



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2022 00472**

(22) Data de depozit: **03.08.2022**

(41) Data publicării cererii:
28.02.2024 BOPI nr. 2/2024

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI - INFLPR, STR. ATOMIȘTILOR
NR. 409, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **CHIOIBASU GEORGIANA - DIANA,
STR.CIRESAR, NR.12, SC.A, ET.2, AP.20,
BRAGADIRU, IF, RO;**
• **MIHAI SABIN-ANDREI, STR.MORII,
NR.46, LUMINA, CT, RO;**
• **TISEANU ION, CALEA 13 SEPTEMBRIE,
NR.117, BL.123, AP.13, SECTOR 5,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **POPESCU ANDREI, STR.FIZICIENILOR
NR.10, BL.M6, ET.3, AP.11, MĂGURELE, IF,
RO**

(54) **METODĂ DE FABRICAȚIE ADITIVĂ DE COMPONENTE
METALICE PE SUBSTRATURI DE GRAFIT**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de imprimare 3D a materialelor metalice plecând de la precursori sub formă de pulberi metalice, utilizând tehnica de depunere laser prin topire. Metoda conform invenției constă în utilizarea de substraturi de grafit în procesul de depunere laser prin topire, ceea ce conduce la eliminarea etapei de detașare prin tăiere a obiectelor de pe substrat, întrucât

substratul de grafit poate fi îndepărtat cu ușurință prin aplicarea unui șoc mecanic după finalizarea procesului de imprimare, obținând astfel obiectul 3D final.

Revendicări: 1
Figuri: 2



- DESCRIERE -

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 22 0472
Data depozit 03.08.2022

Metoda de fabricație aditivă de componente metalice pe substraturi de grafit

Invenția constă într-o metodă de imprimare 3D a materialelor metalice pe substraturi ceramice de grafit utilizând tehnica depunere laser prin topire.

Imprimarea 3D de materiale metalice poate fi implementată într-o varietate largă de domenii tehnice (industria auto, construcțiilor metalice, aeronautică, aerospațială, etc). Prin imprimare 3D se pot obține piese cu geometrii complexe, imposibil de realizat prin tehnici convenționale de fabricare. În plus, este bine cunoscută tendința actuală de a eficientiza cât mai mult procesele industriale prin eliminarea anumitor etape din procesul tehnologic de fabricație a pieselor, astfel crescând productivitatea și implicit reducerea costurilor de producție.

Tehnologia de imprimare 3D se deosebește de prelucrarea prin înlăturare de material (așchiere, electroeroziune), precum și de prelucrarea prin redistribuire de material (turnare, injecție, forjare, matrițare) prin faptul că piesele se obțin prin adăugare de material în zone precis vizate de către operator și cu un volum bine stabilit în prealabil.

Această tehnologie a apărut ca rezultat al progreselor realizate în domeniul comenzilor numerice, al tehnologiei laserelor, al programelor pentru calculatoare (Computer Aided Design – CAD, Computer Aided Manufacturing – CAM) și nu în ultimul rând, al materialelor.

Specificul acestui proces de fabricație aditivă este de a realiza piese cu geometrii 3D complexe, plecând de la un fisier CAD.

Fabricarea unei piese prin acest tip de tehnologie necesită parcurgerea mai multor etape:

- proiectarea modelului 3D al piesei, utilizând un program de proiectare asistată de calculator (CAD) în care sunt specificate constrângerile dimensionale ale acesteia;
- transferarea modelului CAD spre programe de secționare dedicate. Una dintre cele mai cunoscute metode de secționare este aproximarea modelului cu elemente triunghiulare plane;
- pe baza secțiunilor obținute anterior se generează codul de mișcare al echipamentului cu comandă numerică într-un program de fabricație asistată de calculator (CAM);



- fabricația aditivă a piesei;
- curățarea și finisarea piesei. În funcție de rolul funcțional al piesei obținute, pentru a asigura caracteristicile geometrice impuse în desenul de execuție, se pot folosi și operații de post-procesare (frezare, rectificare, alezare etc);

Una dintre cel mai cunoscute metode de imprimare 3D de materiale metalice este tehnica LMD, care presupune focalizarea unui fascicul laser pe suprafața unui substrat metalic și crearea unei topituri locale în care se injectează material metalic sub formă de pulbere. Pulberea este topită la interacția cu laserul și se solidifică rapid, formând o structură metalică densă, după îndepărtarea laserului din zona iradiată. Jeturile de pulbere și fasciculul laser sunt translatate concomitent pe o traiectorie stabilită prin intermediul unui sistem de axe motorizate. Prin treceri succesive peste același contur, se pot obține forme metalice cu geometrie 3D.

