

A VISZKÓZUS TORZIÓS LENGÉSCSILLAPÍTÓK TERMIKUS VIZSGÁLATA HŐMÉRSÉKLET-CSÖKKENTÉS CÉLJÁBÓL

A HEAT TRANSFER ANALYSIS OF VISCOUS TORSIONAL DAMPERS FOR TEMPERATURE REDUCTION

Venczel Márk, doktorandusz
Dr. Veress Árpád, egyetemi docens

ÖSSZEFOGLALÁS

A torziós lengéscsillapítók biztonságkritikus alkatrésznek minősülnek a gépjárműiparban. Szilikon olajjal működő viszkozus változatuk hatásosan csillapítja a motorok főtengelyén fellépő torziós lengéseket bármely frekvencia tartományon. A csillapítás során elnyelt energia hő formájában disszipálódik, ami károsan befolyásolja a szilikonolaj élettartamát. A jelen munka egy lengéscsillapító csatolt áramlástanai és termikus szimulációját mutatja be az eredmények részletes magyarázatával különös tekintettel hűtés hatékonyságának javítására.

ABSTRACT

Torsional vibration dampers are considered to be one of the most important vehicle structures from the operation and safety point of view. One type of them, called viscous, filled with silicone oil can effectively eliminate the torsional vibrations on the crankshaft in every frequency range. The dissipated energy generates heat and the elevated temperature can negatively influence the lifetime of the oil. Current work introduces a coupled fluid dynamic and heat transfer simulation of a visco-damper. The numerical results are discussed in detail with especial care for the cooling efficiency.

1. BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROK CSILLAPÍTÁSI PROBLÉMÁJA

1.1. A főtengely káros lengései

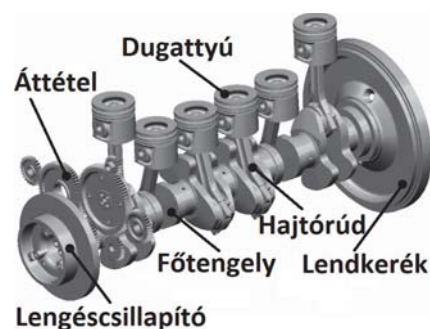
Napjaink belső égésű motorjaival szemben támasztott tömegcsökkentési és kedvezőbb helykihasználási előírásoknak való megfelelés a motor méreteinek minimalizálásával, az üzemi fordulatszám mérséklésével, valamint az ébredő nyomatékok és terhelések növekedésével valósul meg. Ennek eredményeként a motor szerkezete bonyolulttá, igénybevételei pedig összetetté válnak. [1]

A nagy teljesítményigényt kiszolgáló belső égésű dugattyús motorok főtengelyén a hengerekben ébredő, periodikusan változó gázerők és a forgó, mozgó motorkomponensek tömegéből származó tehetetlenségi erők káros

torziós lengésekhez vezethetnek, míg a forgási egyenlőtlenlégek a szíjhajtáson keresztül átadódhatnak a hajtott elemekre és ezek a motoralkatrészek többletterhelését okozhatják. Amennyiben a keletkező lengések frekvenciái a főtengely sajátfrekvenciáinak tartományába esnek, akkor annak fáradásos törését idézhetik elő. [2]

1.2. Torziós lengéscsillapítók

Az imént vázolt problémák elkerülésére, a lengések amplitúdójának és a gerjesztett zajok mértékének csökkentésére, valamint a motor élettartamának növelésére úgynevezett torziós lengéscsillapító építhető a motor főtengelyének szabad végére (lásd 1. ábra), vagy a lendkerékbe integrálva.



1. ábra. Csillapító a főtengely szabad végén [3]

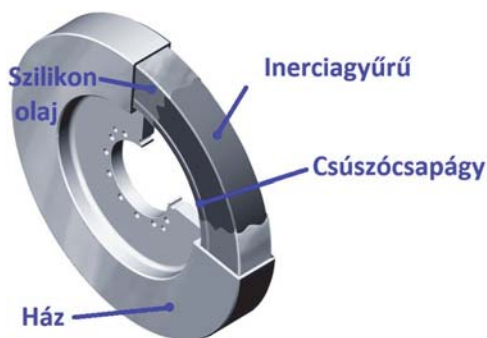
Több típusa is létezik, úgymint súrlódó, gumírozott, rugós és viszkozus, de mindegyik típus közös jellemzője, hogy a főtengely torziós lengéseinek mozgási energiája egy rugalmas vagy degradálódó elem közvetítésével nyelődik el majd alakul deformációvá és hővé. [2]

