

Karbon kompozit monocoque vázszerkezet tervezése Design process of a carbon monocoque chassis

1. SZÉKELY Béla 2. HAÁSZ Ákos

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gépészmérnöki Kara
H-1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-9. K. épület I. emelet 24.
<http://www.bme.hu>

1. tel.: +36306027806 e-mail: szekelybela88@gmail.com
2. tel.: +36303276893 e-mail: akos.haasz@gmail.com

Abstract

The presentation covers the design and FEA analysis of the carbon composite monocoque chassis of a BME Formula Racing Team racecar. It presents the available construction alternatives and the decision process then details the mechanical tests preceding the simulations. After introducing the design process, it presents the FEA analyses performed on the resulting modell. Gives a short description of the future manufacturing technology, then presents the design of the impact element.

Összefoglaló

Az előadás bemutatja a BME Formula Racing Team karbon kompozit monocoque vázszerkezetének tervezését és végeselemes szimulációját. A kínálgzó alternatívák és a közülük történő választás bemutatása után részletezi a szimulációt előkészítő mechanikai vizsgálatokat. Az ezzel párhuzamosan futó tervezés folyamatnak leírása után bemutatja a modellen végzett végeselemes vizsgálatokat. Kitér a jövőbeni gyártás technológiájára, majd az energiaeinyelő elem tervezésére.

Kulcsszavak

CAD/CAX, karbon, formula student, váz, monocoque

1. A BME FORMULA RACING TEAM BEMUTATÁSA

A BME - FRT 2007 első hónapjaiban alakult azzal a céllal, hogy sikeresen vegyen részt a Formula Student nemzetközi versenysorozatban, és ezzel hagyományt teremtsen a BME-n és Magyarországon is, melynek eredményeként már megalakult egy második csapat is Kecskeméten. A versenysorozaton részt vevő csapatok versenyautó-tervezésben, valamint a köré felépített teljes üzleti koncepció kidolgozásában mérik össze a tudásukat.

Távlati célunk, hogy a projekten keresztül javítsuk az oktatás színvonalát, a hallgatókat jobban felkészítsük egy „igazi” cégnél történő munkára a való világ diktálta problémák megoldásán keresztül. Csapatunk közlekedésmérnöki, gépészmérnöki, villamosmérnöki és a gazdaságtudományi kar hallgatóiból áll, mivel a versenyautó megépítéséhez e négy kar által képviselt ismeretek együttesen szükségesek.

2. A DOLGOZAT TÉMÁJA

A dolgozatunk a BME Formula Racing Team 2011-es C2-es tervezett versenyautójába szánt monocoque szerkezetű váz tervezését és végeselemes szimulációját tárgyalja. Célja a tervezés kezdeti feltételeinek feldolgozása, ezek alapján a hiányzó információk/adatok megszerzése, a vázszerkezet megtervezése, és párhuzamosan annak végeselemes analízise az optimális topológia kialakítása érdekében. A feladat végrehajtása során számos ponton az eredmények visszacsatolására volt szükség; mérések, mechanikai vizsgálatok formájában.

3. TOP-DOWN DESIGN-FILOZÓFIA

A Top-Down tervezési módszer a CAD-modellek stabilitása és a hatékonyabb csoportmunka érdekében szakít a hagyományos (Bottom-Up) módszerrel, amely szerint a modellek azok feature-eik mentén kapcsolódnak össze. A csapat által is használt módszer a modell „vázának” (skeletonjának) referenciapontjait használja fel az alkatrészek összekényszerítésére.

