

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00471

(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;  
• POPESCU ANDREI, STR.FIZICIENILOR  
NR.10, BL.M6, ET.3, AP.11, MĂGURELE, IF,  
RO;  
• CIOBANU VICENȚIU FLORENTIN,  
STR.PRINCIPALĂ NR.581, SAT BRADU,  
COMUNA BRADU, AG, RO

(54) METODĂ DE SUDARE LASER A CONTACTELOR ÎNTRE  
CELULELE BATERIILOR ELECTRICE DIN MATERIALE  
ETEROGENE Cu-AI UTILIZÂND UN DISPOZITIV DE  
MENȚINERE ÎN CONTACT RIGID ȘI MONITORIZARE PRIN  
IMAGISTICĂ TERMICĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la sudarea laser a contactelor între celulele bateriilor electrice, realizate din materiale eterogene cupru-aluminiu, utilizând o celulă de sudare prevăzută cu un dispozitiv de menținere în contact rigid a elementelor de sudat și cu mijloace de control al temperaturii prin imagistică termică. Celula de sudare conform invenției cuprinde o sursă laser cu funcționare în modul continuu, cu lungime de undă cuprinsă între 1030 și 1070 nm, fasciculul laser (1) emis de aceasta fiind transportat prin fibră optică la un bloc (15) optic de procesare de tip scanner galvanometric care este montat pe un sistem de axe motorizate cu minim trei grade de libertate, două sisteme de fixare a elementelor (2 și 3) de sudat, și anume: un sistem (16) de fixare montat pe bateria electrică, cu ferestre realizate în diferite forme, cu rolul de a permite fasciculului laser să realizeze procesul de îmbinare demontabilă a elementelor (2 și 3) din cupru și aluminiu și un sistem (17) de menținere în contact a elementelor (2 și 3), montat pe blocul (15) optic, care asigură un contact rigid local pentru a permite fasciculului laser să urmeze o anumită strategie de

scanare și o cameră termică cu detecție în domeniul cuprins între 25°C și 500°C pentru monitorizarea distribuției căldurii în zona de procesare.

Revendicări: 4  
Figuri: 4

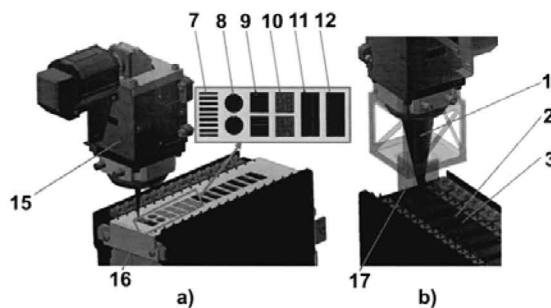


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



**- DESCRIERE -**

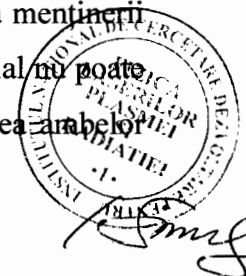
OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cere de brevet de invenție	
Nr. ....	a 2022 de 471
Data depozit .....	03-08-2022....

68

**Metodă de sudare laser a contactelor între celulele bateriilor electrice din materiale eterogene Cu – Al utilizând un dispozitiv de menținere în contact rigid și monitorizare prin imagistică termică**

Invenția constă în realizarea procesului de îmbinare nedemontabilă a elementelor metalice realizate din cupru și aluminiu din componența bateriilor electrice utilizând o sursă laser de mare putere care emite în domeniul infraroșu (IR), utilizând ca elemente de noutate un dispozitiv de menținere în contact rigid a elementelor de sudat și o metodă de control prin imagistică termică. Această tehnică de sudare laser presupune suprapunerea elementelor metalice din Cu (2) și Al (3) în diferite configurații „overlap joint” conform figurii 1 (Al-Cu, Cu-Al, Al-Cu cu contacte de Cu cu grosime > 1 mm). Procesul de îmbinare nedemontabilă se realizează prin interacția dintre fasciculul laser (1) focalizat și elementele de sudat (2) și (3), utilizând un bloc optic de procesare cu oglinzi și lentile (15). Materialul metalic se topește local la interacția cu fasciculul laser și se solidifică rapid după încetarea acțiunii acestuia. Diametrul spotului laser este matematic determinat de tipul lentilei de focalizare, dar și de distanța focală. Parametrii de procesare (putere laser, viteză de procesare, debit de gaz protector, defocalizare) influențează caracteristicile geometrice ale cordonului de sudură (5): i. lățimea ( $d_2$ ) și ii. adâncimea sudurii (s). Pentru realizarea unei îmbinări nedemontabile rezistente a celor două elemente, fasciculul laser este direcționat prin intermediul unui sistem de oglinzi care face parte dintr-un galvano-scanner, pe o traiectorie optimă (figura 4) aleasă în funcție de tipul aplicației finale. Metoda de sudare laser propusă are ca scop obținerea unor suduri continue, fără defecte și cu o adâncime potrivită astfel încât să respecte constrângerile impuse în faza de proiectare a produselor ce au în componență elementele (2) și (3).

