

CORELAȚIA DINTRE DURITATEA MATERIALULUI PROBEI ȘI ÎNĂLȚIMEA DE RIDICARE A UNEI BILE DUPĂ IMPACTUL CU SUPRAFAȚA PROBEI

Cristian BIȘOG*, Alexandru-Marian ȚIBULEAC, Mihai FILIP,
Florentin-Gabriel MIRCEA, Adelina HRIȚUC

*Departamentul Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea Construcții de Mașini și Management Industrial,
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, România*

*Autorul corespondent: Cristian Bișog, e-mail: cristian.bisog@student.tuiasi.ro

Rezumat. Problema căderii corpurilor și a ceea ce se întâmplă cu acel corp care cade și ia contact cu o suprafață poate prezenta interes în anumite situații. În cazul în care un corp de formă sferică, așa cum este cazul unei bile dintr-un material metalic sau nemetalic, dar suficient de dur, este lăsat liber în cădere, la contactul cu o suprafață orizontală, are loc transferul unei părți din energia sa cinetică spre corpul implicat în impact, în timp ce o altă parte din energie permite bilei să realizeze o mișcare în direcție opusă celei de la cădere, până la o anumită înălțime. Există mai mulți factori care determină mărimea distanței până la care bila se ridică după impact. Analiza teoretică a unei asemenea situații a condus la concluzia că o creștere a durității suprafeței cu care ia contact bila ar putea fi un factor important în ceea ce privește înălțimea de ridicare a bilei după impact. Pentru verificarea unei asemenea ipoteze, a fost conceput un echipament simplu, care să faciliteze determinarea înălțimii de ridicare a bilei după impact. Experimentări efectuate cu acest dispozitiv au arătat în acest sens că înălțimea de ridicare a unei bile din oțel este mai mare în cazul în care suprafața de impact aparține unei piese din oțel călit, în raport cu situația în care pentru impact se folosește suprafața unei piese dintr-un aliaj de aluminiu, a cărui duritate este inferioară durității oțelului călit.

Cuvinte cheie: cădere, corp de formă sferică, ridicare după impact, duritatea materialului, cercetare experimentală, echipament de testare.

Introducere

Căderea unui corp și rezultatul impactului dintre corpul în cădere și suprafața unui corp solid poate conduce la rezultate diferite, în raport cu aspectele concrete ale corpului ce cade, cu natura și unele proprietăți fizico-mecanice al materialului corpului ce cade și ale celui al corpului de impact, de înălțimea de la care se produce căderea etc. În cadrul prezentei lucrări, s-a acordat atenție căderii unui corp de formă sferică, de tip bilă, și mai concret, studierii înălțimii la care se ridică bila după impactul cu suprafața unui corp solid suficient de dur.

Duritatea reprezintă proprietatea materialului unui corp de a se opune unei posibile deteriorări a stratului său superficial de către un alt corp, dispunând de o anumită formă a suprafeței de impact și care acționează asupra primului corp cu presiuni exercitate pe suprafețe de mărimi reduse și care nu va fi afectat de deformații permanente semnificative. În domeniul tehnicii, duritatea poate fi definită ca fiind rezistența opusă de un material acțiunii de pătrundere mecanică, dinspre exterior, a unui corp dintr-un material cu o rezistență mecanică mai ridicată.

Studiul căderii corpurilor și mai puțin al rezultatului impactului corpului în cădere cu un alt corp a constituit un obiectiv al unor cercetări inițiate încă în perioada evului mediu. Se cunoaște astfel atenția acordată de Newton căderii corpurilor.

Efectul impactului unui corp de tip bilă cu suprafața unui alt corp a fost investigat și de către alți cercetători.

Astfel, Acuña et al. a utilizat căderea unor bile din oțel și efectul de impact pentru a clarifica unele aspecte referitoare la calitatea unor probe din lemn de esență tare [1]. Ei au constatat că există

anumite categorii de lemn ale căror proprietăți de exploatare ar putea fi evaluate plecând de la rezultatele unor teste în condițiile menționate anterior. Pantaleone a investigat căderea și impactul unui lanț de bile cu o suprafață dură și a propus un model al mișcării lanțului [2]. O verificare experimentală a probat valabilitatea modelului propus. O explicație a unor aspecte privind căderea unei bile prin introducerea unui așa-numit coeficient de substituție a fost realizată de către van Biezen [3].

Cercetarea ale cărei rezultate sunt menționate în prezentul articol a urmărit să investigheze măsura în care unii factori ce caracterizează condițiile de impact ale unei bile cu suprafața unei probe din materiale metalice afectează înălțimea la care se ridică bila după impact.

