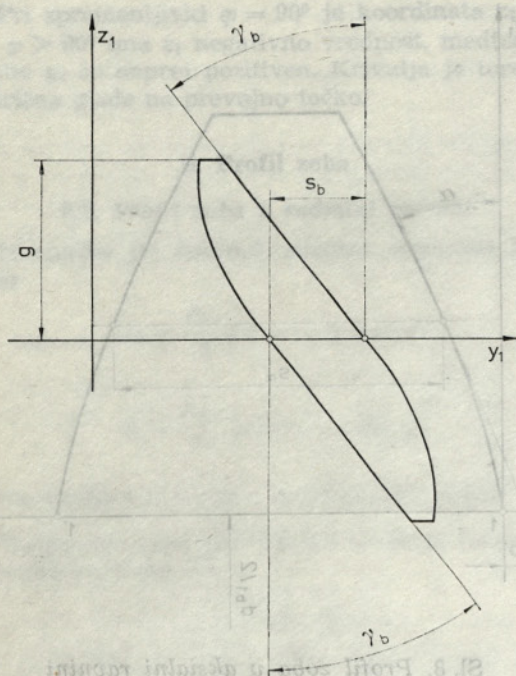




Sl. 9. Profil zoba v tangencialni ravnini
 s_b — debelina zoba na osnovni premici

UDK 534.2:621.791

Akustična emisija pri varjenju

IVAN POLAJNAR — IGOR GRABEC — VIKTOR PROSENC

Uvod

V tehniki varjenja je posebna pozornost namenjena odkrivanju napak v zvarih in študiju pojavov, ki povzročijo te napake. Čeprav je tehnika ugotavljanja kvalitete zvarov že zelo izpopolnjena, je na tem področju še vedno čutili pomanjkanje primerne eksperimentalne metode, ki bi omogočala opazovati rast napak. Mišljeno je zlasti opazovanje rasti razpok in spremljanje faznih premen, ki so pogosto vir napak v zvaru. Namen članka je opozoriti na pojav akustične emisije in njeno uporabo v nedestruktivni tehniki preskušanja zvarov, ki obeta, da bo vsaj delno zapolnila to vrzel [1].

Z izrazom akustična emisija označujemo pojav nastanka zvoka zaradi mikroskopskih nestabilnosti v snovi. Med najbolj značilne primere akustične emisije sodi hreščanje pri rasti razpok zaradi mehanske obremenitve ter šumenje snovi pri faznih premenah [2]. Uravnoteženje mehanskih ali faznih nestabilnosti je zelo pogosto sunkovit dogodek, pri katerem se del nakopičene energije spreminja v zvočno. Ustrezni zvočni sunek je mogoče zaznati na meji snovi in s tem posredno dobiti podatek o dogodku v snovi. Ker omenjene nestabilnosti pri varjenju praviloma kvirajo kvaliteto zvara, je možnost zaznavanja teh pojavov posebno zanimiva pri preizkušanjih v tehniki varjenja. Zbiranje podatkov o nastajanju napak z akustično emisijo lahko poteka od zavaritve pa vse do uporabe, kar ponuja možnost za raziskovanje dinamike njihovega nastanka.

7. Sklep

Z geometrijo v prostoru in diferencialno geometrijo so izpeljane enačbe evolventne vijake ploskve, nadalje enačbe bočnice v radialni, aksialni in tangencialni ravnini.

Preračuni koordinat bočnice v različnih prereznih ravninah so zelo dolgotrajni. Zato so izdelani programi za elektronski računalnik in je mogoče dobiti ustrezne koordinate v nekaj sekundah.

LITERATURA

- [1] Bauersfeld, W.: Ein Beitrag zur Theorie der Schneckengetriebe und zur Normung der Schnecken, Deutscher Ingenieur-Verlag, 1950.
- [2] Puhar, J.: Proučitev geometrijskih razmer pri evolventnem polžu, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, 1975.
- [3] Thomaa, A. K.: Grundzüge der Verzahnung, Carl Hanser Verlag, 1957.
- [4] Standard JUS M.C1.014.

Avtorjev naslov: Jože Puhar, dipl. inž. stroj.,
 Fakulteta za strojništvo
 Univerze v Ljubljani

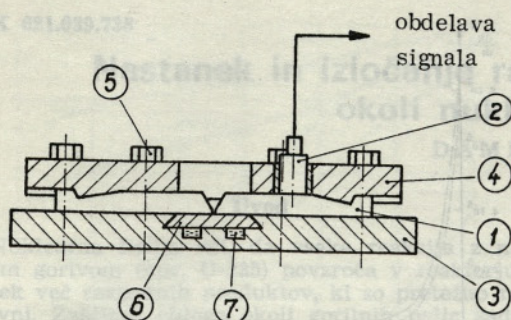
Koliko se uresničitvi teh možnosti lahko približamo, smo skušali ugotoviti z nekaj uvodnimi laboratorijskimi raziskavami, pri katerih smo zaznavali akustično emisijo jeklenih varjencev. Opis preizkusov skupaj s pregledom značilnih lastnosti pojava sta jedro tega članka.

