

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00439

(22) Data de depozit: 28/07/2021

(41) Data publicării cererii:
30/01/2023 BOPI nr. 1/2023

(71) Solicitant:
• APEL LASER S.R.L., STR.VINTILĂ
MIHĂILESCU NR.15, BL.60, SC.A, AP.12,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• INSTITUTUL NAȚIONAL PENTRU FIZICA
LASERILOR PLASMEI ȘI RADIAȚIEI -
INFLPR, STR.ATOMIȘTILOR 409,
P.O.BOX:MG-36, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:
• UDREA VIRGIL MIRCEA, STR.VINTILĂ
MIHĂILESCU, NR.15, BL.60, SC.1, ET.1,
AP.12, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;

• UDREA RADU MIHAIL, STR.VINTILĂ
MIHĂILESCU, NR.15, BL.60, SC.1, AP.12,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
• SELAGEA MIHAI NICOLAE,
STR.MĂRGEANULUI, NR.20, BL.M36, SC.1,
ET.1, AP.2, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;
• BECHERESCU BARBU DAN NICOLAE,
STR.NICHITA STĂNESCU, NR.31G,
MOGOȘOAIA, IF, RO;
• MIHĂILESCU ION, STR. FIZICIENILOR
NR. 10, BL. M6, SC. 1, AP. 9, MĂGURELE,
IF, RO;
• RISTOSCU CARMEN- GEORGETA,
STR.FIZICIENILOR 28, BL.O5, AP.4,
MĂGURELE, IF, RO

(54) **PROCEDEU DE ACOPERIRE A SUPRAFEȚELOR FOLOSIND
FASCICUL LASER DE MARE PUTERE ÎN VEDEREA
CREȘTERII FIABILITĂȚII ȘI A PERFORMANȚELOR
MATERIALELOR**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de acoperire a suprafețelor folosind fascicul laser de mare putere în vederea creșterii fiabilității și a performanțelor materialelor. Procedeu conform invenției este implementat folosind o sursă laser Yb:YAG care emite un fascicul laser ce este transportat prin fibră optică la un robot cu șase axe de mișcare și optică de procesare care dispune de o duză de livrare a pulberii cu trei canale, fasciculul laser este focalizat pe proba metalică de prelucrat într-un spot cu diametru de aproximativ 1 mm, procesul de ghidare a pulberii fiind asistat de un amestec de gaze, Ar și He, pulberea fiind transportată prin furtunuri la brațul robotului, prin intermediul unor platane, fasciculul laser este direcționat astfel încât fasciculul laser și particulele metalice să se întâlnească pe substrat în același punct, distanța substrat - duza de injecție a pulberii fiind ajustabilă în intervalul 7...16 mm, procedeu fiind caracterizat prin aceea că debitul de pulbere trebuie să rămână constant pentru a menține un nivel de diluare de sub 20%, în timp ce puterea laserului și viteza de scanare pot fi ajustate

pentru a obține caracteristicile dorite, și unghiul lateral al stratului depus nu trebuie să depășească 120°, pentru a asigura o structură uniformă în suprapunerea straturilor.

Revendicări: 2
Figuri: 5

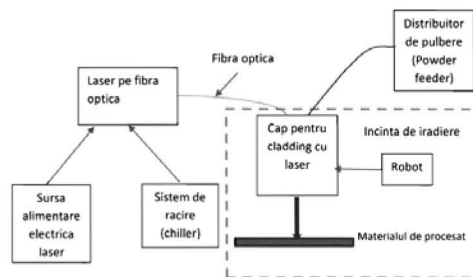
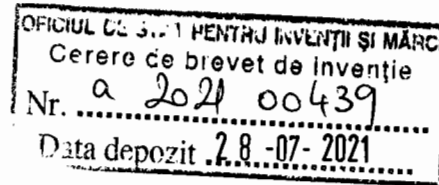


Fig. 1





12.2. DESCRIERE

PROCEDEU DE ACOPERIRE A SUPRAFETELOR FOLOSIND FASCICUL LASER DE MARE PUTERE IN VEDEREA CRESTERII FIABILITATII SI A PERFORMANTELOR MATERIALELOR

Prezenta inventie se refera la un procedeu pentru placarea materialelor printr-o tehnologie optimizata de laser acoperire folosind un fascicul laser de mare putere.