Cuprul și aluminiul sunt materiale cu o conductivitate electrică ridicată și prezintă un interes deosebit în aplicații ce necesită realizarea unor conexiuni electrice stabile cum ar fi conectarea mai multor sisteme de stocare a energiei electrice. Cuprul prezintă proprietăți fizico-chimice superioare aluminiului, însă aluminiul are un cost de achiziție cu până la ~72% mai scăzut față de cupru [1]. De aceea, aceste materiale sunt selectate în funcție de aplicație pentru a asigura necesarul optim de calitate și performanță la costuri minime, în vederea menținerii unui grad ridicat de competitivitate pe piață. În unele cazuri, când un singur material nu poate să răspundă tuturor cerințelor legate de performanță și costuri, se alege utilizarea amestecului



14

materiale asamblate prin intermediul diferitelor tehnici: sudare, asamblare cu șurub-piuliță, lipire. Una dintre aplicațiile de interes în care se utilizează acest cuplu de materiale eterogene Cu – Al este cea a sistemelor de stocare a energiei electrice. În acest caz, pentru conectarea unui număr crescut de celule electrice în vederea realizării unui sistem cu o capacitate ridicată de înmagazinare a energiei electrice, se utilizează conectori din Cu și Al, din considerente economice, îmbinați nedemontabil utilizând o metodă de sudare laser. În general, cel puțin unul dintre contacte are grosimea de ordinul sutelor de micrometri. Contactele fiind atât de subțiri, cea mai mare provocare este reprezentată de menținerea unui contact rigid între elementele de sudat pe toată durata procesului. Cele două elemente din Cu și Al pot fi ușor deformată din cauza grosimilor de ordinul sutelor de micrometri, atât mecanic, în timpul manipulării, cât și termic, în timpul procesării laser. O rata de insucces de ~10% poate compromite funcționarea unui întreg sistem de stocare compus din mii de elemente. De aceea, propunem ca **element de noutate** pentru sudarea laser a contactelor dintre celulele bateriilor electrice, utilizarea unui dispozitiv care să fie atașat de optica laser și care să permită poziționarea opticii în câmpul focal. Acest dispozitiv are rolul de a menține în contact ferm elementele de sudat, astfel încât adâncimea sudurii să fie aceeași în toate zonele iradiate. Se preconizează o reducere masivă a numărului de contacte cu sudură nereușită, crescând astfel randamentul de producție a bateriilor electrice.

Sudarea laser a componentelor metalice în mediu relevant industrial se realizează în general utilizând surse laser cu lungimi de undă din domeniul infraroșu (IR). Cele mai cunoscute astfel de sisteme laser utilizate pentru realizarea procesului de sudare sunt cele cu CO<sub>2</sub> (10.6 μm) [2], Nd/Yb:YAG (1.03 μm) [3] sau semiconductori GaAs, Al<sub>x</sub>Ga(1-x)As (0.95 – 1.03 μm) [4]. Acestea au aplicabilitate în industrie pentru că generează energie mare care este convertită în căldură. Aceasta este utilizată pentru topirea metalelor în vederea sudării unor materiale precum oțel, aluminiu, cupru, titan, nichel, cobalt și diferite aliaje [5], cu grosimi cuprinse între sute de micrometri și câțiva milimetri. În funcție de tipul aplicației vizate și de caracteristicile geometrice și fizico-chimice ale materialelor, procesul de sudare laser se poate efectua cu: i. surse laser cu funcționare în modul continuu sau ii. surse laser cu funcționare în impulsuri. Metoda de sudare laser a materialelor eterogene a atras atenția industriei producătoare de baterii electrice, datorită posibilității de îmbinare cu precizie ridicată, pe o singură parte, ceea ce asigură menținerea temperaturii medii a contactului, dezvoltată în timpul procesului de sudare, sub pragul critic de 120°C în zona de procesare și sub 90°C în interiorul celulelor, conform specificațiilor tehnice ale producătorului de baterii. Deoarece



electrice conțin elemente sensibile la temperaturi ridicate (maxim 120°C), problema tehnică în acest caz este de a menține temperatura elementelor în timpul procesului de sudare sub acest prag critic. Facem mențiunea ca temperatura în spotul laser focalizat poate depăși pe o arie de sute  $\mu\text{m}^2$  valoarea de 2000°C, necesară topirii controlate a Cu și Al în vederea sudării. Valoarea de 120°C este o măsură de control și se referă la temperatura globală a întregului contact de aluminiu sau cupru. În această situație, parametrii de proces și strategia de scanare vor prezenta o importanță crescută în vederea controlării temperaturii din timpul procesului. Un alt **element de noutate** pe care îl aduce această invenție este monitorizarea procesului de sudare laser cu camere de termoviziune în infraroșu pentru a respecta aceasta constrângere esențială. Ele pot detecta depășirea temperaturii critice și furniza un semnal de avertizare în vederea unui control calitativ suplimentar.

