

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00831

(22) Data de depozit: 25/10/2018

(41) Data publicării cererii:  
30/04/2019 BOPI nr. 4/2019

(71) Solicitant:  
• UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN  
PLOIEȘTI, BD. BUCUREȘTI NR. 39,  
PLOIEȘTI, PH, RO

(72) Inventatori:  
• IONESCU OCTAVIAN NARCIS,  
STR.GOLEȘTI, NR.15, PLOIEȘTI, PH, RO;  
• ZORAN CONSTANTINESCU, STR.MIRON  
COSTIN, NR.79, PLOIEȘTI, PH, RO;  
• IONESCU GABRILA CRISTINA,  
STR.GOLEȘTI, NR.15, PLOIEȘTI, PH, RO;  
• VLADOIU MONICA, STR.MIRON COSTIN,  
NR.79, PLOIEȘTI, PH, RO

(54) SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE  
PENTRU COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI  
PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și la o metodă de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi realizați prin tehnologie 3D, folosind un printer capabil a lucra simultan cu două materiale, realizându-se în structura batonului de combustibil un senzor rezistiv, constând într-un număr de conductoare conectate în paralel. Sistemul conform invenției constă în aceea că, odată cu arderea combustibilului, elementele sistemului rezistiv se întrerup progresiv, modificând astfel în trepte distincte valoarea rezistenței sistemului în ansamblu, iar prin simpla măsurare a rezistenței sistemului, folosind o perioadă a măsurării mai mică decât rata de regresie a batonului de combustibil, putându-se obține o informație în timp real despre rata de regresie a combustibilului, un plus pe care această metodă îl poate aduce fiind acela că sistemul poate fi configurat astfel încât să determine și un consum neuniform pe lungimea batonului de combustibil, pentru aceasta realizându-se un sistem de rezistoare matriceal, prin unirea unor fire (4) rezistive prin mai multe conductoare, măsurarea făcându-se la niște borne (5) ale fiecărei secțiuni, iar în cazul în care se dorește o monitorizare complexă a fenomenelor ce apar în interiorul batonului de combustibil, respectiv, determinarea temperaturii batonului și a presiunii exercitate asupra acestuia, se poate executa o măsurare a impedanței sistemului de con-

ductoare, curentul aplicat la bornele sistemului putând fi modulat în frecvență. Metoda conform invenției determină rata de regresie a batonului de combustibil prin măsurarea rezistenței echivalente a unui sistem compus dintr-un număr prestabilit de elemente rezistive în interiorul batonului de combustibil, și conectate în paralel, care se întrerup pe măsură ce combustibilul arde.

Revendicări: 4  
Figuri: 3

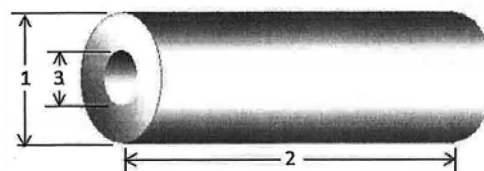


Fig. 1



## SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE PENTRU COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D

### DESCRIEREA INVENȚIEI

Invenția denumită „Sistem și metodă de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi realizați prin tehnologie printare 3D” se referă la un sistem și o metodă inovativă pentru măsurarea ratei de regresie a batoanelor de combustibil solid, realizate prin tehnologie de manufacturare aditivă.

Sistemele de propulsie a rachetelor pe bază de combustibil hibrid se caracterizează printr-un nivel ridicat de siguranță și proprietăți operaționale care le fac atractive pentru domeniul emergent al transportului comercial în spațiu. Deși motoarele hibride pentru rachete sunt studiate de peste șase decenii, dezvoltarea și perfecționarea lor a stagnat nefiind atractive pentru aplicațiile militare. Din perspectivă istorică, se poate constata că în aplicațiile militare au fost preferate motoarele care folosesc combustibil solid, datorită capacității de lansare rapidă, în timp ce în aplicațiile civile s-au utilizat mai mult motoarele cu combustibil lichid, datorită volumului mare de combustibil și oxidant pe care îl puteau înmagazina, a controlului tracțiunii pe toată durata zborului și a impulsului specific mai mare ce putea fi obținut. În momentul de față, considerente de tipul folosirea de agenți de propulsie care nu afectează mediul, costuri de producție și de operare, siguranța în funcționare au sporit interesul față de sistemele de propulsie hibride, atât pentru aplicații comerciale în spațiu, cât și pentru programe militare în domeniul lansărilor de rachete. Consecință a noilor cerințe, numeroase laboratoare guvernamentale, importante companii din domeniul industrial, centre de cercetare academică, dar și companii mai mici au întreprins cercetări în domeniul motoarelor rachetă hibride și depun eforturi sporite de a dezvolta aceste tehnologii. Un interes crescut față de propulsia cu combustibil hibrid se manifestă și în țări precum Franța, Germania, Italia, Israel, Turcia, India, China, Japonia ș.a. Trebuie menționat și faptul că zborul istoric realizat de SpaceShipOne, prima navă spațială privată, care a realizat zboruri supersonic pilotate și a atins cu succes limita atmosferei în 2004, a fost propulsat de un motor hibrid ale cărui costuri de realizare au fost mai mult decât rezonabile.

O influență benefică în dezvoltarea sistemelor de propulsie hibridă o are și apariția sistemelor de printare 3D. Spre deosebire de metodele clasice în care batonul de combustibil solid era realizat prin extrudare sau turnare, prin printare 3D se pot obține forme deosebite ale batonului de combustibil, asigurându-se astfel un control sporit al ratei de regresie a acestuia, implicit un profil al tracțiunii motorului cât mai stabil.

Un parametru important din modelul balistic intern al unui motor hibrid îl reprezintă viteza de ardere a carburantului. În cazul unui motor hibrid, viteza de ardere a batonului de combustibil solid este denumită și rată de regresie și este dată relația (1), care este obținută experimental, fiind indicată în mai multe lucrări de referință [1], [2].

$$u = a \cdot G^n \cdot p^m \cdot (2 \cdot r)^l \quad (1)$$

unde:

$u$  – rata de regresie;  $G$  – fluxul masic de oxidant,  $r$  - raza portului (găurii) batonului de carburant,  $p$  - presiunea gazelor în camera de ardere,  $a$ ,  $n$ ,  $m$  și  $l$  sunt coeficienți determinați experimental pentru diferite perechi de oxidant/carburant.

În figura 1 este prezentat un baton de combustibil solid, în care: 1 - Diametrul batonului de combustibil solid,  $D = 2R$ ; 2 - lungimea batonului de combustibil solid,  $L$ ; 3 - diametrul portului interior al batonului,  $d = 2r$ .

Variația în timp a volumului batonului de combustibil este dată de relația (2):

$$V = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \cdot u \quad (2)$$

unde:

$L$  - lungimea batonului de combustibil.

Pe baza relațiilor (1) și (2) se obține ecuația de volum (3):

$$\dot{V} = c_{vol} \cdot \dot{m}_{ax}^n \cdot p^m \cdot r^{l-2n+1} \quad (3)$$

în care:  $c_{vol}$  - coeficientul de volum,  $\dot{m}_{ax}^n$  variația masei combustibilului ars pe direcția x (4):

$$c_{vol} = a \cdot L \cdot 2^{l+1} \cdot \pi^{l-n} \quad (4)$$

Acest model presupune o ardere ideală, uniformă, de-a lungul portului batonului de carburant ceea ce nu corespunde realității. Măsurarea ratei de regresie, respectiv a vitezei de ardere a combustibilului este în momentul de față o operațiune dificilă, bazându-se fie pe metode inferențiale [3] fie pe metode costisitoare precum detecția ultrasonoră [4] sau scanare calorimetrică diferențială (differential scanning calorimetry -DSC) și analiza termogravimetrică (thermogravimetric analyzer - TGA) [5].

**Problema tehnică pe care o rezolvă această invenție** constă în măsurarea ratei de regresie, respectiv a vitezei de ardere a combustibilului solid în motoarele rachetă hibride care utilizează combustibil solid și oxidant lichid/gazos.

Sistemul și metoda propuse în cadrul acestei aplicații aduc un element inovativ în măsurarea ratei de regresie a batoanelor de combustibil solid prin aceea că folosind un printr capabil a lucra simultan cu două materiale se realizează în structura batonului de combustibil un senzor rezistiv, constând într-un număr de „n” conductoare conectate în paralel așa cum este prezentat în Figura 2. Odată cu arderea combustibilului elementele sistemului rezistiv se întrup progresiv modificând astfel în trepte distincte valoarea rezistenței sistemului în ansamblu. Prin simpla măsurare a rezistenței sistemului, (folosind o perioadă a măsurării mai mică decât rata de regresie a batonului de combustibil) se poate obține o informație în timp real despre rata de regresie a combustibilului. În cazul în care se dorește o monitorizare complexă a fenomenelor ce apar în interiorul batonului de combustibil (respectiv determinarea temperaturii batonului și a presiunii exercitată asupra acestuia) se poate executa o măsurare a impedanței sistemului de conductoare (curentul aplicat la bornele sistemului va fi modulată în frecvență).

