care apare datorită turbulenței, se realizează prin rotunjirea muchiei de intrare în orificiul pulverizatorului de injecție, fapt realizat prin acest procedeu de prelucrare hidroabraziv și validat prin caracteristicile dinamice realizate la standul de verificat și testat injectoare.

În această etapă au fost validate concluziile cercetărilor teoretice.

## PARTEA a IV-a - CONCLUZII ȘI CONSTATĂRI FINALE. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚIILE VIITOARE ALE CERCETĂRII. DISEMINAREA REZULTATELOR CERCETĂRII

### Capitolul 8. Concluzii și constatări finale

În cadrul Tezei de doctorat, „Cercetări privind îmbunătățirea fabricării pulverizatoarelor de injecție la motoarele cu ardere internă”, a fost studiat un subiect care nu a fost explorat în detaliu, respectiv prelucrarea orificiilor de curgere ale pulverizatoarelor de injecție prin utilizarea proceselor de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic, care este de mare interes în acest domeniu, ținând cont că tendința actuală este pentru optimizarea proceselor de fabricație în scopul obținerii unor performanțe ridicate, în special pentru reducerea poluării datorate arderii combustibililor lichizi. De asemenea nu sunt suficiente date despre construcția și monitorizarea parametrilor funcționali și constructivi ai instalațiilor de prelucrare hidroabrazive.

În urma analizei stadiului cercetărilor recente în acest domeniu, precum și a cercetărilor teoretice și experimentale întreprinse de autor se desprind următoarele concluzii generale:

- procesul de fabricare prin hidroeroziune joacă un rol vital în industria automobilistică și din studiile recente se constată că operațiile de finisare în ultima etapă reprezintă aproximativ 15% din costul de fabricație;
- fenomenele fizice, cum ar fi aglomerarea particulelor, ciocnirea acestora, forma geometrică și rugozitatea suprafețelor pot fi relevante și introduc în mod inevitabil un anumit grad de incertitudine limitând astfel simularea numerică, într-o oarecare măsură în acuratețea sa. Cu toate acestea simularea numerică în acest studiu a fost folosită ca instrument de identificare și analiză a fenomenelor de turbulență, care este în majoritatea cazurilor suficientă pentru proiectarea și optimizarea procesului de fabricație prin hidroeroziune;
- parametrii procesului, inclusiv numărul de cicluri, temperatura mediului și presiunea de extrudare, proprietățile reologice, concentrația mediului abraziv sunt factori critici, cu o importanță semnificativă în finisarea suprafețelor;
- creșterea rapoartelor de concentrație fluid transportor/abraziv au dus la reducerea gradului de finisare, având un efect de lustruire bun pentru rapoartele de concentrație 1/10 ;
- rugozitatea suprafeței orificiului de curgere al pulverizatorului scade rapid după patru cicluri de prelucrare, fapt care determină reducerea costurilor de finisare;
- eroziunea este un domeniu foarte complex, deoarece mecanismul eroziunii depinde în special de combinarea mecanismului de eroziune, proprietățile și parametrii de impact asociați cu particulele abrazive și proprietățile dinamice și structurale ale materialului piesei supus prelucrării;
- pentru obținerea unor rezultate fiabile, experimentele trebuie evaluate prin repetabilitate, pe baza unor analize comparative;

- metodele de diagnosticare și analiză ale suprafeței prelucrate reprezintă o componentă esențială a analizei experimentale. În această lucrare au fost folosite metode de diagnosticare și inspecție de ultimă generație pentru a evalua cantitativ și calitativ procesul de fabricație hidroabraziv;
- uzura erozivă a fost analizată prin modificările profilului suprafețelor , deoarece estimările pierderilor de masă nu asigură informații referitoare la calitatea suprafeței după procesul de prelucrare;
- eroziunea este măsurată prin modificări ale profilului suprafeței, deoarece estimările pierderii de masă nu oferă informații calitative despre uzura locală;
- din analiza rezultatelor simulării și a celor experimentale se constată că tehnologia de prelucrare cu flux abraziv asistat ultrasonic este o metodă eficientă de finisare a suprafețelor, în special de rotunjire a muchiilor de intrarea ale orificiilor pulverizatoarelor de injecție, obținându-se astfel o îmbunătățire a curgerii combustibilului prin orificiile pulverizatorului și reducerea noxelor;
- analiza rezultatelor obținute în urma unui plan al experimentelor a permis obținerea dependențelor care există între factorii care influențează rezultatele obținute și prelucrarea.