3.1. Skeleton

A Skeleton-modell nem más, mint egy központi referencialista, a Top-Down tervezési filozófia gerince, a magas fokú csoportmunka teszi nélkülözhetetlenné. Feladata, hogy biztosítsa és mindenki számára elérhetővé tegye a fejlesztések során az adott tervező környezetben (Pro/Engineer WF5.0) az alkatrészek fő elhelyezkedési tartományát, csatlakozási pontokat, egyéb geometriai kikötéseket. Többnyire koordináta pontokból, vonalakból, síkokból, felületekből áll. A részegységek tervezésének kezdetekor ezek a referenciák kerülnek kiosztásra, a konstruktőrök között, ők erre építik fel az alkatrészek modelljeit. Az ütemtervben meghatározott Skeleton Freeze után a skeleton elmei nem, de méretei változhatnak, de csak akkor mértékben, hogy a rá épített alkatrészek még stabilak maradjanak.

4. EGY VERSENYAUTÓ VÁZA

A jármű váza nem más, mint az egyes alkatrészek összekapcsolásáért, hordozásáért felelős gépelem. Az egyik legigényesebb alkatrész, hiszen valamilyen módon minden alkatrész kapcsolódik hozzá, így helyes, pontos kialakítása a teljes jármű helyes felépítését és működését befolyásolja. Feladata az elemek rögzítésén túl azok megfelelő pozícióban tartása és a versenyautó járműdinamikai tulajdonságainak megfelelő befolyásolása, valamint a biztonsági merevítés megvalósítása baleset okozta túlterhelés esetére. Tervezése és gyártása során törekedni kell a minimális tömegre és költségre, a gyors gyárthatóságra és javíthatóságra, és mindenekelőtt a versenyszabályzatnak való megfelelésre.

4.1. Fém csőváz

A motorsport kezdetétől használt megoldás háromszögeléssel biztosítja a terhelés átadását, és hogy a csomópontokban ne keletkezzen hajlítónyomaték. Nagy népszerűségnek örvend alacsony költségei, kiforrott méretezése és a hozzá kapcsolódó tudásanyag miatt.

A csőváza nézve legkritikusabb tönkremeneteli mód a nyomott csövek kihajlása, így erre kell méretezni, és vizsgálandó a háromszögelés ellenére fellépő hajlítás hatása is. Mindezek a biztos és könnyen előállítható szimulációs eredményeknek köszönhetően igen pontosan vizsgálhatók.

4.2. Karbon kompozit monocoque szerkezet

A monocoque szerkezet egy héjelemekből felépülő önhordó vázszerkezet, melynek használata teljesen kiváltja a hagyományos csőváz-burkolat kombináció feladatát, vagy *a csővázat csak néhány igen nagy terhelésű helyen (általában motor felfogatásnál) megtartva váltja ki azt*. A héjszerkezet teherbírását és könnyítését is egyben több réteg egymásra laminálása mellett szendvicsszerkezet alkalmazásával és a karbon ortotrópiájának felhasználásával érhető el, sőt a hagyományos kötőelemek is elhagyhatóak. Ennek érdekében a lehető legnagyobb részt kell egy laminátumként elkészíteni. A karbon kompozit anyag felhasználásával készült monocoque szerkezet először a repülőgépiparban, majd a Forma-1-ben terjedt el, onnan pedig napjainkban már a közúti járművekbe is.

A lehetőségek számos szempont szerinti vizsgálata egy hibrid, azaz a motortartó csővázat is megtartó monocoque szerkezet kiválasztását eredményezte.

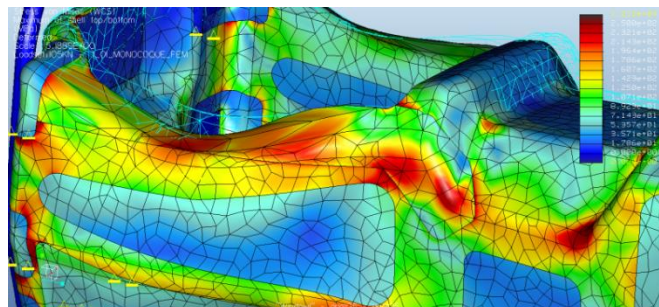
5. ANYAGTÖRVÉNYEK

A vizsgálandó geometria kialakításán túl feladatunk volt egy felhasználható anyagtörvény közelítő meghatározása a lineáris statikus VEM-analízishez. A karbon kompozit anyag a fémek izotróp (minden irányban megegyező tulajdonságú) anyagtörvényével szemben ortotróp (azaz irányfüggő) anyagtörvényt követ, így modellezése és szimulációja komoly nehézségekbe ütközik hagyományos végelelemes programokkal. A szimuláció megkezdése előtt a mért

