

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-059>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

R. Kovač, S. Jojin*

ISTRAŽIVANJE UTICAJA VIBRACIJE NA ČVRSTOĆU LIVENE LEGURE

Rezime

U radu je istraživana uticaj parametara vibracije - amplitude i frekvencije na čvrstoću livene legure AlCu4,5. Vibriranje je vršeno u periodu očvršćavanja legure. Istraživanja su pokazala da vibracija utiče na porast čvrstoće legure i da značajniji uticaj ima frekvencija nego amplituda.

VIBRATION INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES OF CASTINGS

Summary

This paper presents the investigation of influence of vibration, amplitude and frequency, on the hardness of castings made from AlCu4,5 alloy. The vibration of the castings were carried out during solidification. The results of investigation show that the vibrating of the casting increases its hardness. Frequency has more significant influence than amplitude.

*Dr Risto Kovač, dipl.ing., vanr. prof., Mr Siniša Jojin, dipl.ing., asistent Fakulteta tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2.

1.0. UVOD

Savremene mašinske konstrukcije zahtevaju sigurnost u radu, što manju masu, a time i nižu cenu. U vezi s ovim zahtevima od legura se traži da imaju visoku čvrstoću i plastičnost. Povećati čvrstoću odlivka i tako uticati na smanjenje njegove mase jedan je od bitnih ciljeva savremenih tehnologija livenja. Cilj istraživanja u ovom radu je da se utvrdi u kojoj meri parametri vibracije - amplituda i frekvencija utiču na čvrstoću legure, ako se ista u procesu očvršćavanja izloži dejstvu vibracije.

Za istraživanja u radu korišćen je planirani eksperiment, što podrazumeva izbor takvog plana eksperimenta da pri najmanjem broju eksperimentalnih jedinica da najveću sigurnost rezultata. Izvodjenje ovakvog plana eksperimenta omogućeno je zahvaljujući specijalnoj konstrukciji vibratora, kod koga se amplituda i frekvencija mogu menjati kao nezavisne veličine.

2.0. MATEMATIČKI MODEL

Očvršćavanje legure u kalupu, izloženom dejstvu vibracije, može se posmatrati kao sistem koji karakterišu ulazni i izlazni parametri. Kao ulazni parametri uzeti su amplituda i frekvencija, a kao izlazni parametar čvrstoća legure. Radi utvrđivanja tuicaja parametara vibracije na čvrstoću legure AlCu4,5 pretpostaviće se matematički model oblika eksponencijalne funkcije:

$$\sigma_M = cA^{p_1} \cdot f^{p_2} \quad (1)$$

gde je: σ_M - čvrstoća legure u MPa,

A - amplituda u mm,

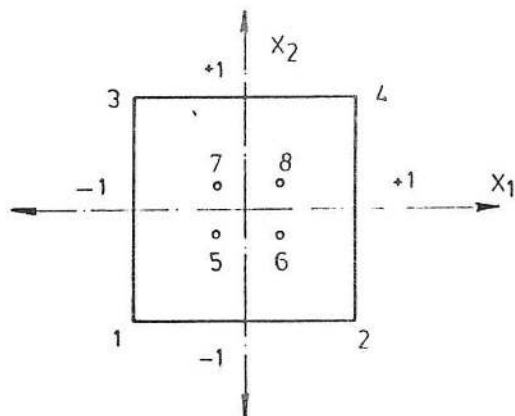
f - frekvencija u Hz,

c, p_1 i p_2 - parametri matematičkog modela koji se određuju obradom eksperimentalnih rezultata.

Kako je broj nezavisno promenljivih u datom matematičkom modelu 2 (dva) to će se koristiti dvofaktorni plan eksperimenta. Broj eksperimenta $2^k=2^2=4$ uvećava se za još $n_0=4$ zbog provere tačnosti u tački (0,0). Usled toga broj eksperimenata faktornog eksperimenta je:

$$N = 2^k + n_0 = 2^2 + 4 = 8 \quad (2)$$

Grafički prikaz plana eksperimenta pomoću latinskog kvadrata dat je na slici br.1.



Sl.1.

Kao što se vidi iz (2) treba obaviti 8 eksperimenata. Kodiranjem promenljivih parametara eksperimenta (amplitude A i frekvencije f) sačinjena je matrica plana eksperimenta i data u tabeli br.1.

