

Kompozit anyagok modellezési lehetőségei

Modeling Opportunities for Composite Materials

Varga Tamás Antal¹, dr. Mankovits Tamás²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4, <https://mecheng.unideb.hu/>

Abstract

Composite materials is crucial in engineering applications as they are increasingly used in various industries. Finite element simulation allows the prediction of the behaviour of complex materials under different loading conditions. Different types of finite elements can be used to model composite materials, such as fibre models, laminate models or even real models after injection moulding simulation. These models allow the description of the layered structure and fibres of composite materials, from which the appropriate material parameters are set. The choice of material model is critical in finite element modelling of composites. Commonly used models include anisotropic material models, which allow differentiation of material behaviour in different directions. These material models adequately describe the strength and stiffness properties present in composite materials.

Keywords: composite material, composite modeling, sfrp material, finite element analysis

Kivonat

A kompozit anyagok kulcsfontosságúak a mérnöki alkalmazásokban, mivel egyre többet alkalmaznak különböző iparágakban. A kompozitok végelem szimulációja lehetővé teszi a bonyolult anyagok viselkedésének előrejelzését különböző terhelési feltételek mellett. Különböző típusú végelemek alkalmazhatók a kompozit anyagok modellezésében, például szálmódellek, rétegmodellek, vagy akár valós modellek fröccsöntési szimuláció után. Ezek a modellek lehetővé teszik a kompozit anyagok rétegszerkezetének és szálainak leírását, amelyek alapján beállíthatók a megfelelő anyagparaméterek. Az anyagmodell kiválasztása kulcsfontosságú a kompozit anyagok végelem modellezésében. Gyakran használt modellek közé tartoznak az anizotróp anyagmodellek, amelyek lehetővé teszik az anyag viselkedésének differenciálását különböző irányokban. Ezek az anyagmodellek megfelelően írják le a kompozit anyagokban jelenlévő szilárdsági és merevségi tulajdonságokat.

Kulcsszavak: kompozit, kompozit modellezése, rövid szálerősítésű kompozit anyag, végelem szimuláció

1. BEVEZETÉS

A kompozit anyagok napjainkban egyre elterjedtebbek az autóiparban, repülőgépiparban, vagy akár űriparban. [1-2] A kompozit anyagok olyan összetett anyagok, amelyek két vagy több különböző szerkezetű és makro-, mikro- vagy nanoméretben elkülönülő anyagkombinációkból épülnek fel a hasznos tulajdonságok kiemelésé és a káros tulajdonságok csökkentése céljából. Előnyei közé tartozik az, hogy a sűrűsége kicsi, míg a szilárdsága nagy az erősítő anyagoknak köszönhetően. Ezek az erősítő szálak lehetnek üvegszál, szénszál, vagy akár kevlár is. Hátrányai közé tartozik, hogy az alapanyaga drága és nem minden esetben termelékeny. Ebből kifolyólag számos olyan helyen alkalmazzák, ahol fontos az alkatrészek tömege és súlycsökkentése a szilárdságtani tulajdonságok megőrzésé mellett.

A kompozitok szilárdságtani modellezése végelem szimulációval is lehetséges, amely fejlesztési iparágakban egyre nagyobb jelentőséggel bír. Ezen szimulációknak köszönhetően jelentősen csökkenteni lehet a fejlesztési időt és a prototípusok számát és annak költségeit. [2-3]

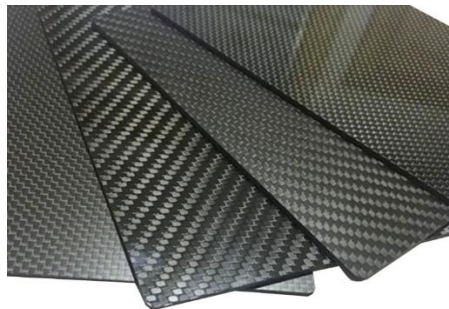
A továbbiakban kívánjuk bemutatni a különböző kompozitok végelem modellezési lehetőségeit.

2. SZÁLERŐSÍTETT KOMPOZITOK CSOPORTOSÍTÁSA

A kompozit alkatrészeket számos tulajdonság alapján lehet csoportosítani, viszont mi most jelenleg a modellezések kapcsán a legjelentősebb, szálhosszak és azok elrendezkedése alapján fogjuk csoportosítani.

