

Részletes szakmai zárójelentés

OTKA T 037324

A kutatás kezdetén feldolgoztuk a szálerősített polimer mátrixú kompozitok károsodási és tönkremeneteli folyamataival foglalkozó szakirodalmat, különös tekintettel a végeselemes módszerek használatára. Áttekintésünket az [3] publikációban foglaltuk össze.

A hosszú szálakkal erősített polimer mátrixú kompozitok esetén leggyakrabban előforduló tönkremeneteli módra, a **rétegszétválásra** mikro- és makro-szintű **végeselem** modellt fejlesztettünk ki. A modell térbeli hexagonális, 8 csomópontos elemekkel dolgozik mind mikro-, mind makro-szinten. A rétegszétválást a rétegek között elhelyezett speciális anyagtvénnyel leírt interfész elemekkel vettük figyelembe. A károsodás előrehaladtával a modell merevsége csökken, a nemlineáris feladat megoldásához iterációs eljárásra van szükség. A számításokhoz a Cosmos/M végeselem programrendszert használtuk. Az eredményeinket a [1],[2],[4] nemzetközi konferenciákon, valamint a [14] folyóirat cikkben mutattuk be.

A rétegszétválás **kísérleti** vizsgálatára eleinte a szakirodalomban elterjedten használt, valamint a szabványosított próbatesteken végeztünk méréseket. A próbatesteket és a gyártásukhoz szükséges szerszámokat saját kivitelezésben állítottuk elő, különös gondot fordítva a megfelelő pontosságra és minőségre. A méréseket a tanszéki laboratóriumban végeztük el, speciális mérőkereteket kellett a szakítógépre felszerelni. A végeselemes analízist alkalmazó kontinuum modell mellett a szakirodalom elterjedten alkalmazza a repedésterjedés modellezésére a **rúdelméletet** is, közelebbről a rugalmasan ágyazott rudak elméletét. Ezt az elméletet fejlesztettük tovább a kísérleti vizsgálatok eredményei alapján, és kimutattuk, hogy az I/II törési módban a Winkler-féle ágyazási modellre épülő számításokat módosítani kell a tisztán I módú rétegek közötti törést leíró elmélettel szemben. A rúdelméleti modell mellett a repedésterjedés modellezésére végeselemes modelleket is alkalmaztunk, ezeket elsősorban az analitikus módszerrel kapott eredmények igazolására használtuk fel. Az elért eredményeket az [5]-[8] cikkek és konferencia előadások mutatják be.

A vegyes I/II törési módban a **repedésfeszítő erő** komponenseinek szétválasztására szolgáló, a szakirodalomból ismert eljárásokat sikerült újabb esetekre kibővíteni azáltal, hogy a Pasternak-féle rugalmas ágyazást is bevezettük. A középsíkjában repedést tartalmazó kompozit rúd rugóállandójának számítására egy pontosított képletet vezettünk le, ennek helyességét háromféle próbatesten elvégzett mérési sorozattal igazoltuk. Ugyancsak az elméleti eredmények alátámasztására felhasználtuk a végeselemes modellezésben rejlő

lehetőségeket is, síkfeszültségi és térbeli végeelem modellekkel igazoltuk a kapott analitikus eredmények jóságát. Az eredményeket bemutató publikációk a [10], [11], [12], [14], [15], [16], [17], [21], [22]. Különösen értékes a szakterület két vezető folyóiratában megjelent [12] és [17] publikációnk.

A szakirodalomban talált különféle alakú próbatestek és vizsgálati módszerek elméleti tanulmányozása és az ezekkel végzett kísérleti munkáink tapasztalatai alapján kialakítottuk az új over-leg bending (OLB) **próbatestet**, amely a single-leg bending (SLB) próbatest módosított változatának tekinthető. Az új próbatest a vegyes I/II módú rétegeközi szilárdság kísérleti meghatározásában előnyösebben alkalmazható, mint az SLB. Különös előnye az új próbatestnek az, hogy nem jönnek létre nagy elmozdulások, az alakváltozás a lineárisan rugalmas tartományban marad. Egyedüli hátránya ennek a próbatestnek, hogy a módok aránya csak kismértékben változtatható. Ezeket az eredményeinket a [10], [18], [19], [20] jelű publikációkban adtuk közre.

Elméleti és kísérleti módszerekkel tanulmányoztuk a repedésterjedés közben fellépő **száláthidalás** jelenségét is, mivel a rétegszétválás közben keletkező, a repedést áthidaló szálak jelentősen befolyásolják a repedés terjedését, főleg az I törési mód esetén. A kifejlesztett analitikus modell is a rúdelméleten alapulva teszi lehetővé az áthidaló szálak számának és a szálakban ébredő erőnek a becslését. A kapott eredmények használhatóságát végeelem modelleken végzett számításaink is alátámasztották. A jelenség vizsgálatára egyirányú szálakkal erősített üveg-poliészter anyagú DCB próbatestekkel kísérleti vizsgálatokat is végeztünk, ezek eredményei az elméleti modell használhatóságát támasztották alá. Ezeket a tudományos eredményeket a [6] és a [13] publikációkban tettük közzé.

Hat féle kialakítású próbatest esetén vizsgáltuk kísérleti módszerekkel azt, hogy a repedésterjedés megindulását előidéző **kritikus erő** hogyan függ a repedési hosszról. Megállapítottuk, hogy a DCB, ELS, SCB és SLB próbatestekre a repedési hossz növelésével hiperbolikusan csökken a kritikus erő, míg az ONF és OLB típusú próbatestekre a kritikus erő és a repedéshossz között a parabolikus összefüggés áll fenn. Ezeket az eredményeket a [8], [11], [12], [16], [19], [21] publikációk tartalmazzák.

Végül fontosnak tartjuk megemlíteni, hogy a kutatási eredmények elérésében Szekrényes András szerzett legnagyobb érdemet, a kutatás tárgyát szinte teljesen lefedő témakörben készült Ph.D. értekezését [15] 2005 tavaszán nyújtotta be, és 2005 október 23-án sikeresen megvédte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Karán, ezzel doktori címet szerzett.