**Sistemul și metoda conform invenției prezintă următoarele avantaje:**

- măsoară direct rata de regresie a batoanelor de combustibil solid;
- asigură informația pe baza căreia se poate realiza o modulare a tracțiunii prin controlul volumului de oxidant introdus în camera de ardere;
- nu este intrusiv;

- sistemul poate fi configurat astfel încât să determine și un consum neuniform pe lungimea batonului de combustibil;
- pe baza sistemului propus se poate realiza o monitorizare complexă a fenomenelor ce apar în interiorul batonului de combustibil (respectiv determinarea temperaturii batonului și a presiunii exercitată asupra acestuia) executând o măsurare a impedanței sistemului de conductoare.

Sistemul de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi realizați prin tehnologii de manufacturare aditivă (printare 3D) se bazează pe apariția unor noi materiale compozite ce prezintă proprietăți conductive (polimeri cu intruziuni metalice precum cupru, bronz, argint și nanomateriale carbonice precum, grafena, nanotuburile sau nanohornurile de grafit). În general, materialele folosite pentru fabricarea combustibililor solizi sunt materiale izolatoare (parafina, materiale plastice precum PVC, ABS etc).

**Sistemul de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi realizați prin tehnologii de manufacturare aditivă** conform invenției, este realizat conform figurilor 1, 2 și 3 care reprezintă:

- fig. 1. Elementele principale ale batonului de combustibil solid;
- fig. 2. Sistemul de măsură a ratei de regresie pentru batoane cu ardere uniformă și schema echivalentă a acestuia;
- fig. 3. Sistemul de măsură a ratei de regresie pentru batoane cu ardere neuniformă și schema echivalentă a acestuia.

Sistemul de măsură a ratei de regresie pentru batoane de combustibil solid prezentat în figura 2, este realizat prin printarea în interiorul batonului a unui sistem de fire 4 de material conductor, conectate la ambele capete la o pereche de borne 5, ajungându-se astfel la obținerea unui sistem paralel 7 de rezistoare.

Rezistența echivalentă a unui sistem de rezistoare legate în paralel este dată de formula 5.

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n \quad (5)$$

Dacă:  $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R$ , rezultă:

$$1/R_p = n/R$$

de unde rezultă că:  $R_p = R/n$

Consumarea batonului de combustibil solid se produce de la interior către exterior așa cum este prezentat în figura 2, rezultând că odată cu consumarea acestuia se vor întrerupe progresiv și conductoarele printate în interiorul batonului. Rezistența măsurată la bornele 5 sistemelor de rezistori, va varia în sensul că la arderea fiecărei rezistențe, rezistența măsurată va avea o valoare  $R_p = R/(n-1)$ .

Prin măsurarea valorii rezistenței sistemului (cu o viteză de citire mai mare decât rata de regresie) se va ști cu exactitate cât s-a consumat din batonul de combustibil, respectiv se va putea calcula rata de regresie a acestuia. Măsurarea rezistenței se poate face prin intermediul unui circuit electronic simplu ce constă într-o sursă de curent constant și un dispozitiv de măsură a tensiunii generate de către această sursă pe sistemul rezistiv.

Un plus pe care această metodă îl poate aduce este acela că sistemul poate fi configurat astfel încât să determine și un consum neuniform pe lungimea batonului de combustibil. Pentru aceasta se realizează un sistem de rezistoare matricial, prin unirea firelor

4 rezistive prin mai multe conductoare așa cum este prezentat în figura 3, măsurarea făcându-se la bornele 5 ale fiecărei secțiuni.

Sistemul prezentat poate fi realizat prin printare 3D, pentru batonul de combustibil folosindu-se materiale conductoare de tipul PLA, Nylon, PET, ABS, ABA, parafina etc. iar pentru firele cu caracter rezistiv polimeri în care se înglobează particule de cupru, nanoparticole de carbon, graphena etc.

#### Bibliografie

- [1]. Chelaru T.V. Mingireanu F. - Hybrid rocket engine, theoretical model and experiment, Acta Astronautica 68 (2011) , AA4027, ISSN 0094-5765, Volume/issue 68/11-12, pp.1891-1902. Indexat ISI, FI: 0,78154, WOS:000291173900028.
- [2]. Sutton, G. P. , Biblarz, O. - Rocket propulsion elements, 7nt ed., John Wiley&Sons Inc. ISBN 0-471-32642-9, New York, 2001.
- [3]. Rajiv Kumar, P.A. Ramakrishna - „Measurement of regression rate in hybrid rocket using combustion chamber pressure” Acta Astronautica Volume 103, October–November 2014, Pages 226-234
- [4]. \*\*\*\*A. Russo Sorge, C. Carmicino - „Non-Intrusive Regression Rate Measurements in a Hybrid Rocket” Department of Space Science and Engineering P.le Tecchio 80 80125 Naples ITALY RTO-MP-091/MP-091-33. <https://www.sto.nato.int/publications/.../RTO-MP-091/MP-091-33.pdf>
- [5]. Songqi Hu , Guanjie Wu , Yijin Hua, Noor Fatima Rashid and Hongyun Hu - „Study on Thermal Degradation Characteristics and Regression Rate Measurement of Paraffin-Based Fuel” Energies 2015, 8, 10058-10081; doi:10.3390/en80910058

