

KÖRFŰRÉSZTÁRCSA REZGÉSEINEK VIZSGÁLATA VASÚTI SÍN DARABOLÓ CÉLGÉP ESETÉN

Kundrát Tamás

III. éves gépészmérnök alapszakos hallgató

*Miskolci Egyetem, Szerszámgépeszeti és Mechatronikai Intézet, Szerszámgépek Intézeti
Tanszéke*

3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: kundrattamas@gmail.com

Dr. Szilágyi Attila

egyetemi docens

*Miskolci Egyetem, Szerszámgépeszeti és Mechatronikai Intézet, Szerszámgépek Intézeti
Tanszéke*

3515 Miskolc-Egyetemváros, e-mail: szilagyi.attila@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Cikkünkben egy vasúti sín daraboló célgép vágószerszámának (körfűrész tárcsa) dinamikai-rezgéstani vizsgálatával foglalkozunk, ennek során a sajátfrekvenciák és gerjesztő frekvenciák ismeretében meghatározzuk a különböző lengésképeket, amelyek alapján képet kaphatunk a szerszám munkahelyzetben történő viselkedéséről. Az utólagos megmunkálás többletköltséggel jár, ezért törekedni kell a minél precízebben vágott felület előállítására. Az esetleges rezgések pontatlanságot okozhatnak, és így kedvezőtlenül befolyásolhatják a szerszám élettartamát.

Kulcsszavak: *célgép, sín darabolás, fűrész tárcsa, rezgések, analitikus dinamikai vizsgálat*

Abstract

This article concerns the dynamical behaviour of a special circular saw blade operated by a rail-cutting machine. The dynamics, the eigenfrequencies and the stimulating frequencies are investigated, hence the vibrations of the circular saw blade of the machine is analysed. In this way we may draw some conclusions on the quality of the cutted surface. Since post-flow has extra cost, precise cutting is expected already for the first trial. Vibrations coming from the cutting process may cause inaccurate manufacturing and, besides, may as well influence the lifetime of the saw-blade.

Keywords: *single-purpose machine, rail cutting, saw blade, vibration, analytical dynamic analysis*

1. Bevezetés

A vasúti sín egy rugalmasan alátámasztott tartó, amely a vasúti járművek vezetésére és a nagy, változó terhelések felvételére szolgál. A vasúti sínek darabolására az alábbiak miatt van szükség. A sínek hosszára meghatározott szabványok vonatkoznak, a szegmenseket később a beépítés helyszínén alumíniumotermikus hegesztési eljárással összeillesztik. Továbbá a vágányok keresztezésénél ún. kitérőket kell alkalmazni, melyek lehetővé teszik a kény-

szerpályán haladó vasúti járműveknek, hogy az eredeti iránytól eltérő irányba kitérjenek, és egy másik vágányon haladhassanak tovább. Az ilyen kitérők alkalmazása szintén igényli a sínek darabolását. A sín szegmenseket rendkívül pontosan kell illeszteni, hiszen gondoljunk csak bele, mi történne, ha egy $50 \frac{km}{h}$ -val közlekedő vasúti szerelvényű kisiklana a rossz illesztések miatt. A vágott felület minőségét alapvetően meghatározza a fűrészárca dinamikai viselkedése, rezgései, tehát fontos szerepe van a tárcsa saját rezgéseinek is az előírt pontosság betartása érdekében.

