

## UNELE ASPECTE PRIVIND COMPORTAREA ÎMBINĂRILOR ADEZIVE ÎN CONDIȚII DE SOLICITARE DINAMICĂ

F. Mocanu

Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași

### INTRODUCERE

Fără îndoială că studiul comportării îmbinărilor adezive în condiții de solicitare statică trebuie completat cu stabilirea comportării îmbinărilor adezive la șoc. Acest aspect prezintă un interes deosebit deoarece proiectarea și aprecierea corectă a îmbinărilor realizate prin lipire cu adezivi ar fi incompletă dacă nu s-ar cunoaște și comportarea peliculei adezive la viteze de solicitare mărite.

### 1. CONSIDERAȚII GENERALE

În ultimii 30 de ani producția adezivilor s-a extins și s-a diversificat, ceea ce a determinat lărgirea considerabilă a aplicațiilor în care ei sunt utilizați. În prezent toate sectoarele activității umane fac apel direct sau indirect, la un moment dat la adezivi. S-a ajuns până la folosirea bioadezivilor în corpul uman la nivelul țesuturilor musculare și la nivelul țesuturilor tari.

Argumentele unei asemenea dezvoltări se pot sintetiza după cum urmează:

1) într-o îmbinare cu adezivi, contrar sudării în puncte și nituirii, care sunt îmbinări punctuale și discontinui, adezivul este repartizat uniform pe toată suprafața de suprapunere. Aceasta conferă îmbinărilor adezive o rigiditate și o rezistență la oboseală superioare;

2) distribuția tensiunilor în secțiunile elementelor îmbinate este mai favorabilă și nu sunt prezente tensiuni remanente ceea ce îmbunătățește comportarea la oboseală;

3) îmbinările adezive se efectuează la temperatura ambiantă sau la o temperatură moderată (< 200°C) și materialele sunt puțin afectate termic. Prin urmare:

- caracteristicile lor structurale nu sunt alterate (cum se întâmplă în cazul sudării);

- nu sunt însoțite de deformații și tensiuni remanente deci nu este necesară preîncălzirea sau aplicarea unor tratamente termice ulterioare;

- sunt evitate efectele concentrărilor termice și prin formă corespunzătoare, concentrările de tensiune;

4) adezivii îmbină cele mai diverse materiale, chiar materiale total diferite între ele cu coeficienți de dilatare termică diferiți și sunt neutri din punct de vedere chimic;

5) cu ajutorul adezivilor se pot îmbina table subțiri, piese greu sudabile, elemente formate din piese fine cu pereți subțiri care nu se pot găuri, ansamblul elementelor îmbinate putând atinge mase de sute de kilograme sau mai modest de sutimi de gram;

6) adezivii permit lipirea unor materiale de anumite forme (pulberi, fibre, foi subțiri) realizând produse care nu se pot obține prin alte procedee (hârtii și pânze abrazive, țesăturile nețesute, folii subțiri de hârtie, de materiale plastice și de aluminiu, panouri sandviș, materiale compozite);

7) filmul de adeziv preia tensiunile ce se produc la dilatarea termică a unor materiale cu coeficienți de dilatare diferiți, formează un strat impermeabil pentru apă, gaze, umiditate, împiedică coroziunea, este etanș la presiune și la vid;

8) pentru executarea îmbinărilor nu sunt necesare în general utilaje speciale costisitoare și nici personal cu calificare specială, economia rezultând totodată și din simplitatea întreținerii în exploatare;

9) reducerea considerabilă a greutateii părților îmbinate cu circa 25% este conjugată cu avantajul reducerii ciclului de fabricație, părți întregi ale construcției putând fi îmbinate într-o singură operație;

10) stratul de adeziv posedă și proprietăți de amortizare a vibrațiilor și a zgomotelor, de etanșitate și de izolație electrică. De asemenea el suprimă problemele de coroziune galvanică întâlnite în îmbinările dintre materiale diferite și bineînțeles riscurile de a iniția coroziunea în punctele de sudură sau în nituri [1].

### 2. CONSIDERAȚII TEORETICE

Considerațiile asupra proiectării optime a unei îmbinări adezive sunt bazate pe calcule de rezistență, pe geometria legăturii, pe proprietățile materialelor (suport și adeziv) și comportarea lor în condițiile concrete de utilizare.

Pentru o caracterizare completă a adezivilor este absolut necesară stabilirea comportării îmbinărilor adezive la șoc. Principiul metodei este următorul: un ciocan cu o mișcare pendulară, având o viteză determinată produce printr-o singură lovire ruperea unei epruvete fixată pe un suport.