2.1. Egyirányú szálerősítésű kompozit

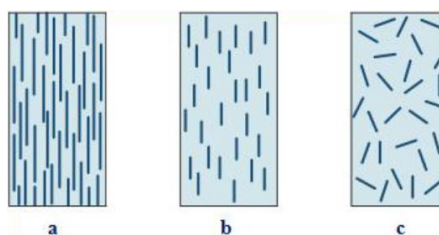
Az egyirányú szálerősítésű kompozitoknál a szálak hossza a szál átmérőjéhez képest jelentősen (legalább 50x) hosszabb és a szálak rendezettek, vagy akár szöttek is lehetnek. A kereskedelmi forgalomban rendelkezésre állnak a szálak erősítőanyagok különböző rendezettségi formákban is. Az egydimenziós (1D) kategóriába tartoznak a kötegek és szalagok, míg a kétdimenziós (2D) csoportba sorolhatók a szött (1. ábra) és nem szött textíliák, valamint a kötött textíliák. A háromdimenziós (3D) kompozitok közé tartoznak a tűzött kelmék, amelyekben az erősítőanyag mindhárom irányba eloszlik, valamint a rétegvastagság irányában is jelen van erősítőanyag, ezáltal létrehozva a 3D-s kompozitokat. Az erősítőanyagok rendezettsége irányítja az orientációt, lehetővé téve a kompozitok előnyeinek kihasználását a terhelés ismert irányában. [4]



1. ábra. Szénszál szött háló

2.2. Rövidszálas kompozitok (SFRP)

Rövidszál erősítésű kompozitoknál a szálak méretéből adódóan a szálelrendeződési formája többféle lehet. Előfordulnak rendezett folytonos struktúra is, de véletlen szerű is. Ebből kifolyólag ezen kompozit anyagok szilárdsága jelentősen függ a szálak rendeződésétől, mivel ezen kompozitok általában szálirányban a merevek. Ezen kompozitból készített alkatrészeket leggyakrabban fröccsöntéssel állítják elő, így sokkal termelékenyebb tud lenni, mint az hosszú szálerősítéses kompozitok. Ez által a fröccsöntő szerszám kialakítása határozza meg a szálak rendeződését és az alkatrész szilárdságát.



2. ábra. Lehetséges szálelrendeződési formák kompozitokban [4]
 a) folytonos szálerősítés, b) nem folytonos irányított szálerősítés,
 c) nem folytonos, véletlenszerű elrendeződés

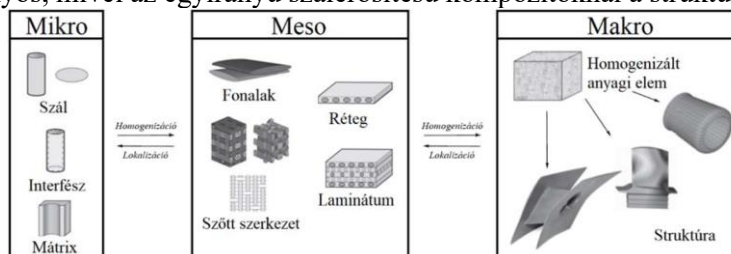
3. EGYIRÁNYÚ SZÁLERŐSÍTÉSŰ KOMPOZITOK MODELLEZÉSE

Az egyirányú szálerősített kompozitok szimulációjának számos módja van, attól függően, hogy mennyire akarjuk komplexen modellezni azt. A modellezési forma kiválasztásának függvénye a szövet formája és annak rendezettsége. A 3. ábra szemlélteti a három modellezési lehetőséget.

Az első megközelítés a makro modell, amelyben a teljes kompozit szerkezetet egyetlen anyagnak tekintjük, és ortotróp anyagmodellt alkalmazunk rá. Ezeket előszeretettel alkalmazzák szött hálók modellezésére, ahol az erősítő anyag rendezett mátrix. Az ilyen szerkezetből egy mintát szoktak csak megvizsgálni és annak a fizikai tulajdonságait vetítik a teljes modellre.

A második, részletesebb megközelítés a meso modell, ahol külön anyagokként kezeljük a mátrixot és a szálerősítést, azaz külön anyagmodellekkel határozzuk meg az anyagok tulajdonságait. A kompozit szerkezet felépítését egy egységcellára egyszerűsítjük, ami meghatározza az építőelemek egymáshoz viszonyított arányát és geometriai elrendezését. Az egységcella mechanikai tulajdonságait a geometria és az anyagok paramétereinek ismeretében kiszámíthatjuk. A szimuláció során a modell hasonlóan épül fel, mint a makro szimuláció esetében, de az egységcellán kiszámított mechanikai tulajdonságokat elemi szinten alkalmazzuk. Így egy ún. többszintű (Multiscale) modell jön létre.

