



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00736

(22) Data de depozit: 11.10.2013

(41) Data publicării cererii:  
30.07.2015 BOPI nr. 7/2015

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MICROTEHNOLOGIE,  
STR.EROU IANCU NICOLAE NR.126 A,  
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• MOAGĂR POLADIAN GABRIEL,  
ALEEA FUIORULUI NR. 6, BL. Y3A, SC. 1,  
ET. 6, AP. 27, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,  
RO

(54) PROCEDEU DE MANUFACTURARE RAPIDĂ FOLOSIND  
FASCICUL FOCALIZAT DE ULTRASUNETE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de fabricare rapidă a unor piese în 3D, cu geometrii variate, inclusiv cu geometrii complexe, folosind un fascicul de ultrasunete focalizat într-o masă de pulbere a materialului din care se construiește piesa 3D. Procedeu conform invenției constă în sudura locală a unor grăunți de pulbere, prin focalizarea unor unde ultrasonore într-un focar, și baleierea acestui focar în masa de pulbere, astfel încât să se realizeze un obiect tridimensional, focar în care

are loc cel puțin unul dintre procesele de topire locală prin frecare urmată de umplerea golurilor, înlăturarea asperităților grăunților, inter-difuzie locală între grăunții de pulbere, precum și alte fenomene care au loc la interfața dintre materiale, atunci când sunt supuse unui câmp ultrasonor.

Revendicări: 15  
Figuri: 1



## PROCEDEU DE MANUFACTURARE RAPIDĂ FOLOSIND FASCICOL FOCALIZAT DE ULTRASUNETE

Invenția se referă la un procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete.

Este cunoscut un procedeu de manufacturare rapidă folosind radiația laser care constă în realizarea obiectului strat cu strat prin topirea locală a materialului aflat sub formă de pulbere, topire produsă de către fascicolul laser. Acest procedeu se mai numește sinterizare / topire selectivă laser în cazul polimerilor, respectiv sinterizare laser directă a metalului în cazul metalelor.

De asemenea, este cunoscut un procedeu de manufacturare rapidă care constă în realizarea obiectului strat cu strat prin fotopolimerizarea locală, cu ajutorul unui fascicol luminos, a unui material, fotopolimerizare care se poate face cu absorbție de un foton sau absorbție de doi fotoni.

Dezavantajele procedurii cu sinterizare laser sunt:

- pentru fiecare clasă de materiale în parte, și anume polimeri, metale, ceramică, trebuie folosit un laser adecvat ca putere și lungime de undă.

- procesul de construcție este lent, deoarece trebuie depus fiecare strat, realizată sinterizarea laser și apoi continuat cu depunerea unui nou strat, procesul repetându-se până când obiectul dorit este realizat. În cazul polimerilor, fiecare strat trebuie pre-încălzit până aproape de temperatura de topire, proces care consumă timp.

- la ora actuală, nu se poate lucra decât cu un singur tip de material o dată, acesta puându-se să fie simplu sau compozit.

- în cazul sinterizării laser a metalelor, este necesară realizarea de structuri suport care să împiedice deformarea piesei în timpul realizării ca urmare a existenței gradientului termic.

Dezavantajele procedurii cu fotopolimerizare sunt:

- gama de materiale este destul de limitată, mai ales în cazul utilizării fotopolimerizării cu absorbție de doi fotoni.

- nu se lucrează decât cu un singur material o dată.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în faptul că permite manufacturarea mai rapidă a unor piese cu geometrii complexe, dintr-o gamă largă de materiale, fără a fi necesară schimbarea echipamentului de lucru și fără a necesita structuri suport.

Soluția propusă, conform invenției, elimină dezavantajele de mai sus prin faptul că, folosind un fascicol focalizat de ultrasunete, produce sudura locală a grăunților de pulbere și poate lucra în toată masa pulberii fără a mai fi necesară depunerea strat cu strat, în acest fel crescând viteza de construcție. În plus, sistemul de lucru se poate aplica pentru o gamă largă de

materiale cum ar fi metale, ceramici, polimeri cu condiția ca acestea să fie sudabile cu ultrasunete, iar în anumite situații, poate lucra cu mai multe materiale o dată.