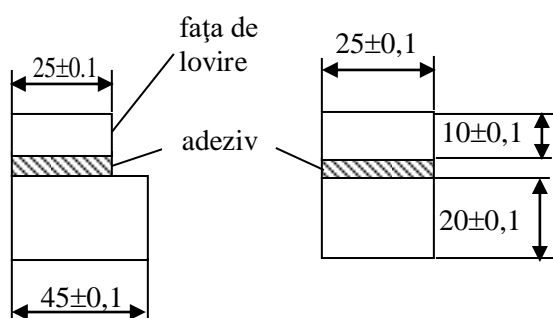
Rezistența la șoc se definește prin energia absorbită de o epruvetă standardizată, forfecată prin lovirea bruscă cu un ciocan. Aceasta se calculează prin raportul dintre energia absorbită și aria suprafeței lipite a epruvetei:

$$R_n = \frac{W}{S} \quad (1)$$

unde:

W - energia măsurată după ruperea epruvetei;  
S - suprafața nominală lipită [2].

Epruvetele constau din două blocuri de metal sau lemn, lipite între ele. Pentru îmbinările metal/metal forma și dimensiunile epruvetei sunt indicate în figura 1 (conform ISO 9653-91).



**Figura 2.** Epruvetă folosită pentru încercările la șoc ale îmbinărilor adezive cu suporturi metalici.

### 3. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

Toate cercetările s-au făcut luând în considerație următoarele ipoteze de lucru:

- comportarea suporturilor este perfect elastică până la ruperea coezivă a îmbinării lipite;
- grosimea stratului de adeziv este constantă;
- grosimea adezivului este mică în raport cu cea a suporturilor;
- adezivul este flexibil în raport cu suportii;
- stratul de adeziv este continuu.

S-au ales pentru realizarea încercărilor doi adezivi românești bicomponenți: un adeziv epoxidic și unul poliuretanic, cu bune performanțe în condiții de solicitări dinamice. Pentru toate încercările ambele blocuri au fost confecționate din același oțel carbon. Constantele elastice ale acestor materiale sunt indicate în tabelul 1.

**Tabelul 1.** Constantele elastice ale adezivilor și suportului.

Material/ Caracteristici	E [ GPa]	$\nu$
Adeziv epoxidic	3,33	0,35
Adeziv pouretanic	2,9	0,34
Oțel carbon	210	0,33

$E$  – modulul lui Young;

$\nu$  - coeficientul lui Poisson [3].

Suprafețele celor două blocuri au fost pregătire înaintea lipirii conform recomandărilor din ISO 4588-89. Pentru efectuarea încercărilor s-a folosit un ciocan pendul tip Charpy având următoarele elemente: un batiu rigid și masiv, capul de lovire echipat cu o suprafață plană de lovire, aliniat pentru a stabili șocul frontal cu epruveta și un dispozitiv de reperare a energiei absorbite. S-a realizat un dispozitiv de fixare cu un șurub pentru a strânge epruveta în vederea micșorării tendinței acestuia de a fi aruncată afară de o mișcare de rotație în timpul solicitării. Epruveta a fost așezată în dispozitiv și a fost reglată poziția în înălțime în așa fel încât muchia percutorului să vină în contact cu fața lovită a epruvetei pe toată lățimea sa, paralel cu planul de lipire și cât mai aproape posibil de acesta (1mm deasupra stratului de adeziv). Pentru realizarea încercării, blocul mai lung (inferior) a fost fixat în suportul mașinii, iar blocul superior a fost rupt de ciocan cu o viteză constantă, într-o direcție paralelă cu planul lipiturii.

Toate încercările s-au efectuat în condiții normale de temperatură și umiditate ( $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  și  $50\% \pm 5\%$  umiditate relativă). Viteza ciocanului a fost de 3,4 m/s, valoare indicată de ISO 9653-1991.

La realizarea unei îmbinări adezive este absolut necesară evitarea ruperilor adezive, la interfața adeziv-suport și a celor coezive în stratul de adeziv. Pentru aceasta este necesar să se facă o alegere corectă a adezivului și o pregătire optimă a suprafețelor celor doi suporturi înainte de lipire. S-au realizat încercări pentru a urmări variația rezistenței la șoc a adezivilor în funcție de rugozitatea suprafeței celor doi suporturi metalici ai îmbinării. Grosimea stratului de adeziv din îmbinări a fost de 0,5mm. S-au folosit 4 seturi a câte 12 epruvete. Fiecare set a fost pregătit înainte de lipire printr-o curățire mecanică, cu o hârtie abrazivă de o altă granulație, urmată de o aceeași curățire chimică (ștergere cu acetonă). Rugozitățile au fost măsurate cu un rugozimetru portabil cu afișaj electronic Suftest -211, produs de firma japoneză Mitutoyo. Rezultatele obținute sunt indicate în tabelul 2 [1].