Prezentare generala

Prezenta cerere vizeaza dezvoltarea de tehnologii noi si/sau imbunatatite in vederea cresterii fiabilitatii si performantelor materialelor prin acoperiri functionale. O aplicatie extrem de importanta este reconditionarea si repararea de suprafete supuse uzurii datorate ciclului de lucru. In prezent laserul a devenit un dispozitiv uzual pentru procesarea diferitelor materiale: metale, aliaje, sticla, ceramica, polimeri, materiale composite etc. Tehnologiile si echipamentele bazate pe utilizarea laserilor - asa cum rezulta si din recentele studii de piata - se impun in economia moderna, incepand cu industria auto, ca un vector de crestere datorita avantajelor unice ale radiatiei laser. Au devenit disponibile astfel produse de inalta calitate si fiabilitate realizate cu costuri reduse, in principal datorita varietatii de laseri utilizati in industrie pentru sudare, taiere, microprocesare si marcarea diferitelor materiale. Placarea cu fascicul laser prin injectia de pulbere reprezinta o noua tehnologie de tratare a suprafetelor, rezultand acoperiri de inalta calitate si suduri metalice de calitate a suprafetelor prezentand deficiente cu asigurarea unei absorbtii minime a caldurii in substrat. De obicei, principalul obiectiv al metodei/tehnologiei este de a reduce gradul de uzura si de coroziune atins urmare a exploatarei si de a imbunatati proprietatile de rezistenta la impact ale suprafetelor prin generarea unui strat protector dintr-un alt material cu proprietati superioare. In cadrul acestui proces, gazul purtator este folosit pentru a forma fluxul de particule pulverizat sub fasciculul

laser de mare putere in timp ce acesta scaneaza suprafata de depunere, generand o zona de topitura cu o adancime ce corespunde grosimii depunerii individuale generata de fiecare singura trecere peste substrat. In acest mod, un strat dens si complet este obtinut prin suprapunerea depunerilor individuale consecutive si complementare.

Placarea cu fasciculul laser pentru imbunatatirea proprietatilor stratului depus se poate realiza in doua moduri:

1. Prin optimizarea parametrilor de proces in vederea obtinerii dimensiunilor geometrice dorite si a structurii metalografice necesare functie de aplicatia specifica.
2. Prin realizarea de noi materiale de adaos de tip pulbere, astfel incat sa se obtina aliaje compatibile cu materialul de baza, precum si reducerea consumului de material de adaos.

Una dintre aplicatiile placarii cu laser consta in repararea si renovarea unor componente importante, de exemplu: scule de mare complexitate, pale de turbina, turbine pe baza de gaz, componente mobile ale motoarelor cu ardere interna. Metodele conventionale folosesc sudura pentru a renova componentele afectate de uzura in diferite stadii. Aceste metode conventionale sunt de multe ori distructive datorita gradientilor de temperatura mari, prezenti in zonele supuse reparatiei. Tensiunile generate termic determina scaderea proprietatilor mecanice ale materialului, probleme de calitate a suprafetelor (fisuri sau porozitate), precum si micșorarea fiabilitatii si a duratei de operare a partii reparate. Placarea cu laser consta intr-un proces de topire in care fasciculul laser este folosit pentru a depune un amestec aliat pe un substrat. Este totodata tehnica cu cea mai mare precizie. Materialul adaugat si un strat subtire din substrat sunt topite cu fasciculul laser, aceasta asigurand o legatura metalurgica puternica intre cele doua materiale. Aliajul poate fi introdus in zona de interactie fascicul-substrat in timpul sau inaintea procesarii. Materialul aditiv este ori predepus pe substrat ori furnizat "in-situ". Pre-depunerea este realizata prin "thermal spraying" sau depunere galvanica la placarea pe suprafete mari. Alimentarea cu material de depunere "in-situ" se refera la injectia acestuia in zona de interactie laser-substrat sub forma de pulbere sau de fir metalic. Folosirea pulberilor este mult mai uzuala si populara datorita posibilitatii nelimitate de a varia compozitia aliajului, particulele avand o dimensiune de 20-200 μm . Doar o mica parte foarte subtire din substrat este topita, creand astfel o placare in care compozitia nominala este cea a aliajului. Proprietatile suprafetei pot fi apoi proiectate pentru aplicatia dorita prin selectarea unui anumit aliaj cu proprietati corespunzatoare de uzura, coroziune, oxidare si erodare. Placarea in stare topita se solidifica rapid, formand o legatura metalurgica puternica cu substratul. Dintre substraturile care tolereaza bine topirea

cu laser si care sunt foarte potrivite pentru placarea cu laser se pot enumera: otelurile pe baza de carbon-magneziu si cele inoxidabile, impreuna cu aliajele de aluminiu, titan, magneziu, nichel si cupru. Tipul de laser folosit depinde de aria suprafetei care se doreste a fi prelucrata si de grosimea ceruta a placarii. Tehnologiile de placare laser permit imbunatatirea oricarei arii tehnologice in ceea ce privesc parametri fizico-chimici de uzura si coroziune. In mod concret, o pulbere sau un amestec de pulberi cu proprietati de mare interes acopera suprafetele ce vor fi tratate, iar apoi - prin iradiere laser controlata, pulsata sau in unda continua, substanta patrunde gradual si controlat in adancime. Se creaza astfel straturi cu extrema aderenta la substrat datorita tranzitiei fine intre suprafata si volum, in compozitie, structura si in final, functionalitate.

