

APLICAȚIA INDUSTRIALĂ A EFECTULUI ELECTRO-HIDRAULIC ÎN MAȘINELE DE ȘTANȚAT

Andrei MEDEIȘA

Departamentul Inginerie Electrică, Grupa IE-20M, Facultatea Energetică și Inginerie Electrică,
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Andrei Medeîșa, medeishandrei@gmail.com

Rezumat: Ștanțarea electro-hidraulică este un proces industrial în care metalul este ștanțat sub acțiunea presiunii ridicate a unui fluid. Efectul aplicat în acest tip de ștanțare este electro-hidraulic, ceea ce face posibilă creșterea presiunii și a forței lichidului aplicat pe metal, folosind energia tensiunilor înalte formate între electrozi, introduși într-un vas cu lichid. În lucrare sunt prezentate rezultatele obținute experimentale privind aplicarea acestui efect.

Cuvinte cheie: efect electro-hidraulic, capacitate, plasmă, ștanțare, presiune.

Introducere

Omul a învățat să obțină energie din orice, s-o transforme după interesele sale. Ajunși la etapa actuală de dezvoltare a civilizației, constatăm că cea mai simplă și eficientă formă de producere, transport, repartizare și consum a energiei este energia electrică [1].

Energia electrică poate fi ușor convertită în alte forme de energie, ca de exemplu în energie mecanică, ce poate fi utilizat în procese industriale, inclusiv la ștanțarea metalelor. Ștanțarea metalului este deformarea plastică a unui material cu o schimbare a formei și dimensiunilor. Procesul de ștanțare necesită prese care deformează metalul, dar presele necesită 2 matrice, una pentru partea exterioară, montată pe partea staționară, cealaltă pentru partea interioară, pe care se află mecanismul de impact. Fabricarea matricelor necesită consumul de metal pentru ca formele și dimensiunile să fie cât mai asemănătoare. De asemenea, nu toate presele au capacitatea de a ștanța metale la grosimi mari, ceea ce complică procesul tehnologic.

Considerăm că aplicarea efectului electro-hidraulic pentru obținerea impulsurilor de foarte mare presiune ar simplifica construcția mașinilor de ștanțat sau deformare, ar face posibilă raționalizarea procesului.

Esența fizică a efectului electro-hidraulic

Efectul electro-hidraulic (EEH) este o metodă industrială de transformare a energiei electrice în energie mecanică, cu exceptarea legăturilor mecanice intermediare. Efectul electro-hidraulic a fost inventat de către L.A. Yutkin și L.I. Golțova în 1950, ceea ce a marcat începutul dezvoltării unei noi direcții în știință și tehnologie.

O undă de șoc se obține în urma producerii plamei între doi electrozi la descărcarea electrică într-un mediu lichid. Unda de șoc se transmite prin mediul lichid către semifabricat pentru realizarea deformării, Energia electrică se stochează într-o baterie de condensatoare cu capacitatea de 50...1500 μF , la un potențial înalt de 5...40 kV. La închiderea circuitului, curentul electric cu intensitatea de mai multe mii de amperi trece prin spațiul dintre electrozi într-un timp mai mic de 0,1ms, dând naștere unei plame termice care provoacă vaporizarea apei în jurul electrozilor și formarea șocului de presiune [2].

Fenomene și efecte care apar la o descărcare electrică într-un lichid

Cercetările efectuate de V.I. Ushakov [3] au confirmat presupunerea/ideea că, în funcție de anumite condițiile există diferite mecanisme de străpungere a spațiului dintre electrozi. S-a stabilit, de asemenea, că cele două etape principale ale străpungerii, inițierea (aprinderea) descărcării și dezvoltarea descărcării, pot diferi ca natură chiar și într-un moment de străpungere. În primul caz,

lichidul se dezvoltă în interelectrodului cu o viteză mare (până la $10^7 \dots 10^8$ "cm·s⁻¹"). Pentru efectuarea stadiului de aprindere în lichid descărcării electrice se pot distinge cel puțin patru mecanisme diferite, cum ar fi prin bule, microexplozie, ionizare și electrotermie [3].