Parametrii de proces precum puterea laser, durata pulsului, frecvența de repetiție, unghiul de incidență al fasciculului, viteza de sudare, debitul de gaz protector și strategia de scanare (figura 4) afectează în mod direct calitatea sudurii [6]. De aceea, optimizarea acestor parametrii reprezintă o etapă imperativă pentru obținerea unor suduri care să respecte toate cerințele impuse privind gradul de rezistență și calitate. În funcție de strategia de scanare selectată, pentru obținerea unor rezultate satisfăcătoare, operatorul are obligația să stabilească diametrul spotului laser și să determine fluența laser optimă. Diametrul spotului laser, distribuția de energie și viteza de procesare au un impact direct asupra gradientului de temperatură din timpul procesului de sudare. Puterea de ordinul sutelor de W utilizată într-un regim obișnuit de sudură laser este suficientă pentru generarea unei faze lichide între cuplul de materiale eterogene și implicit pentru obținerea unei suduri calitative. Cu cât diametrul spotului este mai mare, cu atât densitatea de energie scade în cazul utilizării aceleiași puteri laser, iar suplimentarea acesteia poate conduce la creșterea impactului termic asupra celulelor și a materialelor de sudat, trecând peste pragul maxim admisibil, rezultând produse considerate rebuturi irecuperabile.

O problemă tehnică pe care o rezolvă invenția este legată de posibilitatea utilizării unui cuplu de materiale eterogene care asigură eficiența necesară unui sistem de stocare a energiei electrice pentru a fi competitiv pe piață. Realizarea conexiunilor electrice din cadrul celulelor exclusiv din cupru ar conduce la o creștere a performanțelor datorită proprietăților fizico-chimice, dar ar influența în mod negativ costul final al produsului. În cazul utilizării unui cuplu de materiale Cu – Al costurile se vor menține la un nivel inferior, iar performanțele produsului vor fi comparabile cu ale produselor concurente.



Aceste materiale sunt dificil de sudat și din cauza diferențelor majore de rețea cristalină, de proprietăți fizice și chimice care conduc la obținerea unei interfețe casante și formarea de compuși intermetalici cu rezistență mecanică redusă [7], [8]. Sudarea materialelor eterogene se realizează de regula prin sudare cu ultrasunete [9], [10], însă performanțele mecanice ale sudurilor nu au fost unanim acceptate de către producătorii de baterii, din cauza vibrațiilor care pot afecta elementele componente din interiorul celulelor care sunt de asemenea îmbinate prin sudare cu ultrasunete. Sudarea laser reprezintă o tehnică eficientă și promițătoare pentru această aplicație, deoarece presupune concentrarea unei cantități ridicate de energie într-o regiune cu dimensiuni de ordinul sutelor de micrometri, urmată de răcirea bruscă a materialului sudat [11]. Echipamentele de sudare cu laser sunt sisteme constituite dintr-o sursă laser, fibră optică, bloc optic de focalizare și sistem de translație cu minim 3 grade de libertate.

Contactele celulelor din care sunt compuse bateriile electrice sunt constituite din elemente de Cu și Al cu grosimi de ordinul sutelor de  $\mu\text{m}$ . Fiecare îmbinare poate afecta eficiența și siguranța întregului ansamblu de celule care formează bateria. De aceea, variația aleatoare a calității îmbinărilor devine una dintre problemele tehnice ale procesului de asamblare nedemontabilă a bateriilor electrice [12]. Contactul corespunzător dintre cele două materiale trebuie să fie asigurat pe o arie de ordinul  $\text{cm}^2$  pentru fiecare element, în vederea obținerii unor îmbinări rezistente care să asigure funcționarea unei baterii compusă din zeci până la sute de celule.

O altă problemă tehnică identificată în cazul îmbinării nedemontabile a cuplului de materiale eterogene Cu – Al este dată de menținerea în contact și în același timp a spotului laser focalizat pe suprafața pieselor de sudat (6) pe întreg parcursul procesării. În vederea rezolvării acestei limitări tehnice se va utiliza un sistem de fixare (4) a elementelor de sudat (2) și (3) care se va monta pe blocul optic de procesare laser (15) și va menține în contact rigid suprafețele celor două componente de sudat. O altă metodă de menținere în contact a acestor elemente din componența unei baterii electrice este de a utiliza un sistem de fixare (5) care se va instala pe carcasa celulelor bateriei electrice și astfel se va realiza procesul de menținere în contact, fără a oferi posibilitatea de deformare a tablelor, în timp ce fasciculul laser se va deplasa pe una dintre traiectoriile alese de către operator (figura 4).

Pentru a limita gradul de reflectivitate al cuprului (peste 95% în cazul radiației din domeniul IR) se adoptă ca soluție acoperirea acestuia cu un strat subțire de nichel cu grosime cuprinsă între 1 și 5  $\mu\text{m}$ . Gradul de reflectivitate al cuprului depinde într-o foarte mare măsură de temperatură. Prin urmare, pentru a reduce limitările de absorbție a radiației, placarea cu



nichel a cuprului se dovedește a fi o soluție viabilă. În general, contactele de cupru nu se realizează din material pur, ci dintr-un amestec Cu-Ni pentru creșterea absorbției radiației laser.