Considerații teoretice

Se apreciază că un corp ridicat la o anumită înălțime dispune de o anumită energie potențială.

Energia potențială poate fi definită ca fiind energia unui sistem fizic ce depinde numai de poziția sau de configurația diferitelor componente ale sistemului. Energia potențială poate fi convertită într-o altă formă de energie, ceea ce poate implica, de exemplu, o transformare a energiei potențiale în energie cinetică .

Dacă se neglijează condițiile atmosferice specifice unui anumit experiment, se poate aproxima energia potențială E_p cu ajutorul unei relații de forma:

$$E_p = Gh = mgh \quad [\text{Joule}], \quad (1)$$

în care G este greutatea corpului în cădere, m este masa aceluși corp, g - accelerația gravitațională, h - înălțimea poziției din care căderea corpului este inițiată în raport cu un nivel de referință considerat 0. Prin intermediul unei relații de forma anterioară, putem considera că o bilă cu un diametru $D= 10$ mm și o masă $m= 10$ g = 0,01 kg, dacă este lăsată liberă la o înălțime de $h= 634$ mm= 0,634 m va dispune de o energie potențială $E_{p1} = mgh = 0,01 \cdot 9,80 \cdot 0,634 = 0,0621$ J.

Dacă se cunoaște viteza de cădere, respectiv viteza de ridicare a bilei, se poate analiza fenomenul, aflându-se astfel prin calcul înălțimea de ridicare a bilei. Dacă presupunem că bila cade de la o înălțime h și lovește suprafața unui corp dintr-un material suficient de dur, o parte din energia cinetică a bilei contribuie mai întâi la o pătrundere elastică a bilei pe o anumită adâncime în materialul corpului impactat. Într-o secvență ulterioară, stratul de material din zona de impact va restitui bilei o parte din energia primită, prin revenire elastică, dar determinând o respingere a bilei în sens opus celui inițial și chiar o ridicare a bilei la o anumită înălțime h .

Din studiul materialelor metalice, vom constata că există asemenea materiale caracterizate printr-o anumită plasticitate și în cazul cărora o parte importantă din energia bilei va contribui la apariția unei deformări plastice permanente, ceea ce înseamnă că o cantitate mai redusă din energia de impact va fi restituită bilei, aceasta ridicându-se la o înălțime mai mică decât cea din cazul unui material mai elastic al corpului impactat.

În construcția de mașini, elasticitatea este adeseori pusă în relație cu acea caracteristică numită *duritate* și a cărei definiție a fost menționată anterior. Întrucât materialele metalice dispun de elasticități diferite și deci de durități distincte, este de așteptat ca înălțimea de ridicare a unei bile după impactul cu suprafața unei probe din material metalic să înregistreze o variație între anumite limite, determinate, pe de o parte, de masa bilei, de înălțimea de la care aceasta cade, dar și duritatea materialului corpului cu care bila ia contact.

Cercetare experimentală

În scopul de a verifica măsura în care ipotezele menționate anterior sunt valabile, a fost mai întâi conceput și realizat un echipament relativ simplu, care să permită eliberarea unei bile din oțel la o anumită înălțime și lovirea de către bilă a suprafeței unor probe realizate de asemenea din material metalic, dar dispunând de diferite durități.

Așa cum se poate observa din Fig. 1, se constată că echipamentul dispune de o coloană verticală realizată din țevă din oțel cu secțiune pătrată. În partea superioară, țeava este prevăzută cu

un subsistem de fixare (de tip clește) și respectiv de eliberare a unei bile din oțel. În partea inferioară a coloanei se află trei elemente de sprijin. La coloană a fost asamblată o riglă din material plastic, astfel poziționată încât să fie posibilă evaluarea înălțimii de ridicare a bilei după impactul acesteia cu suprafața unei probe din material metalic.

Încercările experimentale au fost efectuate conform informațiilor înscrise în Tab. 1.

Se poate observa că s-a plecat de la premisa folosirii unui experiment factorial cu 3 variabile independente la două niveluri de variație.

