

DETERMINAREA PARAMETRILOR DE SUDURĂ CU LASER PENTRU MATERIALE ETEROGENE

CIOBANU Vicențiu Florentin

Conducător științific: Prof. dr. ing. Tom SAVU

REZUMAT: Lucrarea prezintă activitatea de încercare a parametrilor de sudură cu tehnologie laser, aplicată în producția de acumulatori Li-Ion pentru autovehiculele electrice, în vederea determinării tipului de laser utilizat precum și puterea minimă necesară. Utilizarea acestei tehnologii a apărut ca urmare a necesității unor contacte ferme la asamblarea celulelor în module de acumulatori, fără a periclită standardele specifice domeniului automobilelor privind rezistența mecanică în timp a asamblărilor. Parametru principal utilizat ca element metrologic este testarea conductibilității electrice specifice, parametru din care se deduce pierderea de energie electrică sub formă de energie termică..

1. SCOPUL LUCRĂRII

Lucrarea are ca scop determinarea parametrilor de sudură cu laser pentru materiale eterogene (cupru cu acoperire de nichel, grosime 0.15mm - aluminiu, grosime 0.15 mm). Necesitatea acestei tehnologii a apărut ca urmare a intrării pe piața autovehiculelor, a mașinilor cu propulsie electrică.

Acumulatorii acestor vehicule sunt compuși dintr-un număr bine determinat de celule Litiu-Ion, conectate în serie și paralel (pentru obținerea tensiunii și capacității dorite). Înseriere sau punerea în paralel a acestor celule pentru stocarea energiei electrice a dus la nevoia de o tehnologie capabilă să realizeze amestec de material din metalele componente ale terminațiilor anozilor și catodilor acumulatorilor, denumit mai departe „sudură eterogenă”.

2. STADIUL ACTUAL

Lucrarea, în momentul actual se află în stadiul de optimizare a parametrilor de sudură.

S-au încercat atât sudura între bornele de grosime 0.15 mm cât și sudura pe un material intermediar (cupru de grosime 2.0 mm) ce va îndeplini mai departe rolul de legare în serie respectiv paralel.

S-au realizat un set de trei module, categorisite ca fiind conforme, urmând ca în perioada următoare să fie implementate pe un vehicul cu tracțiune electrică.

În urma primelor teste realizate, sudurile rezista din punct de vedere mecanic.

Prin optimizarea parametrilor se urmărește obținerea unei puteri cât mai mici, necesare sudării.

Puterea laserului este parametrul cel mai important din punct de vedere economic.

3. TEHNOLOGIILE DE SUDURĂ UTILIZATE ÎN DOMENIU

Celulele Li-Ion sunt în plină dezvoltare, ca urmare au apărut un număr mare de tipuri de celule. Acest subiect va fi tratat pe larg în [capitolul 4](#), însă pentru o bună înțelegere, se prezintă principalele categorii de asamblare:

- Celule Li-Ion cilindrice (Fig. 1)
- Celule Li-Ion prismatice (Fig. 2)
- Celule Li-Ion „pouch” (Fig. 3)



Fig. 1 Celula cilindrică (Johnson Matthey-Editia 3)

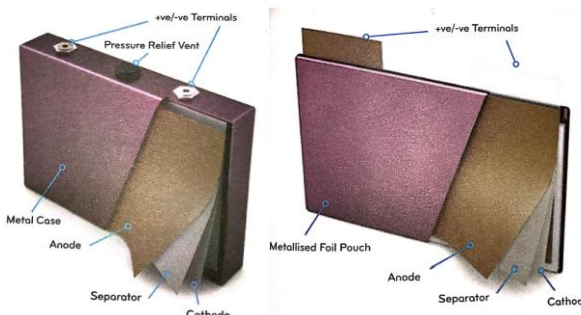


Fig. 2 Celula prismatica Fig. 3 Celula „pouch” (Johnson Matthey-Editia 3)

La momentul actual, producția de acumulatori Li-Ion s-a axat pe următoarele tehnologii de sudură:

- Sudură cu ultrasunete
- Sudură în puncte
- Sudură cu material de adaos
- Sudură cu fascicul laser

Sudura cu ultrasunete se pretează în aplicațiile staționare (Stații de stocare a energiei electrice), pentru tehnologia de asamblare „pouch”. Acest tip de sudură nu poate fi utilizat în situația în care a fost deja utilizat la nivel de asamblare interioară a celulei (sudarea anozilor și catozilor de bornele finale).