Exista insa studii care au aratat ca tehnologia de depunere laser prin topire prezinta anumite restrictii. Au fost observate fisuri in structura substratului depus, care sunt cauzate de stresul rezidual ce apare odata cu cresterea structurii depuse. Majoritatea depunerilor de pulberi metalice s-au efectuat cu surse laser de mare putere in unda continua. Utilizarea unei surse laser pulsate poate diminua insa considerabil limitarile procesului de depunere: zona afectata termic este mai mica, fisurile sunt reduse datorita aportului mic de caldura si duritatea stratului depus creste odata cu utilizarea unei frecvente de repetitie ridicate. Este totusi de asteptat ca randamentul de depunere sa fie mai mic.

Parametrii principali ce influenteaza procesul de placare laser in cazul utilizarii unei surse laser in unda continua sunt: puterea laser, debitul de pulbere si viteza de procesare. Procesul neoptimizat nu permite insa decat obtinerea de depuneri poroase, cu defecte de segregare, pulberi reziduale depuse in afara zonei de interes si reducerea drastica a rezolutiei de procesare.

Pe de alta parte, in procesul de depunere cu sistem laser pulsant, parametrii principali care influenteaza procesul de acoperire sunt: puterea laser, debitul de pulbere, viteza de translatie a bratului robotic, rata de repetitie a pulsurilor si durata pulsului. Procesul neoptimizat rezulta in acest caz in obtinerea de depuneri cu defecte de interior (pori, fisuri), structuri neomogene, interfata neomogena intre substrat si stratul depus, dar si pulbere reziduala depusa in afara zonei de interes.

Deoarece parametrii care intervin in procesarea cu laser a materialelor sunt numerosi, modelarea procesului de placare cu laser este o sarcina dificila deoarece implica intelegerea urmatoarelor trei aspecte care sunt interdependente - si anume :

a) Particulele de pulbere atenuaza o parte din puterea laserului, sunt incalzite si fie intra in portiunea topita de substrat, fie ricoseaza si sunt pierdute.

- b) Absorbția substratului se schimbă în timpul procesului, fiind dependentă de forma zonei topite.
- c) Forma zonei topite depinde de distribuția de energie la suprafața substratului.

DESCRIEREA INVENTIEI

Echipamentul integrat folosit pentru experimentele de placare laser cu pulbere metalică, conține o sursă laser Yb:YAG ce emite în undă continuă, la lungimea de undă de 1030 nm. Sistemul se poate conecta la o sursă laser Nd:YAG cu emisie în impulsuri, pe lungimea de undă de 1064 nm. Fasciculul laser este transportat prin fibră, la un robot cu 6 axe de mișcare și optica de procesare care dispune de o duză de livrare a pulberii cu 3 canale cu diametrul $\varnothing 1.4$ mm. Fasciculul laser este focalizat pe proba metalică de prelucrat într-un spot cu un diametru de ~ 1 mm. Procesul de ghidare a pulberii este asistat de un amestec de gaze (Ar și He). Pulberea este transportată prin furtunuri cu diametru de $\varnothing 4$ mm la bratul robotului prin intermediul unui sistem de alimentare cu platane. Fasciculul/fasciculele de pulbere se direcționează astfel încât fasciculul laser și particulele metalice să se întâlnească pe substrat în același punct. Distanța substrat – duză de injectare a pulberii se poate ajusta în domeniul (7- 16) mm și este menținută constantă pe tot parcursul experimentului (Fig. 01). În figura 02 se poate observa incinta de procesare, iar în figura 03 avem schitat bratul robotic. Figura 04 explicitează principiul de funcționare al unui distribuitor de pulbere.