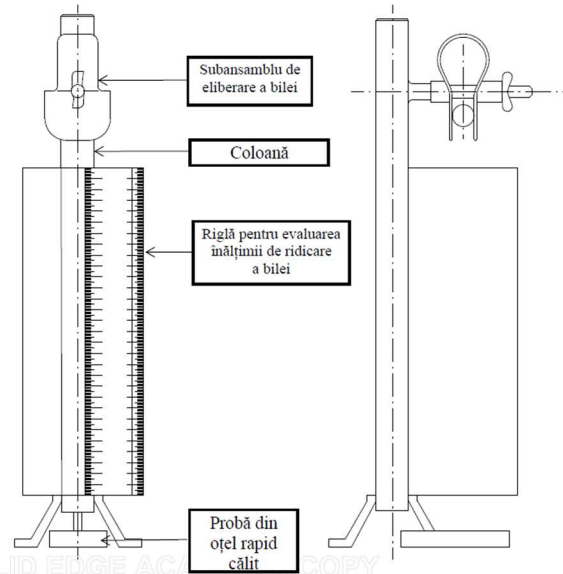


Figura 1. Echipament pentru determinarea înălțimii de ridicare a bilei după impactul acesteia cu suprafața unei probe din material metalic

Tabelul 1

Condiții de realizare a încercărilor experimentale și rezultate obținute

Factori de intrare (variabile independente)								
Diametrul bilei: $D_1=15$ mm; $D_2=10$ mm								
Înălțimea de la care cade bila: $h_{c1}= 634$ mm; $h_{c2}= 706$ mm								
Duritatea materialului probei: 100 HB în cazul aliajului de aluminiu cu siliciu (96 % aluminiu) și respectiv 739 HB în cazul oțelului rapid								
Nr. exp.	Factori de intrare				Parametru de ieșire			
	Materialul probei	Diametrul bilei, D , (mm)	Înălțimea de la care cade bila, h_c , (mm)	Duritatea materialului probei (HB)	Înălțimea de ridicare h , mm			
					h_1 (mm)	h_2	h_3 (mm)	h_{mediu}
1	Aliaj de aluminiu cu siliciu	15	634	100	96	100	98	98
2		10			113	114	111	113
3	Oțel rapid	15	634	739	305	307	308	307
4		10			336	343	340	340
5	Aliaj de aluminiu cu siliciu	15	706	100	167	170	168	168
6		10			177	172	177	175
7	Oțel rapid	15	706	739	315	300	310	308
8		10			378	370	375	374

Încercările au fost efectuate pe două probe din două materiale și anume din oțel rapid Rp3 (HS18-1-1; acest oțel are o duritate de 65 HRC - aproximativ 739 HB) și respectiv dintr-un aliaj de aluminiu cu siliciu, având o duritate de 100 HB. Cele două materiale au fost selecționate astfel încât să dispună de proprietăți distincte de plasticitate și respectiv de duritate.

Au fost folosite două bile din oțel de rulment, cu diametre D de 10 mm și respectiv 15 mm.

Înălțimile h_c de la care au fost eliberate bilele au fost de 634 mm și 706 mm. Pentru fiecare dintre cele trei combinații ale valorilor factorilor de intrare au fost efectuate câte trei încercări experimentale, ale căror rezultate au fost înscrise în Tab. 1. În ultima coloană din acest tabel a fost menționată valoarea medie a înălțimii h de ridicare a bilei după impactul cu materialul probei din aliaj de aluminiu sau din oțel rapid.

S-a recurs la o prelucrare a rezultatelor experimentale prin folosirea unui program specializat de calculator bazat pe aplicarea metodei celor mai mici pătrate [4]. Acest program permite selectarea celei mai adecvate funcții matematice empirice dintre cinci asemenea funcții (polinom de gradul întâi, polinom de gradul al doilea, funcție de tip putere, funcție logaritmică, funcție parabolică).

S-a recurs la o prelucrare a rezultatelor experimentale prin folosirea unui program specializat de calculator bazat pe aplicarea metodei celor mai mici pătrate [4]. Acest program permite selectarea celei mai adecvate funcții matematice empirice dintre cinci asemenea funcții (polinom de gradul întâi, polinom de gradul al doilea, funcție de tip putere, funcție logaritmică, funcție parabolică).

Selectarea funcției pentru un anumit set de rezultate experimentale se efectuează prin folosirea valorii criteriului lui Gauss, acesta fiind o sumă a pătratelor diferențelor dintre valorile ordonatelor determinate prin măsurători și respectiv ale ordonatelor determinate cu ajutorul funcției matematice empirice luate în considerare. Cu cât valoarea criteriului lui Gauss este mai ridicată, cu atât modelul matematic propus este mai adecvat în raport cu setul de rezultate experimentale folosit.