Avantajele procedurii de manufacturare rapidă folosind fascicol de ultrasunete sunt:

- oferă un proces mai rapid de construcție 3D, nefiind necesară depunerea strat cu strat și eventuala pre-încălzire a fiecărui strat.

- se poate aplica unei game largi de materiale fără a fi necesară modificarea în vreun fel a echipamentului de lucru.

- asigură o densitate a piesei realizate apropiată de cea a materialului de bază, datorită presării din timpul procesului de construcție.

- nu necesită realizarea de structuri suport, obiectul fiind încastrat în pulberea presată.

- în anumite condiții, permite realizarea de obiecte de tip multimaterial.

Dăm în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figura 1, care reprezintă:

- Figura 1: schița ansamblului utilizat pentru manufacturarea aditivă folosind ultrasunete focalizate

Procedul, conform invenției, constă în sudura locală a grăunților de pulbere prin focalizarea undelor ultrasonore într-un focar și baleierea acestui focar în masa de pulbere, focar în care are loc cel puțin unul dintre procesele de topire locală, topire locală prin frecare urmată de umplerea golurilor, înlăturarea asperităților grăunților, inter-difuzie locală între grăunții de pulbere precum și alte fenomene care au loc la interfața dintre materiale atunci când sunt supuse unui câmp ultrasonor, și conține următoarele etape:

- etapa 1: umplerea unei cuve (1) cu pulberea materialului (2) din care se dorește a fi realizat obiectul.

- etapa 2: degazarea și eventuala uscare a pulberii respective. Acest pas se poate realiza în vid ușor, presiunea fiind cuprinsă între  $10^{-12}$  Torr și 0,1 Torr. Tot în această etapă, cuva (1) conținând pulberea (2) poate fi vibrată un anumit interval de timp, în vederea așezării mai compacte a pulberii, frecvența de vibrație a pulberii fiind cuprinsă între 2 Hz și 2 MHz iar amplitudinea de vibrație fiind cuprinsă între 10 nm și 1 mm.

- etapa 3: aplicarea unui capac (3) deasupra pulberii (2) și presarea acesteia pe toată durata procesului de construcție cu o forță suficient de mare, dependentă de tipul de material folosit și de proprietățile acestuia. Cuva (1) conținând pulberea (2) mai poate fi vibrată un anumit interval de timp și în cadrul acestei etape, cu capacul (3) presând asupra pulberii (2), parametrii de vibrație fiind similari ca cei de la etapa 2.

- etapa 4: deasupra capacului (3) se toarnă un lichid (4) care are rolul de a crea o adaptare de impedanță acustică între sursa (5), respectiv optica (6) de focalizare a ultrasunetelor, și capacul (3), astfel încât să se asigure un transfer optim de putere.



- etapa 5: dacă este necesar, pulberea (2) poate fi încălzită până la o anumită temperatură pe durata procesului de construcție, dar fără a evapora sau fierbe lichidul (4).

- etapa 6: se pornește sursa (5) de ultrasunete și se coboară optica (6) de focalizare astfel încât spotul de focalizare să se afle la baza cuvei (1) în materialul (2).

- etapa 7: se scanează la înălțime constantă stratul respectiv de pulbere (2), realizându-se sudura locală cu ultrasunete a materialului (2). Puterea sursei (5) de ultrasunete poate fi variată, fiind maximă acolo unde se dorește sudura locală a particulelor de pulbere (2).