Preizkus

Z raziskavami smo želeli ugotoviti predvsem vpliv varilnega postopka in uporabljenega materiala na značilnosti akustične emisije zvara.

Pokazalo se je, da poteka akustična emisija jeklenih varjencev v obliki izrazitih zvočnih izbruhov. Zaradi tega smo uporabili metodo karakterizacije, ki slovi na štetju impulzov, prirejenih izbruhom. Akustično emisijo smo zaznavali s piezoelektričnim tipalom (PZT5A), ki je bilo prek plasti olja sklopljeno s preizkušancem. Ustrezni električni signal smo ojačili in prek nastavljenih meje diskriminatorja 1 V priredili vsakemu nihaju ojačenega napetostnega signala uniformiran napetostni impulz. Pogostost teh impulzov, ki jih navadno imenujemo akustična aktivnost, smo nato registrirali v odvisnosti od časa. Podrobneje je metoda merjenja aktivnosti opisana v poprejšnjih objavah [2, 3].

Preizkušanci so bili narejeni iz jekla z zagotovljeno varivostjo Č.1100 (material I) s sestavo: 0,09 % C; 0,15 % Si; 0,53 % Mn; 0,01 % P; 0,02 % S; 0,01 % O₂, ki ima $C_{ek} = 0,23$ [4], in iz jekla slabše varivosti Nionical 60 (material II) s sestavo: 0,15 % C; 0,30 % Si; 0,40 % Mn; 1,5 % Cr; 2,5 % Ni; 0,4 % Mo; 0,02 % P; 0,03 % S, ki ma $C_{ek} = 9,94$.



Sl. 1. Vpetje preizkušanca

- 1 — preizkušavec 4 — zgornja plošča
2 — detektor 5 — pritrdilni vijaki
3 — spodnja plošča 6 — bakrena korenska letva
7 — hladilna voda

Znano je, da nastajajo napake v zvarih predvsem pri neugodnih okoliščinah, ki so večinoma posledica hitrega ohlajanja in nastajajočih mehanskih napetosti. Z namenom, da bi te okoliščine dobro opredelili in se s tem približali možnosti ponovitve preizkusa, smo izdelali napravo za togo vpetje in hlajenje preizkušancev. Napravo in obliko preizkušancev prikazuje slika 1.

Togo vpetje smo dosegli s privitjem osmih vijakov in izdelavo preizkušancev s klinastim naslonom. S korenske strani smo zvar, prek bakrene letve, še dodatno hladili z vodo.

Varili smo na delno prirejenem avtomatu za obločno varjenje EPP 1100. Polovico preizkušancev smo zvarili z oplasčeno elektrodo EMONA, drugo polovico pa v zaščiti argona [5].

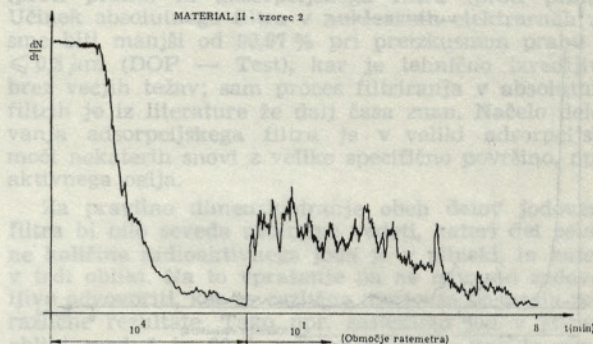
Vse zware, varjene po istem varilnem postopku, smo varili z enakimi varilnimi parametri. Akustično aktivnost smo začeli registrirati potem, ko je ugasnil oblok, in jo opazovali 30 minut.

Rezultati preizkusov

Varjenje z oplasčeno elektrodo EMONA $\phi 4 \times 450$, smo izvedli pri varilnih parametrih, ki jih priporoča proizvajalec ($I_V \approx 170$ A, $U_V \approx 22$ V, priključek elektrode na — pol). Z več preizkusi smo za obe vrsti materiala določili poprečno akustično aktivnost v odvisnosti od časa. Rezultati so v tabeli I.