Metoda de sudare cu laser a elementelor (2) și (3) din componența bateriilor prezintă o serie de avantaje majore, față de tehnologiile uzuale de îmbinare utilizate în mediul industrial relevant:

- viteza de procesare – acest avantaj duce la o creștere a volumului de producție fără a fi necesare investiții extensive precum creșterea numărului de linii de montaj sau extinderea programului de lucru;
- posibilitatea sudării automate în coordonate – duce la eliminarea factorului uman din operațiunea de poziționare și realizare a sudurii și prin urmare a factorului de risc care influențează major calitatea produsului final;
- ușurința integrării echipamentelor de sudare cu laser în fluxul de producție – prin forma, dimensiunile și modul de operare fără intervenția directă a operatorilor, echipamentele de sudare cu laser pot fi adaptate și integrate facil în vederea eficientizării producției de sisteme de stocare a energiei electrice;
- calitatea sudurii – acest avantaj este susținut prin intermediul parametrilor de proces, al strategiei de scanare și posibilității de asigurare a unui contact rigid între elementele de sudat. Calitatea și rezistența sudurilor din interiorul pachetelor de baterii asigură durata de viață a acestora în timpul exploatării. Orice modificare a contactului realizat prin sudare conduce inevitabil la scăderea valorilor parametrilor funcționali și la deteriorarea bateriei.
- menținerea unei temperaturi optime în timpul procesului de sudare cu monitorizare în timp real prin imagistică termică – asigură gradul de protecție termică necesar elementelor sensibile din componența bateriilor electrice și reduce posibilitatea de deformare termică a elementelor de sudat (2) și (3).
- posibilitatea îmbinării nedemontabile a unui cuplu de materiale eterogene – prin intermediul acestei metode de sudare se pot alege materiale astfel încât costurile să se mențină la un nivel inferior, iar performanțele produsului să fie comparabile cu ale produselor concurente.

La nivel național, după studierea bazei de date OSIM, nu au fost identificate brevete de invenție care să revendice metoda de sudare laser a cuplului de materiale eterogene Cu – Al sau companii care să utilizeze metoda de îmbinare nedemontabilă propusă în mediul relevant industrial. Majoritatea firmelor din România utilizează metoda de sudare cu ultrasunete în vederea asamblării bateriilor electrice.



La nivel internațional, au fost identificate câteva soluții tehnice care implică sudarea laser a cuplului de materiale eterogene, însă niciuna nu prezintă soluții în problema dificultății de menținere a unui contact rigid între elementele de sudat. Invenția noastră include un dispozitiv de fixare al contactelor de Cu și Al care poate fi fixat fie pe blocul optic de procesare, fie pe baterie, în funcție de geometria montajului de sudare. Tot un element de noutate este reprezentat și de monitorizarea în timp real a procesului de sudare laser cu camere de termoviziune. În continuare, prezentăm brevetele internaționale identificate care propun metode de îmbinare nedemontabilă a materialelor eterogene Cu – Al:

1. CN108817660A – „Laser welding method for copper-aluminum welding” – Invenția prezintă o metodă de sudare laser în puncte a cuplului de materiale eterogene Cu – Al utilizând o sursă laser cu funcționare în impulsuri cu frecvență ridicată. În cazul acestei metode piesa de cupru este poziționată deasupra piesei fabricată din aluminiu, iar prin intermediul fasciculului laser se generează o fază lichidă între cele două piese suprapuse.
2. CN113146037A – „Laser high-speed spiral spot welding method for aluminum/copper dissimilar material sheet” – În prezenta invenție este descris procesul de sudare laser a unor table realizate din Cu și Al, utilizând o traiectorie de tip spirală în vederea obținerii unor suduri continue și fără defecte. Pentru reducerea formării unor compuși intermetalici în timpul procesării și creșterea performanțelor procesului, tabla de cupru este acoperită cu un strat de nichel cu grosimi cuprinse între 1 și 3  $\mu\text{m}$ . Cele două table ce urmează a fi îmbinate nedemontabil sunt suprapuse, în partea superioară se regăsește tabla de Al, iar în partea inferioară tabla de Cu acoperit cu Ni. Fasciculul laser iradiază suprafața aluminiului prin intermediul unui scanner galvanometric, aceasta generează o fază lichidă în ambele materiale, iar la încetarea interacției laserului cu materialul se solidifică rapid formând o sudură rezistentă.
3. CN110253146A – „High-strength copper-aluminum dissimilar material double helix welding process” – Acest brevet de invenție descrie metoda de sudare laser a cuplului de materiale Cu – Al utilizând o traiectorie de tip spirală în timpul translației pe suprafața materialului de sudat (engl. „wobbling welding mode”). Principalul avantaj al acestei metode este reprezentat de posibilitatea de a acoperi o arie mai mare prin realizarea mișcării suplimentare pe traiectoria unei spirale în timpul translației pentru a obține un cordon de sudură de lățime crescută. În această variantă, piesa de aluminiu este întotdeauna poziționată deasupra piesei de cupru.