- etapa 8: spotul de ultrasunete focalizate este mișcat pe verticală, de jos în sus, pe o anumită distanță determinată de rezoluția spațială a spotului de ultrasunete – mai precis, de dimensiunea spotului focal și de puterea ultrasonoră a sursei (5) – cu ajutorul opticii (6) de focalizare, astfel încât să se realizeze întregul obiect (7) 3D, prin repetarea etapei 7. De asemenea, atunci când geometria obiectului (7) o permite, etapele 7 și 8 pot fi contopite într-una singură. În plus, atunci când se dorește o rezoluție spațială cât mai bună, se lucrează cu o optică (6) acustică cu focală redusă / apertură numerică mare, focala putând fi mai mică decât înălțimea totală a obiectului (7) care se dorește a fi construit. În acest caz, în cadrul etapei 1, cuva (1) se umple pe o înălțime egală cu cel mult focala opticii (6) acustice, după care se trece la etapa 2. Obiectul (7) se construiește apoi conform etapelor 3 – 8, după care se repetă etapele 1 – 8 până când obiectul (7) este realizat în totalitate. Tot pe parcursul etapei 8 poate fi folosită imagistica ultrasonoră cu ultrasunete de altă frecvență decât cea folosită pentru construcție, în scopul urmăririi în timp real a procesului de construcție 3D și a identificării eventualelor erori de construcție. Imagistica ultrasonoră se poate realiza cu un sistem de tip ecograf amplasat în lateralul cuvei (1), fascicolul ultrasonor folosit pentru imagistică propagându-se de exemplu la un unghi de  $90^\circ$  față de fascicolul ultrasonor folosit la construcția 3D a obiectului (7).

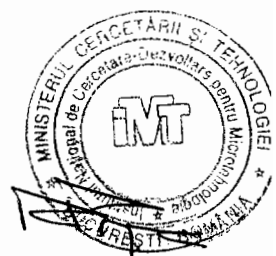
- etapa 9: după ce obiectul (7) a fost realizat, se lasă să se răcească lent dacă acesta a fost încălzit în etapa 5.

- etapa 10: se scoate lichidul (4) de deasupra capacului (3). Dacă lichidul (4) este solid la temperatura ambiantă, se lasă să se răcească, după care solidul rezultat se îndepărtează, dacă este necesar, de pe capacul (3).

- etapa 11: se scoate capacul (3).

- etapa 12: se scot obiectul (7) și pulberea (2) din cuva (1), obiectul (7) fiind curățat de eventuala pulbere rămasă pe el. Această curățare se poate realiza prin metode în sine cunoscute cum ar fi, de pildă – dar fără a restrânge generalitatea – suflarea cu pulbere sau sablarea.

Capacul (3) este apăsător pe toată durata procesului de construcție a obiectului (7). Capacul (3) are suprafața de contact cu lichidul (4) microstructurată, astfel încât să se realizeze o adaptare acustică mai bună între lichidul (4) și capacul (3) dar, totodată, dimensiunea caracteristică microstructurării fiind mult mai mică decât lungimea de undă a ultrasunetelor folosite.



Dimensiunea grăunților de pulbere (2) este cuprinsă între 2 nm și 1 mm, grăunții putând avea toți aceeași dimensiune sau putând avea o distribuție oarecare după dimensiuni, de exemplu – dar fără a restrânge generalitatea – o distribuție gaussiană.

De asemenea, cuva (1) are pereți care nu reflectă ultrasunetele, pentru a preveni apariția de unde ultrasonore staționare în interiorul pulberii (2) pe durata de construire a obiectului (7).

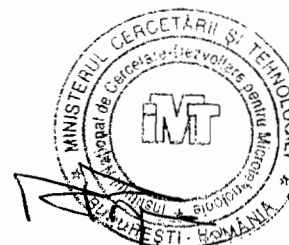
Parametrii de lucru, care pot fi variați în funcție de materialul (2) utilizat și de proprietățile acestuia, sunt frecvența ultrasunetelor, puterea ultrasunetelor, dimensiunea spotului ultrasonor focalizat – dependent de lungimea de undă a ultrasunetelor în materialul (2) și de caracteristicile opticii (7) de focalizare, viteza de baleiere orizontală, respectiv verticală, a spotului ultrasonor focalizat și, respectiv, modul de funcționare al sursei (5) de ultrasunete, adică în undă continuă, cu modulare de intensitate sau în impulsuri. De asemenea, un alt parametru de lucru este forța de apăsare a capacului (3) pe pulberea (2). Pentru aplicarea acestei forțe se pot folosi procedee în sine cunoscute, forța fiind aplicată preferabil direct capacului (3) sau, în altă variantă, prin intermediul lichidului (4).

