

FOGAZOTT ELEMEEK GEOMETRIAI PARAMÉTEREINEK HATÁSA A ZAJJELLEMZŐKRE

GEOMETRIC PARAMETERS OF TOOTHED ELEMENTS AND THEIR EFFECT ON NOISE FEATURES

Tóbis Zsolt, tanszéki mérnök

ABSTRACT

Gear-box is a frequently used structural unit in mechanical engineering. The main task of a gear-box is to make connection between the power and the working equipment. There are many field of life, where making the less noise is playing a significant role. This way design and producing according to the noise is getting more important day-by-day.

1. BEVEZETÉS

A gépészet egyik leggyakrabban használt önálló szerkezeti egysége a hajtómű, melynek feladata, hogy biztosítsa a kapcsolatot az erőgép és a munkagép között. Számos alkalmazási terület egyik feltétele a zajszegény működés. Ezáltal előtérbe kerül a zajszenpontú tervezés és gyártás.

2. IRÁNYELVEK

A fogaskerekes hajtóművek várható zajjellemzőinek meghatározására a VDI 2159/1983 műszaki irányelv ad irányutatót. Ez az irányelv ad támpontot a várható

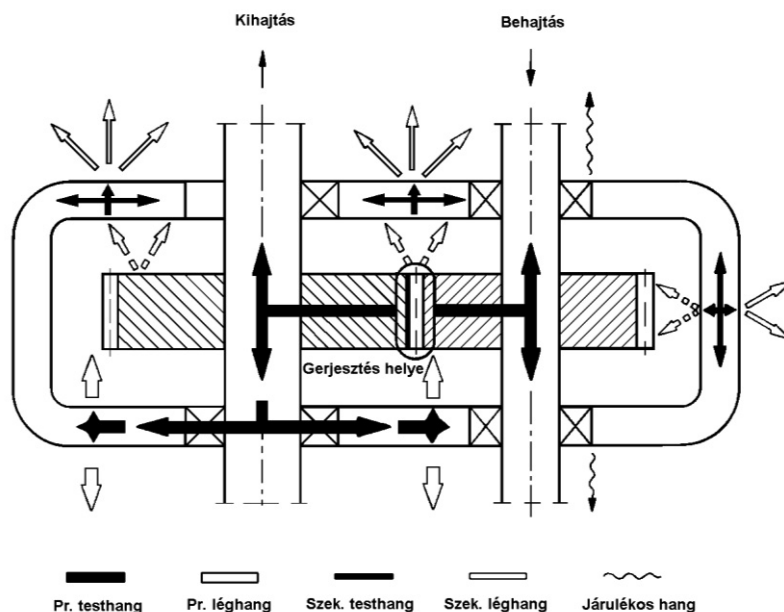
forrásteljesítmény meghatározásához. A hajtómű meghatározó zajforrását a fogaskerekek fogkapcsolódása okozza, melyből a rezgés a hajtómű ház falán keresztül léghangként kerül ki a környezetbe (1. ábra). A fogazat rezgését a fogazat kapcsolódása során kialakuló impulzusok hozzák létre. Ezek lehetnek:

- kapcsolódási impulzus,
- gördülőköri impulzus,
- alakváltozási impulzus,
- hibaimpulzus.

2. GERJESZTÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK:

A kialakuló zaj nagyságát (és frekvencia-eloszlását) több tényező együttes hatása határozza meg. Ezek:

- fogazatgeometria;
- technológiai -;
- hiba -;
- üzemi -;
- konstrukciós tényezők.



1. ábra Hajtóműszekrény gerjesztése

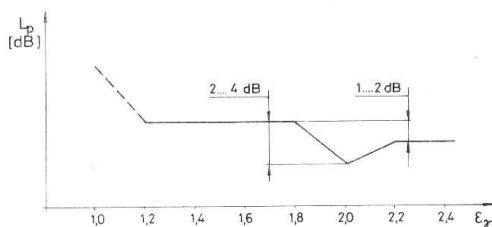
2.1. Fogzatgeometriai tényezők

Ide sorolhatók: a modul (m), fogszélesség (b), kapcsolószám (ε_γ), fogferdeség (β) profilnyesés vagy profilkorrektúra, fogdomborítás, profileltolás (x), foghézag (j) és a kapcsolószög (α). A fogzatgeometriai tényezők változása, más – más módon hat a kibocsájtott zajra. Vegyük sorba ezeket a hatásokat:

A modul növelésével az időegységre jutó impulzusok száma csökken, ezáltal a zaj csökken, de a modullal együtt változó paraméterek miatt ez fordítottan igaz, tehát a kisebb modul az előnyösebb (csökkenő modul – növekvő fogszám).

Fogszélesség növelésével csökken a zaj – változatlan terhelés esetén.