În activitatea sa de cercetare, Vladislav Aleksandrovich Panov [4] a efectuat experimente privind străpungerea electrică a apei, unde în timpul lucrării au fost dezvoltate fenomenele de formare a unui înveliș de vapori-gaz.

În timpul lucrărilor experimentale de descărcare electrică în apă au fost dezvoltat fenomenul de formare a unui înveliș de vapori-gaz pe electrozi. La tensiuni mici, $U_0 < 0,5 \cdot U_{st}$, nu există modificări vizibile vizual în spațiul dintre electrozi. Începând cu o tensiune de $0,5 \cdot U_{st}$ se face vizibilă o neomogenitate optică, dezvoltându-se mai ales de la anodul ascuțit spre catod. Apoi, pornind de la un nivel de tensiune de $0,7 \cdot U_{st}$, în cel puțin prima jumătate a duratei impulsului, la anod se formează o regiune stabilă de vapori-gaz (VG), care în cele din urmă se fracționează în mai multe bule mici [4].

Șocul electro-hidraulic format de canalul de descărcare și de învelișul cu vapori de gaze, chiar și în volume foarte mari de lichid, determină apariția unor presiuni de zeci și sute de mii de atmosfere, adică cu două până la patru ordine de mărime mai mari decât presiunile din canalul de descărcare. Expansiunea are loc într-un timp puțin mai lung decât durata frontului primei semi-onde a impulsului curent. Această perioadă se caracterizează printr-o creștere extrem de rapidă a câmpului magnetic propriu al descărcării și fenomene pronunțate de skin-efect, însoțite de transferul aproape a întregii energii transportate de canalul de descărcare către periferia sa și formarea unui așa-numit „skin-înveliș”, ce reprezintă un înveliș de material-energie cu presiuni diferite. Presiunea scade de la învelișul structurii canalului de descărcare ($2 \cdot 10^{10}$ "Pa") spre centrul canalului ($0 \dots 2 \cdot 10^6$ "Pa") atât de repede încât în unele cazuri se poate forma un vid în centrul canalului [5].

Studiul dispozitivului de ștanțare electro-hidraulic

Metodele cunoscute de ștanțare, tragere, îndoire și efectuarea altor operații de deformare a materialelor plastice din tablă sau materiale plastice presupun folosirea unor prese hidraulice/pneumatice sau mecanice, în care se creează presiunea fluidului cu ajutorul unităților de pompare sau compresoare. Metoda de ștanțare prin impuls, în care piesa de prelucrat este antrenată de undele de șoc generate într-o cameră închisă umplută cu lichid, conectată printr-un canal de frână cu un receptor parțial umplut cu același lichid. Dispozitivul pentru ștanțare electrohidraulică este prezentat schematic în Fig. 1 [6].

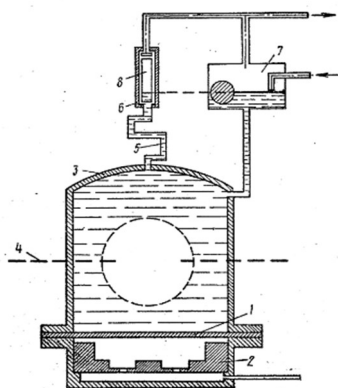


Figura 1. Dispozitivul de ștanțare electro-hidraulic [6]

Piesa de prelucrat 1 este instalată deasupra matricei 2 într-o cameră închisă 3, umplută cu un fluid de lucru, în care există o sursă de energie pulsantă, conectată la electrozii 4. Prin canalul de frână 5, camera este conectată la receptorul 6, în care se menține un nivel constant al lichidului, prin rezervorul de scurgere 7 conectat la camera. Cavitatea receptorului de deasupra lichidului este aspirată cu o pompă de vid conectată la receptor. Adâncimea vidului este aleasă astfel încât lichidul din receptor să nu fiarbă la o anumită temperatură, un vizor 8 servește pentru controlul vizual. Vidul

din camera de sub produs trebuie să fie cu cel puțin un ordin de mărime mai mare. decât vidul de deasupra produsului. Aplicarea vidului îndepărtează expansiunea opusă a cavității, extinzând astfel cavitatea în sine și măbind energia pe pereții săi, ceea ce crește deformarea piesei de prelucrat.

