



Tomislav Filetin  
Ivan Kramer  
Gojko Marić

**METALNE PJENE**  
PROIZVODNJA, SVOJSTVA I PRIMJENA

Zagreb, 2003.

*Autori:*

dr.sc. Tomislav Filetin, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i  
brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu  
Ivan Kramer, dipl.ing. strojarstva, Zagreb  
dr.sc. Gojko Marić, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u  
Zagrebu

**Recenzenti:**

dr.sc. Franjo Kovačiček, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i  
brodogradnje  
dr.sc. Osman Muftić, redoviti profesor Fakulteta strojarstva i  
brodogradnje  
dr.sc. Dražen Živković, docent Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i  
brodogradnje Sveučilišta u Splitu

**Izdavač:** Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Ivana Lučića 1, Zagreb

**Glavni urednik:** prof. dr.sc. Vinko Ivušić

**Lektorica:** Zrinka Romić, prof.

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Nacionalna i sveučilišna knjižnica - Zagreb

UDK 621-03

FILETIN, Tomislav

Metalne pjene : proizvodnja, svojstva i  
primjena / Tomislav Filetin, Ivan Kramer,  
Gojko Marić ; <crteži Mario Lesar>. -  
Zagreb : Hrvatsko društvo za materijale i  
tribologiju, 2003.

Bibliografija.

ISBN 953-7040-03-8

1. Kramer, Ivan 2. Marić, Gojko

430409099

*Crteži, grafičko oblikovanje ovitka i prijelom na računalu: Mario Lesar, graf. ing.*

*Copyright © HDMT*

*Tisak: ITG d.o.o.*

*Naklada: 200*

# SADRŽAJ

## POPIS OZNAKA

<b>PREDGOVOR</b> .....	1
<b>1. UVOD</b> .....	3
1.1. Građa i struktura metalnih pjena .....	5
1.2. Stabilnost metalnih pjena .....	7
1.4. Mogućnosti primjene metalnih pjena .....	8
1.5. Isplativost metalnih pjena .....	9
<b>2. POSTUPCI PROIZVODNJE METALNIH PJENA</b> .....	11
2.1. Ubrizgavanje plina u taljevinu .....	12
2.2. Plinom oslobođene čestice rastvorene u taljevini .....	14
2.3. Plinom oslobođene čestice rastvorene u polučvrstoj fazi .....	16
2.4. Precizno lijevanje pomoću kalupa od voska ili polimera .....	18
2.5. Taloženje metala na ćelijaste praoblake .....	19
2.6. Ekspanzija plina u taljevini .....	20
2.7. Građe s kuglastim šupljinama .....	22
2.8. Spajanje ili lijevanje dvaju materijala od kojih je jedan topiv .....	24
2.9. Eutektičko skrućivanje plin-metal .....	25
2.10. Matematički modeli korišteni za opisivanje ponašanja metalnih pjena .....	26
<b>3. SVOJSTVA METALNIH PJENA</b> .....	29
3.1. Mehanička svojstva metalnih pjena .....	29
3.1.1. Priprema površine i veličina uzorka .....	31
3.1.2. Krutost .....	31

3.1.3. Tlačna čvrstoća .....	33
3.1.4. Vlačna čvrstoća .....	39
3.1.5. Ponašanje pri promjenjivom opterećenju – umor .....	45
3.1.6. Ponašanje pri puzanju .....	54
3.1.7. Apsorpcija energije udara .....	59
3.1.8. Propagacija udarnog vala .....	62
3.1.9. Ojačane metalne pjene .....	63
3.1.10. Sendvič-konstrukcije .....	69
3.1.11. Procjena vrijednosti mehaničkih svojstava pjena .....	78
3.2. Toplinska svojstva metalnih pjena .....	79
3.2.1. Koeficijent toplinske vodljivosti .....	81
3.2.2. Prijenos topline .....	83
3.2.3. Vatrootpornost .....	85
3.2.4. Otpornost na eksploziju .....	86
3.2.5. Procjena vrijednosti toplinskih svojstava pjena .....	87
3.3. Zvučna svojstva metalnih pjena .....	88
3.4. Prigušenje vibracija metalnih pjena .....	91
3.5. Električna svojstva metalnih pjena .....	94
3.6. Spajanje metalnih pjena .....	96
3.5.1. Spajanje ljepilima .....	96
3.5.2. Rastavljivi spojevi .....	97
3.5.3. Zavarivanje .....	99
<b>4. USPOREDBA METALNIH PJENA SA SLIČNIM ČELIJASTIM MATERIJALIMA .....</b>	<b>101</b>
4.1. Polimerne pjene .....	101
4.2. Drvo .....	103
<b>5. IZBOR METALNIH PJENA .....</b>	<b>107</b>
<b>6. PRIMJENA METALNIH PJENA .....</b>	<b>111</b>
<b>7. IZVORI PODATAKA .....</b>	<b>117</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>123</b>

---

## PREDGOVOR

Metalne pjene predstavljaju relativno novu vrstu i oblik materijala koje se razvijaju na osnovi oponašanja strukture i svojstava prirodnih ćelijastih materijala kao što su drvo, kosti, koralji itd. Temeljna svojstva proizlaze od vrste materijala stijenki ćelija, oblika ćelija (zatvorene i otvorene) i procesa proizvodnje. U odnosu na druge konstrukcijske materijale prednosti su sljedeće: mala gustoća, prilagodljiva toplinska svojstva – ovisno o strukturi (otvorene ili zatvorene ćelije) mogu biti jako dobri toplinski izolatori ili mogu dobro provoditi toplinu, vatrootpornost, dobra električna vodljivost, izuzetno prigušenje energije udara, vibracija i zvuka, relativno visoka krutost sendvič konstrukcija s jezgrom od metalne pjene itd.

Problemi u proizvodnji i primjeni proizlaze iz još nepotpunog ovladavanja parametrima procesa izrade. Stoga se često dobivaju neujednačene i nepredvidljive strukture i varijacije u vrijednostima svojstava. Usporedo s usavršavanjem postupaka proizvodnje i prilagođavaju se i metode ispitivanja svojstava specifičnostima ponašanja metalnih pjena. Zato se u ovoj knjizi podrobnije opisuju načini utvrđivanja svojstava i navode rezultati iz različitih literaturnih izvora.

Intenzivan razvoj i nastojanja usvajanja proizvodnje nalaze svoju opravdanost u mogućem vrlo širokom polju primjena - za dijelove cestovnih i tračnih vozila, letjelica, brodova, u graditeljstvu, za namještaj, za ukrasne predmete, za medicinska pomagala, za izmjenjivače topline, prigušivače zvuka i vibracija itd. Za širu primjenu ograničenje je još uvijek visoka cijena metalnih pjena.

Nadamo se da će ova publikacija potaknuti istraživače i poduzetnike na intenzivnije bavljenje ovom skupinom materijala

Ova je knjiga rezultat proučavanja literaturnih podataka i osobnih kontakata autora s istraživačima i proizvođačima metalnih pjena u svijetu, a unutar tehnološkog projekta "SUMAT – Razvoj i primjena suvremenih materijala" (program HITRA/TEST). Slične analize i pregledi trendova razvoja provode se i za druge skupine novih materijala.

Zahvaljujemo recenzentima na vrlo korisnim sugestijama na osnovi kojih je poboljšan prvotni tekst. Gospodin Lesar uložio je velik trud, strpljenje i kreativnost pri izradi ilustracija, prijeloma na računalo i grafičkom oblikovanju korica.

Na kraju zahvaljujemo Ministarstvu znanosti i tehnologije RH na financijskoj potpori projektu.