Procedeu de acoperire a suprefetelor folosind fascicul laser de mare putere în vederea creșterii fiabilității și a performanțelor materialelor se caracterizează prin aceea că debitul de pulbere trebuie să rămână constant pentru a menține nivelul de diluare sub 20%, în timp ce puterea laser și viteza de scanare pot fi ajustate pentru a obține caracteristicile geometrice dorite. De exemplu, puterea laser poate fi mărită pentru a crește lățimea liniei depuse, cu necesitatea monitorizării avansării stratului care poate produce efecte neașteptate a nivelului de diluare, dar și asupra volumului, deteriorând proprietățile mecanice. Un alt factor geometric important este unghiul lateral al stratului depus. Este important ca acesta să depășească 120° pentru a asigura o structură uniformă în suprapunerea straturilor. Pentru valori mai mici, concentrația de impurități crește, iar aceasta daunează proprietăților

mecanice ale stratului depus. Puterea laser nu are un efect semnificativ asupra unghiului lateral, acesta fiind, în principiu, influențat de viteza de scanare și de debitul de pulbere. Se observă o creștere liniară a unghiului lateral cu viteza de scanare și o scădere progresivă cu creșterea debitului de pulbere. Astfel, un unghi de peste 150° poate fi obținut la viteze de 800mm/min, cu un debit de pulbere de 20g/min.

Procedeu de configurare a instalației în vederea optimizării procesului de acoperire / placare laser se caracterizează prin aceea că este independent de timp în sistemul de referință atașat fascicolului laser. (Aceasta este valabilă atunci când dimensiunile substratului sunt mari comparativ cu dimensiunile zonei topite.) Proprietățile termofizice ale substratului și ale acoperirii (conductivitatea termică și căldura specifică volumică) se presupune că sunt aceleași, iar efectele căldurilor specifice sunt neglijate. Distribuția de putere a fascicolului laser care ajunge la suprafața substratului este considerată a fi Gaussiană (chiar dacă fascicolul laser a trecut prin jetul de pulbere).

Laserul este un laser de putere mică ($<5\text{kW}$), astfel încât efectele plasmatice nu sunt considerate. Toate particulele de pulbere care ajung în zona topită aderă la substrat, în timp ce celelalte ricoșează și sunt pierdute.

Absorbția pe un plan înclinat cu un unghi dat față de fascicolul laser depinde liniar de unghiul de înclinare, iar fascicolul laser este polarizat circular.

Materiale

Sistemele integrate au fost folosite pentru a depune diverse materiale (Ti sau aliajul de titan Ti6Al4V și pulbere de AISI304) pentru care s-au stabilit protocoalele de placare laser folosind pulberi metalice. Astfel, pentru determinarea parametrilor optimi, pentru fiecare tip de pulbere s-au investigat efectele: puterii laser, vitezei de procesare, debitului de pulbere și debitului amestecului de gaze. În fiecare caz, bratul robotic a fost programat să execute o depunere liniară de ~50 mm lungime, care a fost analizată din punct de vedere metalografic pentru examinarea interfeței dintre substrat și materialul depus.

Rezultate experimentale

Imperfecțiunile și defectele, cum ar fi porozitatea, lipsa de fuziune și fisurile apar în procesul de placare cu laser. Nu există un proces unic de placare cu laser, controlabil, care să garanteze o acoperire perfectă, fără astfel de imperfecțiuni și defecte, deoarece există atât de multe variabile care contribuie la integritatea acoperirilor. Însă, procesul de placare cu laser poate fi optimizat pentru a minimiza aceste imperfecțiuni și defecte. Cu excepția parametrilor de placare, este foarte importantă alegerea materialelor adecvate pentru a obține acoperiri de calitate. Materialele de placare și substratul trebuie să aibă proprietăți fizice similare, iar structura cristalină și proprietățile chimice ale materialului de acoperit și ale substratului trebuie să fie compatibile. Prin urmare un studiu al literaturii de specialitate a fost necesar. Proprietățile și, prin urmare, calitatea straturilor de placare sunt extrem de sensibile la alegerea echipamentelor, a materialelor, parametrilor procesării cu laser și, bineînțeles la complexul fenomenologic care apare în procesului de placare.

În consecință, un protocol tehnologic adecvat instalației de placare trebuie să țină cont de caracteristicile fiecărei perechi pulbere-substrat, precum și de parametrii sursei laser folosite, optica de procesare, distribuitorului de pulbere, duzei de livrare a pulberii, precum și ai fibrei optice pentru transportul fasciculului laser.

Pe baza acestor protocoale, putem concepe rețete pentru caracteristicile (specificatiile) tehnice ale sistemului integrat de placare laser.