Az utolsó, és egyben legpontosabb, de a legnagyobb számítási kapacitást igénylő módszer a kompozit teljes mikrostruktúrájának modellezése. A gyakorlatban a számítási igénye és komplexitása miatt ez a módszer általában kevésbé előnyös, mivel az egyirányú szálerősítésű kompozitoknál a struktúra homogén. [5-6]



3. ábra. Egyirányú kompozitok modellezési lehetőségei [5-6]

A modellezési eljárások közül a meso modell kellően pontos eredményeket tud szolgáltatni a kompozit szendvics szerkezeteknél, mivel itt a különböző rétegek tulajdonságai pontosan kimérhetőek. Meglátásunk szerint ezt a módszert a legalkalmasabb használni. A jövőben a meso modelleken kívülről érzékenység vizsgálatokat elvégezni, illetve megfelelőségét vizsgálni különböző próbatesteken, alkatrészeken.

4. RÖVID SZÁLERŐSÍTÉSŰ KOMPOZITOK MODELLEZÉSE

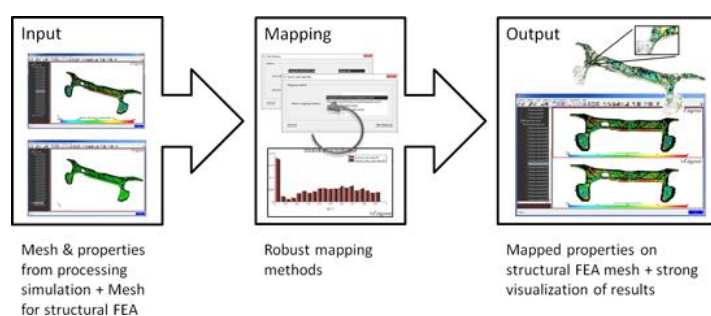
A rövidszálerősítésű kompozitok modellezése sokkal bonyolultabb, mint a korábban bemutatott hosszú szálerősítésű kompozitoké, mivel itt a szálak elrendeződése nem homogén. Ennek modellezésére kettő módszert kívánunk bemutatni, egy egyszerűsített modellezési lehetőséget, illetve egy komplex, több szimuláción alapuló módszert.

4.1. Feszültség csökkentés

Az SFRP rövid szálerősítésű anyagok esetében a kereskedelemben kapható alapanyagoknál meg vannak határozva az isotropikus és az elastoplasztikus anyagtulajdonságok különböző orientációk esetében. Itt a 0°-os szálorientációnál lévő feszültség értékeket szokás lecsökkenteni (általában 80%)-ra. Egy ilyen egyszerűsítési eljárással az alkatrész geometriájára a csökkentett anyagtulajdonságot szokás alkalmazni és vizsgálni azt végelem szimulációval. [7-8]

4.2. Szálorientáció szimulációja és hozzárendelése a végelem szimulációhoz

A rövid szálerősítésű kompozitok esetén a szálak rendezetlenségéből kifolyólag a legpontosabb eredményt a szálak orientációjának meghatározásán alapuló végelem szimulációval érhetjük el. Ezen eljárás elége időigényes és több szoftver használata is szükséges, viszont ezzel érhetjük el a legpontosabb eredményeket. A 4. ábrán látható, hogy ezen komplex szimuláció milyen lépésekből épül fel.



4. ábra. SFRP alkatrész szimulációja szálorientáció alapján [9]

Első lépésként a gyártás (fröccsöntés) szimulációját kell elvégezni, amely során a megkapjuk azt, hogy az adott alkatrészben a szálak orientációja pontosan hogyan is helyezkednek el. Ezen információkat felhasználva tudjuk pontosítani majd a hozzá tartozó anyagtulajdonságot. Ilyen szimulációkat különböző fröccsöntési szimulációs szoftverekkel lehet elvégezni, például a Moldflow-al. Ezzel párhuzamosan el kell készítenünk az alkatrész szilárdságtani szimulációját is, például Patran, Altair, vagy Abaqus szoftverrel.