Sudura în puncte este utilizată la asamblarea acumulatorilor formați din celule cilindrice. Grosimea bornelor finale (pozitiv/negativ) fac posibilă sudarea în puncte, fără a spulbera aluminiul. Se utilizează, ca material intermediar, nichel.

Sudura cu material de adaos se utilizează la interconectarea celulelor prismatice unde, datorită asamblării prin deformare plastică la rece a bornelor finale ale celulei cu conectori din cupru, este posibilă cositorirea cu material de adaos a celulelor între ele.

Sudura cu laser este utilizată la asamblarea acumulatorilor formați din celule pouch, în domeniul automobilelor, unde, aceste asamblări nedemontabile sunt supuse vibrațiilor și șocurilor mecanice.

4. DESCRIEREA ACUMULATORILOR LI-ION

Celulele sunt elementul de bază al acumulatorilor.

Celulele Li-Ion au în componență anod, catod, separator și electrolit.

O celulă li-ion este capabilă să înmagazineze energie chimică în materialele active conținute, energie ce poate fi convertită în energie electrică prin oxidare-reducție chimică, denumită în literatura de specialitate reacție *redox*.

Anodul- Reprezintă electrodul cu sarcină negativă.

În procesul de descărcare, anodul cedează electroni către circuitul sarcină. Este realizat din tablă de grosimi de ordinul micronilor, acoperit, în cele mai răspândite cazuri, cu carbon/grafit. Există celule ce folosesc acoperire de materiale pe bază de silicon sau titan (celule Litiu-Titanat, caracterizate de durată mare de viață însoțite însă de un cost mare de producție).

Catodul- Reprezintă electrodul cu sarcină pozitivă. În procesul de descărcare, catodul acceptă electroni din circuitul extern, realizând reacția de reducere. În procesul de încărcare, catodul este supus reacției de oxidare și cedează electroni.

Durata de viață a unei celule li-ion este dată de capacitatea catodului de a rezista la cât mai multe reacții de oxidare.

Catodul este element definitor al tehnologiilor de celule litiu. Denumirea categoriilor de celule este dată de amestecul chimic cu care este acoperit catodul.

Ca element de bază, catodul este o tablă de aluminiu de grosime de ordinul micronilor. Acoperirile aluminiului poartă denumirea de „Slurry”

În literatura de specialitate se întâlnesc următoarele denumiri.

LCO (LiCoO₂) - Litiu Oxid Cobalt – Acoperirea catodului este oxid de cobalt.

NCA (LiNiCoAlO₂)- Litiu Oxid de Nichel Cobalt Aluminiu- Acoperirea catodului este oxid de NiCoAl

Alte exemple:

LFP (LiFePO₄)

LMO (LiMn₂O₄)

NCM (LiNi_xCo_yMn_xO₂)

LTO (Li₄Ti₅O₁₂)

Separatorul- Reprezintă elementul ce izolează anodul de catod. Acesta izolează fizic cele două componente ale celulei, însă datorită structurii poroase permite transferul de ioni. În cele mai multe cazuri, separatorul este o membrană poroasă din material polimeric.

În zilele noastre, noile tehnologii au permis obținerea separatorilor ceramice de grosimi de ordinul micronilor. Această inovație a permis trecerea barierei de 1 000 cicluri de viață ale celulei. Acest lucru este cauzat de rezistența la temperaturi înalte (până la 200° C față de cel polimeric 60°C).

Electrolitul- Solvent izolator electric dar conductor ionic. În cele mai multe cazuri este un solvent organic non-lichid ce conține dizolvată o sare pe baza de litiu (LiPF₆) într-o propilena carbonică. Acest tip de electrolit devine vâscos la temperaturi negative, fiind dificilă încărcarea celulelor.

Electrolitul solid este utilizat în arii restrânse, datorită rezistenței interioare ce o conferă celulelor.