**Tabelul 2.** Variația rezistenței la șoc în funcție de rugozitatea suprafeței suportilor.

Rugozitatea Ra [μm]	R <sub>n</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]	
	Adeziv epoxidic	Adeziv poliuretanic
0,33	11,3	7,9
0,7	14,2	10,8
1,1	13,5	9,2
1,4	12,2	8,3

Energia citită, după ruperea epruvetelor, a fost considerată ca fiind energia absorbită prin ruperea epruvetei, presupunând că energia necesară pentru deformarea epruvetei, energia absorbită prin vibrații de aparat și de soclul său și energia pierdută prin frecări sunt neglijabile.

Un alt aspect studiat se referă la încercările care au urmărit stabilirea influenței grosimii stratului de adeziv asupra rezistenței îmbinărilor. La fiecare încercare s-a citit valoarea energiei absorbită pentru rupere cu ajutorul căreia s-au determinat rezistențele. Grosimea stratului de adeziv a variat între 0,1-6mm. Rezultatele obținute sunt indicate în tabelul 3.

**Tabelul 3.** Variația rezistenței la șoc în funcție de grosimea stratului de adeziv.

Grosimea stratului de adeziv [mm]	R <sub>n</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]	
	Adeziv epoxidic	Adeziv poliuretanic
0,1	12,3	9,1
0,2	13,1	9,4
0,3	13,3	10,3
0,5	14,2	10,8
0,6	14,1	10,7
0,8	13,9	10,5
1	13,4	10,2
2	12,5	9,7
3	11,2	8,7
4	10,1	7,1
5	8,1	5,6
6	6,5	4,1

Rezultatele indică o scădere continuă a rezistenței, atât în cazul îmbinărilor realizate cu adeziv epoxidic cât și pentru cele cu adeziv poliuretanic, odată cu creșterea grosimii stratului de adeziv. Aceste rezultate se pot explica astfel:

- o peliculă subțire de adeziv se deformează sub acțiunea unor energii mai mici;
- fenomenul de curgere la rece este mai sensibil cu cât pelicula de adeziv este mai groasă;
- dacă adezivul este dur sau rigid o peliculă subțire este mult mai flexibilă decât cea groasă;

- cu cât este mai mare cantitatea de adeziv într-o îmbinare cu atât crește posibilitatea de a conține bule de aer, impurități în general locuri cu defecte care formează concentratori de eforturi ce pot slăbi îmbinarea.

În tabelul 4 sunt prezentate rezultatele obținute în urma încercărilor pe ciocanul pendul Charpy, folosind 10 eșantioane a câte 15 epruvete fiecare, cu forma și dimensiunile din figura 1. Încercările s-au realizat în condiții normale de temperatură și umiditate, după 7 zile de la întărirea adezivului. Pentru fiecare grupă s-a păstrat aceeași suprafață de acoperire ( $S=625\text{mm}^2$ ), același mod de pregătire al suprafețelor celor doi suporti și aceeași grosime, de 0,5mm, a stratului de adeziv, dar s-a modificat viteza de rupere a stratului de adeziv.

**Tabelul 4.** Variația energiei de rupere în funcție de viteza de rupere.

Viteza de rupere v[m/s]	Energia de rupere W[J]	
	Adeziv epoxidic	Adeziv poliuretanic
2	47	39
3,4	58	48
4	66	55
5	72	61
6	78	68

Dependența dintre energia de rupere a îmbinărilor adezive și viteza de rupere a pendulului poate fi determinată cu ajutorul următoarei relații:

$$W = \frac{1}{a + \frac{b}{\sqrt{v}}} \quad (2)$$

unde a, b sunt coeficienți, care depind de tipul adezivului.

Rezultatele obținute pun în evidență o proprietate a îmbinărilor metalice realizate cu adezivi epoxidici și poliuretani și anume capacitatea lor de a absorbi odată cu viteze crescânde o energie de rupere mai mare.

Pentru a studia influența suprafeței de acoperire a stratului de adeziv asupra rezistenței de rupere la șoc s-a folosit un lot de 100 epruvete, câte 10 pentru fiecare eșantion. Blocul superior a avut lungimi de suprapunere cuprinse între 20-40mm. Toate încercările s-au efectuat în condiții normale de temperatură și umiditate, la o viteză a ciocanului pendul de 3,4 m/s.