4. WO2021019052A1 – „Method for laser welding a copper/aluminium connection” – Descrie metoda de sudare laser a unor componente suprapuse din Cu și Al în vederea obținerii unei suduri cu rezistență mecanică crescută. În partea superioară se poziționează piesa realizată din cupru (min. 80% Cu), iar în partea inferioară se regăsește componenta din aluminiu (min. 80% Al). Îmbinarea nedemontabilă a acestor componente se realizează prin intermediul unui fascicul laser focalizat pe suprafața piesei de sudat, cu un diametru al spotului mai mic de 120  $\mu\text{m}$  și urmând diferite traiectorii în funcție de destinația produsului finit: i. liniară, ii. spirală, iii. circulară, iv. meandru și v. liniară suprapusă cu liniile înclinate la un unghi  $\alpha$ .
5. CN110899977A – „Method for improving welding mechanical property of copper-aluminum alloy” – Invenția prezintă o metodă de îmbunătățire a proprietăților fizico-mecanice ale sudurii în cazul procesării unui cuplu de materiale eterogene cupru – aluminiu. În această metodă elementul de noutate este reprezentat de utilizarea unui scanner galvanometric conectat la o sursă laser cu funcționare în impulsuri cu durate de ordinul ns și a unei strategii de scanare realizată din puncte distribuite pe o traiectorie circulară la o distanță egală între ele. Avantajul constă în livrarea unei cantități controlate de energie astfel încât să se reducă la minim influența termică asupra materialului și a cordonului de sudură în vederea obținerii unei microstructuri caracteristice materialelor de bază.
6. JP2020093272A – „Laser welding method” – Prezintă o metodă de sudare laser a conexiunilor electrice realizate din cupru și aluminiu din componența bateriilor electrice. Utilizarea unei astfel de metode de procesare laser în cadrul acestei aplicații prezintă productivitate ridicată și realizarea unor suduri care să respecte caracteristicile tehnice prescrise în documentația produsului din punct de vedere al proprietăților fizico-mecanice.
7. CN112975130A – „Welding technology of aluminum alloy, copper alloy and nickel-plated copper for lithium battery tab” – Descrie tehnologia de îmbinare nedemontabilă a elementelor din componența bateriilor electrice realizate din cupru și aluminiu prin intermediul procesului de sudare laser. În acest proces, traiectoria urmată de fasciculul laser și interstițiul dintre materiale joacă un rol definitoriu în vederea obținerii unei suduri calitative.
8. CN112439994A – „Laser welding process for dissimilar metal connecting material at tab part of lithium battery” – Invenția prezintă o metodă de sudare cu laser a materialelor metalice eterogene Cu și Al ce sunt utilizate în procesul de fabricare a conexiunilor





h1

electrice ale unei baterii cu litiu. În funcție de parametrii de procesare aleși și strategia de scanare se pot obține suduri continue, fără defecte, superioare celor obținute prin procedee convenționale de sudare.

Metoda de sudare laser a materialelor eterogene Cu și Al împreună cu sistemele de menținere în contact a conectorilor din componenta unei baterii electrice sunt prezentate detaliat în continuare cu referire la Figurile 1 – 4, care reprezintă:

**Figura 1.** Schema de principiu a procesului de sudare laser a cuplului de materiale eterogene Cu – Al

**Figura 2.** Schema poziționării elementelor din Cu și Al în vederea realizării procesului de sudare laser

**Figura 3.** Reprezentarea schematică a elementelor de menținere în contact a componentelor ce realizează conexiunile electrice ale unei baterii

**Figura 4.** Strategii de scanare utilizate pentru realizarea procesului de sudare laser a conexiunilor unor baterii electrice

Schema de principiu a procesului de sudare laser a cuplului de materiale eterogene Cu – Al este prezentată în figura 2.

Exemplu de celulă de sudare destinată îmbinării nedemontabile a elementelor (2) și (3) fabricate din materiale eterogene Cu-Al. În acest scop, se utilizează o sursă laser cu funcționare în modul continuu, lungime de undă cuprinsă între 1030 – 1070 nm și cu o putere maximă de procesare până la 1 kW. Fasciculul laser (1) este transportat prin fibră optică de la sursa laser la blocul optic de procesare – scanner galvanometric (15) care este montat pe un sistem de axe motorizate cu minim 3 grade de libertate, utilizând viteze de deplasare cuprinse în intervalul 0.03 – 0.09 m/s. Diametrul spotului laser focalizat pe suprafața (6) a elementelor de sudat (2) și (3) se recomandă a fi cuprins între 0,02 – 0,07 mm, pentru a permite topirea locală a materialelor în vederea obținerii sudurii (5), menținând o zonă influențată termic (4) la valori minime. Gazul protector (Ar sau N<sub>2</sub>) va fi livrat în zona de procesare prin intermediul unei duze montată pe blocul optic de procesare, pentru a reduce erorile provenite în cazul corelării incorecte a mișcărilor independente a celor două componente. Debitul de gaz va fi cuprins între 5 și 10 l/min. Este imperativ ca distanța dintre materialul de sudat și blocul optic de procesare să fie menținută constantă pe parcursul întregului proces, în vederea obținerii unei suduri continue. Materialele ce urmează a fi îmbinate nedemontabil utilizând metoda de sudare laser necesită un pas suplimentar de eliminare a uleiurilor organice rezultate în timpul manipularii acestora sau a produselor reziduale din etapele tehnologice precedente prin curățare cu alcool.



