

# Slabitev ultrazvočnih valov v nodularni litini z razpršitvijo: eksperimentalna študija in simulacija

Mário Santos\* – Jaime Santos

Univerza Coimbra, CEMMPRE, Oddelek za elektrotehniko in računalništvo, Portugalska

Nodularna železova litina je razširjena zaradi svoje livnosti, visoke toplotne prevodnosti in dobrih mehanskih lastnosti, predvsem natezne trdnosti in duktilnosti. Mehanske lastnosti kovin so v veliki meri odvisne od njihove mikrostrukture. Nodularna litina se proizvaja z dodajanjem manjših količin elementov tik pred strjevanjem, npr. magnezija in cerija. Ti dodatki povzročijo rast grafitnih vozlov, njihova oblika in porazdelitev pa sta odločilni za lastnosti kovine. Neporušne preiskave mikrostruktur so zelo pomembne za identifikacijo osnovne mikrostrukture in vozlov.

Ultrazvočna karakterizacija ponuja vrsto prednosti v primerjavi s porušnimi metalografskimi metodami. Interakcijo ultrazvočnih valov z mikrostrukuro je mogoče spremljati z akustičnimi parametri, kot sta hitrost in slabitev. Obstajata dva glavna mehanizma slabitve ultrazvočnih valov: absorpcija in razpršitev. Absorpcija je povezana s toplotnimi izgubami, histerezo in viskozni izgubami. Do razpršitve prihaja zaradi heterogenosti v obliki mej med zni, praznin, vključkov, delcev drugih faz in poroznosti. Prav ta mehanizem slabitve je najbolj pomemben pri heterogenih materialih, kot je železova litina.

V pričujočem delu je bila eksperimentalno in s simulacijami ocenjena slabitev ultrazvočnih valov zaradi razpršitve na strukturah s kompleksno porazdelitvijo, ki je značilna za železovo litino. Uporabljena je bila eksperimentalna določitev slabitve po impulzni metodi. V ta namen so bili obdelani odboji ultrazvočnih impulzov na prednjih in na zadnjih ploskvah šestih preizkušancev prizmatične oblike. Preizkušanci so bili pripravljani po standardnih metalografskih metodah in analiza optičnih mikroposnetkov je pokazala nizko prostorsko variabilnost porazdelitve velikosti vozlov. Slabitev z razpršitvijo je bila ocenjena po modelih Truella in Papadakisa, rezultati pa so bili primerjani z rezultati eksperimentov. Poudarek je bil na modelu Papadakisa, ki upošteva porazdelitev velikosti sipalcev. Rezultati obeh analitičnih modelov se močno razlikujejo od eksperimentalnih.

Za analizo vpliva velikosti in koncentracije sipalcev v preučevanih strukturah, ki sta pomembni za učinkovit razvoj modelov, so bila pri izvedbi simulacij uporabljena orodja MATLAB k-Wave. Ta simulacijska orodja uporabljajo preprost napovedovalni model na osnovi rešitve v časovni domeni po psevdospektralni metodi v k-prostoru za povezovanje akustičnih enačb prvega reda za homogene in heterogene medije v eni, dveh in treh razsežnostih. Paket k-Wave omogoča modeliranje poljubnih virov in zaznavanje površin z usmerjenimi elementi. Pri širjenju valov je mogoče upoštevati nelinearnost, heterogenosti in zakon absorpcije.

Simulator, ki je bil razvit za preizkušance, je omogočil prediktivni model, v katerem je slabitev sorazmerna s peto potenco velikosti sipalcev, formulacija pa je podobna tisti, ki jo predlagajo analitični modeli. Predhodno eksperimentalno pridobljeno znanje o slabitvi valov omogoča ustvarjanje simulacijskih modelov s spreminjanjem koncentracije sipalcev in enakovredne velikosti. Na ta način je omogočeno posnemanje struktur s kompleksnimi porazdelitvami sipalcev z vidika njihove enakomerne koncentracije in velikosti.

**Ključne besede: modeliranje, anizotropija, impulzna ultrazvočna metoda, simulacija, slabitev ultrazvoka**