anyagtulajdonságokat izotrópként felhasználva azokat valós vizsgálattal validáltuk, majd azokat felhasználva folytattuk le a végeselemes vizsgálatokat.

6. MODELLEZÉS ÉS SZIMULÁCIÓ

A layout szintű tervezés után, a futóműbekötés pontok meghatározása után, a koncepcionális vázlatok, a formatervek, valamint az alkatrészek bekötési pontjai alapján kezdtük meg a geometria kialakítását különböző felületmodellezési módszerekkel. A monocoque szerkezethez aztán megterveztük a motorfelfogató hátsó csőszerkezetet, majd beépítettük az alkatrészeket, melyekről kész modellel rendelkezünk. A szerkezet végeselemes vizsgálatát és optimalítását ez alapján meg tudtuk kezdeni.



1. ábra

A vázszerkezet szimulációjának egy eredménye

Az aktív erőket és a peremfeltételeket a legrosszabb esetre határoztuk meg. Ha ezeknek a feltételeknek megfelel, akkor okkal feltételezhető, hogy a többi esetnek is megfelel minimális módosítással, persze később mindegyik esetet egyenként módszeresen ellenőriztünk. A váz hátsó fele csavarkötéssel, összesen 12darab M8-as, Grade 12,9-es csavarral van rögzítve a váz elülső részéhez. Az első futtatások után jól láthattuk, hogy egyes helyeken további megerősítéseket igényel a szerkezet, ezért régiókat hoztunk létre, a szimulációk eredményeinek megfelelően, kisebb feszültségek és nagyobb merevség érdekében. Ezeknek a régióknak a létjogosultságát topológiai optimalással is sikerült igazolnunk. Többlépéses iteráció során eljutottunk a közel végleges geometriához, amely megfelel az összes terhelési esetnek. Az optimalás során közel 4 hónap alatt körülbelül 350 iterációs folyamat történt.

7. GYÁRTÁS

A Silverstone-i versenyen számot kellett adni a tervek mellett a gyártástechnológiáról is. A leggyártásra több ma ismert technológia is létezik, mi azonban a pozitív mintát és a karbon kompozit szerszámozást választottuk.

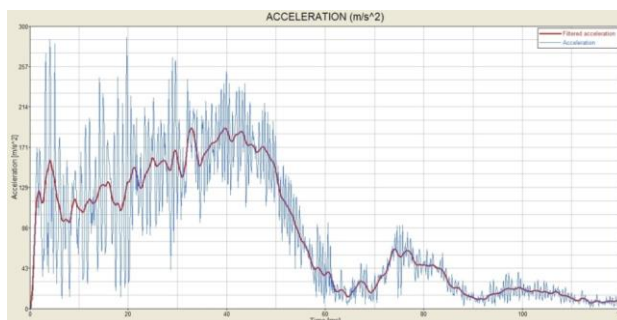
A gyártás megkezdésének első lépése, hogy az ősmintát "tooling block"-ból kimarjuk. A CFRP (carbon fibre reinforced plastic) szerszámokat erre lamináljuk rá, amelyet később összezsavarozva arra használunk fel, hogy megadja a monocoque külső felületét és a szerkezet alakját, ez a kompozit szerszám. Azért választottuk, a ősmintás – negatív szerszámozást, hogy a külső felület a lehető legjobb minőségű lehessen. Miután a vázszerkezet anyagát fellamináltuk a negatív szerszámmra, 90 percre, 130°C on térhálósítani kell autoclavban, vákuumzsákozva, hogy a lehető legjobb mechanikai tulajdonságukat tudjuk elérni.