Baleierea spotului ultrasonor se poate face fie folosind elemente acordabile / adaptive de optică acustică în cadrul sistemului optic (6) ultrasonor și, respectiv, sisteme de baleiere X-Y ale fascicolului ultrasonor, fie prin mișcarea X-Y-Z a sistemului optic (6) ultrasonor cu ajutorul unor elemente de translație în sine cunoscute. În acest ultim caz, mișcarea sistemului (6) de optică acustică prin lichidul (4) trebuie să se facă fără a afecta proprietățile acustice ale acestui lichid (4). De asemenea, se pot folosi mai multe surse (5) ultrasonore între care există o relație de fază bine determinată în combinație cu o singură optică (6) ultrasonoră adaptivă. Variind diferența de fază dintre diferitele surse (5) și, respectiv, varind distanța focală a opticii (6) acustice, se poate obține o baleiere după cele trei direcții spațiale. Fiecare dintre sursele (5) ultra-acustice pot avea propria optică (6) ultrasonoră sau pot avea același sistem (6) optic ultrasonor.

Într-o altă variantă, se pot folosi un număr de N surse (5) ultrasonore independente, fiecare având propria optică (6) acustică și corelate între ele astfel încât împreună, cele N spoturi focale de ultrasunete să construiască obiectul (7) în paralel, folosind unul dintre procedeele de baleiere menționate în paragraful anterior.

Frecvența ultrasunetelor poate avea valori cuprinse între 25 kHz și 10 GHz, puterea ultrasunetelor poate avea valori cuprinse între 1 nW și 100 kW, dimensiunea spotului ultrasonor poate fi între 1 micron și 1 mm, viteza de baleiere orizontală poate avea valori cuprinse între 1 micron/secundă și 100 m/secundă, viteza de baleiere verticală poate avea valori cuprinse între 1 micron/secundă și 1 m/secundă, forța de apăsare poate fi cuprinsă între 10 N și 100 MN. Valoarea forței de apăsare poate varia în timpul procesului de construcție a obiectului (7), dacă este necesar.

Capacul (3), pulberea (2) și lichidul (4) trebuie să aibă viteze ale sunetului de valori apropiate, astfel încât să nu apară, la interfețele de separare dintre ele, schimbarea tipului de



11-10-2013

unde ultrasonore, ci să se propage numai un singur tip de unde ultrasonore – sau numai longitudinale sau numai transversale. Existența a două tipuri de unde ultrasonore implică apariția a două focare, din moment ce undele longitudinale și cele transversale au viteze de propagare diferite.

Până acum am considerat cazul în care pulberea (2) este formată dintr-un singur material, turnat în cuva (1). În anumite situații, cuva se poate umple cu mai multe materiale (2), amplasate după modul în care este necesar pentru realizarea obiectului (7). Aceste materiale (2) diferite trebuie să aibă câteva caracteristici, dintre care menționăm: fiecare dintre ele să poată fi sudate cu ultrasunete, să fie sudabile între ele, să aibă proprietăți acustice – viteza sunetului – asemănătoare pentru a evita reflexiile și interferența undelor ultrasonore la interfața dintre ele, precum și să necesite puteri ultrasonore de sudare care să fie apropiate ca ordin de mărime.

Dăm în continuare un exemplu de realizare a invenției. Astfel, cuva (1) este realizată din oțel și are pereții microstructurați, iar pe exterior are un material absorbant de ultrasunete. În interior se introduce pulbere de Aluminiu cu grăunți de dimensiuni micronice și se umple cuva (1) până la vârf. Peste pulberea (2) de Aluminiu se pune capacul (3) din oțel. Suprafața de deasupra, aflată în contact cu lichidul (4) care este apă, este microstructurată, având niște piramide cu latura de 10 microni și înălțimea de 10 microni. Pe capacul (3) se aplică o forță de 100 kN. Sursa (5) de ultrasunete emite ultrasunete cu frecvența de 500 MHz, la o putere de 100 W, în impulsuri cu durată de 1 microsecundă și cu frecvența de repetiție de 100 kHz. Sistemul (6) optic ultrasonor focalizează ultrasunetele într-un spot cu mărimea de 10 microni. Viteza de baleiere pe orizontală este de 10 cm/secundă. Viteza de baleiere pe verticală este de 1 mm/secundă.



