

Izboljšan model za napoved S-N krivulj in njihovih raztrosov

Jernej Klemenc^{1,*} – Bojan Podgornik²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

²Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Slovenija

Za zanesljivo napoved dobe trajanja izdelka je treba poznati njegovo geometrijo, obremenitveno stanje in zdržljivost materiala. Zdržljivost materiala pri ponavljajočih se obremenitvah opišemo s S-N krivuljo. Zaradi različnih naključnih dejavnikov, ki vplivajo na dinamično trdnost materiala, ima S-N krivulja vedno določen raztros okoli povprečnega trenda. Poznavanje tega raztrosa je nujno za napoved mejne dobe trajanja pri ponavljajočih se obremenitvah.

V članku je predstavljen nadgrajen model nevronske mreže, s katerim je mogoče modelirati S-N krivulje in njihov raztros v področju časovne trdnosti in trajne dinamične trdnosti. Pri tem model upošteva povečanje raztrosa dinamične trdnosti na prehodu iz časovne v trajno dinamično trdnost. Raztros S-N krivulje je modeliran z dvo-parametrično Weibullovo gostoto porazdelitve verjetnosti, pri kateri sta tako parameter velikosti kot parameter oblike odvisna ob obremenitvenega nivoja. Parameter velikosti je modeliran s funkcijo, ki je izpeljana iz Coffin-Mansonove enačbe, parameter oblike pa je modeliran z modificirano logistično funkcijo. Celoten model je tako opisan s sedmimi parametri, ki jih je potrebno določiti s pomočjo eksperimentalnih podatkov. Ta model S-N krivulje in njenega raztrosa je bil nato zaporedno vgrajen v nevronske mreže z večravninskim perceptronom. Na ta način smo upoštevali odvisnost parametrov S-N krivulje in njenega raztrosa od proizvodnega postopka materiala. V članku sta z ustreznimi enačbami prikazana in razložena tako model S-N krivulje in njenega raztrosa kot tudi uporabljena zaporedna hibridna nevronska mreža.

Predstavljeni model smo preskusili na primeru vzmetnega jekla 51CrV4. Polizdelki za preizkušance so bili izdelani z dvema različnima postopkoma: na konvencionalni način in z elektro-pretaljevanjem pod žlindro. Ohlajanje polizdelkov je bilo izvedeno z dvema različnima hitrostima. Za množico eksperimentalnih podatkov smo najprej določili S-N krivulje in njihove raztrose ločeno za vsako kombinacijo proizvodnega procesa in hitrosti ohlajanja. Kljub temu, da je bilo kar nekaj eksperimentalnih rezultatov nepopolnih (t.j. da ni prišlo do utrujenostnega loma pred koncem preskusa) smo z modelom ustrezno opisali tako trende S-N krivulj, kot tudi njihove raztrose v vsem območju amplitudnih napetosti. Nato smo izdelali enovit model s prej omenjeno zaporedno hibridno nevronske mreže. Ugotovili smo, da je z uporabljenimi nevronske mreže mogoče dobro modelirati odvisnost S-N krivulj in njihovih raztrosov od proizvodne tehnologije. Kot problematična se je izkazala le kombinacija proizvodnega procesa in hitrosti hlajenja, ki je rezultirala v večjem številu nepopolnih podatkov pri utrujenostnih preskusih. Če je nabor eksperimentalnih podatkov omejen, je treba uporabiti manjšo topologijo nevronske mreže, kar lahko vpliva na njeno sposobnost generalizacije.

Inovativnost predstavljene raziskave se kaže v dveh točkah: i.) s samo sedmimi parametri modela smo uspeli konsistentno modelirati prehod S-N krivulje in njenega raztrosa iz časovne trdnosti v trajno dinamično trdnost, česar še nismo zasledili v ustrezni literaturi; ii.) predstavljeni model smo vgradili v zaporedno hibridno nevronske mreže, izpeljali ustrezne enačbe za učenje nevronske mreže in pokazali, da je mogoče parametre modela S-N krivulje in njenega raztrosa povezati s proizvodnimi tehnologijami, ki so bile uporabljene za izdelavo materiala preizkušancev. V prihodnosti želimo model preveriti še za druge vrste kovinskih in polimernih materialov.

Ključne besede: jeklo 51CrV4, konvencionalne izdelovalne tehnologije, elektro-pretaljevanje pod žlindro, S-N krivulja, zaporedna hibridna nevronska mreža