Studiul experimental al ștanțării electro-hidraulice și rezultatele obținute

Pentru a studia efectul electro-hidraulic, a fost necesară proiectarea și asamblarea unei machete funcționale pentru ștanțarea/deformarea materialelor în folosind efectul electro-hidraulic. Cercetarea s-a desfășurat în etape, adăugând bănci de condensatoare de diferite tensiuni și capacități. Valorile electrice au fost înregistrate cu ajutorul unui wattmetru digital. Studiile de ștanțare electro-hidraulică au fost efectuate pe folie de aluminiu cu o grosime de 0,5 mm, dar cu rezistență suficientă pentru a-și păstra forma după procesul de deformare.

La etapă preliminară au fost folosite baterii cu patru bănci de condensatoare de tip K41-1a, conectate în paralel cu electrodul de lucru. Tensiunea la bornele acestei baterii de condensatoare s-a aplicat tensiunea de 6,3 kV, capacitatea totală constituind 0,3 μF. Ca electrod pozitiv de lucru a fost folosit un fir de înaltă tensiune cu conductor din cupru, plasat într-un recipient metalic cu un fluid de lucru de volumul de 150 ml. După o anumită perioadă de timp, s-a testat că a fost efectuată caracterizarea calității sondei din folie de aluminiu. Se poate observa din figura 2, că se formează adâncituri pronunțate de formă emisferică, acolo unde a fost localizat electrodul pozitiv. La formarea descărcărilor de lungă perioadă de timp, a fost evidențiată defalcarea foliei cu formarea unei fisuri.

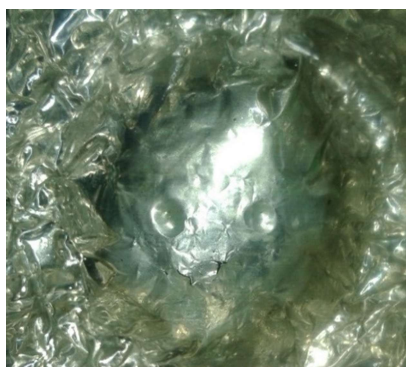


Figura 2. O sondă cu folie zero după testări preliniare

Totuși, au avut loc evaporarea electrodului din cupru, ce ne-a determinat să-l înlocuim la următoarele etape cu un electrod din fier. În Tab.1 sunt prezentate rezultatele cercetărilor a ștanțării electro-hidraulice la diferite etape de executare.

Tabelul 1

Rezultatele cercetărilor a ștanțării electro-hidraulice la diferite etape de executare

| Numărul etapei | Capacitatea condensatorului C_{Σ} (μF) | Tensiunea la bornele condensatorului U_{Σ} (kV) | Curentul descărcării electrice (A) | Puterea consumată (W) | Energia acumulată la bornele condensatorului E (J) |
|----------------|---|--|------------------------------------|-----------------------|--|
| 1 | 0,3 | 6,3 | 3,7-5 | 282-300 | 6 |
| 2 | 3,25 | 3 | 7-10 | 400-600 | 14,63 |
| 3 | 0,28 | 9,3 | 4-5,7 | 300-900 | 12,11 |
| 4 | 0,024 | 10 | 5-11 | 800-1000 | 1,2 |

Pentru a determina energia eliberată de condensator, aplicată pe electrozii de lucru, se folosește formula:

$$E = \frac{C_{\Sigma} \cdot U_{\Sigma}^2}{2} \quad (1)$$

Probleme ecologice

Mediul în care funcționează aparatul în funcție de efectul electrohidraulic este un lichid, ce reprezintă apă. În timpul testării unui model funcțional prin ștanțare electro-hidraulică, s-a constatat o schimbare vizibilă a culorii lichidului, din cauză evaporării electrodului din cupru și fier. În Tab.2 se prezintă rezultate analizei de laborator a probelor de apă uzată.