Ezek a lengéscsillapítók az egész világon elterjedtek. Általános célú alkalmazásukat tekintve elsősorban nagyteljesítményű dugattyús motorokban katonai, közlekedési, építészeti, mezőgazdasági és bányászati területen használják őket. Járműiparban a sportautók, teherautók és hajók esetében a viszkozus változata kezd egyre nagyobb teret hódítani egyszerűségének és kis karbantartási igényének köszönhetően. [4]

2. VISZKÓZUS TORZIÓS LENGÉSCSILLA- PÍTŐ

2.1. Felépítés és működés

Torziós lengéscsillapítók közül a viszkózus változat az egyik legegyszerűbb felépítésű, mely egy zárt térből (ház) és a benne szabadon mozgó, műanyag csapággal megvezetett inerciagyűrűből áll (2. ábra). A ház és az inerciagyűrű közötti vékony rést szilikon olaj tölti ki. [5]



2. ábra. Viszkózus lengéscsillapító elemei [6]

A csillapító hatás létrejöttének folyamata a következő. A tengely zavartalan forgása esetén, mikor nincsenek torziós lengések, együtt forog a gyűrű a házzal hozzá képesti relatív elmozdulás, megcsúszás nélkül. Amennyiben már kis amplitúdójú torziós lengés is kialakul, relatív mozgásba kezd a ház a gyűrűhöz képest és az olajban jelentős tangenciális irányú nyírófeszültség alakul ki. A nyírófeszültségek (vagy más néven csúsztatófeszültségek) összege a teljes súrlódó felületen a ház és a gyűrű között csillapító hatást eredményez. [5]

A szilikon olaj nem-newtoni folyadék, a relatív sebességkülönbség nagysága a ház és az inerciagyűrű között befolyást gyakorol a szilikon olaj viszkozitására és így annak csillapító hatására is. [5]

2.2. Üzemi viszonyok és hűtés

Fontos szerepet játszik az üzem során disszipált teljesítmény okozta hőmérséklet-növekedés, mely hatást gyakorol a szilikon olaj viszkozitására. Használat közben az állandó, magas hőmérséklet miatt a molekulaláncok felszakadhatnak és csökken az olaj viszkozitása, ezzel együtt a csillapító hatása és élettartama is. [7]

A keletkező hő elvezetése és az olaj hőmérsékletének szabályozott értéken tartása érdekében hűtőbordákat szerelhetnek a

lengéscsillapító egyik vagy mindkét oldalára, egy vagy két soros kivitelben. Hűtőborda megfelelő elhelyezkedése és geometriája kulcsfontosságú a hőátadási folyamatok elősegítéséhez és így a hűtés eredményességének fokozásához. [8]

Üzemi körülmények között, valós csillapítókon végzett mérések során leginkább a szerkezet szabad felületein, úgymint inerciagyűrű két oldalán, valamint a ház külső és belső oldalán van elfogadható lehetőség hőmérséklet adatok gyűjtésére. A szerkezetben lejátszódó hőátadási folyamatok jobb megismerése, valamint a hűtőbordák megfelelő elhelyezése érdekében mérnöki számításokra és numerikus közelítő eszközök alkalmazására van szükség. Ennek köszönhetően a termék tervezési és fejlesztési fázisában költség, idő és kapacitás takarítható meg, mialatt egyre biztonságosabb és megbízhatóbb termékek gyártása válik lehetővé.

3. NUMERIKUS ÁRAMLÁSTANI ÉS TER- MIKUS SZIMULÁCIÓ

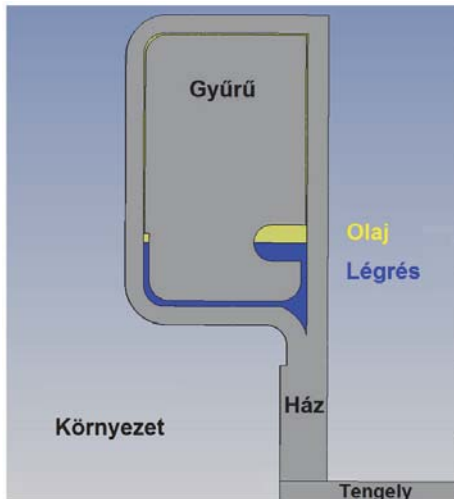
3.1. A használt numerikus eszköz bemutatása