2. Körfűrészárca sínek darabolásához

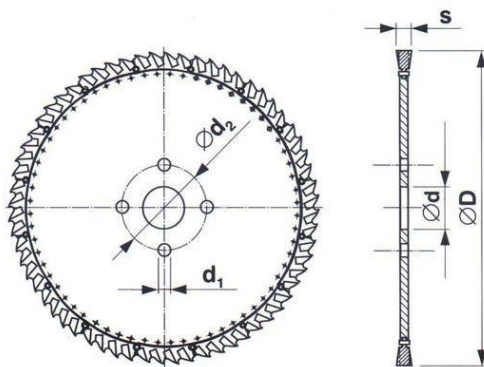
A vasúti sínek darabolására megfelelő szerszámot kell alkalmaznunk, amely ellenáll a felépő terheléseknek, képes elvágni a speciális, Mn ötvöztetésű acél anyagot, illetve megfelelő vágósebességgel lehet vele megmunkálást végezni (a darabolási idő csökkentése céljából). A fűrészárca anyagánál elvárás, hogy keményfém erősítéssel rendelkezzen, illetve viszonylag egyszerűen karbantartható legyen. Gyorsacél (HSS) szerszám is megfelelő lenne, azonban a kemény karbidoknak köszönhetően a vágás gyorsabban elvégezhető, azonban az ilyen típusú fűrészárcsák költsége magas, mégis célszerű ezt a típust választani a nagyobb termelékenység elérése céljából a szerszámválasztásnál.

A *GSP-High Tech Saws (Zborovice)* cég ajánlása alapján erre a célra alkalmas szerszám $\varnothing D = 630mm$ átmérőjű, szegmensekből felépülő körfűrészárca.

SZEGMENTÁLIS KÖRFÜRÉSZÁRCSA

A szerszám jellemzője, hogy króm-vanádium ötvöztetésű acél testből, és edzett szegmensekből épül fel. Ezek a szegmensek helyezkednek el a fogak, amelyek végzik a forgácsolást. A szegmenseket szegecsekkel rögzítik az acél testhez. Előnye a szerszámnak, hogy rendkívül kis karbantartási és javítási idővel rendelkezik. (1. ábra) Ezt azt jelenti, hogy abban az esetben, ha eltörik, vagy túlzott mértékben elkopik egy fog, akkor a szegmens egyszerű cseréjével tovább használható a szerszám és folytatódhat a megmunkálás.

A fogak száma szegmensenként állandó, azonban lehetőség van más fogszámú szegmenseket is beépíteni az adott acél testre, így kiterjesztve az alkalmazását. Keménysége kb. 63–65HRC.



1. ábra. Szegmentális körfűrészárca [1]

A dinamikai vizsgálathoz, illetve a gerjesztő frekvencia meghatározásához a következő, korábban említett cég által ajánlott adatokat használjuk fel. $\varnothing D = 630\text{mm}$, a vágás szélessége $s = 6\text{mm}$, a fogak száma 160 db.

3. Dinamikai analízis

A vizsgálathoz először megalkotjuk a fűrész tárcsa dinamikai modelljét, amely a tárcsa középpontjánál megfogott kör alakú lemezszerű test. Olyan kör alakú, középfuraton megfogott síklemezzel foglalkozunk, amelynek a vastagsága a másik két méreténél sokkal kisebb és állandó, nagysága pedig a fog szélességgel egyezik meg. A fogazást, és így az vágóelgeometriát is figyelmen kívül hagyjuk. Ugyanígy figyelmen kívül hagyjuk d_2 átmérőjű furatkör mentén elhelyezkedő 4 db rögzítő furatot. A modell anyaga lineáris, homogén, izotrop.

3.1. Síklemezek rezgései [2] [3] [4]

A lemez anyagának sűrűsége acél esetében $\rho = 7827 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Poisson tényezőjét ν -vel jelöljük, amely $\nu = 0,27$ értékű, rugalmassági modulusa pedig $E = 199,947\text{GPa}$.

[2] alapján a lemez differenciálegyenlete statikus terhelés és kis elmozdulások esetén

$$\nabla^2 \nabla^2 \zeta = \frac{p}{D}, \quad (1)$$

ahol ζ a lehajlás, p a külső nyomás, $D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)}$ a lemez hajlítómerevsége és h a lemez vastagsága.

