

FÜGGVAS INTUITÍV ÉS SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT TOPOLÓGIAI OPTIMÁLÁSA ÉS VÉGESELEMES ANALÍZISE

MANUALLY AND COMPUTER AIDED TOPOLOGY OPTIMIZATION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SUSPENSION CLIP

*Jónás Szabolcs, Krizsma Szabolcs, Dr. Felhős Dávid – Knorr-Bremse Vasúti Járműrendszerek
Hungária Kft.*

ÖSSZEFOGLALÁS.

Az alábbi tanulmány egy hagyományos vasúti fékegység felfüggesztő elemének, a függvasnak az optimalizációs folyamatát taglalja. A vizsgált és optimalizált függvas a legújabb fejlesztésű konvencionális fékegységeket a forgóvázhoz rögzítő eleme. A célunk az volt, hogy egy tömegcsökkentett és egyben szilárdságilag is megfelelő, 3D fém nyomtatással gyártható alkatrészt fejlesszünk.

ABSTRACT.

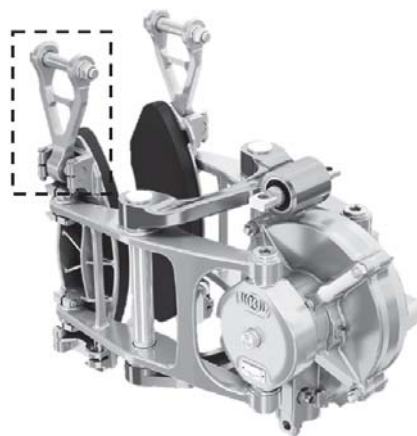
In this study the topology optimization process of a conventional brake caliper unit's suspension clip is presented. The presented part is the suspension clip of our latest conventional brake caliper unit design which connects the brake unit to the bogie. The aim of the present study is to develop a weight reduced, 3D-printable suspension clip with appropriate fatigue strength.

1. BEVEZETÉS

A piaci verseny a műszaki fejlesztések hajtóerőjeként kényszeríti a korszerű módszerek adoptálását a hétköznapi mérnöki gyakorlatban. A versenyelőny megtartásához vagy megszerzéséhez olyan újítások szükségesek, amik a termékek gyakorlati hasznát növelik és amiből a vásárlóknak kiszámítható haszná származik. A lehetséges újításokról nehéz előre megjósolni, hogy a kereslet visszaigazolja-e majd a hozzájuk fűzött reményeket. Más megvilágításban azt is állíthatjuk, hogy a fejlesztések anyagilag kockázatosak. Ennek a kockázatnak a csökkentése érdekében érdemes olyan fejlesztéseket végrehajtani, amiről biztosan előre lehet jelezni, a felhasználónál jelentkező előnyöket. Jól kiszámítható előnnyel jár például a termékek tömegcsökkentése ezért az iparban jelenleg nagy hangsúlyt kapnak a topológia-optimalizációs projektek. Az alábbi tanulmány is egy öntöttvas alkatrész tömegoptimalizációs folyamatának módszereit vizsgálja fel.

A feladat célkitűzése egy új, tömegcsökkentett hagyományos fékegység

kifejlesztése volt. Az alábbiakban az 1. ábrán, a tömegcsökkentett fékegység szaggatott vonallal keretezett alkatrészének, a függvasnak az eredményeit mutatjuk be. A feladatot két irányból közelítettük meg. Ezek közül az egyik, a hagyományosnak tekinthető mérnöki, intuitív optimalizációs folyamat, míg a másik a számítógéppel segített optimalizálás.

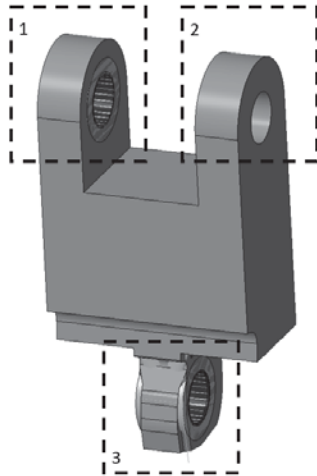


1. ábra Tömegcsökkentett konvencionális fékegység (függvas szaggatott vonallal keretezve)

A 2. ábrán látható a két módszer a) hagyományosnak vagy intuitívnak nevezett folyamat és b) a számítógéppel segített optimalizációs folyamat. A két módszer között alapvető különbségeket lehet megemlíteni. A hagyományos megközelítés esetében a fejlesztésre fordítandó idő mennyisége nagyobb, míg a számítógéppel segített optimalizációs folyamat esetében a szükséges szoftverek száma jelentősen többet ráfordítást igényel. A hagyományos módszer esetén a konstrukciót több ízben át kell tervezni, majd ellenőrizni szilárdságilag, míg a számítógéppel segített eljárás során 2-3 iterációs lépés után elérhetjük a kívánt topológiát. A 2. ábra b) részletén megjelenik az ún. „design space”, amely a leginkább időigényes része a folyamatnak [1]. A „design space” azt a térrészt jelenti, ahol az alkatrész ütközések nélkül