Számos szoftver készült a numerikus áramlástani és termikus feladatok megoldására, melyek közül vezető szerepet tölt be az Ansys Workbench környezetben működő, véges térfogat diszkrétizációs technikát alkalmazó CFX szoftver. [9]

Ez egy nagyteljesítményű, általános célú mérnöki program, melyet magas szintű fizikai modell-választékának köszönhetően, több mint 20 éve használnak széleskörű áramlási és termikus problémák megoldására. A vizsgált folyamatok leírása térben elosztott paraméterű számításokkal történik és az alkalmazott egyenletek a kontinuum mechanika közelítési elvén alapulnak. Az alapegyenletek - melyek kifejezik a tömeg, energia és impulzus megmaradását - turbulencia modellel-egyenletekkel kombinálva alkalmassá válnak áramlások matematikai modellezésére. [9]

3.2. Geometria és numerikus háló

A vizsgálat tárgyát egy fejlesztési fázisban lévő viszkózus torziós lengéscsillapító képezi, melynek részletes CAD modelljéből elkészíthető a csatolt áramlástani és termikus szimuláció egyszerűsített modellje (lásd 3. ábra). Forgásszimmetrikus geometriáról van szó, melyet tengelyre ültetve motor környezetében kell vizsgálni.



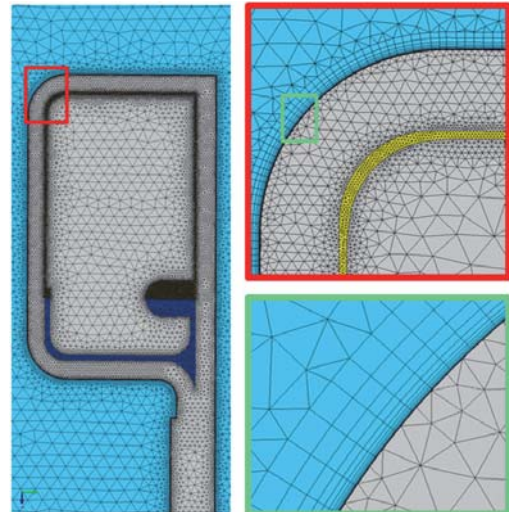
3. ábra. A vizsgált modell elemei

Elegendő a lengéscsillapító, tengely és a motor megépített modelljének csak egy szeletét használni a numerikus számításához. Az Ansys Design Modeler almoduljában lehetőség adódik az áramlási terek kialakítására, a tengely és a motor modelljének elkészítésére, valamint a későbbi peremfeltételek definiálásához szükséges felületek kijelölésére.

A csúszócsapágyak eltávolításra kerültek a modellből és levegővel lettek helyettesítve annak érdekében, hogy a modell ne váljon túl bonyolulttá, továbbá egyszerűbb programbeállításokra és kevesebb számítási időre legyen szükség,

További egyszerűsítést jelent a peremfeltételek definiálásakor a ház és a záró fedél összeolvasztása, mivel azonos anyagból készülnek. Ez természetesen egy közelítést jelent, hiszen a hegesztésen kívül súrlódásos kapcsolatban állnak egymással az alkatrészek, amely termikus szempontból kontaktellenállással rendelkezik. A motor test kikerült a modellből és csak a környezeti levegőben hagyott „lenyomata” mint fal került felhasználásra a szimuláció során, hogy csökkenjen az elemszám és a számítási idő.

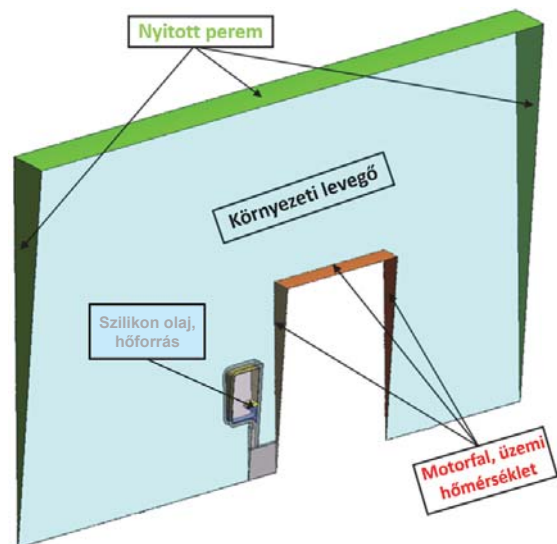
Az elkészült numerikus hálót, melynek elemszáma megközelíti a 11 milliót, a peremekre definiált, 15 alrétegre osztott határréteggel együtt a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra. Numerikus háló

3.3. Peremfeltételek és anyagtulajdonságok

A vizsgálat alapvető célja a szerkezet belsejében és a szilikon olajban kialakuló hőmérséklet-eloszlás feltérképezése az olaj áramlási jellemzőinek mellőzésével. Ebből kifolyólag a szilikon olaj és a csapágyakat helyettesítő levegő (légrés) szilárd tartományként került modellezésre, mivel elhanyagolhatóan tekinthető a konvekció hatása. Ennek eredményeként a hőt kizárólag vezetéssel továbbíthatják.