5. DESCRIEREA ALIAJELOR DE SUDAT

Celulele Li-Ion sunt un conglomerat de anodi-separatori-catozi. Aceste elemente sunt împachetate într-un număr mare și asamblate împreună cu electrolitul într-o carcasa metalică. Pentru a facilita contactul electric cu circuite exterioare, anozii sunt sudați împreună cu o bornă finală ce intră în contact cu mediul exterior. Același procedeu se realizează și la catod.

Astfel, o celulă are după asamblare, o bornă pozitivă și una negativă.

Borna anodului (negativ) – este o tablă de grosime 0.15 mm din cupru. Pentru a evita reacția de oxidare la contactul mai materiale mai puțin nobile decât

cuprul, se întâlnește o acoperire de nichel (Ni), în general de 60 μm.

Borna catodului (pozitiv) – realizat din tabla de aluminiu de grosime 0.15 mm

Tabel 1. Descrierea materialelor

Material	Temperatura de topire (°C)	Grosime (mm)
Cu + Ni	1 085.0	0.15
Al	660.3	0.15

Materialele pot fi considerate eterogene, datorită naturii lor. Dificultatea sudării celor două materiale apare datorită temperaturilor diferite de topire precum și grosimii.

Procedeele tradiționale de sudură spulberă aluminiul în vederea atingerii punctului de topire a cuprului.

6. TEHNOLOGIA DE SUDURA CU FASCICUL LASER

Un fascicul laser concentrat servește ca sursă de energie. Acest fascicul este concentrat în capul de sudare laser cu ajutorul unei oglinzi sau lentile. Un jet de gaz ajunge direct lângă capul de sudură laser pentru a păstra oglinda sau lentila fără murdărie. Topirea începe ori de câte ori acest fascicul laser concentrat lovește piesa de prelucrat.

Diametrul spotului, poziția focusului, performanța laserului și viteza sudării sunt parametrii care definesc profunzimea și lățimea sudurii.

Există posibilitatea utilizării unui gaz inert pentru a evita oxidarea suprafeței sudate. În prezenta lucrare nu a fost folosit un astfel de procedeu.

6.1 Descrierea instalației și utilajelor utilizate în procesul de testare

Pentru testare s-au utilizat TruLaser Cell 3010 incintă cu 5 axe comandate numeric, ce permite sudura 2D și 3D, prezentată în figurile 4 și 5.



Figura 4. Celula TruLaser Cell 3010



Figura 5. Masa celulei TruLaser Cell 3010

Utilajul are următoarele caracteristici tehnice:

- Deplasările pe axe X-Y-Z: 1000 x 500 x 400 mm;
- Rotațiile pe axe B / C: $\pm 135^{\circ} / n \times 360^{\circ}$;
- Precizia de poziționare T_p 0.015 mm;
- Viteza maximă de poziționare 50m/min;
- Sistem de comandă Siemens 840 D CNC.

Instalație laser TruPulse 62 capabilă de laser pulsant cu durata pulsului până la 50 ms. (Figura 6).



Figura 6. Instalație TruPulse 62

Specificații tehnice ale utilajului:

- Puterea medie 60W;
- Energie maximă puls 50 J;
- Puterea maximă puls 5kW;
- Lungime de undă 1064 nm.

7. DESCRIEREA PARAMETRIILOR OBTINUȚI

Parametrii testați sunt prezentați în tabelul 2. Au fost realizate teste în diferite combinații pentru a determina valorile minime ale puterii laserului. Fiind utilizat un laser puls, puterea este mare pentru un interval mic de timp, temperaturile ridicate la nivel local nefiind transmise mai departe către celulă. Astfel, temperatura la nivelul electrolitului nu a ajuns în intervale ce pot afecta calitatea celulelor.

