FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

NAGY FORDULATSZÁMÚ KOMPOZIT TÁRCSA FEJLESZTÉSE

Csukat, G., Gaál, J., Rácz, I., Palócz, Zs.

A kutatás fejlesztési munka célja nagy fordulatszámú igénybevételnek kitett tárcsák fejlesztése volt, amelyek egy neutron nyalábot monokromatizáló berendezés u.n. Chopper rendszer alkotó részei. Szakirodalmi adatok alapján a tárcsa anyagául aromás poliamid szállal erősített, epoxi gyanta mátrixú kompozitot választottunk. A mátrixhoz 20% Gd_2O_3 kell adagolni, amely biztosítja a neutron nyalábok 99,99 %-nak elnyelését. Az ék alakú kivágással gyengített kompozit tárcsa feszültség analízisét végelelemes módszerrel is elvégeztük.

A fejlesztési munka eredményeként létrehozott több rétegű, aromás poliamid szövettel és paplannal erősített kompozit tárcsa, számításaink szerint a tervezett magas fordulatszámon szilárdságilag megfelelő.

The aim of of this work was to develop a very fast turning, highly loaded disc, that is part of a neutron beam monochromator, a so called Chopper system. The materials used were an aromatic polyamide as reinforcement and epoxy resin as mátrix. About 20 weight % Gd_2O_3 was added to the mátrix resin to ensure the sufficient, 99.99 % neutron absorption. The stress analyzis of rectangular slot weakend disc was calculated by a FEM method.

The resulting disc, containing several layers of aromatic polyamide woven and nonwoven fabrics, fulfilled the requirements of use.

1. A kompozitok jelentősége

A kompozitok a műszaki célú szerkezeti anyagok legkorszerűbb családját képezik, mivel kis fajlagos tömeg mellett kiváló szilárdsági és merevségi tulajdonságokkal rendelkeznek.

A kompozit olyan szilárd anyagot jelent, amely legalább két, egymásban nem oldódó komponensből áll, melyekből az egyik - a nagy szilárdságú és modulusú - szálak erősítő anyag a rendszerint kisebb szilárdságú, és modulusú mátrixban egyenletesen elosztatott formában helyezkedik el. Az erősítőanyag és a mátrix között erős kapcsolat (adhézió, tapadás) van, amely a deformáció illetve az igénybevétel magas szintjén is tartósan megmarad [1].

2. A tárcsával szemben támasztott követelmények

A kutatás fejlesztési munka célja különböző fordulatszámú igénybevételnek kitett tárcsák fejlesztése volt, amelyek egy neutron nyalábot monokromatizáló berendezés u.n. Chopper rendszer alkotó részei. A tárcsák min. 4 000 max. 15 000 fordulatszámmal forognak a készülékben, az üzemi fordulatszám 14 400. A tárcsák anyagukban neutron elnyelők kell legyenek, 3 mm vastagságúak, 700 mm átmérőjűek és 2 vagy 4 különböző szögű és hosszúságú réssel ellátottak.

3. A tárcsában igénybevételkor ébredő feszültségek

Szakirodalmi adatok alapján a tárcsa anyagául aromás poliamid szállal erősített, epoxi gyanta mátrixú kompozitot választottunk. A mátrixhoz 20% Gd_2O_3 kell adagolni, amely biztosítja a neutron nyalábok 99,99 %-nak elnyelését. A kompozit tárcsa anyagösszetételének (rétegfelépítésének) meghatározásához elemezni kell a forgó tárcsában ébredő feszültségeket. Mivel az anizotrop szerkezetű forgó tárcsában ébredő feszültségek eloszlására nincs zárt alakú összefüggés, ezért első közelítésben egy izotrop, állandó vastagságú tárcsában ébredő feszültségeket határoztuk meg tömör illetve középpontjában átfúrt esetben.

Egy r_k sugarú tömör tárcsa esetén a radiális és tangenciális feszültség eloszlása a sugár mentén az (1), (2) összefüggéssel számolhatók [2]:

$$\sigma_r(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 (r_k^2 - r^2), \quad (1)$$

$$\sigma_t(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left(r_k^2 - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right). \quad (2)$$

Középpontjában r_b sugarú furatos tárcsa esetén, a fenti összefüggések az alábbiak szerint módosulnak:

$$\sigma_r(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left(r_b^2 + r_k^2 - \frac{r_b^2 r_k^2}{r^2} - r^2 \right), \quad (3)$$

$$\sigma_t(r) = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \left(r_b^2 + r_k^2 + \frac{r_b^2 r_k^2}{r^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} r^2 \right). \quad (4)$$

ahol: ν - a Poisson tényező, $\nu=0,3$

ρ - a tárcsa anyagának sűrűsége

$\omega = \frac{v_k}{r}$ szögsebesség, $v_k = d\pi n$ kerületi sebesség, n -fordulatszám

A fenti képletek alapján megállapítható, hogy a radiális és tangenciális feszültségek csak a fordulatszámtól és a tárcsa anyagának sűrűségétől függenek. A két feszültségből számolható a Huber - Mieses - Hencky féle egyenértékű-feszültség (a továbbiakban HMMH feszültség) az (5) összefüggés szerint, ha a tárcsa síkjára merőlegesen ébredő feszültséget zérusnak tekintjük:

$$\sigma_{HMMH} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t}$$
 (5)

Előző munkáinkból ismert az aromás poliamid szálak kompozit sűrűsége (értéke $\rho \approx 1,4 \text{ g/cm}^3$), így a maximális fordulattal számolva a tömör tárcsában a feszültség maximális értéke $\sigma_{HMMH, \text{max}} = 251,5 \text{ Mpa}$.