5. ábra. Peremfeltételek

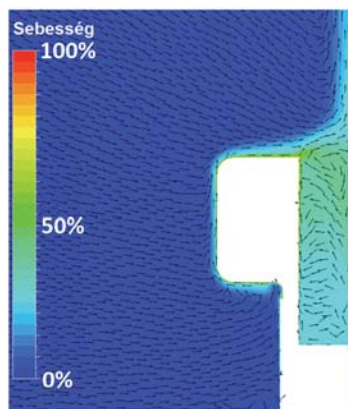
A csillapításból származó hőterhelés egy, csak az olaj nyíródtartományára definiált, állandó hőforrás segítségével került figyelembe vételre (lásd 5. ábra). Az egymással érintkező elemek között felületi interfészek, míg a motor felületeire egy állandó üzemi hőmérséklet került definiálásra (lásd 5. ábra). A

forgómozgást végző elemek önmagukkal forgás-periodikus párba lettek állítva. Tengely, ház és inerciagyűrű esetében acél, környezeti levegő és légrés esetében levegő, míg az olaj esetében szilikon olaj anyagtulajdonságok (sűrűség, fajhő és hővezetési tényező) lettek definiálva.

3.4. Numerikus számítás eredményei

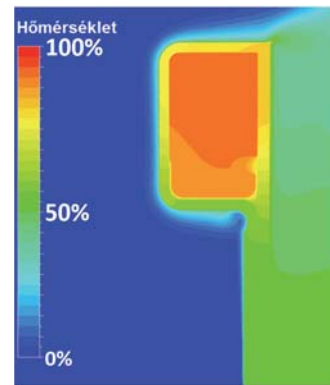
A ház-szegmens tangenciális középsíkjában monitor pontok kerültek felvételre a sugár függvényében, melyek segítségével a numerikus számítás futása közben nyomon követhetők az egyes pontok hőmérsékletének, továbbá a felületátlagolt hőmérsékletek konvergenciája. A számítás konvergencia eredményeinek bemutatása alább olvasható.

A 6. ábra a lengéscsillapító körüli sebességmezőt szemlélteti a vektorok irányával és a sebességértékek nagyságával színezve. **Szembetűnő a motor és a ház közötti részbe szorult levegőtömeg örvénylő áramlása megemelkedett sebességértékekkel.** Ezen a helyen a kavargó levegőtömeg nem képes elszállítani a csillapító szerkezettől átvett hőt.



6. ábra. Sebességmező a csillapító körül

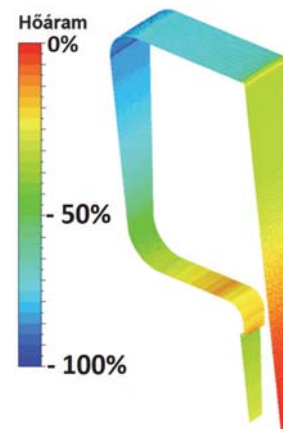
A vizsgált modellszegmensben kialakult hőmérséklet-eloszlás a 7. ábrán látható. Könnyen behatárolható az üzem közben keletkező hő fő forrása valamint a **ház és a motor közötti turbulens levegőtömeg környezetinél 48,5 %-kal magasabb hőmérséklettartománya, ami miatt ezen a helyen a lengéscsillapító ház hűtése nem kielégítő.** A ház konvekció útján történő hűtésének intenzitása arányosan változik a sugárral. A leghidegebb helyen (a tengely környezetében) 38,8 %-kal, míg legmelegebb helyen (a nem lekerekített sarok) 7,8 %-kal tér el az inerciagyűrű hőmérsékletétől.



7. ábra. Hőmérséklet-eloszlás a csillapítóban

A ház külső felületén történő hőleadás mértékét szemlélteti az 8. ábra.