Kapcsolószám: A kapcsolódási – és az alakváltozási impulzusok nagyságának változása útján érvényesül (2. ábra). A kisebb kapcsolószám irányába nő a zajszint. (Kapcsolódási okokból $\varepsilon_{\gamma\min} = 1,15$)

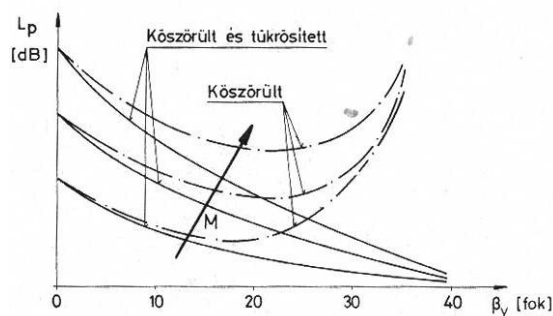


2. ábra. Kapcsolószám és zajszint viszonya

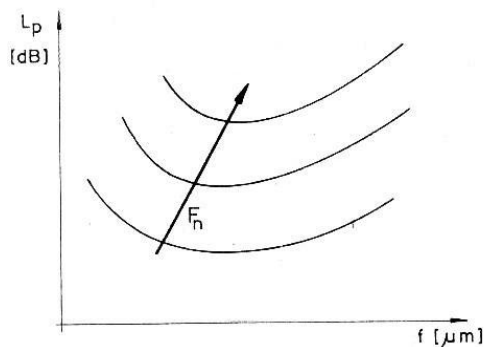
Alkalmazás szempontjából $1,2 < \varepsilon_\gamma < 1,8$ szakaszon a zajszint gyakorlatilag azonos, viszont határozott csökkenés tapasztalható az $\varepsilon_\gamma \approx 2$ esetén mindig két fog kapcsolódik. Fogpáronként az erő, ezáltal a kapcsolódási impulzus is kisebb. A $2,0 < \varepsilon_\gamma < 2,2$ tartományban a zajszint ismét kissé nő, majd a szokásos felső határig állandó értéken marad.

Fogferdeség: Átfedés növekedése miatt a kapcsolószám nő – zajcsökkenést eredményez -, és a kapcsolódási helyzetek fogpáronként nem azonosak ezáltal gördülőköri impulzus gyakorlatilag nem jelentkezik (legkedvezőbb a $\beta = 17^\circ - 33^\circ$). Mart, valamint köszörült és dörzsköszörült fogaskerekeknél a foghajlásszög növelésével a zajszint is csökken (3. ábra).

Profilnyesés: Hatása a dinamikus terhelések kisebb értékében jelentkezik – a kapcsolódási és alakváltozási impulzus csökkenésében jelentkezik (feltétele mindkét kapcsolódó kereken legyen lenyesés). Az elérhető javulás 2 – 4 dB állandó terhelés, állandó forgásirány esetén (4. ábra). A optimális lenyesés egyenesen arányos a fogpár terhelés hatására bekövetkező rugalmas elhajlásával.



3. ábra. Foghajlásszög hatása a zajjellemzőkre



4. ábra. Profilnyesés hatása

Fogdomborítás: - szélességirányú profilkorrektúra – csak nagy fogirányhibával rendelkező fogaskerekeknél jelent csökkenést.

Profileltolás: A kapcsolódási -, a gördülőköri – és az alakváltozási impulzusok nagyságát is befolyásolja. Pozitív profileltással a lábész megvastagodik (fogmerevség nő), negatívnál vékonyodik.

Foghézag: nincs jelentősége, hatása elhanyagolható.

Kapcsolószög: kisebb hatást gyakorol a kialakuló zajra.

2.2. Technológiai tényezők:

Megmunkálással kapcsolatos tényezők: felületminőség, felületkezelés és a bejáratás sorolható ebbe a csoportba. Hatásuk az eltérő felületi érdességben jelentkezik.

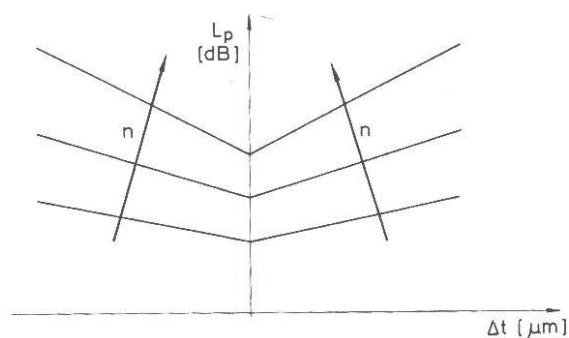
Felületminőség: A zaj felületi érdességgel arányos. Befolyásolja a megmunkálási nyomok helyzete például a hálós köszörülés.