3.2. Számítógéppel segített optimalizációs eljárás

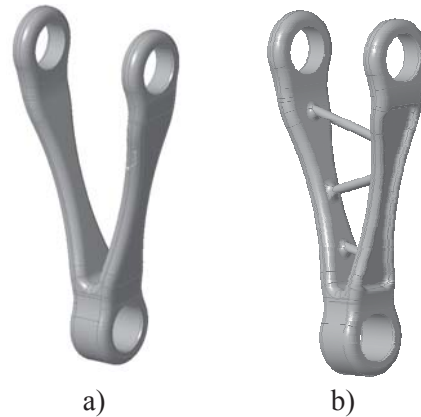
A számítógéppel segített optimalizálás megkezdése előtt meg kell határozni az ún. „design space”-t, ami jelen esetben a 4. ábrán látható. Ez az a térfogat, amelyből az optimalizást végző szoftver a célfüggvényeknek, korlátoknak megfelelően távolítja el az anyagot. Ezt a térfogatot úgy célszerű kialakítani, hogy a beépülés helyének maximális mértékét figyelembe vesszük, a lehető legtöbb helyet hagyva az algoritmusnak.



4. ábra Topológiai optimalizálás kiinduló térfogata (design space)

Az optimalizást végző szoftveren belül definiálni szükséges az anyagot, a peremfeltételeket, korlátokat és azt a célfüggvényt, amelynek szélsőértékét el szeretnénk érni. Ez esetben a célfüggvény a tömeg minimalizálása volt. Az optimalizást végző rendszerben korlátozott lehetőségek állnak rendelkezésre számos tekintetben, például kontaktok definiálására, ezért egyszerűsítéseket végeztünk a modellen. Ez azt jelenti, hogy a fékezéskor várhatóan fellépő erőket a csapágyak helyén definiáltuk, mint csapágyerő az alsó furatban (4. ábra 3-mal jelölt furata), míg a megfogásokat a felső két csapágyfuratban értelmeztük (4. ábrán az 1 és 2 jelű furatok).

Az optimalizálás eredményeként kapott topológia egy pontfelhő, ami még alkalmatlan a végeselemes modellezéshez. A FEM modell elkészítése előtt a geometria finomításra van szükség, amit célszerűen egy CAD rendszerben végeztünk el. A számítógépes optimalizáció pontfelhő eredményének mérnöki leképezése látható a következő 5a)-ábrán. Az 5b) ábra az 5a)-ábrán bemutatott megoldás szilárdsági elemzése alapján mérnöki intuíció segítségével egy további lépésben továbbfejlesztett változata.



5. ábra Számítógéppel segített topológiai optimalizálás eredményei

Az 5b) ábrán bemutatott változatban a kialakított merevítő elemek lehetővé tették további anyag eltávolítását is. Ennek a véglegesnek tekinthető megoldásnak az időigénye, az utólagos intuitív lépés beiktatásával is kevesebb volt, mint a teljes egészében intuitív úton fejlesztett geometriáké (lásd 3.1.-es fejezet).

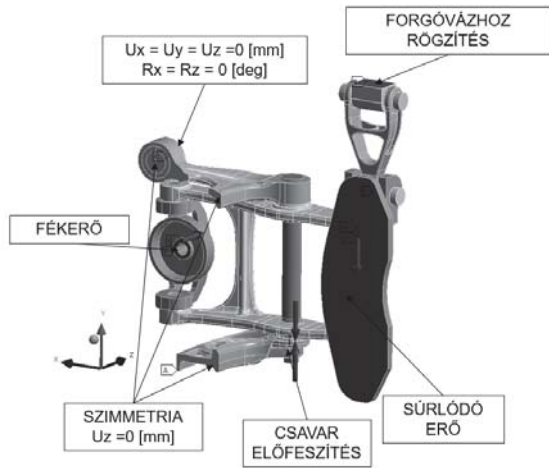
4. VÉGESELEMES MODELLEK

A kifejlesztett topológiák minősítéséhez 3D-s végeselemes számításokat végeztünk. A végeselem modellek csak a függvas geometriai kialakításának tekintetében tértek el egymástól, annak érdekében, hogy a vizsgált függvasak eredményei összehasonlíthatóak maradjanak. Ennek a tanulmánynak a keretein belül részletesen csak a számítógéppel optimalizált topológiák végeselemes modelljét és számítási eredményeit ismertetjük. Az intuitív módon tervezett függvas geometriák számításai is az ebben a fejezetben bemutatott szimulációs modellel lettek elvégezve.

