



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2017 00935**

(22) Data de depozit: **15/11/2017**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/03/2023** BOPI nr. **3/2023**

(41) Data publicării cererii:  
**30/05/2019** BOPI nr. **5/2019**

(73) Titular:  
• **REGIA AUTONOMĂ TEHNOLOGII  
PENTRU ENERGIA NUCLEARĂ  
PITEȘTI-SUCURSALA INSTITUTUL DE  
CERCETĂRI NUCLEARE, STR.CÂMPULUI  
NR.1, MIOVENI, AG, RO**

(72) Inventatori:  
• **TRUȚĂ CĂLIN, STR.BANAT NR.11, BL.B1,  
SC.B, AP.20, PITEȘTI, AG, RO;**  
• **PĂUNOIU CONSTANTIN,  
STR.SFÂNTA VINERI NR.78, BL.P17, SC.C,  
ET.4, AP.16, PITEȘTI, AG, RO;**  
• **BĂRBOS DUMITRU, CALEA BUCUREȘTI  
NR.22, BL.34, SC.B, AP.7, PITEȘTI, AG, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 3725635; FR 2094353**

(54) **PROCEDEU OPTIMIZAT DE SUDARE TIG A ZONEI  
DE ÎMBINARE PENTRU FORMAREA ANSAMBLULUI:  
DOP-TEACĂ DE ELEMENT COMBUSTIBIL NUCLEAR**



# RO 133328 B1

1           Invenția se referă la un procedeu optimizat de sudare TIG a zonei de îmbinare pentru  
formarea ansamblului: dop-teacă de element combustibil nuclear fabricat experimental sau  
3           în serie mică pentru reactoare nucleare de cercetare, mai precis- la operația de sudare dop-  
teacă din procesul de fabricație.

5           Într-un reactor nuclear există un număr de elemente combustibile nucleare, fiecare  
fiind alcătuit dintr-o coloană de pastile sau baghete de material fisionabil, separată de mediul  
7           exterior printr-o teacă (tub cu pereți subțiri) închisă la capete cu dopuri sudate. Teaca cu  
dopuri sudate constituie așa-numită "barieră de securitate" a elementului combustibil, cu rolul  
9           de a împiedica eliberarea produșilor radioactivi generați de materialul fisionabil în  
funcționare, în agentul primar de răcire și mai departe în mediul înconjurător, iar sudura dop-  
11          teacă este o componentă esențială a barierei de securitate, pentru care se cere un înalt nivel  
de etanșeitate și rezistență mecanică corespunzătoare. Funcția de securitate a acestei  
13          bariere trebuie îndeplinită atât pe parcursul duratei de utilizare a combustibilului nuclear în  
reactor, cât și pe parcursul stocării acestuia până la condiționarea finală.

15          Sunt cunoscute diverse metode/procedee de sudare dop-teacă aplicate în fabricarea  
elementelor combustibile, cum ar fi sudarea cap-la-cap sub presiune prin rezistență, aplicată  
17          de exemplu la fabricarea de serie a combustibilului de tip CANDU, sudare în mediu de gaz  
inert cu electrod nefuzibil (TIG), sudare cu plasmă, sudare laser sau cu fascicol de electroni.  
19          Dintre aceste metode, sudarea TIG are avantajul de a fi o tehnologie foarte flexibilă în raport  
cu materialele de bază, cu dimensiunile elementului combustibil și cu forma dopului, fiind în  
21          același timp o tehnologie relativ ușor de aplicat și care nu necesită investiții foarte mari.  
Sudarea TIG este aplicată pe scară largă pentru elemente combustibile experimentale sau  
23          pentru fabricarea în serie mică a elementelor pentru reactoare de cercetare.

25          Sudarea TIG a elementelor combustibile se realizează de regulă cu ajutorul echi-  
pamentelor semi-automate sau computerizate cu poziționar de tip strung, la care subansam-  
blul de sudat (subansamblul dop-teacă) este fixat în universalul poziționarului și apoi rotit sub  
27          un pistol de sudare vertical fix, cu electrodul în planul îmbinării circumferențiale sau foarte  
aproape de acesta. De regulă, sudarea este autogenă (fără material de adaos), materialele  
29          de bază fiind în general oțeluri austenitice, aliaje de nichel, aliaje de zirconiu. Din  
considerente constructive deseori dopul trebuie menținut presat axial (și centrat) în timpul  
31          sudării, iar aceasta se realizează de regulă prin presare statică cu pinola poziționarului.