Az (1)-es egyenletben szereplő differenciáloperátor jelentése

$$\nabla^2 \nabla^2 \zeta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) = \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \zeta}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \zeta}{\partial y^4}. \quad (2)$$

A tehetetlenségi erő felületegységre jutó része

$$p_1 = -\rho g \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}, \quad (3)$$

így a lemez mozgásegyenletére a következő formula írható fel

$$\nabla^2 \nabla^2 \zeta + \frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2} \frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = \frac{p}{D}. \quad (4)$$

Lengés közben a lemez középsíkjának x, y helykoordinátájú pontja az egyensúlyi helyzetből w -vel mozdul el a lemez síkjára merőlegesen. Figyelembe véve azt az esetet, amikor nincs külső terhelés ($p=0$), feltételezhető, hogy

$$\zeta(x, y, t) = w(x, y) \cos \alpha t, \quad (5)$$

ahol α a sajátrezgés körfrekvenciája, t pedig az idő.

A w amplitúdófüggvény differenciálegyenlete

$$\nabla^2 \nabla^2 w - \kappa^4 w = 0, \quad (6)$$

ahol

$$\kappa^4 = \alpha^2 \frac{12\rho(1-\nu^2)}{Eh^2}. \quad (7)$$

Átalakítás után a (6)-os egyenlet felírható az alábbi alakban

$$(\nabla^2 - \kappa^2)(\nabla^2 + \kappa^2)w = 0, \quad (8)$$

tehát a differenciálegyenlet partikuláris megoldásai az alábbi differenciálegyenletek megoldásai lesznek

$$(\nabla^2 - \kappa^2)w = 0 \quad (9)$$

$$(\nabla^2 + \kappa^2)w = 0$$

A (6)-os egyenlet végtelen sok megoldást eredményezne, azonban ezek közül csak a peremfeltételeknek megfelelőket kell kiválasztani.

A befogott széleken

$$\begin{aligned} w &= 0 \\ \frac{\partial w}{\partial r} &= 0, \end{aligned} \quad (10)$$

a szabad széleken pedig

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial s^2} &= 0 \\ \frac{\partial^3 w}{\partial r^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial r \partial s^2} &= 0 \end{aligned}, \quad (11)$$

ahol r a lemez kerületének normálisa, s a kerület érintője.

A lemezek rezgésegyenleteit egyszerű esetekben egészen pontosan meg tudjuk oldani, azonban a legtöbb esetben közelítő számítási módszereket szükséges alkalmazni.

3.2. Kör alakú lemezek rezgései

A rezgéskép és a sajátfrekvencia meghatározásához célszerű a (6)-os egyenletet poláris koordinátarendszerbe átírni. A *Laplace-operátor* alakja r, φ poláris koordinátákban

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{\partial^2}{r^2 \partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial r^2}, \quad (12)$$

így a rezgésegyenlet

$$\left(\frac{\partial^2}{r^2 \partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial r^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{r^2 \partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} \right) - \kappa^4 w = 0. \quad (13)$$

Ezen egyenlet megoldása, amely n csomóvonalú rezgésnek felel meg, a következőképpen írható fel

$$w = f(r) \cos n\varphi . \quad (14)$$

Az egyenlet megoldását, amely $r = 0$ helyen nem végtelen nagy értékű, az alábbi

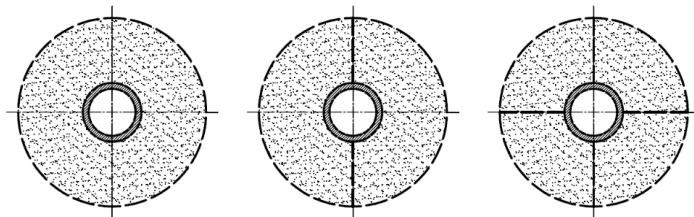
$$f(r) = C_1 J_n(\kappa r) + C_2 J_n(\kappa r) , \quad (15)$$

kifejezés adja, ahol J_n az n -edrendű elsőfajú Bessel-függvény, és amely megoldások a peremfeltételek függvényében konkretizálhatók.

A fűrész tárcsa rezgéstani vizsgálatához szükség van a sajátfrekvenciára, amelyet a peremfeltételeket kielégítő homogén egyenletrendszer gyökei alapján határozhatunk meg, melyre a

$$\alpha_{nm} = \Gamma_{nm} \sqrt{\frac{Eh^2}{12R^4 \rho(1-\nu^2)}} \quad (16)$$

kifejezés adódik, és ahol [3] 538.old 6.7. táblázat alapján $\Gamma = 4,7$, α pedig a sajátkörfrekvencia. A fűrész tárcsa vizsgálatához a gyakorlatban legtöbbször alkalmazott lengésformákat használjuk fel (**2. ábra** [3]).