Stabilirea unor protocoale de placare laser folosind pulberi metalice

A. Aliajul de titan Ti6Al4V

Au fost efectuate depuneri plecând de la material metalic de adaos sub formă de pulbere din aliajul de titan Ti6Al4V, cu particule cu diametre cuprinse între 45-105 μm , achiziționat de la compania Carpenter Additive (UK). Acest aliaj este utilizat cu preponderență în industria medicală datorită biocompatibilității sale ridicate și în industria aerospațială datorită proprietăților sale fizico-chimice de interes. Piesele au fost fabricate pe un suport de Ti sub formă de disc, cu diametrul de 100 mm și o grosime de 10 mm, fost special selectată pentru ca suportul să fie suficient de solid astfel încât să nu se deformeze din cauza fluctuațiilor de temperatură (de ordinul miilor de grade) din timpul procesului. Montajul experimental este compus dintr-un braț robotic cu 6 grade de libertate, o sursă laser de mare putere (3 kW) cu undă continuă (Yb:YAG) care emite în IR ($\lambda = 1030 \text{ nm}$), un distribuitor de pulbere metalică și o duză de livrare a pulberii cu 3 canale. Parametrii de

procesare sunt prezentati in tabelele 1 si 2

Tabelul 1. Parametrii de proces folosiți pentru Ti6Al4V

Parametrii de proces	Valoare
Puterea laser	700 W
Viteza de scanare	15 mm/s
Debitul de pulbere	3 gr/min
Dimensiunea spotului laser	800 μ m
Lățimea depunerii	2.5 mm
Distanța dintre duză și substrat	16 mm
Debitul gazului protector - Ar	10 l/min
Debitul gazului protector - He	3 l/min

Tabelul 2. Strategia de scanare

p proba	Distanța dintre liniile meandrei [mm]	ΔZ [mm]	Înălțimea teoretică [mm]
1	1	1	11
2	0.5	0.75	8.25
3	0.75	0.75	8.25
4	1	0.5	5.5
5	1.25	0.5	5.5
6	1.25	1	11
7	1.5	0.5	5.5
8	1.5	1	11

Comparând valorile înălțimii teoretice cu cele obținute experimental se observă că, în cazul probelor 1-6 și 8, distanța dintre duză și substrat nu se menține, acest fapt conducând la alterarea calității probelor obținute. Astfel, protocolul de depunere utilizat pentru obținerea

probei 7 ($P = 700$ W, distanta între meandre 1,5 mm (impusă prin program), respectiv 1.408 mm (masurată) s-a dovedit a fi cel mai potrivit, cu o înălțime experimentală apropiată de cea teoretică și prezentând o zonă afectată termic foarte redusă.

B. Pulbere de AISI304

Probele au fost fabricate folosind un sistemul echipat cu o sursă laser Yb: YAG (KR30HA, Kuka, Augsburg, Germania) generând în undă continuă, la $\lambda = 1030$ nm. Diametrul fasciculului laser focalizat a fost de 800 μ m. Ceilalți parametri de procesare sunt dați în tabelul 4.

Tabelul 4: Condiții experimentale pentru LMD

Cod proba	Putere laser (P) (W)	Viteza de scanare a laserului (Vs) (m/s)	Debit pulbere (Mp) (rpm)	Helium / Argon (bar)	Numarul de linii	Intaltimea/latimea depunerii (mm)
01	700	0.005	3.0	3.0 / 7.0	1.0	0.42 / 2.41
02	700	0.015	3.0			0.38 / 2.12
03	700	0.025	3.0			0.32 / 1.94
04	500	0.005	2.0			0.10 / 1.42
05	500	0.005	3.0			0.15 / 1.59
06	500	0.005	5.0			0.19 / 1.74
07	500	0.015	5.0			0.47 / 2.68
08	700	0.015	5.0			0.58 / 2.97
09	900	0.015	5.0			0.64 / 3.15

Un model analitic, Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov (JMAK: KOLMOGOROV A. N., Bull. Acad. Sci. URSS (Cl. Sci. Math. Nat.), 3(1937) 355.; AVRAMI M., J. Chem. Phys., 7(1939) 1103; 8(1940) 212.; JOHNSON W. A. and MEHL R. F., Trans. Am. Inst. Min. Engin., 135 (1939) 416.), a fost utilizat pentru a estima dimensiunea medie și numărul de graunte în stratul depus. A fost dezvoltată o soluție analitică ce a luat în considerare atenuarea fasciculului laser, datorită livrării coaxiale a debitelor de pulbere. În continuare, această

solutie a fost utilizată pentru estimarea tensiunilor induse de gradientul termic și a ratei de deformare. Apoi, mărimea medie a graunțelor a fost obținută și a fost utilizată pentru a calcula proprietățile mecanice, inclusiv duritatea.

In cazul oțelului inoxidabil AISI304, cea mai buna concordanta intre rezultatele simulării și cele experimentale s-au obținut in cazul probei 8, $P = 700\text{ W}$, $V_s = 0,015\text{ m/s}$, $M_p = 5\text{ g/min}$.