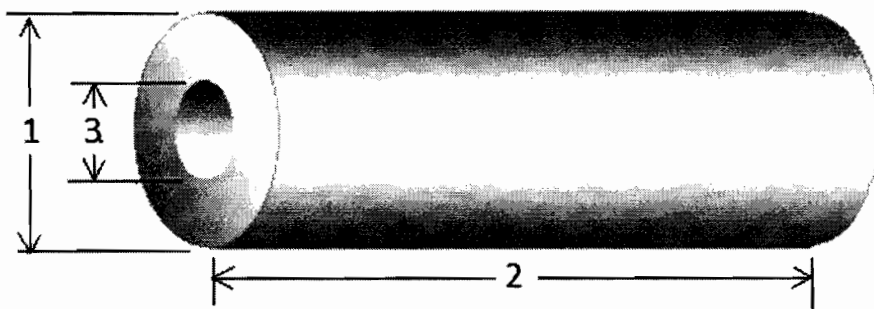
## SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE PENTRU COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D

### REVEDICĂRI

1. Sistem de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi realizați prin tehnologie printare 3D **caracterizat prin aceea** că este realizat sub forma unei rețele rezistive compuse din conductoare paralele și este înglobat în interiorul batonului de combustibil solid.
2. Sistem de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi, **conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că** elementele rezistive paralele realizate în interiorul batonului de combustibil se întrerup odată cu arderea batonului de combustibil oferind astfel în timp real date despre rata de regresie a acestuia.
3. Sistem de măsurare a ratei de regresie pentru combustibilii solizi cu ardere neuniformă **caracterizat prin aceea că** poate detecta neuniformitățile în ratele de regresie a diverselor zone ale batonului de combustibil solid folosind o matrice de rețele rezistive.
4. Metodă de măsurare a ratei de regresie a batoanelor de combustibil solid, **caracterizată prin aceea că**, determină rata de regresie a batonului de combustibil prin măsurarea rezistenței echivalente a unui sistem compus dintr-un număr prestabilit de elemente rezistive în interiorul batonului de combustibil și conectate în paralel, care se întrerup pe măsură ce combustibilul arde.

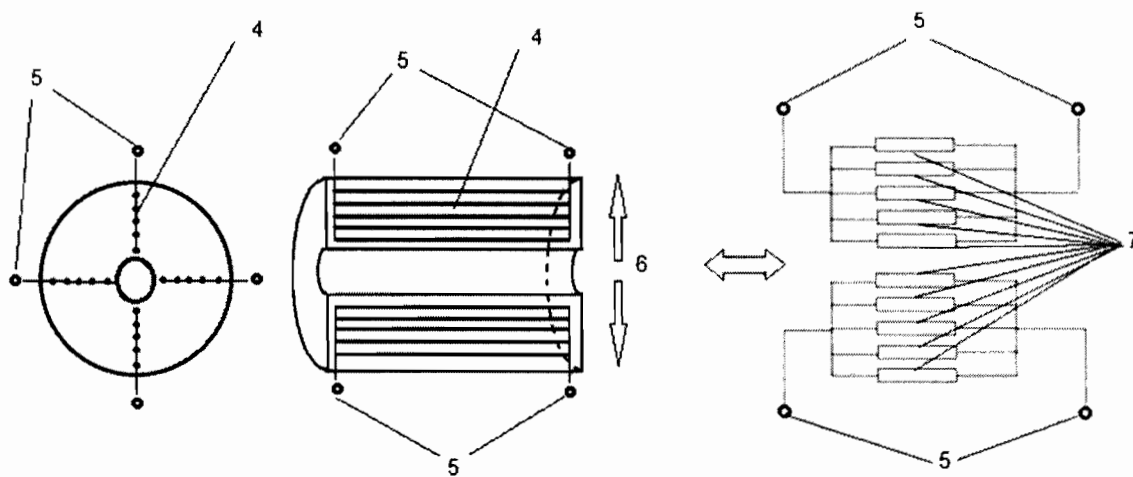
**SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE PENTRU  
COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D**

Figura 1



**SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE PENTRU  
COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D**

Figura 2





**SISTEM ȘI METODĂ DE MĂSURARE A RATEI DE REGRESIE PENTRU  
COMBUSTIBILII SOLIZI REALIZAȚI PRIN TEHNOLOGIE PRINTARE 3D**

Figura 3