## Revendicări

1. Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform invenției, caracterizat prin aceea că constă în sudura locală a grăunților de pulbere prin focalizarea undelor ultrasonore într-un focar și baleierea acestui focar în masa de pulbere astfel încât să se realizeze obiectul (7) în 3D, focar în care are loc cel puțin unul dintre procesele de topire locală, topire locală prin frecare urmată de umplerea golurilor, înlăturarea asperităților grăunților, inter-difuzie locală între grăunții de pulbere precum și alte fenomene care au loc la interfața dintre materiale atunci când sunt supuse unui câmp ultrasonor, și conține următoarele etape:

- etapa 1: umplerea unei cuve (1) cu pulberea materialului (2) din care se dorește a fi realizat obiectul.

- etapa 2: degazarea și eventuala uscare a pulberii (2) respective. Acest pas se poate realiza în vid, presiunea fiind cuprinsă între  $10^{-12}$  Torr și 0,1 Torr. Tot în această etapă, cuva (1) conținând pulberea (2) poate fi vibrată un anumit interval de timp, în vederea așezării mai compacte a pulberii, frecvența de vibrație a pulberii fiind cuprinsă între 2 Hz și 2 MHz iar amplitudinea de vibrație fiind cuprinsă între 10 nm și 1 mm.

- etapa 3: aplicarea unui capac (3) deasupra pulberii (2) și presarea acesteia pe toată durata procesului de construcție cu o forță suficient de mare, dependentă de tipul de material folosit și de proprietățile acestuia. Cuva (1) conținând pulberea (2) mai poate fi vibrată un anumit interval de timp și în cadrul acestei etape, cu capacul (3) presând asupra pulberii (2), parametrii de vibrație fiind similari ca interval de valori cu cei de la etapa 2.

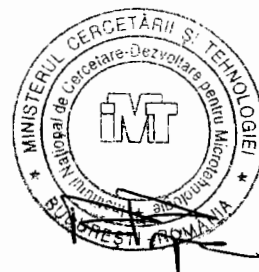
- etapa 4: deasupra capacului (3) se toarnă un lichid (4) care are rolul de a crea o adaptare de impedanță acustică între sursa (5), respectiv optica (6) de focalizare a ultrasunetelor, și capacul (3), astfel încât să se asigure un transfer optim de putere.

- etapa 5: dacă este necesar, pulberea (2) poate fi încălzită până la o anumită temperatură pe durata procesului de construcție, dar fără a evapora sau fierbe lichidul (4).

- etapa 6: se pornește sursa (5) de ultrasunete și se coboară optica (6) de focalizare astfel încât spotul de focalizare să se afle la baza cuvei (1) în materialul (2).

- etapa 7: se scanează la înălțime constantă stratul respectiv de pulbere (2), realizându-se sudura locală cu ultrasunete a materialului (2). Puterea sursei (5) de ultrasunete poate fi variată pe durata procesului de construcție 3D a obiectului (7), variația acesteia ducând la variația dimensiunii spotului în care are loc sudura ultrasonoră.

- etapa 8: spotul de ultrasunete focalizate este mișcat pe verticală, de jos în sus, pe o anumită distanță determinată de rezoluția spațială a spotului de ultrasunete – mai precis, de dimensiunea spotului focal în care are loc sudarea, respectiv de puterea ultrasonoră a sursei (5) – cu ajutorul opticii (6) de focalizare, astfel încât să se realizeze întregul obiect (7) 3D, prin repetarea etapei 7. De asemenea, atunci când geometria obiectului (7) o permite, etapele 7 și 8