A hőáram jól láthatóan a ház motortól távoli szabad oldalán a legnagyobb és a tengely-közeli tartományban, ahol a kavargó levegőtömeg akadályozza a hűtést, gyakorlatilag zérus. A negatív értékek arra utalnak, hogy a ház a környezetének leadja az olajtól kapott hőmennyiséget.



8. ábra. Hőáram a ház külső felületén

4. KONKLÚZIÓ

A torziós lengéscsillapítók biztonságkritikus alkatrésznek minősülnek a járműiparban. Szilikon olajjal működő viszkózus változatuk hatásosan csillapítja a főtengely torziós lengéseit bármely frekvencia tartományon.

A termék tervezési és fejlesztési fázisában fejlett numerikus eszközök hívhatók segítségül költség-, idő- és kapacitás-csökkentése céljából.

A jelen munka keretében egy fejlesztés alatt álló viszkózus torziós lengéscsillapító egyszerűsített, csatolt áramlástani és termikus vizsgálatára került sor, melynek eredményeiből következtetni lehet a szerkezet konvekció útján

történő hűtési sajátosságaira. A numerikus áramlástani eredmények arra engedtek következtetni, a szerkezet hűtésének eredményessége a forgási sugárral arányosan változik, **a hőátadás mértéke a ház forgástengelytől mért legtávolabbi pontjában, a szabad áramlásban a legkedvezőbb. Ezen oldalra helyezett hűtőbordák alkalmazásával a hűtés eredményessége tovább fokozható.** A csillapító és a motor közötti résben kialakuló turbulens levegőtömeg nem képes eredményes hűtést biztosítani, ezért erre az oldalra nem célszerű hűtőbordát helyezni.

További numerikus áramlástani vizsgálatok elvégzése szükséges abból a célból, hogy hogyan befolyásolják a különböző ház-inerciagyűrű résméreték az olaj üzemi hőmérsékletét, valamint milyen a legkedvezőbb hűtést eredményező hűtőborða geometriai alakja. A numerikus módszerek eredményeinek validációját követően, a számítások segítségével meghatározott hőmérséklet adatok viszkozitás-csökkenésen alapuló degradáció és élettartam számítási módszerek kidolgozásához használhatók fel, amelyeket a termék tervezési folyamatába integrálhatók.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az eredmények közzétételéhez anyagi hozzájárulást nyújtott a BME Tudományos Diákköri Bizottságának TDK pályázata és a Magyar Autóműszaki Felsőoktatásért alapítvány (MAF).

6. IRODALOM

[1] J. Pflęghaar, B. Lohmann, The Electrical Dual Mass Flywheel - an Efficient Active Damping System, The International Federation of Automatic Control, 2013, Vol 46, Issue 21, 483-488, url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016384178> (2018.12.28.)

[2] W. Homik: Diagnostics, Maintenance and Regeneration of Torsional Vibration Dampers for Crankshafts of Ship Diesel Engines, Polish

Maritime Research, 2010, Vol 17, 62-68, url: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BWM4-0028-0077/c/diagnostics01_2010_09.pdf (2018.12.28.)

[3] A. S. Mendes, P. S. Meirelles, D. E. Zampieri: Experimental Validation of a Methodology for Torsional Vibration Analysis in Internal Combustion Engines, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2008, Vol 222, Part K: Journal of Multi-body Dynamics, url: https://www.researchgate.net/publication/242215679_Experimental_Validation_of_a_Methodology_for_Torsional_Vibration_Analysis_in_Internal_Combustion_Engines (2018.12.28.)

[4] <https://www.vibratechtvd.com/oem/crankshaft-dampers/> (2018.12.28.)

[5] P. Érsek: Numerische Untersuchung der Auffüllung eines Torsiondämpfers mit Silikonöl, Knorr-Bremse R&D Center Budapest, Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest, Lehrstuhl für Hydrodynamische Systeme, Diplomarbeit, Budapest, 2008

[6] <http://fi.frebecker-ara.com/engin/diesel-crankshaft-vibration-damper.html> (2018.12.28.)

[7] G. Camino [et al.]: Thermal Polydimethylsiloxane Degradation Part 2. The Degradation Mechanism, Polymer, Vol. 43 No. 2002, pp 2011-2015, 2001, url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386101007856> (2018.12.28.)

[8] Geislinger: Vdamp Product Catalog, 2018, url: https://www.geislinger.com/cms_images/products/Vdamp_1.5.pdf (2018.12.28.)

[9] ANSYS, Inc., ANSYS CFX-Solver Theory Guide, Release 13, ANSYS, Inc. Southpointe, 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, USA, 2010, <http://www.ansys.com>