12.3. REVENDICARI

1. **Procedeu** de acoperire a suprefetelor folosind fasciculul laser de mare putere in vederea cresterii fiabilitatii si a performantelor materialelor caracterizat prin aceea ca:
 - debitul de pulbere trebuie sa ramana constant pentru a mentine nivelul de diluare sub 20%, in timp ce puterea laser si viteza de scanare pot fi ajustate pentru a obtine caracteristicile geometrice dorite. De exemplu, puterea laser poate fi marita pentru a creste latimea liniei depuse, cu necesitatea monitorizarii adancimii stratului care poate produce efecte neasteptate a nivelului de diluare, dar si asupra volumului, deteriorand proprietatile mecanice.
 - un alt factor geometric important este unghiul lateral al stratului depus. Este important ca acesta sa depaseasca 120° pentru a asigura o structura uniforma in suprapunerea straturilor. Pentru valori mai mici, concentratia de impuritati creste, iar aceasta dauneaza proprietatilor mecanice ale stratului depus. Puterea laser nu are un efect semnificativ asupra unghiului lateral, acesta fiind, in principial, influentat de viteza de scanare si de debitul de pulbere. Se observa o crestere liniara a unghiul lateral cu viteza de scanare si o scadere progresiva cu cresterea debitului de pulbere. Astfel, un unghi de peste 150° poate fi obtinut la viteze de 800mm/min, cu un debit de pulbere de 20g/min.

2. **Procedeu** de configurare a instalatiei in vederea optimizarii procesului de acoperire / placare laser caracterizat prin aceea ca:
 - Procesul este independent de timp în sistemul de referință atașat fascicolului laser.(Aceasta este valabilă atunci când dimensiunile substratului sunt mari comparativ cu dimensiunile zonei topite.)
 - Proprietățile termofizice ale substratului si ale acoperirii (conductivitatea termică și căldura specifică volumică) se presupune că sunt aceleași, iar efectele căldurilor specifice sunt neglijate.
 - Distribuția de putere a fascicolului laser care ajunge la suprafața substratului este considerată a fi Gaussiană (chiar dacă fascicolul laser a trecut prin jetul de pulbere).
 - Laserul este un laser de putere mică (<5kW), astfel încât efectele plasmatice nu sunt considerate

- Toate particulele de pulbere care ajung în zona topită aderă la substrat, în timp ce celelalte ricoșează și sunt pierdute.
- Absorbția pe un plan înclinat cu un unghi dat față de fascicolul laser depinde liniar de unghiul de înclinare.
- Fascicolul laser este polarizat circular