pot fi contopite într-una singură. În plus, atunci când se dorește o rezoluție spațială cât mai bună, se lucrează cu o optică (6) acustică cu focală redusă / apertură numerică mare, focala putând fi mai mică decât înălțimea totală a obiectului (7) care se dorește a fi construit. În acest caz, în cadrul etapei 1, cuva (1) se umple pe o înălțime egală cu cel mult focala opticii (6) acustice, după care se trece la etapa 2. Obiectul (7) se construiește apoi conform etapelor 3 – 8, după care se repetă etapele 1 – 8 de un anumit număr de ori până când obiectul (7) este realizat în totalitate. Tot pe parcursul etapei 8 poate fi folosită imagistica ultrasonoră cu ultrasunete de altă frecvență decât cea folosită pentru construcție, în scopul urmăririi în timp real a procesului de construcție 3D și a identificării eventualelor erori de construcție. Imagistica ultrasonoră se poate realiza cu un sistem (8) de tip ecograf amplasat în lateralul cuvei (1), fascicolul ultrasonor folosit pentru imagistică propagându-se de exemplu la un unghi de  $90^{\circ}$  față de direcția de propagare a fascicolului ultrasonor folosit la construcția 3D a obiectului (7).

- etapa 9: după ce obiectul (7) a fost realizat, se lasă să se răcească lent dacă acesta a fost încălzit în etapa 5.

- etapa 10: se scoate lichidul (4) de deasupra capacului (3). Dacă lichidul (4) este solid la temperatura ambiantă, se lasă să se răcească, după care solidul rezultat se îndepărtează, dacă este necesar, de pe capacul (3).

- etapa 11: se scoate capacul (3).

- etapa 12: se scot obiectul (7) și pulberea (2) din cuva (1), obiectul (7) fiind curățat de eventuala pulbere rămasă pe el. Această curățare se poate realiza prin metode în sine cunoscute cum ar fi, de pildă – dar fără a restrânge generalitatea – suflarea cu gaz sub presiune, suflarea cu gaz sub presiune în amestec cu pulbere, suflarea cu lichid sub presiune sau sablarea.

2) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că cuva (1) are pereți care nu reflectă ultrasunetele, pentru a preveni apariția de unde ultrasonore staționare în interiorul pulberii (2) pe durata de construire a obiectului (7).

3) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că capacul (3) are suprafața de contact cu lichidul (4) microstructurată, astfel încât să se realizeze o adaptare acustică mai bună între lichidul (4) și capacul (3) dar, totodată, dimensiunea caracteristică microstructurării fiind mult mai mică decât lungimea de undă a ultrasunetelor folosite.

4) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că lichidul (4) poate fi lichid la temperatura ambiantă sau, într-o altă situație, poate fi solid la temperatura ambiantă, caz în care solidul respectiv va trebui topit prin procedee în sine cunoscute înainte de a trece la etapa 5.

5) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că baleierea spotului ultrasonor se poate face fie





folosind elemente acordabile / adaptive de optică acustică în cadrul sistemului optic (6) ultrasonor și, respectiv, sisteme de baleiere X-Y ale fascicolului ultrasonor, fie prin mișcarea X-Y-Z a ansamblului format din sursa (5) și sistemul optic (6) ultrasonor cu ajutorul unor elemente de translație în sine cunoscute – în acest ultim caz mișcarea ansamblului format din sursa (5) și sistemul (6) de optică acustică prin lichidul (4) trebuind să se facă fără a afecta proprietățile acustice ale acestui lichid (4), fie se pot folosi mai multe surse (5) ultrasonore între care există o relație de fază bine determinată în combinație cu o singură optică (6) ultrasonoră adaptivă la care, variind diferența de fază dintre diferitele surse (5) și, respectiv, variind distanța focală a opticii (6) acustice, se poate obține o baleiere după cele trei direcții spațiale.

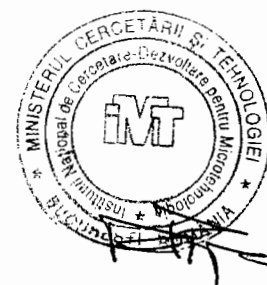
6) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicărilor 1 și 5, caracterizat prin aceea că procesul de construcție 3D a obiectului (7) se poate face în paralel de către mai multe spoturi focale ultrasonore, în acest caz folosindu-se un număr de cel puțin două surse (5) ultrasonore independente, fiecare având propria optică (6) acustică și corelate între ele astfel încât împreună, aceste spoturi focale de ultrasunete să construiască obiectul (7) în paralel, folosind unul dintre procedeele de baleiere menționate în revendicarea 5.

7) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că parametrii de lucru care pot fi variați, în funcție de materialul (2) utilizat și de proprietățile acestuia, sunt frecvența ultrasunetelor, puterea ultrasunetelor, dimensiunea spotului ultrasonor focalizat – dependent de lungimea de undă a ultrasunetelor în materialul (2) și de caracteristicile opticii (6) de focalizare, viteza de baleiere orizontală, respectiv verticală, a spotului ultrasonor focalizat și, respectiv, modul de funcționare al sursei (5) de ultrasunete, adică în undă continuă, cu modulare de intensitate sau în impulsuri, un alt parametru de lucru fiind forța de apăsare a capacului (3) pe pulberea (2), pentru aplicarea acestei forțe se folosindu-se procedee în sine cunoscute, forța fiind aplicată preferabil direct capacului (3) sau, în altă variantă, prin intermediul lichidului (4), perpendicular pe suprafața stratului de pulbere (2).

8) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că frecvența ultrasunetelor poate avea valori cuprinse între 25 kHz și 10 GHz, puterea ultrasunetelor poate avea valori cuprinse între 1 nW și 100 kW, dimensiunea spotului ultrasonor poate fi între 1 micron și 1 mm.

9) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că viteza de baleiere orizontală poate avea valori cuprinse între 1 micron/secundă și 100 m/secundă, viteza de baleiere verticală poate avea valori cuprinse între 1 micron/secundă și 1 m/secundă.

10) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că forța de apăsare poate fi cuprinsă între 10 N și



100 MN, valoarea forței de apăsare putând varia în timpul procesului de construcție a obiectului (7), dacă este necesar.

11) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că poate folosi ca materiale (2) pulberi metalice, pulberi ceramice, pulberi de polimeri, grăunții acestor materiale (2) de tip pulberi putând fi simpli din punct de vedere al compoziției sau de tip compozit sau de tip amestec sau de tip aliaj de cel puțin două substanțe, condiția fiind ca materialul (2) considerat să poată fi sudat cu ultrasunete, dimensiunea grăunților de pulbere (2) fiind cuprinsă între 2 nm și 1 mm, grăunții putând avea toți aceeași dimensiune sau putând avea o distribuție oarecare după dimensiuni, de exemplu – dar fără a restrânge generalitatea – o distribuție gaussiană.

12) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicărilor 1 și 11, caracterizat prin aceea că poate folosi în timpul procesului de construcție 3D a obiectului (7) cel puțin două dintre materialele (2) menționate în revendicarea 11, materiale (2) amplasate în cuva (1), prin procedee în sine cunoscute, după modul în care este necesar pentru realizarea obiectului (7), condițiile fiind ca acestea să fie sudabile între ele, să aibă proprietăți acustice – în special viteza sunetului – asemănătoare, precum și să necesite puteri ultrasonore de sudare care să fie apropiate ca ordin de mărime.

13) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicărilor 1, 11 și 12, caracterizat prin aceea că materialul (2) poate fi de tip monocristalin, policristalin, amorf sau vitros.

14) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că permite urmărirea în timp real a construcției obiectului (7) prin imagistică ultrasonoră, în scopul identificării eventualelor erori de construcție, imagistica ultrasonoră realizându-se cu un sistem (8) de tip ecograf în sine cunoscut amplasat în lateralul cuvei (1), fascicolul ultrasonor emis de către sistemul (8) folosit pentru imagistică propagându-se de exemplu la un unghi de  $90^{\circ}$  față de fascicolul ultrasonor folosit la construcția 3D a obiectului (7) și având o altă frecvență decât acesta din urmă.

15) Procedeu de manufacturare rapidă care folosește un fascicol focalizat de ultrasunete conform revendicărilor 1, 3, 4, 11 și 12 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, capacul (3), pulberea (2) și lichidul (4) trebuie să aibă viteze ale sunetului de valori apropiate, astfel încât să nu apară, la interfețele de separare dintre ele, schimbarea tipului de unde ultrasonore, ci să se propage numai un singur tip de unde ultrasonore – sau numai longitudinale sau numai transversale.



Desene

Figura 1