etic, deoarece acestea pot conduce la apariția defectelor în structura cordoanelor de sudură. Pentru a obține o sudură care să răspundă constrângerilor legate de rezistență și calitate este necesar ca între elementele de sudat să se realizeze un contact rigid corespunzător, pe o arie de ordinul  $\text{cm}^2$ , în vederea asigurării unei funcționări optime a sistemului de stocare a energiei electrice.

Acest contact se va realiza prin intermediul a două variante distincte de sisteme de fixare:

- a) sistem de fixare montat pe bateria electrică (16) cu ferestre realizate în diferite forme (7, 8, 9, 10, 11, 12) cu rolul de a permite fasciculului laser să realizeze procesul de îmbinare nedemontabilă a elementelor din Cu și Al.
- b) sistem de menținere în contact (17) a elementelor (2) și (3) montat pe blocul optic de focalizare (15) ce asigură un contact rigid local care pentru a permite fasciculului laser să urmeze una dintre strategiile de scanare (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14).

În figura 4 sunt prezentate diferitele strategii de scanare utilizate în vederea obținerii îmbinărilor nedemontabile prin metoda de sudare laser. Strategia optimă se alege în funcție de destinația finală a sistemului de stocare a energiei electrice. În funcție de constrângerile tehnice definite se selectează varianta optimă care poate să asigure nivelul de calitate al sudurii impus de către beneficiari.

Montajul de sudare laser va cuprinde o cameră termică cu detecție în domeniul  $+25 - 500^\circ\text{C}$  pentru monitorizarea distribuției căldurii în zona de procesare (fig. 2). Se poate determina experimental o valoare minimă a temperaturii locale pentru o sudare corectă sau o valoare maximă pentru identificarea unor rebuturi de sudare. Cunoscând aceste valori cu precizie, se poate crea un proces automatizat cu buclă închisă din care utilizatorul poate afla la finalul operației de sudare dacă există zone problematice care necesită un control calitativ suplimentar.



## Bibliografie

1. <https://www.lme.com/Market-data/Reports-and-data/Reports-by-metal> (accesat în data de 28.02.2022)
2. Nakamura, S., Sakurai, M., Kamimuki, K., Inoue, T., & Ito, Y. (2000). Detection technique for transition between deep penetration mode and shallow penetration mode in CO<sub>2</sub> laser welding of metals. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 33(22), 2941–2948. doi:10.1088/0022-3727/33/22/311
3. Zhang, Y., Sun, D.Q., Gu, X.Y. et al. Nd:YAG pulsed laser welding of dissimilar metals of titanium alloy to stainless steel. *Int J Adv Manuf Technol* 94, 1073–1085 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0997-3>
4. J.A. Alcock, B. Baufeld, Diode laser welding of stainless steel 304L, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 240, 2017, Pages 138-144, ISSN 0924-0136, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.09.019>.
5. S Katayama (2004) Laser welding of aluminium alloys and dissimilar metals, *Welding International*, 18:8, 618-625, DOI: 10.1533/wint.2004.3315
6. Auwal, S.T., Ramesh, S., Yusof, F. et al. A review on laser beam welding of copper alloys. *Int J Adv Manuf Technol* 96, 475–490 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1566-5>
7. I. Mys and M. Schmidt, “Laser micro welding of copper and aluminum,” *Laser-based Micropackaging*, vol. 6107, p. 610703, Feb. 2006.
8. S. Yan and Y. Shi, “Influence of laser power on microstructure and mechanical property of laser-welded Al/Cu dissimilar lap joints,” *J. Manuf. Process.*, vol. 45, pp. 312–321, Sep. 2019.
9. M. N. Feng, Y. Xie, C. F. Zhao, and Z. Luo, “Microstructure and mechanical performance of ultrasonic spot welded open-cell Cu foam/Al joint,” *J. Manuf. Process.*, vol. 33, pp. 86–95, Jun. 2018.
10. S. Dhara and A. Das, “Impact of ultrasonic welding on multi-layered Al–Cu joint for electric vehicle battery applications: A layer-wise microstructural analysis,” *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 791, p. 139795, Jul. 2020.
11. S. Grabmann, L. Tomcic, and M. F. Zaeh, “Laser beam welding of copper foil stacks using a green high power disk laser,” *Procedia CIRP*, vol. 94, pp. 582–586, Jan. 2020.
12. I. Balz et al., “Process monitoring of ultrasonic metal welding of battery tabs using external sensor data,” *J. Adv. Join. Process.*, vol. 1, p. 100005, Mar. 2020.