Felületkezelés: a kialakuló zaj nagyságát nem befolyásolja, például a bejáratás - hatása ferde fogzatnál jelentős (1-4 dB hajlásszög függvényében).

2.3. Hibatényezők:

Fogzati és szerelési hibákkal állnak kapcsolatban – hatásuk eseti. Egyedi osztáshibák, az egyprofilos gördülési hibák, az alapkörhiba és a kapcsolószög hiba a legördülés során a fogmerevség ugrásszerű változását

növelik, ezáltal az alakváltozási impulzus nő. A zaj egyenesen arányosan nő a hiba nagyságával és ez az arány a fordulatszám növelésével fokozódik, (5. ábra) növekvő terhelésnél – azonos hiba esetén csökken (fogdeformációk kompenzáló hatása miatt).



5. ábra. hibatényezők hatása

Az egyedi osztáshibák számának növekedésével a zaj is fokozódik. A hibák hatása a színekben is megjeleni, ennek alapján lehet a legközelebbi okot megkeresni. Minden olyan fogazati hiba, mely a fogazathatárok be nem tartásából származik a kapcsolódási folyamatban jelent romlást, ez a zajhatást is növeli.

2.4. Üzemi tényezők:

Az üzemi adatokkal összefüggő tényezők közé a fordulatszám, az átvitt nyomaték és a kenési állapot tartozik. Zajszint változása a fordulatszám függvényében a hajtómű szerkezeti felépítésétől függ. Ipari hajtóműveknél lineáris, turbóhajtóműveknél degresszív, jelleggörbe érvényesül. Terhelés függvényében a zajszint változása közel lineáris. Kenési állapot alig észrevehető mértékben függ össze a kisugárzott zajjal, kivéve a nem megfelelő kenést (száraz, vagy egyes súrlódási állapot).

2.5. Konstruktív tényezők:

A konstrukcióval összefüggő tényezők szerepe minden esetben meghatározó, ide sorolható a keréktestek és a ház szerkezeti kialakítása, anyagminősége. A keréktestek acélból, öntöttvasból és műanyagból készülnek. Fém-fém párosításhoz viszonyítva a fém- műanyag kapcsolat 6 dB, a műanyag – műanyag kapcsolat 12 dB csökkenést eredményez.

A hajtómű ház elsősorban szerkezeti, másodsorban anyagminőség tekintetében lényeges. Hagyományos megoldás tekintetében lehet öntött, vagy hegesztett kivitel. Az öntöttacél kivitel 1-2 dB-el csendesebb, mint a hegesztett kivitel. Az alumínium kivitel az öntöthöz képest 10 dB-el zajosabb.

3. FOGASKEREKES HAJTÓMŰVEK JELLEGZETES FREKVENCIÁI:

Egy hajtóműn belül több jellegzetes frekvencián kiugró intenzitású összetevők jelentkeznek. Ezek jelenléte műszeres vizsgálattal kimutatható, súlyuk és arányuk a gerjesztési viszonyok függvényében rendkívül változó

Fogkapcsolódási frekvencia:

$$f_z = \frac{nz}{60} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

ahol: n a fogaskerék fogsza min⁻¹-ben, z a fogsza. A csúszásmentes kapcsolat miatt értéke kerékpáronként állandó. Fogazati hibák függvényében felharmonikusával együtt jelentkeznek.

Hajtási frekvencia:

kiegyensúlyozatlanság, excentricitás miatt lép fel:

$$f_h = \frac{n}{60} \text{ [Hz]} \quad (2)$$

ahol: n a fogaskerék fogsza min⁻¹-ben.

Gépfrekvencia: A fogaskerék utolsó megmunkálást végző szerszámgép hibáját tükrözi vissza:

$$f_m = z_m \frac{n}{60} \text{ [Hz]} \quad (3)$$

ahol: z_m a szerszámgép osztó csigakerekének fogsza.

Szerszámfrekvencia: a lefejtő szerszám osztás – és eltolás hibájának következménye:

$$f_{sz} = z_{sz} \frac{n}{60} \text{ [Hz]} \quad (4)$$

ahol: z_{sz} a lefejtő szerszám osztása.

Egymásra-hatási frekvencia: a fogazatok zavaró hatása miatt jelentkeznek:

$$f_e = \frac{k}{z_1} \frac{n_2}{60} = \frac{k}{z_2} \frac{n_1}{60} \text{ [Hz]} \quad (5)$$

ahol: n a fogaskerék fogsza min⁻¹-ben, k a fogsza legnagyob közös osztója.