Második lépésként a Digimat szoftver segítségével meg tudjuk határozni az SFRP anyagmodellünket a különböző szálorientációkhoz és ezeket az anyagtulajdonságokat hozzá tudjuk rendelni a fröccsöntési szimulációból megkapott szálorientációhoz és a szilárdságtani szimulációban lévő végeelem hálózathoz. Ezt követően a szoftver minden egyes végeelemhez hozzá rendeli a szálorientációhoz tartozó tulajdonságokat.

Végezetül a pontos anyagtulajdonságok segítségével megkapjuk a frissített szilárdságtani szimulációnk eredményét, amely a szálorientációk függvényében futott le. Ezen eljárás segítségével kapjuk meg a legrealisztikusabb szilárdságát az alkatrésznek. Ezen szimuláció eléggé bonyolult, költséges a szoftverek miatt és számos számítási igényt is igényel. [10]

A rövid szálerősítésű kompozit anyagok esetén meglátásunk szerint a komplex szálorientáción alapuló végeelem szimuláció a legmegfelelőbb modellezési forma, mivel így lehet teljes bizonyosságot szerezni arról, hogy az alkatrészünk megfelelő szilárdsági tulajdonságokkal bír. Továbbá ezen típusú anyagokat tömeggyártásban alkalmazzák, így ez a komplex szimuláció során felmerülő költség elfogadható és beépíthető a gyártószerszám magas összegű tervezési és gyártási költségébe.

5. ÖSSZEGZÉS

A korábbiakban megvizsgáltuk, hogy a szálerősítéses kompozitokat milyen módon lehet csoportosítani anyagszerkezetük alapján és ezt követően bemutattuk, hogy az egyes csoportokon milyen módon lehetséges vizsgálni végeelem szoftverek segítségével. Elmondható, hogy az egyirányú szálerősítéses kompozitokat legcélszerűbb meso modellel vizsgálni, ahol a szerkezet különböző alkotóelemeit (szendvicsszerkezet részeit) külön tudjuk parametrizálni és modellezni. Az SFRP rövid szálerősítéses kompozitok szimulációjánál a legpontosabb eredményt a komplex fröccsöntési szimuláción alapuló szálorientációs szilárdságtani végeelem szimuláció alapján kapjuk meg. Ez a szimuláció adja számunkra a legpontosabb eredményt, viszont sajnos ez eléggé költségigényes a hozzá szükséges szoftverek és számítási idők alapján, viszont az ipari alkalmazási területein ez a költség a magas darabszám miatt elenyésző. A jövőben különböző érzékenységi és pontossági vizsgálatokat kívánunk elvégezni a fent említett két szimulációs eljárás kapcsán.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Puran S., Raghavender V., Sudhir J., Nikale Pooja V., Ankita A. Amandeep N., Alaa jasim Abd al-saheb. *Composite material: A review over current development and automotive application*
- [2] Nurhaniza M., Ariffin M.K.A., Aidy Ali, Mustapha F., Noraini A. W. *Finite element analysis of composites materials for aerospace applications*
- [3] Li F.S., Gao W.C., Liu W., Yang X.W. *Coupling of single-layer material point peridynamics and finite element method for analyzing the fracture behavior of composite laminates*
- [4] Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kar Polimertechnika Tanszék – Kompozitok. Budapest, 2018.
- [5] Aboudi J, Arnold SM, Bednarcyk BA. *Micromechanics of Composite Materials*. Elsevier; 2013.
- [6] File M., Balogh G., Huri D., Major Z., Mankovits T. *Egyirányú szálerősítésű kompozit alapanyag multiscale modellezése*
- [7] Joan Pere L., Pere M.,M. Àngels P., Nour-Eddine El M., Sami B., Fabiola V. *Analysis of the tensile modulus of polypropylene composites reinforced with stone groundwood fibers*
- [8] Halpin, C.J., Pagano, N.J. *The Laminate Approximation for Randomly Ori-ented Fibrous Composites*. Air Force Materials Laboratory. 1969.
- [9] https://d2f709itdech1g.cloudfront.net/sites/default/files/inline-images/image001_548px-wide_1.png
- [10] Alexandru I., Micota D., Viorel U., Liviu M. *Numerical investigation on the influence of fiber orientation mapping procedure to the mechanical response of short-fiber reinforced composites using Moldflow, Digimat and Ansys software*