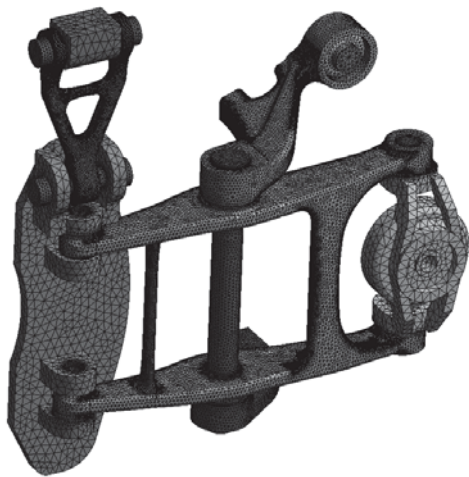
4.1. A modell felépítése

A különféle függvas variánsokat egy megfelelően kondicionált modellbe importálva vizsgáltuk. A 6. ábrán a végeselemes modell peremfeltételei láthatóak. A modell az egység tulajdonságainak köszönhetően szimmetrikus. A modell hozzávetőlegesen 1,5 millió darab másodfokú elemet tartalmaz. A vizsgálat tárgyát jelentő függvas anyagát tekintve EN-GJS-600-10 [6], a felhasznált rugalmassági jellemzők $E=170$ GPa és $\nu=0,275$. A konvencionális egységek sajátja, hogy az alkatrészek csatlakozó felületei között a tűrésekből jelentős hézagok adódnak (néhány tized mm), amiket szükséges figyelembe venni a szimuláció során. Ez a nemlineáris kontaktok

miatt mindig komoly számítási igényt eredményez. A CPU idő esetenként több tíz óra is lehet. A feltételezett üzemi fékerő esetét tekintve a számítási idő ~8 óra. A 7. ábrán a végeelem háló látható.



6. ábra A végeelem modell peremfeltételei a geometriai egyszerűsítést követően



7. ábra Végeelemes háló

4.2. Torziós-merevségi vizsgálatok

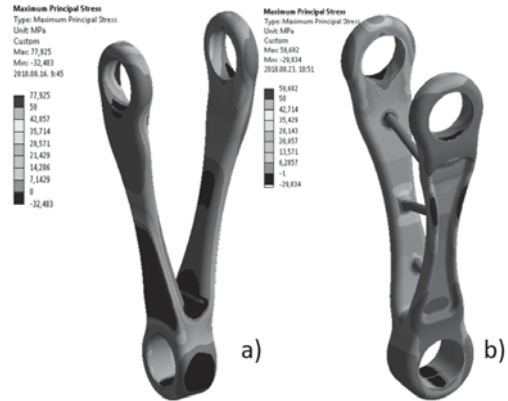
A tömegcsökkentés hatással van a darab merevségére is. Az optimált geometriák esetén nincs ismeretünk az elcsavarodással szembeni ellenállásra, így azt szükségszerűen megvizsgáltuk.

A csavarással szembeni ellenállást egytest modelleket használva ellenőriztük. A 4. ábrán bemutatott 3. jelű furatban nyomatékkal terheltük a függvasat. A nyomaték hatására bekövetkező elcsavarodást a perselyek tengelyvonalai által bezárt szögek méretével számszerűsítettük, és hasonítottuk a belső szabványos értékhez (lásd később a 9. ábrát).

5. EREDMÉNYEK

5.1. Számítógéppel optimált függvas geometriák végeelemes számítási eredményei

A számítógéppel optimalizált függvas-topológiának és annak az intuitív módon továbbfejlesztett változatának első főfeszültség-amplitúdóit mutatja a 8. a) és b) ábra.



8. ábra A számítógéppel optimált geometriák feszültségeloszlási képe

Az eredményekből az látszik, hogy szárból történt anyageltávolítás és a szárok közötti rudak hatása szignifikánsan átrendezi a feszültségeloszlást. Az intuitív módon továbbfejlesztett topológia esetén 20 MPa-lal csökkent a maximális feszültség-amplitúdó értéke.

5.2. Üzemi szilárdsági számítások

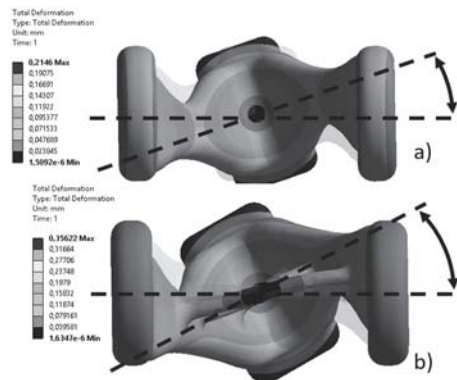
A végeelemes számításokat követően minden topológiát ellenőriztünk a kifáradási szilárdság tekintetében. A kiértékelés gömbgrafitos öntöttvas anyagminőség feltételezése mellett lett elvégezve az FKM útmutatás alapján. A biztonsági tényezők a bemutatott topológiák esetén kifáradás szempontjából megfelelőnek bizonyultak.