Tabelul 2. Parametrii testați

Nr.Crt.	Tip test	P (W)	Tpuls (ms)	Repetari (Hz)	Nr pulsuri
1	Electrod Al-Cu	1,000	0.30	20	350
	1 linie				
	10 mm				
2	Electrod Al-Cu	2,000	0,5	50	300
	1 linie				
	10 mm				
3	Electrod Al-Cu	1,700	0.60	50	300
	1 linie				
	10 mm				
4	Electrod Al-Cu	1,850	0.60	50	300
5	Electrod Cu-Cu	2,200	0.50	50	300
	1 linie				
	10 mm				
6	Electrod Cu-Cu	2,500	0.45	50	300
7	Electrod Cu-Cu	3,000	0.50	40	240
8	Electrod Cu-Cu	2,700	0.50	50	300
9	Electrod Al-Al	1,500	0.50	50	1,200
	1 linie				
	40 mm				
10	Electrod Al-Al	2,000	0.50	50	1,200



Fig. 7 Asamblare eșantion testare sudura celule



Fig. 8 Eșantion testare distanță 12 milimetrii



Fig. 9 Acumulator format din 39 de celule supus testării

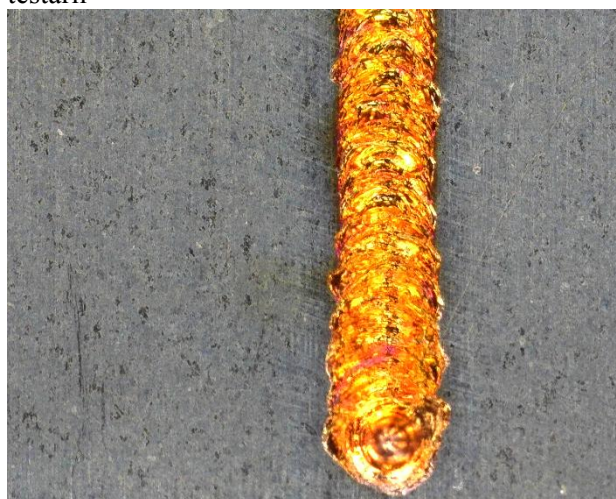


Fig. 10 Sudura Cu-Al 1000W



Fig. 11 Sudura Cu-Al 2000W

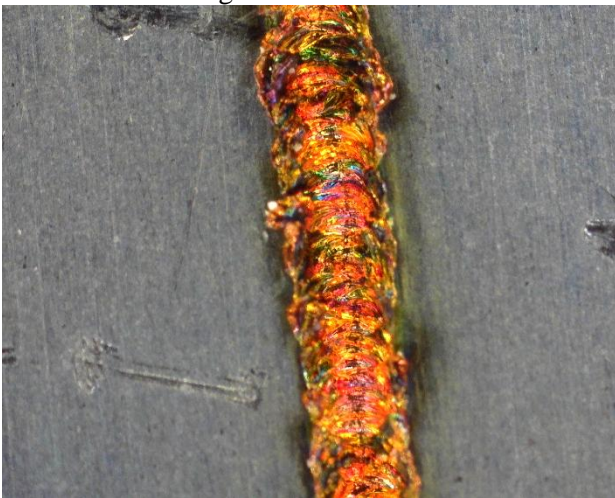


Fig. 12 Sudura Cu-Al 1700W

8. CONCLUZII

În urma încercărilor realizate, există material pentru a trece în etapa optimizării regimurilor în vederea reducerii puterii laserului.

Produs final al cercetării se dorește implementat pe un vehicul cu tracțiune electrică pentru a determina fezabilitatea acestei operații în cadrul producției de acumulatori.

Datorită contactului ferm realizat prin amestecul de aliaj din ambele materiale conductoare, impedanța sistemului de stocare a energiei electrice este dată de rezistența internă a celulelor Li-Ion.

9. MULȚUMIRI

Pentru atingerea stadiului actual am beneficiat de ajutor și susținere din partea colectivului Centrului de Tehnologii Avansate cu Laser (CETAL) din cadrul Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației.

Lucrarea a rezultat în urma colaborării cu domnul Dr. Ing. Marian ZAMFIRESCU (Scientific Researcher I - Head CETAL Physicist Engineer) și domnișoara drnd. Ing. Diana CHIOIBAȘU (Assistant Researcher).

10. BIBLIOGRAFIE

1. Our Guide to Batteries Edition III- Johnson Matthey Battery 2015
2. <http://cetal.inflpr.ro>