

## Izbira parametrov kohezijske cone za napovedovanje medpovršinske delaminacije tipa I

Mohsen Moslemi<sup>1,\*</sup> – Mohammadreza Khoshhravan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Klub mladih raziskovalcev in elite, Islamska univerza Azad, Iran

<sup>2</sup>Univerza v Tabrizu, Oddelek za strojništvo, Iran

Delaminacija je vrsta napake, ki se pogosto pojavlja pri laminiranih kompozitih in jo opisujemo kot ločevanje plasti ali skupine plasti od sosednjih plasti zaradi delovanja zunajravninskih strižnih obremenitev. Za napovedovanje zmogljivosti ter izboljšanje zanesljivosti in varnosti konstrukcij je pomembno, da zaznavamo in analiziramo progresivno rast delaminacije.

Predstavljena raziskava je bila namenjena pripravi primerne metodologije za karakterizacijo loma pri delaminaciji tkanih kompozitnih laminatov v pogojih čistih obremenitev tipa I. Simulacija loma materialov s kohezivnimi elementi zahteva obsežne izkušnje za določanje mreže, točne vrednosti parametrov za karakterizacijo zakona trakcije-ločevanja in tudi ustrezno obliko trakcije-ločevanja. Predlagana je nova metodologija preizkusov za določanje normalne kohezivne trdnosti (NCS) kompozitnih laminatov. Vrednost interlaminarne lomne žilavosti za interlaminarni lom tkanega kompozitnega laminata steklo/epoksi tipa I je bila izračunana s preizkusom z uporabo dvojnega konzolnega nosilca (DCB). Preizkušanci za DCB in NCS so bili izdelani s tehniko ročnega polaganja, predrazpoka pa je bila ustvarjena s 13  $\mu\text{m}$  debelim teflonskim vložkom v središčni ravnini kompozitne plošče. Vsi preizkusi DCB in NCS so bili opravljeni pri sobni temperaturi zraka s spremljanjem odklikov pri hitrostih glave 1 mm/min in 0,5 mm/min. Za spremljanje dolžine razpoke je bil na rob preizkušancev prilepljen papir z natisnjeno delitvijo, ki je bil med eksperimentom fotografiran. Za redukcijo podatkov pri vrednotenju lomne žilavosti je bila uporabljena popravljena teorija nosilcev in pridobljena je bila približno gladka krivulja upornosti. Nato je bila opravljena simulacija po modelu kohezivne cone na podlagi končnih elementov stika. Da bi preprečili interpenetracijo površin razpok in umetno skladnost v numerični analizi, je bila opredeljena ustrezna kazenska togost. Za simulacijo procesa nastajanja poškodbe s kohezivnimi elementi v Abaqusu je bil uporabljen spremenjeni Park-Paulino-Roeslerjev (PPR) zakon trakcije-ločevanja v kombinaciji z bilinearnim mešanim modelom poškodb. Numerični rezultati so bili primerjani z rezultati eksperimentov, pri čemer je bilo ugotovljeno, da se dobro skladajo z eksperimentalno ugotovljeno normalno kohezijsko trdnostjo. Določena je bila dolžina kohezivne cone kot razdalja med največjo trakcijo in čelom razpoke. Prilagojeni model PPR je primeren za reprodukcijo eksperimentalno ugotovljenega vedenja kompozitnih preizkušancev in reprodukcijo približno gladke iniciacije razpoke in širjenja, medtem ko bilinearni model opisuje nenadno širjenje poškodbe. Največja razlika med eksperimentalnim in bilinearnim modelom je znašala 8,8 %, pri modelu PPR pa je znašala 2,6 %.

Avtorji so mnenja, da je model PPR točen model za karakterizacijo poškodb materiala. Prilagojeni model PPR bolje upošteva območje lomnega procesa, ki se ustvari pred vrhom razpoke kot bilinearni model. Da bi zagotovili zadostno razpršitev energije, ki uspešno napoveduje začetek in napredovanje delaminacije, smo simulirali več preizkušancev DCB z različnimi velikostmi kohezivnih elementov in dolžino kohezivne cone. Rezultati kažejo konvergirano rešitve pri vseh velikosti mreže, za točno napovedovanje začetka delaminacije pa mora biti mreža manjša od 1 mm.

**Ključne besede:** model kohezivne cone, delaminacija, normalna kohezijska trdnost, napovedovanje s končnimi elementi

\*Naslov avtorja za dopisovanje: Klub mladih raziskovalcev in elite, Islamska univerza Azad, Tabriz, Iran, m.moslemi@tabrizu.ac.ir