8. ENERGIAELNYELŐ ELEM (IMPACT ELEMENT):

A versenyben hatályos mindenkori FSAE szabályzat előírja egy energia elnyelő elem (impact element) elhelyezését a váz, ez esetben a monocoque első részén. Az alkatrésznek el kell nyelnie 7350J energiát – amely 300kg 7m/s-al haladó tömeg mozgási energiája –, valamint a lassulás maximuma nem érheti el a 40 g értéket, az átlag pedig a 20 g-t.

A csapat eddig PUR habból készült alkatrészeket használt mind a 4 autójában, azonban ezek nehezek voltak, illetve burkolóelemről is gondoskodni kellett, amely további plusz tömeget jelentett. Ha héjszerkezetű, „önhordó” lenne akkor tehát jelentős tömeget lehetne megtakarítani vele.

A vizsgálathoz, optimalizáláshoz a statikus lineáris véges-elemes programokkal szemben (Pro/Mechanica, Ansys, Solidworks/Cosmos) dinamikus véges-elemes programot, továbbá ANSA-t és PamCrash megoldót használtunk, mert a feladat ezt igényelte. Ebben Csiszár András mérnökirodája, a MESHINING Engineering volt segítségünkre.



2. ábra

Az impact elem törésének vizsgálatakor kapott gyorsulási diagram

A monocoquehoz tartozó impact végül 8 szövet rétegű 0-45-90-135-0-45-90-135 szálorientációval, összesen 2mm-es vastagsággal lett végleges. Az impact minden követelménynek megfelelt a vizsgálatok alapján, tömege csupán 985 gramm lett, amely töredéke az előző évekhez képest.

9. EREDMÉNYEK ÉS ÖSSZEFOGLALÁS

A tervezett monocoque szerkezet 29,7 kg-os lett, amivel 10%-os tömegcsökkenést értünk el a 2011-ben megépült csővázhoz képest (2010 és 2011 között 5%-os tömegcsökkentés), és további potenciál rejtőzik még az optimalálásban. A monocoque-ra épülő versenyautó terveit a 2011-es, Silverstone-ban megrendezett Formula Student versenyen mérettettük meg, ahol a kategóriánk második helyét szereztük meg a nemzetközi mezőnyben. A konstrukciót a 2011-es Tudományos Diákköri Konferencián is bemutattuk, amit a szekciónk első helyével díjaztak.

A vázszerkezet további optimalálásával, az új szerkezet gyárthatóvá tervezésével és gyártásával a következő években az előadásban szereplő konstrukción alapuló vázszerkezet megvalósul. Ezt még számos szimulációs és még több valós vizsgálat fogja megelőzni, hogy a végleges kialakítás megfelelőségéről meggyőződjünk.

9.1. Összefoglalás

A konstrukció csapatunk első saját tervezésű teherhordó kompozit alkatrésze. Munkánk során a kompozit szimuláció számos nehézségére derült fény, valamint a pontosabb anyagtörvények megismerése is felmerült, mint jövőbeni feladat. A feladat elvégzésének tapasztalatai megalapozták a csapat jövőbeni kompozit konstrukcióinak tervezését. Az impact tervezését már egy alaposabb vizsgálati folyamat kísérte, melynek validálása az alkatrész próbadarabjain végzett tesztekkel történik majd.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához, létrejöttét támogatja a BME Tudományos Diákköri Bizottsága. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0009 program támogatja.

11. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Anthony O'neil, Chassis design for SAE racer, disszertáció, 2005 [1]
- Carroll Smith, Engineer to Win – Understanding Race Car Dynamics, MBI Publishing, St. Paul, 1984 [2]
- Paul Lamar, Monocoque, Sports Car Graphic, Petersen Publishing Company, Július 1966 [3]
- SAE International, 2011 Formula SAE Rules, SAE International, USA, 2011 [4]