33          Caracteristic pentru sudura dop-teacă este faptul că ea trebuie realizată între  
componente (repere) cu capacitate calorică foarte diferită în zona sudurii, mult mai mică în  
35          teacă față de dop, aceasta având consecințe directe asupra ratei de rebut în fabricație și  
asupra calității mecano-metalurgice a sudurii (fiabilitatea în exploatare).

37          Informațiile publice privind acest domeniu sunt relativ puține. Sunt cunoscute brevete  
de invenție în care se evidențiază problema dezechilibrului termic între cei doi membri ai  
îmbinării dop-teacă și se propun soluții de corectare.

39          De exemplu, documentul **US 5968375**, propune utilizarea unui arc electric nesimetric  
produs prin modificarea duzei pistolului TIG. Această soluție prezintă în mod evident  
41          dezavantaje majore: arc instabil și turbioane care compromit capacitatea de protecție a  
gazului inert.

43          Documentul **US 4921663**, pentru evitarea topirii excesive a tecii în raport cu dopul  
propune alternativa sudării la o distanță oarecare de capătul tecii, cu pătrundere suficientă  
45          pentru a realiza o îmbinare teacă-dop în adâncime (suprapusă). Soluția descrisă are însă  
dezavantajul major că zona nesudată de sub capătul tecii constituie un interstițiu îngust dar  
47          neetanș față de agentul primar de răcire, foarte susceptibil la coroziune.

# RO 133328 B1

În cererea de brevet **US 2003/0016777 A1** se propune egalizarea termică a membrilor sudurii prin uzinarea unui canal în dop în zona îmbinării. Absența rădăcinii la sudare crește semnificativ gradul de dificultate și rata de rebut: se reduce mult plaja de parametri în care se obțin suduri reproductibile, iar cordonul obținut poate fi ușor concav, cunoscută fiind tendința crescută la fisurarea la solidificare în acest caz.

Există și alte documente de brevet de invenție și lucrări științifice publicate (**EPA 0344527**; **US 3725635**; **US 4188521**: I. Sannen. et. all. "**Refabrication of Fuel Rods - Qualification of End Plug Welds**") care cuprind scheme de detaliu ale echipamentelor utilizate nemijlocit la sudarea dop-teacă chiar în centre nucleare avansate (exemplu: SCK-CEN, Belgia), însă nici unul nu conține elementele originale care fac subiectul prezentei invenții așa cum vor fi descrise în continuare (penseta de răcire în imediata proximitate a îmbinării, gulerul profilat pe dop, tamponul elastic).

Prin documentul **US 3725635/1973**, este cunoscut și un procedeu și un aparat de sudare TIG pentru lipirea unui dop metalic de capăt într-un capăt al unui tub metalic de combustibil pentru un reactor nuclear astfel încât să fie reduse defectele îmbinării de sudură, prin devierea plasmei produsă în timpul sudării departe de corpul tubul de combustibil și direcționarea plasmei înspre o articulație de fixare a extremității dopului într-un tampon rotativ, tubul metalic fiind menținut în poziția de sudare de pereții interiori ai unei incinte 42 metalice și de o mandrină 51 prevăzută în capătul opus dopului.

De asemenea, documentul **FR 2094353/1972** prezintă un dispozitiv și un procedeu de sudare cu electrod a unei îmbinări dop-țeavă metalică, țeava fiind susținută și rotită de fălcile unei mandrine rotative.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în corectarea simplă și eficientă a dezechilbrului termic între membri îmbinării și deci minimizarea ratei de rebut la sudare, concomitent cu corectarea altor deficiențe întâlnite la sudarea dop-teacă prin procedeu TIG care afectează negativ nivelul de etanșeitate cum ar fi tendința de fisurare la solidificare asociată cordoanelor plane sau concave, balonarea tecii și porozitatea indusă de formarea unei pungii de gaz la rădăcina sudurii, sau care afectează negativ caracteristicile metalurgice (mărimea de grăunți în teacă, extinderea zonei influențate termic ZIT)