12.4. DESENE

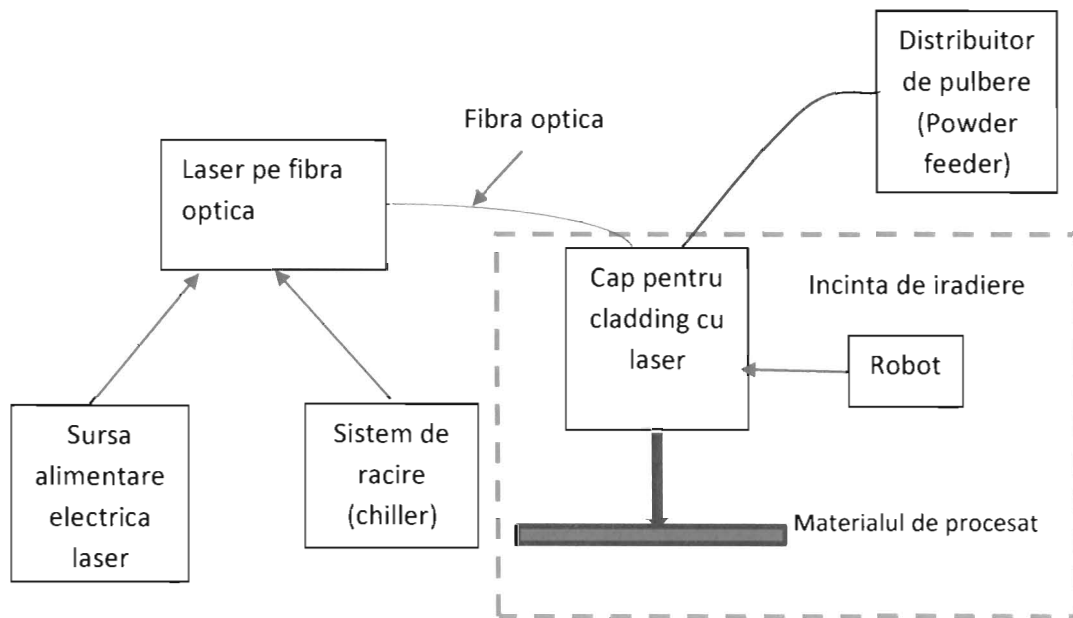


Fig. 1

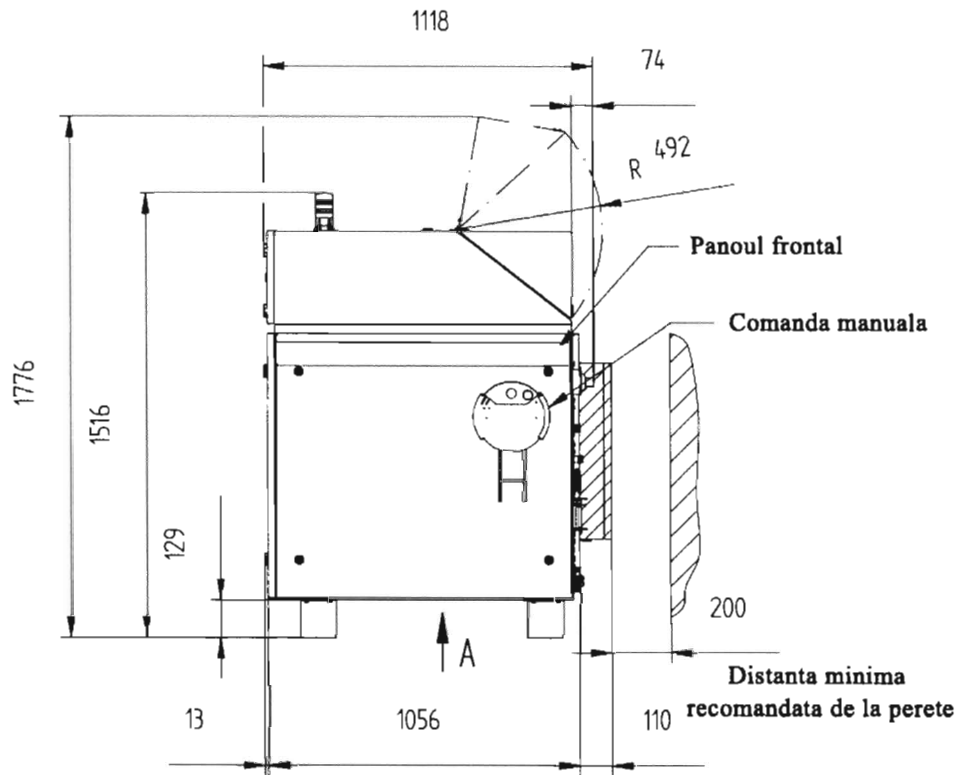


Fig. 2