Tabelul 2

| Rezultate probelor de apă | | | |
|--|--|--|---|
| Probele apei în dependența de tipul electrodului | Componenta fierului în apă cercetată (mg·L ⁻¹) | Componenta cuprului în apă cercetată (mg·L ⁻¹) | Nivelul maxim admisibil (mg·L ⁻¹) [7] |
| Fără electrod | 0,06 | 0,03 | |
| Cu electrod din Cu | - | 1,2 | Fe ≤ 0,03 Cu ≤ 1 |
| Cu electrod din Fe | 4,2 | - | |

Concluzii

Efectul electro-hidraulic este o metodă de conversie industrială a energiei electrice în energie mecanică, fără implicarea elementelor mecanice intermediare. Pentru formarea șocului electro-hidraulic, este necesară spargerea lichidului cu ajutorul unei descărcări electrice, care formează o presiune mare. Una dintre numeroasele aplicații ale acestui efect este ștanțarea electro-hidraulică. Având în vedere că sistemul în sine are o serie de avantaje, dar există și o serie de factori negativi, cum ar fi contaminarea lichidului cu ioni metalici de la electrozi. În acest caz, folosind purificarea apei prin schimb de ioni și osmoză inversă, poluarea poate fi redusă.

Referințe:

1. AMBROS T. *Mașini electrice. Transformatoare și mașini asincrone. Volumul I*. Chișinău: Editura „Tehnica-UTM”, 2016. ISBN 978-9975-910-95-8.
2. CHIRU A., BENEĂ B. *Tehnologii noi pentru fabricarea autovehiculelor* [online]. pp. 211. [accesat 13.02.2022]. Disponibil: <https://ru.scribd.com/doc/144937071/Tehnologii-noi-de-fabricatie-in-industria-Auto>.
3. IUTKIN, L.A. *Elektrohidravlicheskii effekt i ego primeneniie v promișlennosti*. Editura „Leningradskoe otделение ordena Trudovogo Krasnogo Znameni izdatelstva „MAȘINOSTROENIE”, 1986. IB Nr.4232.
4. *Izvestia Tomskogo politehniceskogo universiteta*. 2006. T.309. №2. Ușakov, V.I. ed. *Impulsniî electriceskii proboi kondensirovannîh sred (Dostijeniia vîsokovoltnikov TPU za 60 let)*. 2006, pp.58-63 [online]. [accesat 13.02.2022]. Disponibil: https://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Bulletin_TPU/2006/v309/i2/12.pdf
5. Brevet. Iutkin, L.A., Golțova, L.I. *Sposob impulsnoi ștampovki*, SU 459920 A1, 15.05.1983, [accesat 04.10.21]. Disponibil: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
6. PANOV, V.A. *Eksperimentalinîe issledovania electriceskogo probioia v gazojidkostnîh sredah*. Moscow: Editura „Moskovschii Fiziko-Tehniceskii Institut (Gosudarstvennîi Universitet)”, 2017. UDK 537.528, [online]. [accesat 13.02.22]. Disponibil: https://jiht.ru/science/dissert-council/diss_texts/PanovVA.pdf.
7. *SanPiN 2.1.4.1074-0*, Moscow, Editura: „Minzdrav Rossii”, 2002, [accesat 22.10.21]. Disponibil: <https://in.minenergo.gov.ru/upload/iblock/6db/6dbca5a7d3f84b4a210f53160abeeb83.pdf>