Tabela I. Poprečne vrednosti aktivnosti akustične emisije za zware, varjene z elektrodo EMONA

Čas t min	Število impulzov v min. $N_{II} - N_{II-1}$		Čas t min	Število imp. v min. $N_{II} - N_{II-1}$	
	Material I	Material II		Material I	Material II
1	866 783	885 660	16	636	1046
2	341 810	404 900	17	683	680
3	50 740	109 766	18	706	446
4	16 893	19 280	19	308	183
5	9 966	10 890	20	2726	500
6	5 713	11 563	21	736	256
7	6 060	9 040	22	1123	1126
8	5 243	5 766	23	873	303
9	2 243	4 436	24	1013	446
10	3 083	2 513	25	913	590
11	1 076	2 450	26	493	123
12	4 351	2 583	27	1440	220
13	728	1 356	28	173	530
14	1 013	673	29	170	115
15	355	1 005	30	5	—



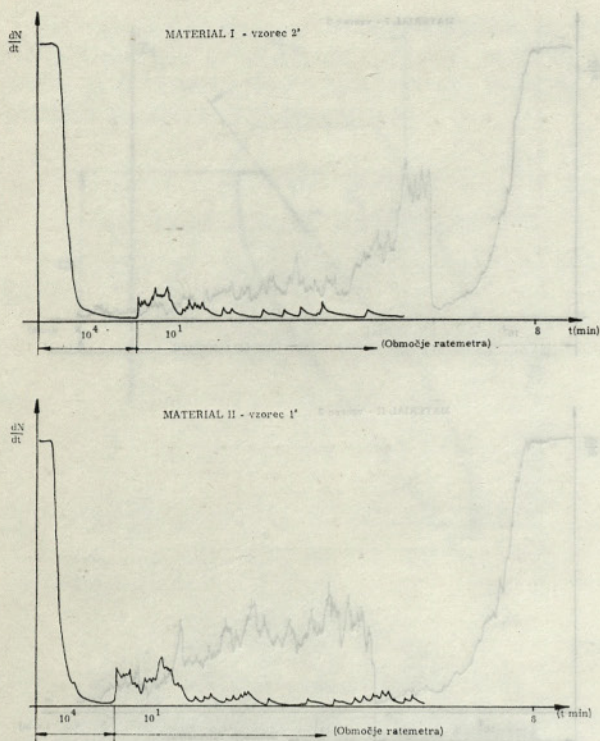
Sl. 2. Posnetek časovne akustične aktivnosti dveh vzorcev, varjenih z elektrodo EMONA

Primeri posnetkov časovne odvisnosti akustične aktivnosti za dva značilna vzorca pa sta razvidna z diagramov na sliki 2.

V zaščitni atmosferi argona smo varili z žico EPP 1, $\phi 3$ mm ($I_V \approx 220$ A, $U_V \approx 18$ V, priključek elektrode na — pol). To žico smo izbrali zato, ker sta kemijski sestavi čistih zvarov, varjenih z elektrodo EMONA in z žico EPP 1, zelo podobni (EMONA: 0,10 % C; 0,20 % Si; 0,50 % Mn; EPP 1: 0,08 % C; 0,15 % Si; 0,55 % Mn). Dobljeno poprečno akustično aktivnost v odvisnosti od časa prikazuje tabela II. Na sliki 3 pa je prikazana tudi časovna odvisnost akustične aktivnosti za dva značilna vzorca tega postopka.

Tabela II. Poprečne vrednosti aktivnosti akustične emisije za zware, varjene v zaščiti argona

Čas t min	Število impulzov v min. $N - N_{II-1}$		Čas t min	Število imp. v min. $N_{II} - N_{II-1}$	
	Material I	Material II		Material I	Material II
1	83 875	197 500	16	—	25
2	55 475	119 775	17	—	5
3	12 725	65 700	18	—	42
4	413	6 362	19	—	4
5	1 792	907	20	5	42
6	896	545	21	—	4
7	826	337	22	—	25
8	920	210	23	58	6
9	157	135	24	25	30
10	183	195	25	—	—
11	76	30	26	1	—
12	302	182	27	—	11
13	30	152	28	—	—
14	26	60	29	—	—
15	237	175	30	—	—



Sl. 3. Posnetek časovne akustične aktivnosti dveh vzorcev, varjenih v zaščiti argona

Pri obeh načinih varjenja in pri obeh materialih smo dobili približno eksponentno zmanjševanje akustične aktivnosti s časom, kakor je razvidno iz rezultatov v tabelah; ustrezno matematično odvisnost pa prikazujeta diagrama na sliki 4.