Această tehnică implică utilizarea unui substrat metalic fabricat dintr-un material asemănător cu cel din care se va realiza obiectul 3D atât din punct de vedere fizico-chimic, cât și al rețelei cristaline. De aceea, compatibilitatea dintre substrat și materialul sub formă de pulbere din care este fabricat componentul 3D este esențială în acest proces. Dacă structurile cristalografice ale celor 2 materiale nu sunt similare, există riscul major de formare a unor depuneri discontinue care se vor transpune în imposibilitatea de a fabrica obiecte realizate prin imprimare 3D.

Una dintre cele mai mari provocări ale procesului de imprimare 3D utilizând tehnica LMD este îndepărtarea de pe substratul metalic a structurilor imprimate. Această etapă se poate realiza, în funcție de complexitatea formei imprimate 3D, utilizând o mașină de tăiere cu disc sau o mașină de electroeroziune cu fir. Ambele tehnici implică timp îndelungat de prelucrare și o etapă de post-procesare. În plus, în cazul tăierii cu disc a materialelor din Ti, aliaje ale Ti și materiale compozite cu matrice metalică se impune necesitatea de a utiliza discuri diamantate, iar precizia procesului este una extrem de scăzută din cauza vibrațiilor care se produc în timpul prelucrării. Un alt dezavantaj al utilizării metodei de îndepărtare a pieselor realizate prin fabricație aditivă prin intermediul tăierii cu disc constă în necesitatea unui adaos de prelucrare care conduce la creșterea timpului de procesare a piesei 3D și la utilizarea unei cantități suplimentare de material care implică creșterea costurilor de fabricare. În situația electroeroziunii cu fir costul echipamentului este ridicat, timpul de procesare este îndelungat, iar serviciile de tăiere executate de terți utilizând această metodă au preț crescut.

Acest impediment poate fi eliminat înlocuind substraturile metalice cu substraturi ceramice din grafit, care prin aplicarea unui șoc mecanic pot fi sparte și apoi îndepărtate cu



uşurinţă. Aşadar, costul procesului de imprimare 3D de materiale metalice poate fi redus considerabil prin utilizarea grafitului drept substrat alternativ pentru procesul de fabricaţie aditivă.

Grafitul se face remarcat pentru o astfel de aplicaţie datorită conductivităţii termice ridicate ($>1500 \text{ W/m-K}$), ceea ce presupune o distribuţie a căldurii ridicată. Îmbinarea unor materiale diferite, aşa cum în cazul de faţă este grafitul cu metale comune folosite în procesul de fabricaţie aditivă reprezintă o provocare tehnologică, datorită faptului că în cazul metalelor unghiul de contact este mai mare de 130° , în timp ce pentru grafit unghiul de contact este de 120° . Totuşi, prin formarea unor straturi intermediare de metal-carbură, metalele reactive precum titan şi aliajele sale, oţel inoxidabil, zinc, magneziu, cobalt zirconiu, beriliu, iterbiu, erbiu aderă fără dificultăţi pe grafit pur. De obicei, acest proces este compatibil cu substraturi de grafit tratate termic la 1000°C timp de 90 minute, însă prezenta invenţie propune utilizarea unor substraturi de grafit comercial, indiferent de mărimea grăunţilor care îl formează sau de proprietăţile fizice ale acestuia. Substratul de grafit masiv este rezistent la socuri termice repetate cauzate de încălzirea şi răcirea rapidă a zonei de procesare în timpul scanării laser şi nu se fisurează în timpul creşterii formei metalice.

La nivel naţional, după studierea bazei de date a OSIM, nu au fost identificate brevete de invenţie care să revendice utilizarea substraturilor din grafit în procesul de imprimare 3D utilizând tehnica LMD.

La nivel internaţional, există o varietate largă de brevete care implică tehnica LMD, însă nu am identificat niciunul care să propună utilizarea substraturilor de grafit în detrimentul celor metalice. Singurul brevet de invenţie identificat care utilizează tehnica LMD pentru acoperirea unor semifabricate din grafit cu forme parapelipedice şi circulare este :

- EP 3 623 099 A1 „Laser metal deposition methodology on graphite substrates for aerospace components” revendică un aparat de acoperire a semifabricatelor din grafit utilizând tehnica LMD şi metoda de obţinere corespunzătoare.

Metoda de imprimare 3D de materiale metalice prin tehnica depunere laser prin topire pe substraturi metalice şi ceramice este prezentată în continuare cu referire la Figurile 1-2, care reprezintă:

Figura 1. Fluxul procesului de imprimare 3D de materiale metalice pe substraturi metalice

Figura 2. Fluxul procesului de imprimare 3D de materiale metalice pe substraturi ceramice

Schema de principiu a procesului de imprimare 3D utilizând tehnica depunere laser prin topire este prezentată în figura 1a. Materia primă folosită în acest proces este de tip pulbere metalică sau compozită (amestec de particule metalice şi ceramice) cu dimensiunile



particulelor cuprinse între 40 – 110 μm . Pentru asigurarea unui flux continuu al adaosului de material se recomandă alegerea unor pulberi cu particule sferice. Pulberea (2) este direcționată în spotul laser cu ajutorul unei duze (3) care face parte din blocul optic de procesare cu laser, care este montat pe un sistem de translație cu cel puțin 3 grade de libertate. La interacția cu fasciculul laser, materialul de adaos își schimbă starea de agregare din solid în lichid și se solidifică rapid după încetarea acțiunii laser. Forma materialului astfel imprimat este stabilită într-o etapă anterioară, atunci când se alege strategia de scanare a piesei 3D (4) care urmează să fie fabricată într-o maniera strat cu strat. În timpul procesului de imprimare 3D prin metoda LMD se ating temperaturi înalte care depășesc de cele mai multe ori 1500°C. De aceea, este necesară utilizarea unui substrat rezistent la temperaturi înalte (5) de cel puțin 10 mm grosime, pe care se construiesc componentele 3D. După finalizarea procesului de imprimare, substraturile trebuie îndepărtate pentru a obține piesa finală. Această etapă poate fi realizată prin electroeroziune cu fir (6) sau taiere cu disc (7). Tehnica de detașare a substraturilor metalice utilizând electroeroziunea este o tehnologie de prelucrare neconvențională folosită în special pentru prelucrarea cu precizie ridicată a materialelor dure și foarte dure sau a celor care nu pot fi prelucrate prin metode convenționale. Prin electroeroziune cu fir se pot tăia materiale precum carburi, inconel, oțel pentru scule, aliaje de nichel, stelit, titan, aluminiu, în general orice material care are conductivitate electrică. Principalele dezavantaje ale acestei tehnici sunt viteza de procesare scăzută și costul ridicat de prelucrare. Tehnica de detașare a substraturilor metalice utilizând o mașină de tăiere cu disc este eficientă doar pentru piese de dimensiuni mici. Cu cât diametrul discului utilizat este mai mare cu atât precizia de procesare este mai scăzută, deoarece scade gradul de rigiditate al echipamentului de tăiat și astfel se transmit mai puternic vibrațiile către piesa de prelucrat. În plus, pentru materiale dure este necesară utilizarea unor discuri diamantate cu cost de achiziție ridicat care cresc considerabil prețul produsului final. Această etapă tehnologică costisitoare atât din punct de vedere economic, cât al timpului necesar alocat post-procesării, poate fi eliminată prin folosirea unor substraturi ceramice (8) fabricate din grafit în detrimentul celor metalice (5). În plus, costul produsului final va fi considerabil mai scăzut datorită faptului că prețul grafitului este mai mic decât cel al materialelor metalice. Pentru a asigura succesul procesului de imprimare 3D, trebuie să se țină cont că structura cristalină a materialelor din care se fabrică piesele 3D să fie compatibilă cu cea a grafitului, adică hexagonală. După finalizarea etapei de fabricare a componentelor obținute prin imprimare 3D, substratul ceramic se îndepărtează cu ușurință prin aplicarea unui șoc mecanic care sparge grafitul și astfel rezultă piesa finală (4). Metoda LMD care utilizează un substrat de grafit se poate utiliza pentru obținerea obiectelor 3D.



masive, dar în principal este perfect adaptată pentru obținerea pieselor foarte subțiri metalice (2.5D) cu înălțime foarte mică (plase, bijuterii, monturi, logo-uri). Astfel de obiecte nu pot fi tăiate de pe un substrat metalic din cauza înălțimii lor comparabilă sau mai mică decât a discului/firului tăietor, dar pot fi desprinse de pe un substrat de grafit cu ușurință. Un alt avantaj al imprimării 3D pe substraturi de grafit este simplificarea controlul calității prin metode nedistructive, precum este defectoscopia și metrologia 3D prin imagistică de raze X. Substratul de grafit este transparent la fascicul de raze X și permite analiza calitativă (defectoscopică) și cantitativă (metrologică) imediat după finalizarea procesului fără detașarea piesei de substrat. În acest fel, pentru piesele cu defecte sau neconformități dimensionale, se economisesc resurse importante nemaifiind necesară parcurgerea etapelor de detașare și finisare a interfeței de pe substrat. Astfel se pot face economii importante de timp și materiale la prototiparea și optimizarea protocolului de imprimare 3D pentru o piesă nouă.



REVENDICĂRI

1. Metoda de imprimare 3D a materialelor metalice prin tehnica de depunere laser prin topire este **caracterizată prin aceea că** folosește substraturi de grafit în detrimentul celor metalice, care sunt ușor de îndepărtat prin aplicarea unui șoc mecanic.



DESENE/FIGURI

Figura 1

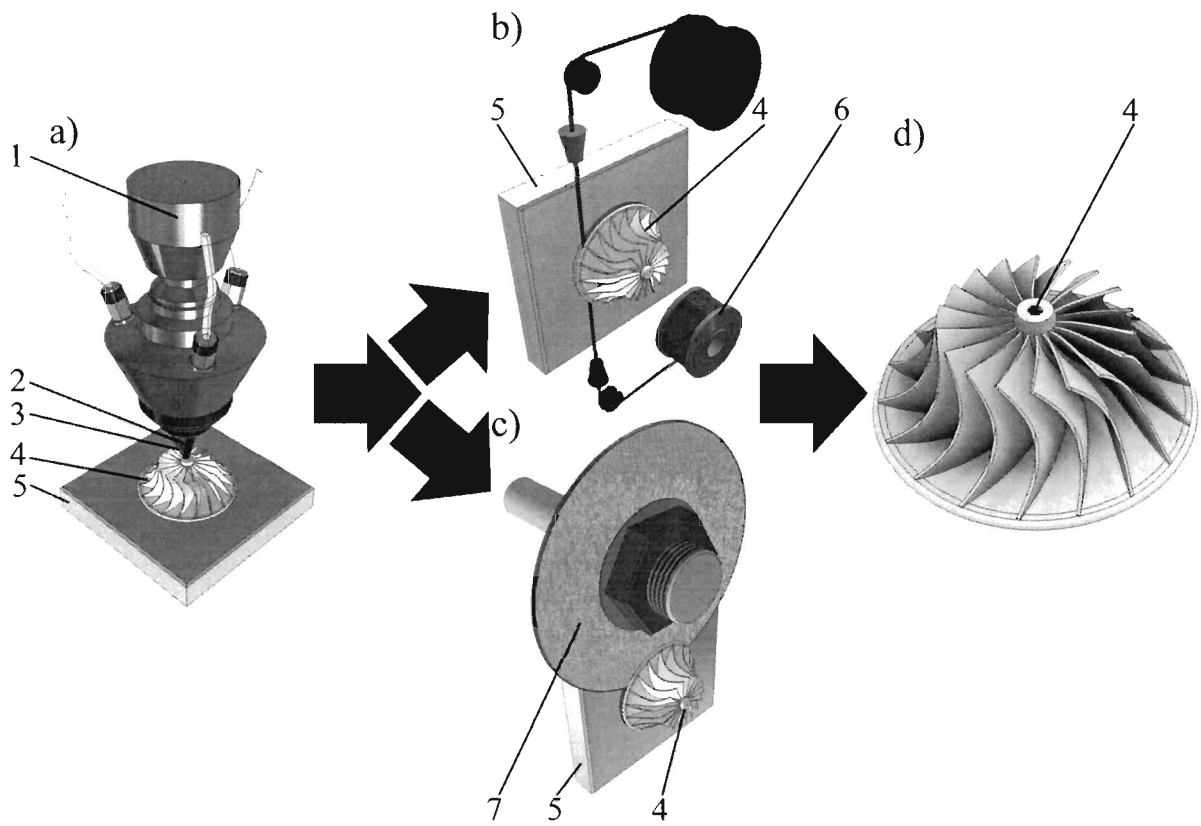


Figura 2