Cele cinci grupe de epruvete diferă între ele doar prin suprafața de lipire. Rezultatele obținute pentru cele două categorii de adezivi sunt indicate în tabelul 5.

**Tabelul 5.** Variația energiei de rupere în funcție de suprafața de lipire.

Suprafața de lipire S[mm <sup>2</sup> ]	Energia de rupere W[J]	
	Adeziv epoxidic	Adeziv poliuretanic
500	50	42
625	58	48
750	70	59
875	82	70
1000	95	84

Prelucrarea datelor experimentale au condus la următoarea relație empirică:

$$W = c \cdot S + d \quad (3)$$

unde c, d sunt coeficienți care depind de tipul adezivului.

În urma observațiilor vizuale făcute după ruperea epruvetelor s-a constatat că:

- pentru toate epruvetele încercate suprafața de lipire indicată în normă a fost complet acoperită cu adeziv;
- cei doi suporturi de oțel nu au fost solicitați peste limita lor elastică în timpul încercărilor;
- toate epruvetele s-au rupt în pelicula adezivă, deci toate încercările au fost valide;
- în toate cazurile rupturile au fost mixte de aderență-coeziune;
- ruptura coezivă în pelicula de adeziv a fost în medie de 87%, ceea ce indică o foarte bună pregătire a suprafețelor înainte de lipire și efectuarea corectă a îmbinărilor;
- cei doi suporturi de oțel au rămas intacti după ruperea îmbinărilor.

### 3. CONCLUZII

Rezultatele obținute au permis formularea următoarelor concluzii:

- rugozitatea suprafețelor suporturilor folosiți la realizarea îmbinărilor adezive are o influență deosebită asupra comportării în condiții de solicitare dinamică ale acestora. Calitatea suprafețelor are ca tendință mărirea suprafeței de contact suport-adeziv și acționează în opoziție cu efectele de coeziune și aderență de la interfața îmbinării;
- pentru o granulație grosieră rezistența la șoc este cu circa 20% mai mică;
- rezistența cea mai bună se obține în cazul folosirii unor suporturi pregătiți cu o hârtie abrazivă de granulație medie;

- o prelucrare fină a suprafețelor este mai bună și deci indicată în comparație cu una grosieră;
- rezistența îmbinărilor realizate cu adeziv epoxidic și poliuretanic scade odată cu creșterea grosimii stratului de adeziv;

- rezistența la viteze de solicitare mărite ale îmbinărilor adezive este cu atât mai mare cu cât pelicula de adeziv este mai subțire. Indiferent de felul adezivilor și de celelalte caracteristici ale îmbinărilor grosimi ale peliculei adezive de 0,3÷0,6mm sunt optime;

- energia absorbită de îmbinările metalice studiate crește odată cu creșterea vitezei de rupere a ciocanului pendul. La triplarea vitezei de deformare energia de rupere crește în medie cu 70%;

- rezistența la șoc a îmbinărilor adezive este proporțională cu suprafața de lipire;

- pentru o suprafață de lipire mai mare sistemul adeziv devine mai elastic și se produce o deformație mai mare. Prin aceasta se acumulează o energie potențială de deformație mai mare și în consecință efectul șocului este mai atenuat;

- proprietățile vâscoelastice ale adezivului ajută la absorbirea șocurilor ceea ce conduce la o bună comportare la solicitări dinamice;

- stabilirea relațiilor de dependență între energia maximă de rupere a îmbinărilor și viteza de rupere, respectiv aria suprafeței lipite oferă celor interesați posibilitatea de a stabili rapid și exact comportarea la șoc a îmbinărilor adezive. Astfel de relații sunt utile și permit să se stabilească energia maximă pe care o poate suporta o îmbinarea adezivă fără să mai fie necesară efectuarea de încercări, sub rezerva ca aceasta trebuie să fie fără defect. Prezentarea sub această formă a rezultatelor obținute se dorește a fi un instrument necesar și util specialiștilor și tuturor celor interesați de acest domeniu.

### Bibliografie

1. **Mocanu, F.**, Contribuții la studiu proprietăților mecanice ale adezivilor, teză de doctorat, Universitatea Tehnică "Gh.Asachi", Iași, 1997.
2. **Mocanu F.**, Comportarea la șoc a îmbinărilor adezive// Revista Construcția de mașini, nr. 1-2, 1999.
3. **Mocanu, F.**, Adezivi, îmbinări adezive, Editura Gh. Asachi, Iași, ISBN 973-8292-43-3, 2001

**Recomandat spre publicare: 27.06.2007.**