Procedeu de sudare optimizat, conform invenției, rezolvă această problemă tehnică și înlătură dezavantajele de mai sus, prin aceea că utilizează suplimentar și simultan unele elemente constructive atașate poziționerului de sudare și sau aparținând pieselor de sudat (elemente care în sine sunt principial cunoscute în tehnică, dar care nu au fost identificate în stadiul tehnicii în legătură cu sudarea dop-teacă nici independent și cu atât mai puțin simultan), și anume:

a. penseta (3) de cupru cu rol de echilibrare a capacităților calorice între membrii îmbinării și de răcire a tecii în zona adiacentă sudurii;

b. gulerul (g) profilat pe dop în imediata vecinătate a îmbinării, cu rol de insert consumabil și de stabilizare direcțională laterală a arcului electric; și

c. tamponul (4) elastic ce presează dopul în poziția de sudare permițând însă dilatarea termică axială.

Utilizarea eficientă a pensetei de cupru (în imediata vecinătate a sudurii) este posibilă prin asocierea conform invenției cu gulerul care împiedică devierea accidentală a arcului pe marginea pensetei.

Utilizarea pensetei este sinergică cu utilizarea tamponului elastic, prin aceea că ambele contribuie la limitarea deformării radiale induse de dilatarea termică.

# RO 13328 B1

1           Procedeul de sudare optimizat este aplicabil în producția de elemente combustibile  
2           experimentale la nivel de laborator, dar și în producția de elemente combustibile destinate  
3           realimentării reactorilor de cercetare, la nivel de serie mică sau medie, acolo unde se aplică  
4           procedeul TIG.

5           Procedeul de sudare optimizat are, conform invenției, următoarele avantaje față de  
6           soluțiile cunoscute în stadiul tehnicii:

7           - sudarea cu penseta de cupru plasată la distanță mică de îmbinare este mult mai  
8           tolerantă față de variațiile de proces (amperaj, distanță etc.) în raport cu alte soluții în care  
9           se reduce capacitatea calorică a dopului, prin aceea că aceste variații vor fi "absorbite" de  
10          capacitatea calorică suplimentară introdusă de pensetă; cu alte cuvinte, se poate suda la  
11          valori mai mari ale energiei de arc ce garantează pătrunderea minimă dorită fără riscul topirii  
12          excesive a tecii, deci se reduce rata de rebutare;

13          - sudarea în penseta de cupru este mai tolerantă față de variațiile jocului radial dop-  
14          teacă (conforme cu proiectul sau urmare a erorilor de execuție) și rugozitatea suprafețelor  
15          de contact, prin aceea că prin compresia mecanică puternică și uniformă exercitată pe teacă,  
16          jocul radial tinde să se anuleze iar coeficientul de transfer termic este sensibil crescut și  
17          reproductibil;

18          - răcirea asigurată de penseta de cupru situată în imediata proximitate a îmbinării  
19          sudate previne creșterea în exces a grăunților materialului tecii precum și scăderea întinderii  
20          ZIT (zona influențată termic), asigurând astfel creșterea rezistenței mecanice și a rezistenței  
21          la coroziune;

22          - răcirea asigurată de penseta de cupru diminuează considerabil dilatarea termică  
23          axială și radială în timpul sudării ceea ce, în conjuncție cu tamponul elastic descris în  
24          continuare, previne apariția balonării și formării unei pungi de gaz la rădăcina sudurii, sursa  
25          de porozitate;

26          - gulerul profilat pe dop asigură o zonă de amorsare sigură a arcului electric, fără  
27          riscul de a afecta distructiv marginea tecii, chiar dacă electrodul este de la început poziționat  
28          lateral foarte aproape de planul îmbinării, nemaifiind necesare deplasări laterale pe după  
29          amorsare și la stingerea arcului, ca în unele soluții anterioare cunoscute;

30          - gulerul profilat pe dop asigură stabilitatea laterală a arcului (se previne "șerpuirea"  
31          arcului și eventual devierea arcului pe pensetă), prin aceea că arcul în mod evident arcul se  
32          menține pe distanța minimă electrod-piesă;

33          - gulerul profilat pe dop reduce tendința de fisurare la solidificare prin aceea că  
34          forma ușor convexă a cordonului rezultată din aportul de material de adaos (rol de insert  
35          consumabil), este cunoscută în practica sudării ca fiind favorabilă solidificării fără defecte;

36          - reducerea tendinței de fisurare la solidificare crește în mod evident nivelul de  
37          etanșeitate al sudurilor și deci reduce rata de rebut;

38          - tamponul elastic contribuie substanțial la creșterea nivelului de etanșeitate a  
39          sudurii, prin aceea că permite dilatarea termică axială lejeră a ansamblului dop-teacă în  
40          timpul sudării fără a provoca balonare ca în cazul presării cu o pinolă rigidă, evitând astfel  
41          formarea unei pungi de gaz inițial fierbinte, sursa de formare a porozității în cordonul de  
42          sudură.