Tabela 1.

Red. br.	nivo	nivo	A (mm)	f Hz
1	-1	-1	0,05	50
2	1	-1	0,182	50
3	-1	1	0,05	150
4	1	1	0,182	150
5	0	0	0,10	100
6	0	0	0,10	100
7	0	0	0,10	100
8	0	0	0,10	100

Prema matrici plana eksperimenta potrebno je obaviti 8 eksperimenata, varirajući pri tom vrednosti amplitude i frekvencije. Da bi se dobila veća tačnost rezultata eksperimenta svaki eksperiment je radjen sa tri ponavljanja, što znači da su za potrebe matematičkog modela (1) izvedena 24 eksperimenta ($8 \times 3 = 24$). Redosled izvođenja eksperimenata je randomiziran, što se vidi iz tabele br.2. Iz iste tabele se vidi da je za svaki od 24 eksperimenta čvrstoća legure određivana na osnovu tri epruvete, što znači da je broj epruveta na kojima je merena čvrstoća $24 \times 3 = 72$.

3.0. USLOVI EKSPERIMENTA

Vibrator na kome su obavljena istraživanja je takav da se amplituda i frekvencija mogu menjati nezavisno jedna od druge. Kokila u kojoj očvršćava legura, u periodu vibracije, kreće se u vertikalnom pravcu brzinom v . Maksimalna brzina kretanja kokile je:

$$v = A \cdot \omega = 2\pi \cdot A \cdot f$$

a maksimalno ubrzanje je:

$$a = A\omega^2 = A(2\pi f)^2 = 4\pi^2 A \cdot f^2$$

gde su A i f amplituda i frekvencija čije su veličine date u tabeli br.1.

Topljenje legure AlCu_{4,5} obavljeno je u elektrootpornoj peći. Temperatura livenja legure je $T_{\text{liv}} = 953$ K. Topljenje je obavljeno tako što se prvo topio čist aluminijum a zatim dodavana predlegura sa 33%Cu.

Livenje je obavljeno u kokili od sivog liva koja je pričvršćena za vibrator. Rezultati čvrstoće legure dati su u tabeli br.2.

Tabela 2.

Rando- miz. redosled exp.	Amplituda A(mm)	Frekvenc. f(Hz)	Epruveta u kokili	Čvrstoća epruveta σ_M , MPa	Srednja vrednost čvrstoće σ_M , MPa
1	0,182	150	1	193,1	190,4
			2	198,7	
			3	190,4	
2	0,10	100	1	179,0	185,2
			2	187,5	
			3	189,2	
3	0,10	100	1	182,4	181,1
			2	176,2	
			3	184,7	
4	0,10	100	1	154,4	182,1
			2	183,5	
			3	192,1	
5	0,05	150	1	188,1	185,4
			2	179,0	
			3	189,1	
6	0,05	50	1	174,6	177,0
			2	197,9	
			3	176,5	

Istraživanje uticaja vibracije na čvrstoću livene ...

1	2	3	4	5	6
7	0,10	100	1	182,5	178,7
			2	180,1	
			3	173,5	
8	0,182	150	1	183,9	196,3
			2	203,7	
			3	201,5	
9	0,10	100	1	175,1	177,4
			2	176,6	
			3	180,7	
10	0,10	100	1	181,1	176,9
			2	174,3	
			3	175,0	
11	0,05	50	1	165,4	173,4
			2	175,8	
			3	179,0	
12	0,10	100	1	181,8	183,0
			2	182,9	
			3	184,5	
13	0,10	100	1	189,0	187,5
			2	187,6	
			3	185,9	
14	0,182	50	1	178,7	178,5
			2	180,9	
			3	176,2	
15	0,05	150	1	214,7	216,3
			2	217,3	
			3	216,9	
16	0,05	150	1	199,4	198,6
			2	205,5	
			3	191,3	
17	0,10	100	1	213,1	206,2
			2	197,4	
			3	208,3	
18	0,10	100	1	201,5	203,8
			2	219,0	
			3	191,0	
19	0,182	50	1	196,8	204,9
			2	213,7	
			3	204,2	