## REVENDICĂRI

1. Dispozitiv de menținere în contact rigid a elementelor de sudat realizate din materiale eterogene **caracterizat prin aceea că** sistemele (16) și (17) asigură gradul de rigiditate necesar al elementelor de sudat (2) și (3), menținând și contactul dintre acestea la valori minime, fără a oferi posibilitatea de deformare, în timp ce fasciculul laser se va deplasa pe una dintre traiectoriile alese de către operator (figura 4) în vederea realizării unei suduri continue, rezistente și fără defecte.
2. Utilizarea unei camere termice **caracterizată prin aceea că** monitorizează distribuția căldurii în contactele de Cu și Al și poate oferi informații despre calitatea sudurii pe fiecare celulă a bateriei electrice.
3. Lista personalizată de parametri optimi pentru metoda de îmbinare nedemontabilă cu laser a cuplului de materiale eterogene Cu – Al **caracterizată prin aceea că** elementele de sudat pot fi poziționate în diferite configurații (Al-Cu, Cu-Al, Al-Cu cu grosimea contactului de Cu de peste 1 mm – conform figurii 1) și se folosește o sursă laser cu emisie în modul continuu și lungimea de undă între 1030 – 1070 nm, cu putere maximă până la 1 kW, cu un diametru al spotului focalizat pe suprafața (6) a elementului de sudat cuprins între 0,02 – 0,07 mm, folosit pentru topirea locală a celor două elemente (2) și (3). Viteza de procesare recomandată pentru realizarea procesului de sudare este cuprinsă în intervalul 0.03 – 0.09 m/s. Mișcarea blocului optic de procesare pe o anumită traiectorie este asigurată prin intermediul unui sistem de axe motorizate cu minim 3 grade de libertate. Mișcarea fasciculului laser se realizează cu ajutorul motoarelor galvanometrice și oglinzilor din componența blocului optic de procesare (scanner galvanometric).
4. Strategia de scanare în vederea obținerii unor suduri rezistente și fără defecte **caracterizată prin aceea că** urmând traiectoriile descrise în figura 4 se asigură un contact corespunzător între cele două elemente de sudat (2) și (3) pe o arie de ordinul  $\text{cm}^2$ . În continuare sunt prezentate mai multe variante ale strategiilor de scanare revendicate în această invenție:
  - Traiectoria 7 este de tip liniară caracterizată de dimensiunea „x” a lungimii liniilor și distanța „y” dintre linii
  - Traiectoria 8 este reprezentată de un cerc de diametru „d<sub>3</sub>”, fiind utilizat pentru menținerea unui nivel de temperatură sub pragul critic de 120°C