Prin utilizarea programului specializat de calculator, s-a ajuns la următoarea relație matematică:

$$h = -204.699 - 6.050D + 0.579h_c + 0.303HB \quad (2)$$

Plecând de la modelul matematic constituit de relația 1, a fost elaborată diagrama din Fig. 2. Analiza modelului matematic (2) și a reprezentării grafice din Fig. 2 evidențiază faptul că la creșterea diametrului D al bilei, înălțimea h de ridicare a acesteia după impactul cu proba se micșorează, fapt ce poate fi justificat prin masa mai mare a bilei, atunci când diametrul bilei crește. Micșorarea valorii înălțimii h la creșterea diametrului bilei este pusă în evidență de valoarea negativă a coeficientului atașat mărimii D în relația matematică (2).

Conform respectivului model matematic, la mărirea înălțimii h_c de la care este eliberată bila, va avea loc o mărire a înălțimii h de ridicare a bilei după impact, fapt relevat de valoarea pozitivă a coeficientului atașat factorului h_c în relația matematică (2). O explicație a acestui rezultat se poate baza pe mărirea energiei potențiale a bilei atunci când ea este eliberată de la o înălțime mai mare. În același timp, se constată că o mărire a durității HB a materialului probei va conduce de asemenea la o creștere a înălțimii h de ridicare a bilei după impact, întrucât coeficientul atașat factorului HB în relația (2) are valoare pozitivă. Acest lucru poate fi justificat prin elasticitatea mai mare a materialului dur (a oțelului rapid), ceea ce face ca o parte mai mare din energia cinetică să se regăsească în ridicarea bilei după impactul cu proba.

Concluzii

Cercetarea întreprinsă a urmărit evidențierea corelației care există între înălțimea de ridicare a unei bile după impactul cu materialul unei probe și respectiv duritatea materialului probei. A fost conceput și realizat un echipament experimental relativ simplu. Încercările experimentale au fost efectuate pe probe cu durități diferite dintr-un aliaj de aluminiu și respectiv din oțel rapid. S-a verificat ipoteza conform căreia la creșterea durității materialului probei, are loc o mărire a înălțimii de ridicare a bilei după impact. În viitor, se intenționează o îmbunătățire a soluției constructive a echipamentului și extinderea încercărilor experimentale pe probe din alte materiale.

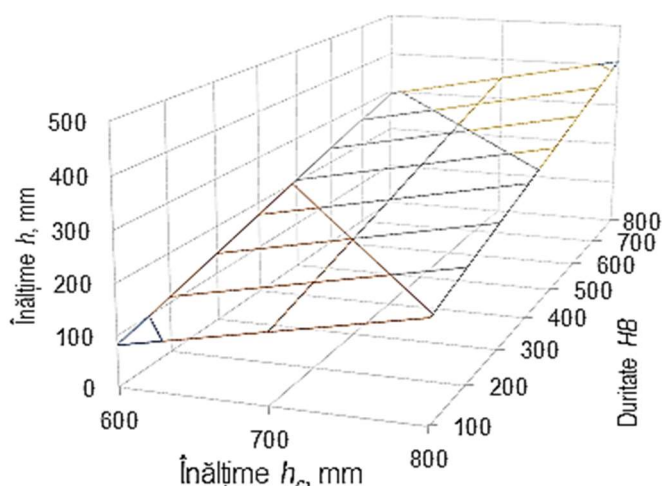


Figura 2. Influența exercitată de către înălțimea de cădere h_c a bilei și de către duritatea HB materialului probei asupra înălțimii h de ridicare a bilei după impact

Mulțumiri. Autorii multumesc pentru recomandările și sugestiile primite de la conf. univ. dr. ing. Margareta Coteață și dlui prof. univ. dr. ing. Laurențiu Slătineanu.

Referințe

1. ACUÑA, L., SEPLIARSKY, F., SPAVENTO, E., MARTÍNEZ, R.D., BALMORI, J.A. Modelling of impact falling ball test response on solid and engineered wood flooring of two eucalyptus species. *Forests*, 2020, 11, 933.
2. PANTALEONE, J. *Understanding how a falling ball chain can be speeded up by impact onto a surface* [online]. [accesat: 24.02.2022]. Disponibil: <https://researchchain.net/archives/pdf/Understanding-How-A-Falling-Ball-Chain-Can-Be-Speeded-Up-By-Impact-onto-A-Surface-3606880>.
3. VAN BIEZEN, M. *Physics 9.6 momentum and coefficient of restitution* [online]. 2016. [accesat: 15.02.2022]. Disponibil: https://www.youtube.com/watch?v=jQPWdpq8DcM&list=PLX2gXftPVXUbw6NwHG1hSeIH_kSrw2KV&ab_channel=MichelvanBiezen.
4. CREȚU, G. *Bazele cercetării experimentale. Îndrumar de laborator*. Iași: Universitatea Tehnică, 1992.