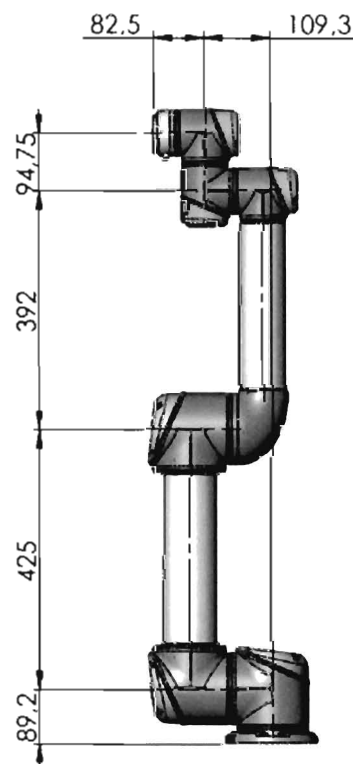


Fig. 3

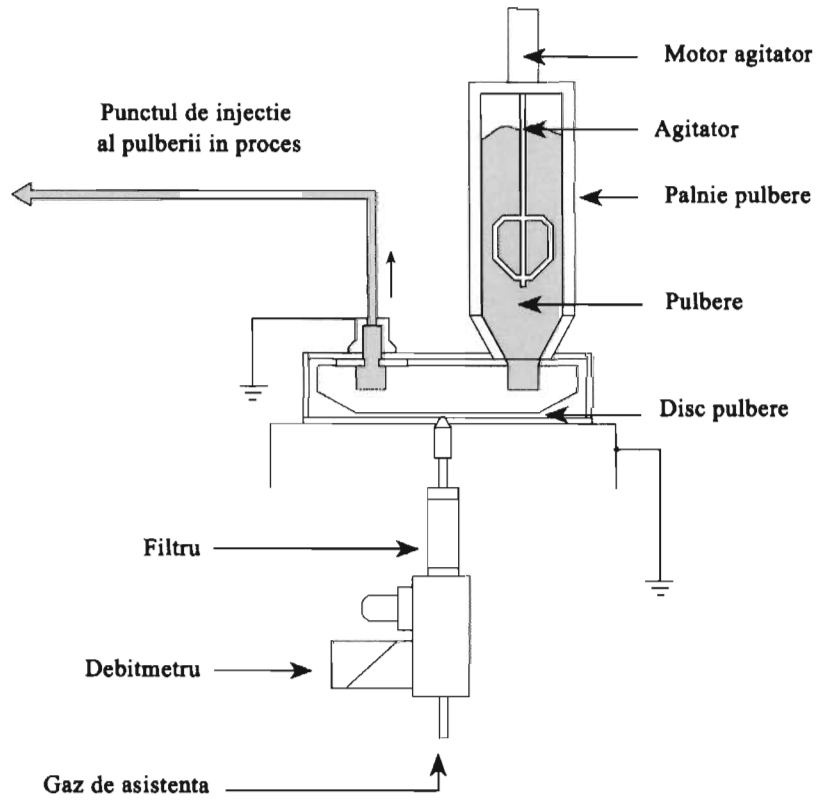


Fig. 4

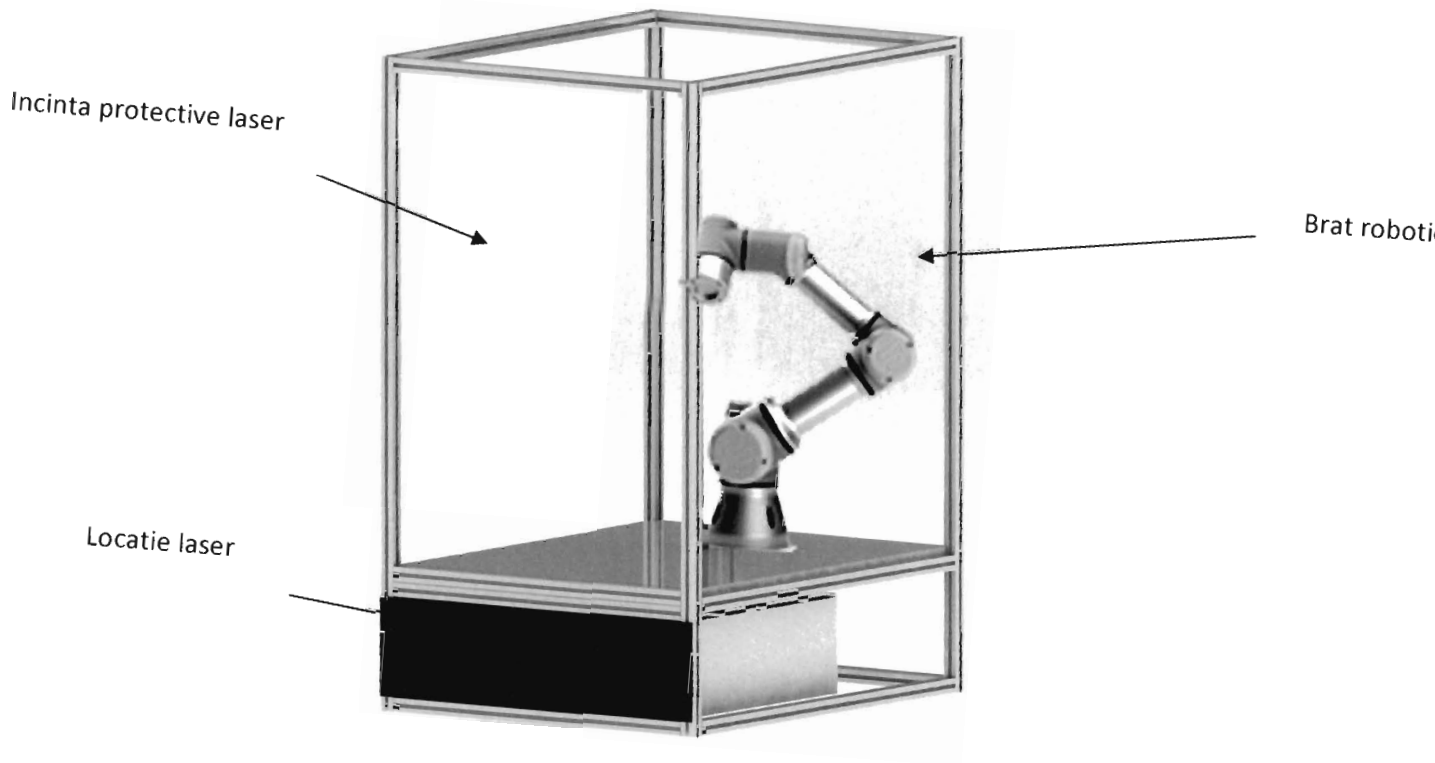


Fig. 5