1	2	3	4	5	6
20	0,10	100	1	186,4	180,4
			2	190,7	
			3	169,3	
21	0,05	50	1	156,3	168,7
			2	173,7	
			3	176,1	
22	0,182	50	1	194,8	189,8
			2	181,1	
			3	193,6	
23	0,10	100	1	180,2	187,7
			2	181,6	
			3	201,5	
24	0,182	150	1	201,5	197,2
			2	197,9	
			3	182,3	

4.0. REZULTATI EKSPERIMENTA

U tabeli br.2. dati su eksperimentalni rezultati, tj. dobijena čvrstoća u zavisnosti od amplitude i frekvencije, gde kolona 4 prikazuje broj epruveta u kokili, kolona 5 čvrstoće tih epruveta i kolona 6 srednje vrednosti čvrstoća za epruvete iz jedne kokile. Matematički model (1) pretpostavlja da čvrstoća legure zavisi od veličine amplitude i frekvencije. Na osnovu rezultata tabele br.2. se vidi da takvoj pretpostavci ima mesta, međutim ne može se zaključiti koliki je uticaj amplitude a koliki frekvencija. To je moguće utvrditi nakon obrade rezultata eksperimenta prema matematičkom modelu (1).

5.0. OBRADA REZULTATA EKSPERIMENTA

U matematičkom modelu (1) parametar p_1 pokazuje koliki je uticaj amplitude a parametar p_2 koliki je uticaj frekvencije na čvrstoću legure. Brojne vrednosti ovih parametara određiće se po obradi eksperimentalnih rezultata tabele br.2. Obrada rezultata treba da da odgovor na sledeća pitanja:

1. da li je matematički model (1) adekvatan
 2. da li su parametri matematičkog modela signifikantni
 3. kolike su vrednosti parametara p_1 , p_2 i c matematičkog modela
- Celokupna numerička obrada obavljena je na računaru.

Vrednosti parametara c , p_1 i p_2 matematičkog modela (1) odredjenih na osnovu podataka iz tabele br.2. i imaju vrednosti:

$$\begin{aligned}
 c &= 143,08 \\
 p_1 &= 0,0275 \\
 p_2 &= 0,0747
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Provera adekvatnosti matematičkog modela (1) vrši se prema Fišer-u. Ukoliko je matematički model adekvatan mora biti ispunjen uslov /2/

$$F_t > F_R \tag{4}$$

gde je F_t - teorijska a F_R - računaska vrednost faktora. Teorijska vrednost faktora zavisi od broja stepeni slobode i iznosi $F_t=9,55$. Računska vrednost faktora dobijena obradom rezultata je $F_R=5,40$. Kako je ispunjen uslov (4), tj.

$$F_t = 9,55 > T_R = 5,40$$

matematički model (1) je adekvatan.

Ocena signifikantnosti parametara matematičkog modela izvršiće se na osnovu uslova:

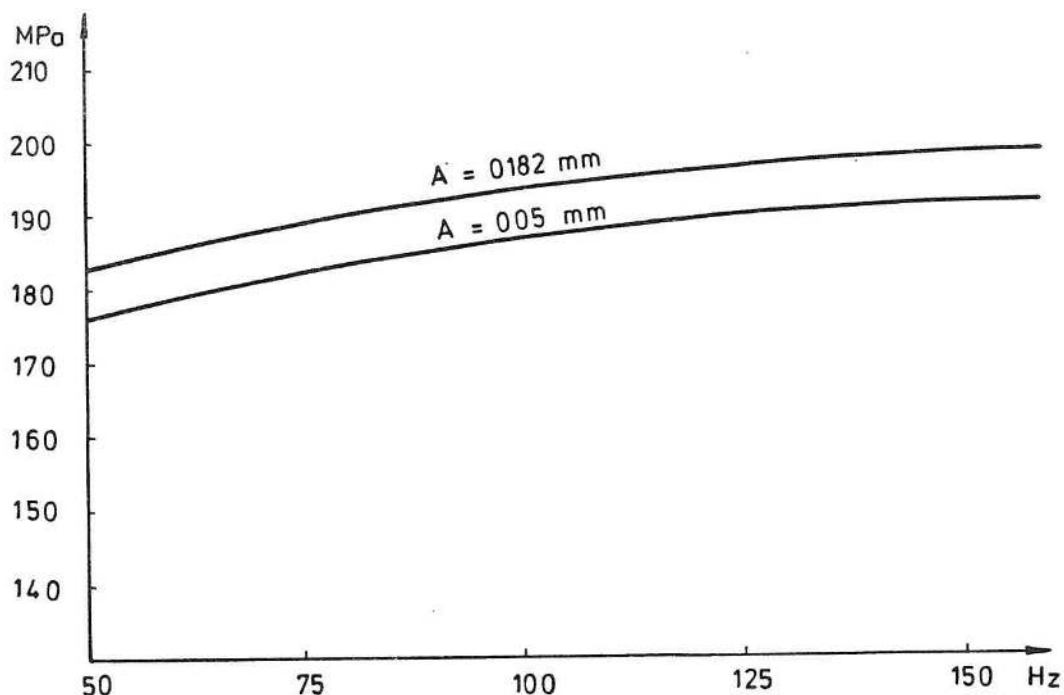
$$\begin{aligned}
 F_t &= 10,55 < F_{r,c} = 462284 && \text{(za konstantu } c) \\
 F_t &= 10,55 > F_{r1} = 2,66 && \text{(za parametar } p_1) \\
 F_t &= 10,55 < F_{r2} = 14,227 && \text{(za parametar } p_2)
 \end{aligned}$$