## Capitolul 9. Contribuții personale. Direcțiile viitoare ale cercetării. Diseminarea rezultatelor cercetării

### 9.1. Contribuții personale

Realizarea cercetărilor specifice tezei de doctorat a fost susținută de o serie de contribuții personale ale autorului atât pe plan teoretic cât și pe plan experimental în domeniul prelucrării hidroabrazive cu flux abraziv asistat ultrasonic astfel:

- realizarea unui studiu critic al cercetărilor în domeniul fabricării pulverizatoarelor de injecție;
- proiectarea unei instalații de prelucrare hidroabrazivă cu flux abraziv asistat ultrasonic;
- realizarea instalației de prelucrare hidroabrazivă:
  - identificarea și achiziționarea componentelor necesare care să fie fiabile și să îndeplinească cerințele tehnice;
  - montarea pieselor componente după schema funcțională;
  - punerea în funcțiune a instalației de prelucrare hidroabrazivă;
  - optimizarea principalilor parametri funcționali ai instalației pe baza unor teste de funcționare;
- proiectarea și realizarea pieselor necesare montajului pulverizatoarelor de injecție pe standul de prelucrare, precum și pe standul de verificare a injectoarelor;
- proiectarea și realizarea piulițelor de fixare a pulverizatoarelor de injecție pe injectoarele Delphi;
- proiectarea și realizarea modificărilor aduse acelor pulverizatoarelor de injecție;
- modelarea și simularea curgerii fluidului abraziv prin orificiile pulverizatoarelor de injecție respectând planul experimental;
- realizarea testelor experimentale pe standul de prelucrare hidroabrazivă (instalației);
- secționarea probelor experimentale (pulverizatoarelor de injecție pe axa de simetrie a orificiilor de curgere a fluidului);
- analiza comparativă a caracteristicilor funcționale și constructive ale pulverizatoarelor de injecție după prelucrare;
- determinarea pe cale experimentală a durtății pulverizatoarelor;
- determinarea pe cale experimentală a parametrilor suprafeței prelucrate a pulverizatoarelor folosite în experiment;
- analiza și validarea rezultatelor obținute pe cale teoretică prin rezultatele experimentale.



## 9.2. Direcțiile viitoare ale cercetării

Studiul prelucrării hidroabrazive cu flux abraziv asistat ultrasonic a condus la o mai bună înțelegere a mecanismelor implicate în procesul de prelucrare și a ajutat la optimizarea acestui proces. Caracteristicile și comportamentul diferitelor măsuri majore de obținere a performanței de prelucrare au fost analizate în această lucrare .

Luând în considerare cercetările efectuate în acest studiu, pot fii formulate următoarele direcții de cercetare:

- optimizarea modelării matematice cu obiectivul de a minimiza costul de producție;
- studiul fezabilității implementării unui sistem de monitorizare pentru distribuția dimensiunilor în timpul procesului de prelucrare și de adăugare automată a particulelor pentru o distribuție uniformă;
- investigarea scăderii vâscozității uleiului după o perioadă lungă de utilizare;
- studii teoretice și experimentale pentru a determina combinația dintre vâscozitatea uleiului și intervalul de dimensiuni ale particulelor pentru a crește eficiența procesului de prelucrare. Rezultatele pot fi folosite pentru a defini parametrii de proces precum și intervalele de adăugare a particulelor abrazive și adăugarea sau înlocuirea fluidului suport.

## 9.3. Diseminarea rezultatelor cercetării

Diseminarea rezultatelor obținute pe perioada efectuării cercetărilor s-a realizat prin publicarea unui număr de șase articole științifice, ca prim autor și unic autor, după cum urmează:

-un articol prezentat la conferința internațională MSE 2021, ale cărei lucrări sunt indexate CAS, Clarivate Analytics (Web of Science - WoS), [POM2021];

-cinci articole publicate în jurnale Indexate în BDI: [POP2021], [POP2022], [POM2023a], [POM2023b], [POP2023].