43          Din cele prezentate mai sus, rezultă ca utilizarea simultană a pensetei de cupru, a  
44          gulerului profilat în dop și a tamponului elastic, prin efectul sinergic al acestora, aduce ca  
45          beneficii principale reducerea substanțială a ratei de rebut a sudurilor concomitent cu  
46          creșterea semnificativă a nivelului de etanșeitate.

# RO 133328 B1

Invenția este prezentată pe larg, în continuare, în legătură și cu fig. 1...3, care reprezintă:	1
- fig. 1, o secțiune transversală cu vedere prin zona de interes (zona îmbinării dop-teacă) a elementului combustibil, cu interfețele cu poziționerul echipamentului de sudare;	3
- fig. 2, vedere izometrică schematică a pensetei împreună cu vederea unui sector de cupru din componența pensetei;	5
- fig. 3, schița descriptivă a balonării tecii prin dilatare termică axială limitată mecanic.	7
Procedeul optimizat ce face obiectul prezentei invenții este realizat practic în configurația schițată în fig. 1, în care se observă subansamblul de sudat format din un dop <b>1</b> și o teacă <b>2</b> , așezat sub un electrod <b>7</b> într-o pensetă de cupru <b>3</b> , cu dopul <b>1</b> în contact cu un tampon <b>4</b> , și făcând uz de elementele constructive descrise în prezenta invenție, după cum urmează:	9
- penseta de cupru <b>3</b> este formată din trei sectoare de cupru <b>8</b> (fig. 2), fiecare sector prevăzut cu găuri de prindere <b>9</b> și cu suprafața de strângere <b>10</b> pe teacă, suprafața prelucrată cu aceeași rază de curbura ca și raza tecii;	11
- cele trei sectoare de cupru <b>8</b> sunt atașate cu mare precizie de poziționare pe trei bacuri "soft" (un set comercial compatibil cu universalul poziționerului) astfel încât să formeze un inel masiv de cupru (fig. 2), cu ușoară strângere pe teaca <b>2</b> . Pentru fiecare diametru nominal de teacă se execută câte o pensetă dedicată.	13
- dopul <b>1</b> este o piesă cilindrică cu trei diametre, având o parte externă față de teaca <b>2</b> , o parte internă (de angajare în teacă) și, suplimentar față de dopurile obișnuite, un guler <b>g</b> de lățime circa 0,5 mm și supraînălțat (radial) cu circa 0,2-0,3 mm față de teaca <b>2</b> și partea externă a dopului <b>1</b> ;	15
- tamponul <b>4</b> este o piesă de tip pinolă, fiind ghidat axial în bucșa <b>6</b> a păpușii mobile a poziționerului și împins către dopul <b>1</b> al elementului combustibil în poziția de sudare cu ajutorul unui arc de compresiune <b>5</b> , cu o forță ce poate fi crescută progresiv prin modificarea poziției bucșei <b>6</b> .	17
Secvențial procedeul optimizat se desfășoară asemănător cu sudarea circumferențială uzuală, având însă următoarele elemente caracteristice conform invenției:	19
- teaca <b>2</b> este poziționată în pensetă <b>3</b> astfel încât între planul îmbinării dop-teacă și marginea pensetei <b>3</b> să rămână o distanță sigură la care nu există riscul devierii arcului electric (la amorsare sau în timpul sudării) pe penseta <b>3</b> . În practică, această distanță poate fi de circa 2 mm, pentru o distanță electrod <b>7</b> - guler <b>g</b> de 0,6-0,8 mm;	21
- teaca <b>2</b> astfel poziționată este asigurată temporar împotriva deplasării laterale cu un alt tampon la capătul opus capătului care se sudează;	23
- prin deplasarea bucșei <b>6</b> către dop se apasă cu tamponul <b>4</b> pe dopul <b>1</b> până când se realizează contactul ferm între suprafețele îmbinării (ținând cont după caz și de prezența sau absența unui arc de compresiune în interiorul tecii <b>2</b> între coloana combustibilă și dop <b>1</b> , arc ce tinde să îndepărteze dopul <b>1</b> din poziția de sudare);	25
- în aceste condiții de poziționare relativă, penseta de cupru <b>3</b> este strânsă puternic cu ajutorul universalului pe teacă, situație în care se realizează atât contact termic bun pe suprafața externă a tecii <b>2</b> dar și contact termic îmbunătățit și reproductibil între suprafața internă a tecii <b>2</b> și porțiunea de angajare a dopului <b>1</b> în teaca <b>2</b> , prin aceea că forța de strângere normală a universalului transmisă elastic prin peretele tecii <b>2</b> (grosime de perete circa 0,4 mm) anulează practic jocul radial (5-20 μm nominal), reducând variabilitatea datorată jocului și calității suprafețelor;	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45

# RO 133328 B1

1 - electrodul **7** pentru sudarea TIG se poziționează desupra gulerului **g**, la o distanță  
laterală față de planul îmbinării determinată anterior prin încercări astfel încât baia de sudură  
3 să se formeze simetric față de acest plan, în condițiile termice concrete date de utilizarea  
pensetei **3**. În practică, distanța laterală este de circa 0,35 mm pentru teaca **2** și gulerul **g** din  
5 acest exemplu de realizare;

7 - desfășurarea sudării are loc într-o manieră comună sudării circumferențiale pentru  
tuburi subțiri prin rotirea ansamblului de sudat sub electrodul **7** fix și cu un program automat  
de sudare cu corelare între parametri electrici și cinematici; caracteristic invenției este că  
9 răcirea asigurată de penseta **3** se realizează practic pe două căi : (a) direct, preluând  
conductiv căldura de pe suprafața exterioară a tecii **2** și (b) indirect, prin îmbunătățirea  
11 substanțială a conducției către masa dopului **1**;

13 - pe durata sudării, ca efect al dilatării termice a subansamblului sudat, tamponul **4**  
va executa o mișcare fină de translație axială, urmărind deplasarea feței dopului **1** cu care  
este în contact, fără să limiteze mecanic această deplasare dar menținând presiunea de  
15 contact și implicit alinierea pieselor.

17 În practică, un astfel de ansamblu, având ca materiale de bază aliaje de nichel  
(Incoloy 800 și Inconel 600), dacă este sudat fără penseta **3**, se dilată axial în cursul sudării  
cu aproximativ 0,15-0,20 mm, iar după răcire se constată că ansamblul nu revine complet  
19 la cota inițială anterioară (se induce o deformare plastică, permanentă). Dacă însă ansamblul  
se sudează, conform invenției, în penseta **3** cu parametri de sudare identici cu cei utilizați  
21 în sudarea fără pensetă, dilatarea axială se reduce, datorită răcirii suplimentare, la numai  
0,05 mm. Este evident că presarea cu un tampon fix în primul caz (fără penseta **3**) va induce  
23 deformări radiale permanente, localizate în zona de 2-3 mm puternic încălzită din imediata  
vecinătate a sudurii (balonare cu înălțimea **h** de mărime comparabilă cu dilatarea axială), în  
25 timp ce soluția prezentată în invenție (prin efectul răcirii în penseta **3** cumulat cu dilatarea  
liberă permisă de tamponul **4** și arcul **5**) va elimina aproape complet balonarea și deci  
27 formarea unei pungi de gaze **11** la rădăcină (fig. 3), gaze care difuzează în baie și măresc  
porozitatea.

29 În practică, un astfel de ansamblu, având ca materiale de bază aliaje de nichel  
(Incoloy 800 și Inconel 600), sudat cu guler **g** conform invenției, va prezenta un cordon ușor  
31 convex, cu o supraînălțare de circa 0,05-0,10 mm suficientă pentru a contracara tendința de  
fisurare la cald și suficient de mică pentru a nu perturba regimul de curgere al agentului  
33 primar de răcire în funcționare.