5.3. Tömegcsökkenés

A referenciának tekintett kiindulási függvas geometria több, mint 30 éve működő variáns, amelynek tömege 1364 g. Az optimalizálás során a célfüggvény a tömeg minimalizálása volt. A számítógép segítségével optimált darab (5.a ábra) tömege 860 g lett. Ehhez képest a megerősített számítógéppel optimált függvas (5.b ábra) tömege 760 g, ami jelentős csökkenést jelent, ha figyelembe vesszük, hogy ebben a variánsban a kialakuló feszültségek amplitúdója is csökkent.

5.4. A torziós-merevségi vizsgálatok eredményei

A számítások eredményeiből az derült ki, hogy az intuitív módszerrel továbbfejlesztett geometria (5.b ábra) csavarással szembeni ellenállása kedvezőtlenebb irányba változott a merevítés nélkülihez (5.a ábra) képest, lásd rendre a 9.b) és 9.a) ábrát. Azonban az elfordulás szögének növekedése még mindig az előre meghatározott és elfogadott mérték alatt van.



9. ábra Az elcsavarodás mértéke a számítógéppel optimált geometriák esetén (40X-es nagyítás)

5.5. Az intuitív módon optimalizált topológiák eredményei

A korlátozott terjedelem miatt, itt csak a számítógéppel segített topológia optimalizálás eredményeit közöltük, azonban az intuitív úton létrehozott variánsok számításai is azonos elvek mentén lettek elvégezve.

Az intuitív úton tervezett függvasak esetén is alacsonyabb szinten maradt az elcsavarodás mértéke, mint a meghatározott maximális érték. A feszültségekről pedig elmondható, hogy a megengedhető maximum alatt vannak, tehát kifáradás szempontjából is megfelelőek. Az optimalizált geometriák tömege is jelentős mértékben csökkent a kiindulási geometriához hasonlítva. A 3.b) ábrán látható topológia esetében a tömegcsökkenés mértéke több mint 25% az eredetihez képest (3.a) ábra).

6. ÖSSZEZGÉS

A tanulmányunkban röviden áttekintettük azt fejlesztési projektünket, amely során egy hagyományos fékegység alakoptimalizálását végeztük el, egyszersmind hatékonyság szempontjából teszteltük az intuitív és a számítógéppel segített optimalizációs módszereket.

Az intuitívan optimált geometriák közül egyedül a 3.c)-ábrán bemutatott variáns nem felelt meg a támasztott követelményeknek, mivel egy technológiai kialakítás miatt létrejött feszültséggyűjtő hely környezetében magas feszültségek ébredtek. A számított biztonsági tényező nagyobbra adódott, mint a szükséges minimális, azonban a fokozott biztonsági követelmények miatt egy további optimalizációs lépésben a 3.d)-ábrán bemutatott geometriára történő átervezés tűnt mérnöki szempontból a legésszerűbb megoldásnak.

A számítógéppel segített topológiai optimalizálás során egyrészt tapasztalatokat gyűjtöttünk az esetleges későbbi feladatok gyorsabb és hatékonyabb megoldásához, másrészt sikeresen létrehoztunk egy új variánst, amely mind szilárdságilag, mind pedig az additív gyártási technológiák térnyerésének köszönhető új követelményeknek is megfelel. A fejlesztés során alkalmazott optimalizációs eljárások eredményességét látva valószínűsíthető a számítógéppel segített optimalizálási technikák napi rutinba történő beépítése.

Az intuitív és számítógéppel segített topológia optimalizáló módszerek ötvözése egy hatékonyabb, gyorsabb tervezést tehet lehetővé, amely a hozzáadott érték további növeléséhez vezethet, ezzel hathatósan támogatva a céget a piaci versenyhelyzetben.

7. IRODALOM

- [1] V. Kulkarni, A. Jadhav, P. Basker, Finite Element Analysis and Topology Optimization of Lower Arm of Double Wishbone Suspension using RADIOSS and Optistruct, (2012) IJSR
- [2] G. Kazakis, I. Kanellopoulos, S. Sotiropoulos, N. D. Lagaros, Topology optimization aided structural design: Interpretation, computational aspects and 3D printing, (2017) Heliyon
- [3] SolidThinking Inspire 2016.2 User's manual
- [4] ANSYS Release 18.2 – Documentation for ANSYS Mechanical APDL
- [5] Rennert R., Kullig E., Esderts A., Siegele D.: FKM Guideline, 6th Edition, 2012
- [6] DIN EN 1563:2012-03