4. VÁRHATÓ ÉRTÉKEK SZÁMÍTÁSA

Fogaskerékes hajtóművek várható hangteljesítményének számításánál a VDI 2159/1983 számú műszaki irányelvben rögzített 80%-os gyakoriságú és 90%-os valószínűségű közelítő összefüggésből indulunk ki, mivel ezek nagyszámú megbízható mérési adaton alapulnak. Egy hajtómű várható A –teljesítményszintje :

$$L_{WA} = L_b + \sum_{i=1}^n K_{ij} \text{ [dB]} \quad (6)$$

ahol: K_{ij} a vonatkozó korrekciós érték az egyes tényezőcsoportok szerint hajtómű típusok szerint. Az i index tényezőcsoportokra utal. Ezek a tényezőcsoportok a következők:

- f fogazatgeometriai -;
- t a technológiai -;
- h a hiba -;
- $ü$ üzemi -;
- k konstrukciós tényezők

miatti korrekciós értékek dB-ben, melyek kiegészülnek K_{0j} általános korrekciós tényezővel.

A j index a típusokra vonatkozik:

- i ipari -;
- t turbó -;
- k kúpkeres -;
- cs csiga -;
- b bolygóhajtómű -;

A módosítások mérési adatokra, mérési adatokon alapuló számítási eljárásokra, elvi összefüggésekre vannak visszavezetve, máskor csupán tartományhatárokat rögzítenek.

4.1. Korrekciós tényezők

A fogazatgeometriai tényezők közül a profillenyesés, a foghézag és a fogdomborítás kivételével valamennyi hatást összefoglalja a K_v dinamikus tényező. Ez megegyezik a szilárdsági méretezésnél alkalmazottal, s a belső dinamikus hatásokat veszi figyelembe.

Technológiai tényezők – a kialakuló zaj nagysága csak annyiban függ az alkalmazott technológiai eljárástól, amennyiben a felületminőséget befolyásolja. Ezt a fogaskerekek pontossági fokozata egyértelműen előírja.

Hibatényezők: A fogaskerekek és a fogaskerékes hajtóművek megengedhető hibáit a pontossági fokozat határozza meg. Ennek alapján 1-12 közötti minőségi osztályba történik a besorolás. A lehetséges hibák értéke ezzel pontosan behatárolt. A szükséges pontossági fokozatot az alkalmazási terület függvényében szabvány írja elő (DIN).

Üzemi tényezők – befolyásoló tényező a fordulatszám, a terhelés és a surlódási állapot. korrekció csak akkor szükséges, ha a hajtómű nem a tervezési adatoknak megfelelően üzemel.

Konstrukció eredetű korrekció ok a keréktest és a szekrény. A keréktest szerkezeti kialakítása a gerjesztő hatások átvételében és azok átvezetésében játszik szerepet (mechanikai impedenciák).

Alapvető típusok:

- teletárcsás,
- harangtárcsás,
- dobtárcsás,
- küllős kerekes.

Valamennyi esetben öntött, hegesztett vagy kombinált kivitel is lehetséges, ezek hatása azonban jelentéktelen. Hajtómű típusától függetlenül az öntött megoldás a kisebb zajhatások miatt látszólag kedvezőbb a hegesztett szerkezetekkel szemben.

Egyéb korrekciók: A hajtóműben lévő *fokozatok* számának nincs jelentősége zaj szempontjából. A jellemző értéket az első fokozat határozza meg.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A fogaskerékes hajtóművek A-teljesítményszintjének várható értéke nagyszámú mérési adaton alapuló, meghatározott valószínűségű bázisérték felhasználásával a gyakorlat számára kielégítő pontossággal számítható. Az eljárás a zajhatásokat módosító korrekciós tényezőket alkalmaz, melyek meghatározásához a tervező a szükséges adatokkal rendelkezik.

6. IRODALOM

- [1] Kováts Attila: Zaj – és rezgésvédelem. Veszprémi Egyetemi Kiadó. Veszprém 2004
- [2] Kováts Attila: Gépszerkezettan. Tankönyvkiadó, Budapest 1988
- [3] Dömötör Ferenc. Rezgésdiagnosztika I. – II. kötet. Dunaújvárosi Főiskolai Kiadó Hivatal 2008/2010
- [4] Sarka Ferenc: A hajtóműház szerepe a csapágyak élettartamában. OGÉT 2008 konferencia kiadvány.
- [5] Sarka Ferenc: Fogaskerékes hajtóművek zajának csökkentése Doktoranduszok fóruma 2003 konferencia kiadvány.
- [6] Tóbis Zsolt: Hajtóműhibák frekvenciaelemzéssel. Géptervezők és Termékfejlesztők XXI. Szemináriuma. Miskolc, 2005. november 10 - 11. GTE Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Géptervező Szakosztályának kiadványa. Miskolc, 2005.
- [7] Erney Gy.: Fogaskerekek. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1983.
- [8] Lipovszky Gy. – Sólyomvári K. – Varga G. : Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1982.