2. ábra. Állandó vastagságú síklemezek lengésképe.

A saját körfrekvencia ismeretében a sajátfrekvenciája az ismert

$$f_{saját} = \frac{\alpha}{2\pi} \quad (17)$$

kifejezéssel számítható.

3.3. Fűrész tárcsa sajátfrekvenciájának meghatározása

Ebben a fejezetben az előzőekben ismertetett elv alapján meghatározzuk a szegmentális körfűrész tárcsa sajátfrekvenciáját, amelyet felhasználunk az analitikus dinamikai vizsgálat-hoz. Korábban ismertetett összefüggések alapján

$$\alpha_{nm} = \Gamma_{nm} \sqrt{\frac{Eh^2}{12R^4 \rho(1-\nu^2)}} , \quad \alpha_{10} = 4,7 \sqrt{\frac{199,947 \cdot 10^9 \text{ Pa} \cdot (6 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{12 \cdot (0,315 \text{ m})^4 \cdot 7827 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (1-0,27^2)}} = 430,659 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (18)$$

$$f_{saját} = \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{430,659 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{2\pi} = 68,542 \text{ Hz} . \quad (19)$$

3.4. Gerjesztő frekvencia meghatározása

A szerszámgyártó cég által $v_c = 50 \frac{m}{\text{min}}$ vágósebesség ajánlott a szegmentális fűrész tárcsához. A tárcsa tengelyén a fordulatszám

$$n = \frac{v_c}{r \cdot 2\pi} = \frac{50 \frac{m}{\text{min}}}{0,315m \cdot 2\pi} = 25,263 \frac{\text{ford.}}{\text{min}}. \quad (20)$$

A gerjesztő frekvencia $z = 160db$ fogsám esetén

$$f_{\text{gerjesztő}} = z \cdot \frac{n}{60} = 160 \cdot \frac{25,263 \frac{\text{ford.}}{\text{min}}}{60} = 67,368 \text{Hz} \quad (21)$$

értéküre adódik. Az analitikus számítás alapján adódó sajátfrekvencia gyakorlatilag megegyezik a megmunkálási paraméterek alapján adódó gerjesztő frekvencia értékkel, így vágás során a fűrész tárcsa kerületi pontjai nagy amplitúdójú rezgéseket végezhetnek, ami a tárcsa élettartamát és a vágott felület minőségét is negatívan befolyásolja.

4. Összefoglalás

A cikk célja egy vasúti sín daraboló célgép szegmentális fűrész tárcsájának – első közelítés szerű – rezgéstani analízise volt. Bemutattuk a vasúti sínek darabolásához használt szerszám jellemzőit, majd megalkottuk annak közelítő dinamikai modelljét. Rezgéstani alapokra támaszkodva, köralakú síklemezként feltételezve a fűrész tárcsát, kiszámoltuk a sajátfrekvenciát, illetve a megmunkálás közben adódó gerjesztő frekvenciát. Mivel a kiszámolt saját- és gerjesztő frekvenciák igen közel esnek egymáshoz, ezért a továbbiakban a vázolt probléma részletesebb feltárását is elvégezzük.

5. Köszönetnyilvánítás

A bemutatott kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő, Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében, a Támop-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

6. Irodalom

- [1] <https://katalog.mav.cz/detail.php?id=69742>
- [2] SZ. D. PONOMARJOV: Szilárdsági számítások a gépészetben 6. kötet, 273-276. old, Műszaki Könyvkiadó, 1966.
- [3] DR. LUDVIG GYÖZÖ: Gépek Dinamikája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- [4] Solid Mechanics Part II., Engineering Solid Mechanics – Small Strain, lecture notes http://homepages.engineering.auckland.ac.nz/~pkel015/SolidMechanicsBooks/Part_II/06_PlateTheory/06_PlateTheory_08_Vibrations.pdf