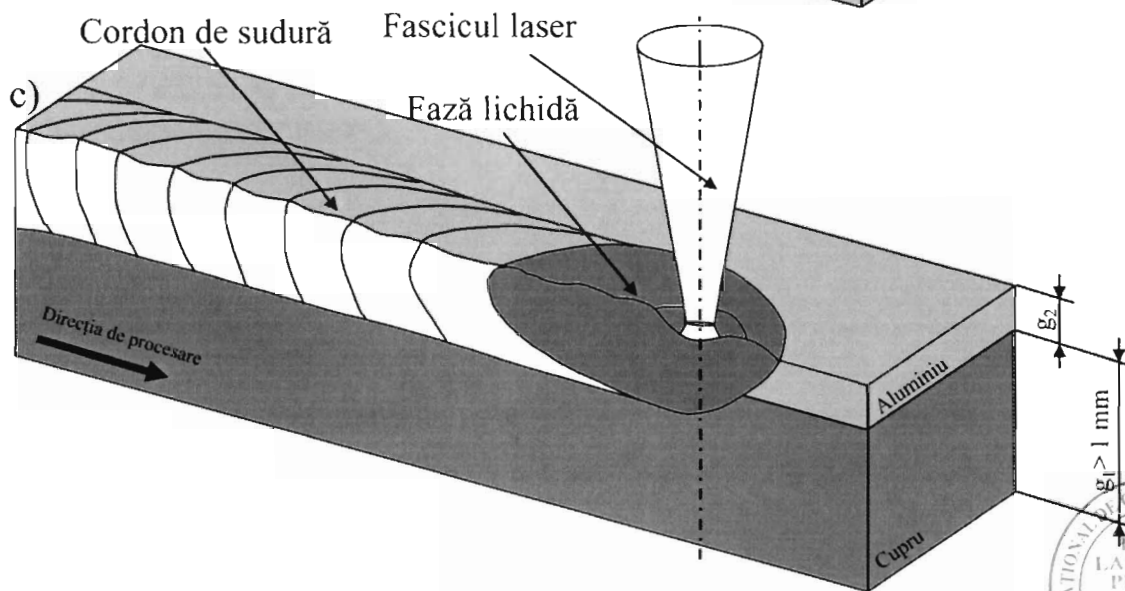
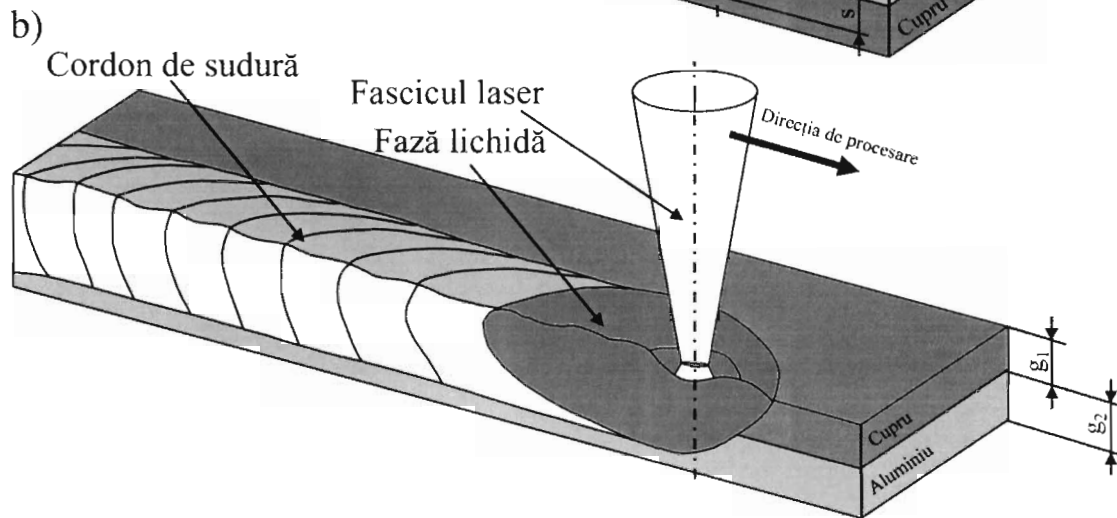
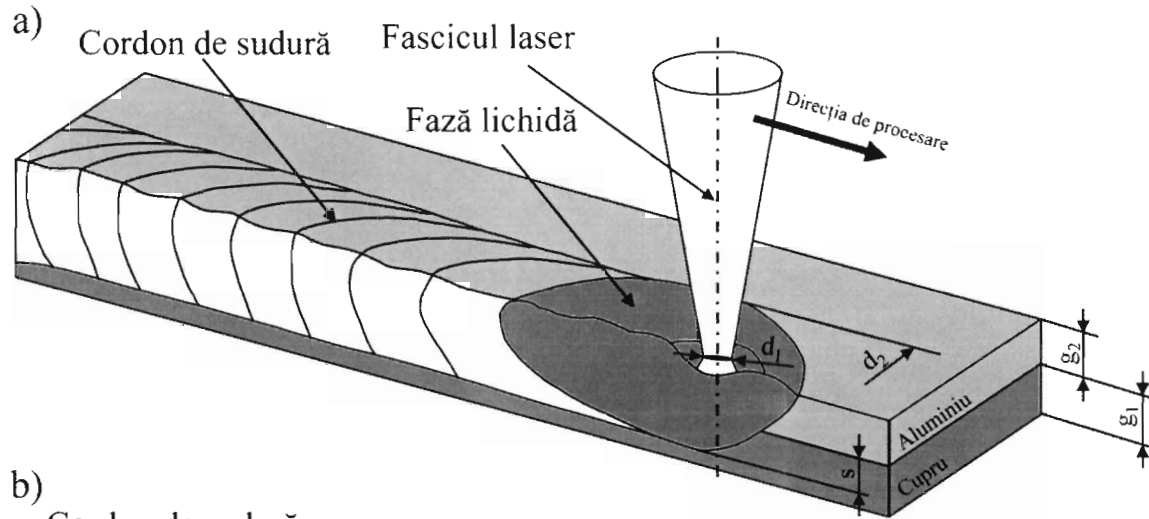


- Traiectoria 9 de tip meandă este caracterizată de distanța „y” dintre linii și dimensiunile liniilor se aleg în funcție de constrângerile geometrice ale ferestrei dispozitivului (16) sau ale sistemului de fixare (17).
- Traiectoria 10 de tip sudură în puncte este caracterizată de distanța „x” și „y” dintre puncte, iar punctele de sudură se vor efectua în ordinea descrisă în figura 4.
- Traiectoria 11 este de tip meandă întoarsă la  $90^\circ$  și este caracterizată de distanța „y” dintre linii și dimensiunea „x” a liniilor având dimensiunea totală egală cu cota „p”
- Traiectoria 12 este realizată din cercuri concentrice cu distanța „j” între cercuri, asigură un grad de rigiditate crescut în cazul aplicațiilor unde nivelul vibrațiilor este ridicat.
- Traiectoria 13 de tip spirală cu distanța de separație „j” are rolul de a menține în contact rigid elementele de sudat (2) și (3) fără a induce un gradient de temperatură crescut ce ar putea afecta elementele sensibile din componența celulelor unei baterii electrice
- Traiectoria 14 de tipul liniilor orientate la un unghi „ $\alpha$ ”, unde prima și ultima linie sunt orizontale cu dimensiunea „x”, iar liniile înclinate la unghiul „ $\alpha$ ” față de prima linie au dimensiunea „k” cu o distanța de separație „y”.



DESENE/FIGURI

Figura 1





34

Figura 4