Značilno je, da dobimo pri varjenju z oplaščeno elektrodo približno desetkrat večjo akustično aktivnost kakor pri varjenju v zaščiti argona. To si razlagamo kot posledico šumov iz ohlajajoče se žilindre in manj kot razliko v kakovosti zvarov. Nadalje je značilno, da pri obeh postopkih dobimo večjo akustično aktivnost pri zvarih materiala II, ki je slabše variv. Ta razlika je še posebej opazna pri varjenju v zaščiti argona, kjer emisija pokajoče žilindre ne zakrije emisije zvara.

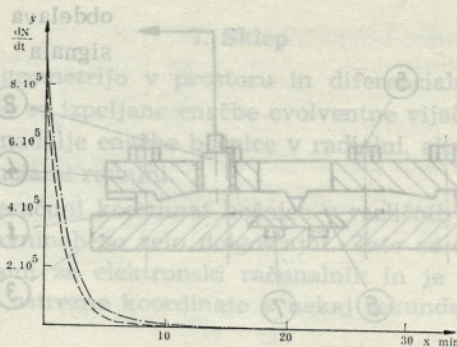
Pri pregledu zvarov, razen v korenu, nismo opazili razpok, zato sklepamo, da je bila emisija predvsem posledica faznih transformacij, sproščanja notranjih mikro napetosti ter pokanja škaja.

Iz dobljenih rezultatov se vidi, da je z zaznavanjem akustične emisije mogoče dobiti določen vpogled v dogajanje v zvaru, predvsem pa je mogoče dobiti podatke o karakterističnem času umirjanja zvara. Ta je bil zaradi podobnih okoliščin pri ohlajanju približno enak za vse preizkušance.

Sklep

Naše uvodne raziskave akustične emisije zvarov so pokazale, da ni mogoča neoporečna razlaga povezave akustične emisije s kakovostjo zvara, kakor to navedajo nekateri avtorji [6]. Takšno povezavo je zlasti težko izluščiti pri tistih varilnih postopkih, ki imajo precej zunanjih šumov, ki pa ne kvarijo kakovosti zvara, kakor sta žilindra in škaja.

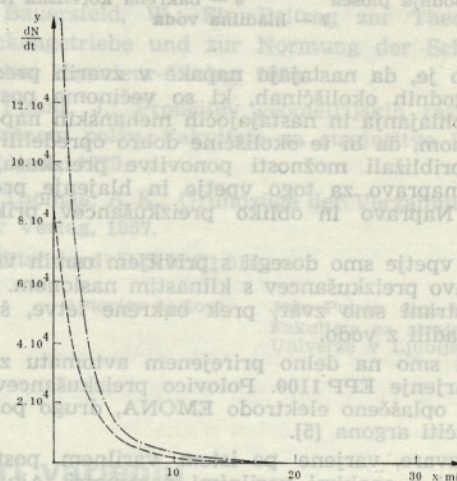
Žal pri omenjenih preizkusih nismo dobili večjih razpok v hladnem, so pa natezni preizkusi pokazali, da je akustična aktivnost pri rasti takšne razpoke



a) Varjenje z elektrodo EMONA

$$y_I = 8,7 \cdot 10^5 \cdot 0,521^x$$

$$y_{II} = 8,8 \cdot 10^5 \cdot 0,579^x$$



b) Varjenje v zaščiti argona

$$y_I = 8,4 \cdot 10^4 \cdot 0,638^x$$

$$y_{II} = 19,7 \cdot 10^4 \cdot 0,584^x$$

Sl. 4. Analitični prikaz časovne aktivnosti akustične emisije

znatno večja od aktivnosti po nekaj minutah po varjenju. Zato sklepamo, da bi ustrezno rast razpok v zvaru lahko spremljali in tako ločili kakovosten zvar od poškodovanega. V tej smeri se razvijajo tudi naše nadaljnje raziskave.

LITERATURA

- [1] Acoustic Emission, ASTM Special Technical Publication 505, ASTM, Philadelphia, 1972.
- [2] I. Grabec, Akustična emisija, SV, 21, 41 (1975).
- [3] Raziskave emisije ultrazvoka v obremenjenih snoveh in možnosti uporabe tega pojava v nedestruktivni tehniki preizkušanja. Poročilo o nalogi SBK št. 2-782/322-73, Fakulteta za strojništvo.
- [4] D. Seferian, Metalurgija zavarivanja.
- [5] M. Popović, Raziskava akustične emisije zvarov, diplomsko delo št. 2044, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, 1974.
- [6] C. K. Day, An Investigation of Acoustic Emission from Defect Formation in Stainless Steel Weld Coupons, Battelle Memorial Institute Pacific Northwest Laboratory, January 1969.

Naslov avtorjev:

Ivan Polajnar, dipl. ing.
dr. Igor Grabec,
dr. Viktor Prosenč
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani