

Tézisek

1. Tézis

Kimutattam, hogy a Winkler-féle rugalmas ágyazás hatása középsíkban repedéssel ellátott, azonos mechanikai tulajdonságú karokkal rendelkező kompozit rudaknál eltérő formában jelenik meg vegyes I/II-es törési mód esetén, mint tiszta I-es módú rétegeközi törés esetén a repedésfeszítő erő képletében. A Winkler-féle ágyazás hatása vegyes I/II-es törési mód esetén a következő formában írható:

$$f_{w2} = 5.42 \left(\frac{h}{a} \right) \left(\frac{E_{11}}{E_{33}} \right)^{\frac{1}{4}} + 2.45 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_{11}}{E_{33}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Ezzel szemben WILLIAMS klasszikus megoldása a Winkler-féle ágyazás felhasználásával I-es törési mód esetén a következő:

$$f_w = 15.36 \left(\frac{h}{a} \right) \left(\frac{E_{11}}{E_{33}} \right)^{\frac{1}{4}} + 4.92 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \left(\frac{E_{11}}{E_{33}} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

A javasolt megoldás (1) figyelembe veszi, hogy vegyes I/II-es törési mód esetén a hajlítás tengelye a repedésmentes szakaszon a modell középsíkjába esik. WILLIAMS megoldása (2) a delaminálódott és repedésmentes szakaszon azonos másodrendű nyomatékokat vesz figyelembe. Így a másodrendű nyomaték értéke négyszer nagyobb az előbbi esetben. Így WILLIAMS megoldása vegyes I/II-es törési módú feladatokra nem általánosítható. A két megoldás közötti különbséget az SCB, SLB és MMB típusú próbatestek modelljei segítségével mutattam meg.

2. Tézis

A vegyes I/II-es törési mód repedésfeszítő erő komponenseinek szétválasztására szolgáló globális módszert kiegészítettem a Winkler-Pasternak-féle rugalmas ágyazás, a transzverzális nyírás, a Saint-Venant-féle deformáció és a repedéscsúcs nyírási deformációjának hatásával arra az esetre, ha a repedés a rúd középsíkjában helyezkedik el és az alsó és felső karok azonos mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek:

$$G_I = \frac{M_I^2 (12 + f_{w2} + f_T + f_{SV})}{b^2 h^3 E_{11}}, \quad (3)$$

$$G_{II} = \frac{M_{II}^2 (9 + f_{SH2})}{b^2 h^3 E_{11}}. \quad (4)$$

2.1 Megállapítottam, hogy az említett esetben a Winkler-Pasternak-féle rugalmas ágyazás (f_{w2}), a transzverzális nyírás (f_T) és a Saint Venant-féle hatás (f_{SV}) csak az I-es módú komponenshez járul hozzá, míg a repedéscsúcs nyírás miatti deformációja (f_{SH2}) csak a II-es módú komponens pontosságát javítja.

2.2 Felhasználva a repedésfeszítő erő képleteit és kombinálva azokat a végeelem módszerrel meghatároztam a Pasternak-féle ágyazási paraméter együtthatóját, amely az eredmények alapján konstans értékű ($\omega=2.5$).

2.3 A modell eredményeit összehasonlítottam szakirodalomban elfogadott analitikus és numerikus modellek eredményeivel. A vizsgálatok alapján a jelenlegi modell minden esetben azonos mértékben viszonyul a numerikus megoldáshoz és így az analitikus modelleknél számos esetben pontosabb eredményt ad.

2.4 A modellt II-es (ELS, ONF) és vegyes I/II-es (SLB, SCB) törési módú, egyirányú, középsíkban repedéssel ellátott üveg/poliészter próbatesteken végzett kísérletekkel is alátámasztottam. A modell minden esetben alkalmasnak bizonyult a kísérleti adatok kiértékelésére.

3. Tézis

A középsíkban repedéssel ellátott kompozit rudak rugóállandójára egy javított képletet vezettem le, amely figyelembe veszi a Winkler-Pasternak-féle ágyazás (f_{W1}), a keresztirányú nyírás (C_{TIM}), a Saint-Venant-féle deformáció (f_{SV} , C_{SV}) és a repedéscsúcs nyírási deformációjának (f_{SH1}) hatását arra az esetre, ha a modell karjai azonos mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek:

$$C = C_{EB} + C_{TIM} + \frac{f_I^2 a^3}{2bh^3 E_{11}} (f_{W1} + \frac{f_{SV}}{2}) + \frac{f_{II}^2 a^3}{2bh^3 E_{11}} f_{SH1} + C_{SV}. \quad (5)$$

3.1 A levezetett képlet alkalmazását egyirányú szálakkal erősített SCB, SLB és MMB próbatestek modelljei segítségével mutattam be. A kapott eredményeket létező analitikus modellek és végeelem módszer alapján kapott eredményekkel hasonlítottam össze. Megmutattam, hogy a megoldás a kívánt pontosságot biztosítja.

3.2 A levezetett képleteket egyirányú szálakkal erősített, üveg/poliészter típusú kompozit ELS, ONF, SCB és SLB próbatesteken végzett kísérletek kiértékelésére használtam fel. A képletek minden esetben igen jó egyezést mutattak a mért rugóállandó értékeivel.

4. Tézis

Kidolgoztam az un. over-leg bending (OLB) próbatestet, amely a szakirodalomban ismert single-leg bending (SLB) típusú próbatest módosított változata. Az OLB teszt a vegyes I/II-es módú rétegeközi szilárdság vizsgálatára alkalmas.

4.1 Az OLB próbatest esetére levezettem a rugóállandó és a repedésterjedési energia képleteit. A teszt alkalmazhatóságát egyirányú, középsíkban repedéssel rendelkező üvegszál erősítésű poliészter próbatesteken mutattam be.

4.2 Az OLB próbatest előnye, hogy a nagy elmozdulások (amelyek főleg kis hajlító rugalmassági moduluszú kompozit anyagoknál jelentkeznek) elkerülhetőek és a repedés terjedése igen könnyen irányítható (szemben, pl. az eddig ismert SCB és SLB típusú próbatestekkel). Mindemellett a teszt alapvetően lineárisan rugalmas választ ad, így egyszerű kiértékelő módszer használható az adatok feldolgozásához. A teszt hátránya, hogy a módok aránya csak kis mértékben változtatható.

5. Tézis

Rúdmodellt dolgoztam ki az un. száláthidalási jelenség analitikus és kísérleti vizsgálatára a középsíkban repedéssel ellátott hosszú, egyirányú szálakkal erősített próbatestekre I-es törési mód esetén.

5.1 A modell alkalmas az áthidaló szálak számának és a szálakban ébredő erőnek a becslésére. A rúdmodell alkalmazása sok számítást igényel és az eredmény közelítő, de cserébe csak néhány alapvető rugalmassági jellemző szükséges a számításokhoz.

5.2 A modellhez egy numerikus megoldót írtam a MAPLE program segítségével. A modellt egyirányú üveg-poliészter DCB próbatetek mérési adatai alapján alkalmaztam. Az eredmények alapján az áthidaló szálak száma közelítőleg hiperbolikusan csökken a repedés növekedésével, míg az áthidaló szálakban ébredő erő a csúcserő elérése után egy állandósult értékhez közelít. Az eredményeket összehasonlítottam más szerzők által publikált eredményekkel és jelentős hasonlóságot tapasztaltam.

6. Tézis

6.1 Megállapítottam, hogy a repedés megindulásához tartozó kritikus erő értéke a DCB, ELS, SCB és SLB próbateteknél közelítőleg hiperbolikusan csökken a repedési hossz növelésével. Ezzel szemben az ONF és OLB próbateteknél a repedés megindulásakor a kritikus erő közelítőleg parabolikusan függ a repedési hosszától, amely azzal magyarázható, hogy a terhelést excentrikusan vezetjük be a két támaszték között, valamint azzal, hogy az egyenletekben a repedésmentes szakasz hossza jelenik meg a repedés hossza helyett.

6.2 Megállapítottam, hogy a repedés megindulásához tartozó kritikus elmozdulás minden esetben (DCB, ELS, ONF, SCB, SLB és OLB) közelítőleg parabolikusan változik a repedési hosszal. Az ELS és SCB típusú próbateteknél a mérési eredmények alapján kijelöltem a nagy elmozdulások tartományait.

6.3 Az ELS típusú próbatetknél megmutattam, hogy a kritikus elmozdulás legkisebb értéke ($a=0.53L$) és a stabilitási határ ($a\geq 0.55L$) közelítőleg ugyanannál a repedési hosszánál jelentkeznek.