A (3) és (4) összefüggésekkel számolva, 50 mm átmérőjű furat esetén, a maximális fordulaton a tárcsában ébredő feszültségek maximum értéke $\sigma_{HMMH, \text{max}} = 442 \text{ MPa}$.

Számításaink alapján előre látható, hogy a tárcsába képzett rések további feszültség koncentráló helyek lesznek.

4. A kompozit anyagjellemzőinek meghatározása

A kompozit mátrixa CIBA LY 5082 típusú epoxi gyanta volt, a katalizator LY 5083 Härter, az erősítő rendszer NEEDLONA KR122 márkanevű aromás poliamid nem szőtt paplan és KEVLAR szövet volt. Ahhoz, hogy megfelelő szilárdságú kompozitot állítsunk elő, több különböző rétegfelépítésű kompozitot vizsgáltunk. A szálerősített kompozitokra jellemző, hogy tulajdonságaik erősen irányfüggőek. így például ha az erősítő rendszer szövet, úgy a kompozit szilárdsága lán- és vetülékirányban lényegesen nagyobb, mint egyéb irányokban. Az általunk első körben előállított különböző rétegfelépítésű laminátok szakító szilárdságainak irányfüggőségét az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Minta	Vizsgált irány	$\rho \text{ [g/cm}^3\text{]}$	$\psi \text{ [%]}$	$\sigma_s \text{ [MPa]}$
10 réteg 110 g/m ² Kevlar szövet	lán	1,26	46	297
	vetülék			256
	45°			221
4 réteg 185 g/m ² Kevlar szövet	vetülék	1,25	54	350
	45°			103
4 réteg 185 g/m ² Kevlar szövet + Gd ₂ O ₃	vetülék	1,53	34	340
	45°			107

1. táblázat: Különböző rétegfelépítésű kompozitok szilárdsági jellemzői

ahol: ρ - a kompozit sűrűsége;
 ψ - a kompozit száltartalma térfogatszázalékban;
 σ_s - a kompozit szakítószilárdsága.
Annak érdekében, hogy csökkentsük a kompozit szilárdsági anizotrópiáját, egymáshoz képest elforgatott szövetrétegekkel laminátot készítettünk. A 2. táblázat tartalmazza annak a kompozitnak a

szilárdsági jellemzőit, amelyben a 10 szövetréteg láncfonalai a következő irányokat veszik fel: 0°; 22,5°; 45°; 67,5°; 90°; 90°; 67,5°; 45°; 22,5°; 0°.

Minta	Vizsgált irány	ρ [g/cm ³]	ψ [%]	σ_s [MPa]
10 réteg 110 g/m ² Kevlar szövet, forgatott + Gd ₂ O ₃	0°	1,42	56	370
	90°			355
	45°			310

2. táblázat: Forgatott szövetrétegű kompozit szilárdsági jellemzői

A további kísérleteink azt mutatták, hogy a szakítószilárdság tovább növelhető, ha a kompozit előállítása során 2-3 bar nyomást alkalmazunk. A fenti rétegfelépítésű kompozit szakítószilárdsága így elérheti a 400 - 450 MPa értéket is.

5. A tárcsa szilárdsági vizsgálata végeselemes módszerrel

Az ék alakú kivágással gyengített kompozit tárcsa feszültség analízisét végeselemes módszerrel végeztük. A numerikus szilárdsági vizsgálatok során kiderült, hogy az üzemi fordulatszámon ébredő maximális HMH feszültségek a tárcsa kialakításoktól függően jelentősen eltérnek egymástól, értékeik 370-539 MPa között mozognak. A két réssel gyengített tárcsák esetén, a nagyobb nyílásszögű ékkel ellátott tárcsákban ébred kisebb feszültség, míg a négy réssel ellátott tárcsa esetén, a tárcsa pereméig kifutó rés ad kedvezőbb eredményt. A belső furat hatása függ a többi paramétertől. A feszültségeloszlás ábrák azt mutatják, hogy a nagy feszültségek lokálisan, a gyengítés tövénél ébrednek. A tárcsa anyagára érvényes rugalmassági határt figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy vannak olyan kialakítású tárcsák, amelyeknél nem kell képlékeny alakváltozástól tartani.

6. A kivitelezés

A kivitelezés során problémát okozott, hogy a Gd₂O₃ gyorsítja az epoxi gyanta térhálósodását. Több ember szakszerű, egyidejű munkáját igényelte a rétegek átítatása, és a kompozit gyors előállítása úgy, hogy a térhálósodás már nyomás alatt történjen. A tárcsa végeleges geometriai kialakítása vízsugaras vágással történt. A tárcsa statikus és dinamikus kiegyensúlyozását külső cég végezte el.

Az aromás poliamid szállal erősített kompozit tárcsa szilárdság szempontjából megfelelt az elvárásoknak, azonban merevség szempontjából nem tökéletes, ezért a fejlesztést folytatva, tervezzük a tárcsa elkészítését szénszövet erősítéssel.

[1] - Czvikovszky, T., Nagy, P., Gaál, J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Bp., 2000
[2] - Muttyánszky, Á.: Szilárdságtan, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1981