## BIBLIOGRAFIE

- [BWK1999] Baddock, C., Wirth, R., Kampmann, S., Tropea, C., (1999) The influence of hydro-grinding on cavitation inside a diesel injection nozzle and primary break-up under unsteady pressure conditions. In Proceedings of the Fifteenth Annual Conference on Liquid atomization and spray systems ILASS-Europe, 99, Toulouse, France, 99, p. 5–7.
- [DAB2007] Diver, C., Atkinson, J., Befrui, B., Helml, H.J., Li, L., (2007) Improving the Geometry and Quality of a Micro-Hole Fuel Injection Nozzle by Means of Hydroerosive Grinding. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol. 221, p.1–9.
- [JAA2000] Jain, V.K., Adsul, S.G., (2000) Experimental investigations into abrasive flow machining (AFM). International Journal of Machine Tools and Manufacture 40(7): p.1003–1021. [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(99\)00114-5](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(99)00114-5).
- [JJD1999] Jain, R.K., Jain, V.K., and Dixit, P.M., (1999) Modeling of material removal and surface roughness in abrasive flow machining process. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, p. 1903-1923.
- [KUO2016] Kursad, Gov, Omer, Eyercioglu, (2016) Effects of abrasive types on the surface integrity of abrasive-flow-machined surfaces. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 232(6), p.1–10
- [LDA2006] Li, Lin, Diver, C., Atkinson, J., Giedl-Wagner, R., Helml, H. J., (2006) Sequential Laser and EDM Micro-drilling for Next Generation Fuel Injection Nozzle Manufacture. Annals of the CIRP Vol. 55/1/2006.
- [MAM2009] Mali, H.S., Manna, A., (2009) Current status and application of abrasive flow finishing processes: a review. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, vol. 223 (7): p. 809–820. <https://doi.org/10.1243/9544054JEM1311>.
- [POM2021] POPA, Dorinel, MORARIU, Cristin-Olimpiu, (2021) „Modern Technologies for Micro-drilling of the Fuel Injector Nozzle used in Motor Vehicles - A Review of the Literature” - MATEC Web of Conferences Volumul 343, 03007.
- [POP2021] POPA, Dorinel, Popa, Luminita, (2021) Study of the Operation of a Solenoid Injector Used in a Common Rail Diesel Injection System (CRS). International Journal of Computational and Applied Mathematics & Computer Science Volume 1, p.24-29, ISSN 2769-2477.
- [POP2022] POPA, Dorinel, (2022) The comparative study of the influence of the parameters of the technological process of abrasive flow machining of the nozzle holes of the fuel injectors

on the performance of the injection system ,Vol. 4 No. 10, p.74-82,Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology (ISSN:2668-778X).

- [POM2023a] POPA, Dorinel, MORARIU, Cristin-Olimpiu, (2023) Improving the quality of microchannel suprefaces using abrasive machining, Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering Series , No. 1/2023.
- [POP2023] POPA, Dorinel, (2023) Study of functional parameters of after hidroabrasive finishing of fuel nozzle holes, , Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu, Engineering Series , No. 1/2023.
- [POM2023b] POPA, Dorinel, MORARIU, Cristin-Olimpiu, (2023) ABRAZIVE FLUID – Means of improvement the geometric characteristics of the diesel nozzle exhaust microchannel, , EUROPEAN JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, Volume 8, Issue 2,: 96-101 , www.ejmse.ro , ISSN: p. 2537-4338 .
- [REI2020] Reif, K., (Hrsg.), (2020) Dieselmotor-Management-Systeme, Komponenten, Steuerung und Regelung,6., überarbeitete und erweiterte Auflage, © Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature.
- [SHY2020] Shekhar, M., Yadav, S., (2020) Diamond abrasive based cutting tool for processing of advanced engineering materials: A review. Materials Today: Proceedings 22, p. 3126–3135.
- [WAS2014]. Wan, S, Ang, Y.J., Sato, T., Lim, G.C., (2014) Process modeling and CFD simulation of two-way abrasive flow machining, International Journal Advance Manufacturing Technology, Vol. 71, p. 1077-1086.