35 În practică, prin utilizarea simultană a elementelor constructive descrise în prezenta  
invenție și prin efectul cumulat obținut, rata de rebutare (rejecție la control vizual - topire  
incompletă) estimată pe loturi totalizând circa 60 de suduri este de circa 1,7%. Pentru  
37 sudurile admise la controlul vizual, testul de etanșitate cu heliu a evidențiat valori ale ratei  
de scăpări în partea inferioară a decadei  $10^{-10}$  std  $\text{cm}^3/\text{s}$  ( $= 10^{-11}$  Pa  $\text{m}^3/\text{s}$ , cu 3 ordine de  
39 mărime sub valorile limită acceptate în fabricația elementelor combustibile nucleare pentru  
reactoare de cercetare), iar testele specifice de rezistență mecanică (tracțiune, explozie) au  
41 îndeplinit fără excepție criteriul de acceptare comun pentru astfel de suduri - defectarea în  
teacă, la distanță de zona sudurii.

# RO 133328 B1

## Revendicare

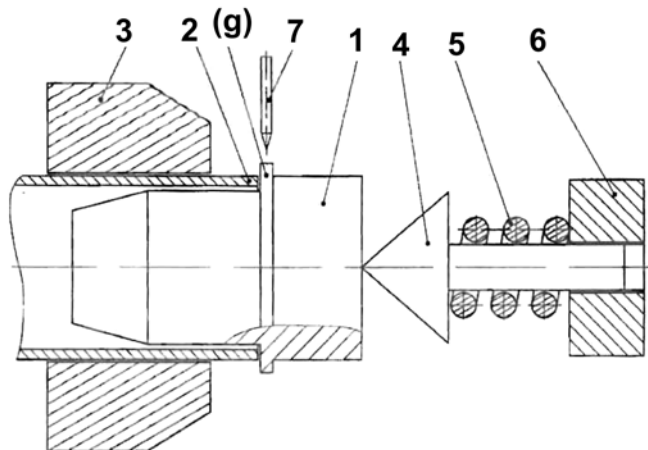
	1
Procedeu optimizat de sudare TIG a zonei de îmbinare pentru formarea ansamblului:	3
dop-teacă de element combustibil nuclear, care utilizează simultan echilibrarea capacităților calorice între membrii îmbinării cu ajutorul unui mijloc de răcire a tecii (2) în zona adiacentă sudurii prin conducție și presarea axială a dopului (1) în poziția de sudare cu un tampon (4),	5
<b>caracterizat prin aceea că</b> , mijlocul de echilibrare a capacităților calorice în zona adiacentă sudurii, menționat, este o pensetă (3) de cupru alcătuită din trei sectoare de cupru (8)	7
profilate special, fixate pe bacurile universalului poziționerului de sudare și care fixează teaca în zona de capăt a acesteia, tamponul (4) presează axial dopul (1) în poziția de sudare cu	9
ajutorul unui arc (5) permițând totodată dilatarea termică axială, iar dopul (1) este prevăzut cu un guler (g) profilat în imediata vecinătate a îmbinării, cu rol de stabilizare direcțională	11
laterală a arcului electric și de insert consumabil.	13

(51) Int.Cl.

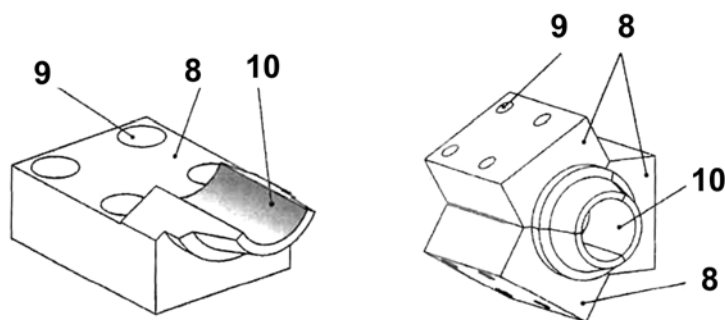
**B23K 9/028** (2006.01);

**B23K 37/00** (2006.01);

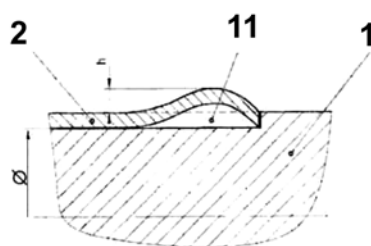
**G21C 21/02** (2006.01)



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 111/2023