Dobijeni rezultati pokazuju da je konstanta c značajna jer je $F_t \ll F_{rc}$. Amplituda nema značajan uticaj na čvrstoću legure jer je $F_t > F_{r1}$. Frekvencija ima značajan uticaj na čvrstoću jer je $F_t < F_{r2}$ /2/.

Unošenjem vrednosti parametara c , p_1 i p_2 iz (3) u matematički model (1), isti glasi:

$$\sigma_M = 143,08 \cdot A^{0,0275} \cdot f^{0,0747} \tag{5}$$

Ovako iskazan matematički model omogućava da se da grafički prikaz zavisnosti čvrstoće legure od amplitude i frekvencije, što je učinjeno slikom br.2.



Sl. 2.

6.0. ANALIZA REZULTATA

Rezultati iz tabele br.2. obradjeni su na računaru. Obradom rezultata saznaje se:

- da je matematički model (1) adekvatan jer je ispunjen uslov (4)
- da su parametri matematičkog modela (1) konstanta c i parametar p_2 signifikantni.

Plan eksperimenta i obrada rezultata matematičkog modela (1) (korišćen Box-Vilsonov metod /1/) omogućavaju da se za bilo koju vrednost frekvencije u intervalu od 50-150 Hz odredi, prema izrazu (5), vrednost čvrstoće koja se može očekivati u datim eksperimentalnim uslovima. Na osnovu matematičkog modela (5) može se dati grafički prikaz medjuzavisnosti ulaznih i izlaznih parametara eksperimenta, što omogućava jasniji uvid o uticaju amplitude i frekvencije na čvrstoću legure. Iz izraza (5) kao i grafičkog prikaza datog slikom br.2. se vidi da veći uticaj na čvrstoću legure ima frekvencija nego amplituda. Sa porastom frekvencije raste čvrstoća legure. Sve epruvete su mehanički obradivane što za posledicu ima umanjeње čvrstoće usled skidanja površinskog sloja.

6.0. Z A K L J U Č A K

Obradom rezultata eksperimenta mogu se izvesti sledeći, osnovni zaključci:

1. Vibracijom legure u procesu očvršćavanja povećava se čvrstoća
2. Značajniji uticaj na povećanje čvrstoće legure ima frekvencija nego amplituda
3. Sa porastom frekvencije, u intervalu od 50-150 Hz, raste čvrstoća legura
4. Matematički model predstavljen jednačinom (1) je adekvatan.

7.0. L I T E R A T U R A

- /1/ Stanić J.: Metod inženjerskog merenja - uvod u matematičku teoriju eksperimenta - Box-Vilsonov metod, Beograd, 1975.
- /2/ Pantelić I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Radivoj Ćirpanov, Novi Sad, 1976.
- /3/ Kovač R.: Broj zrna u strukturi odlivka od legure AlCu_{4,5} u funkciji parametara vibracije. XIV oktobarsko savetovanje, Bor, oktobar, 1982.
- /4/ Kovač R., Avramović-Cingara G., Bajić V., Kakaš D.: Uticaj primarne strukture legure AlCu_{4,5} na parametre termičke obrade i mehaničke osobine. XXIV Jugoslovenska konferencija ETAN-a. Priština, juna 1980.