



THE EFFECT OF THE SHAPE AND POSITION OF THE COMPENSATING SLOTS IN THE BODY OF THE CIRCULAR SAW BLADE ON ITS CRITICAL SPEED DETERMINED BY USING THE METHOD CAD/FEM

Ján Svoreň – Lukáš Murín

Abstract

The process of cutting by the circular saws is the most commonly used in manufacturing of wood and wood materials. At present time, the asymmetric circular saw blade is the most commonly used in the cutting process. This one has some slots cut by a laser from the perimeter to the center of a circular saw blade. Such circular saw blade is advisable for decreasing of the lateral vibration amplitude during idling and cutting. The determinate informations were obtained upon experimental analysis. The effects of the shape of slots (serpentine and sigmoid) on critical speed are presented in the paper. The marked increase of the critical speed of circular saw blade with sigmoid slots compared with circular saw blade with serpentine slots is in the case when $k=2,3$ and 4.

Key words: *circular saw blade body, compensating slot, natural frequency, critical rotational speed, CAD, CAE*

ÚVOD

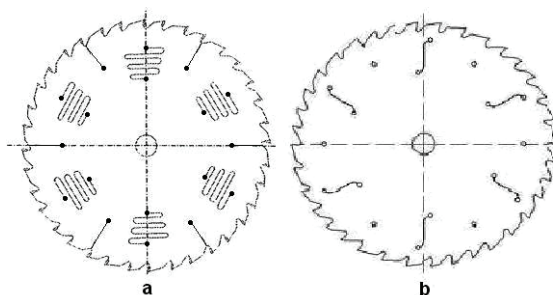
Kotúčové píly sú drevospracujúcimi zariadeniami, ktoré sa najčastejšie aplikujú pre operácie delenia dreva a drevných materiálov v drevárskom a nábytkárskom priemysle. Nástrojom kotúčových píl je pílový kotúč, ktorý počas chodu stroja naprázdno ako aj v procese rezania rotuje v hmotnom prostredí čo spôsobuje jeho rozkmitanie. Kmitanie telesa pílového kotúča má technologický a environmentálny vplyv, ktorý je pomerne známy. V mechanike pružných a poddajných telies je pílový kotúč popísaný ako medzi kruhová doska. Takáto medzi kruhová doska má nekonečne veľa vlastných frekvencií a im odpovedajúcich tvarov kmitania. Tvary kmitania medzi kruhovej dosky sú opísateľné uzlovými priermi k , uzlovými kružnicami s a ich vzájomnou kombináciou.

Vplyv počtu, tvaru a rozmerov takýchto drážok na vlastné uhlové frekvencie, tvary kmitania, kritické otáčky a hladinu emitovaného hluku pílového kotúča boli predmetom výskumu viacerých autorov (Holoyen 1987, Szymani 1987, Yu – Mote 1987, Nishio – Marui 1996, Svoreň – Naščák 1997, Raman – Mote 1999, Stakhiev 2000, Svoreň 2001). Aplikáciu FEM v oblasti výskumu kmitania telesa pílového kotúča je možné dokumentovať prácami (Leopold – Munz 1992, Svoreň – Michna 2006, Michna – Svoreň 2007). Na Katedre drevárskych strojov a zariadení využívame pre tvorbu modelov pílových

kotúčov a ich analyzovanie CAD, CAM, CAE systém Pro/ Engineer Wildfire 2 s integrovanou FEM technológiou Pro/Mechanica, ktorá používa P (polynomickú) konvergentnú metódu a generátor adaptívnej siete konečných prvkov.

METODIKA

V CAD Pro/Engineer boli namodelované dve telesá pílových kotúčov s rovnakými vonkajšími rozmermi, počtom a tvarom zubov obr.1. Pílový kotúč č.1 obsahoval šesť radiálne orientovaných kompenzačných drážok v tvare vlny. Pílový kotúč č.2 obsahoval šesť radiálne orientovaných kompenzačných drážok v tvare písmena S. Ďalšie modely pílových kotúčov vznikli otáčaním drážok v rovine kotúča o uhol 45° , 90° , 135° a ich radiálnym posuvom stredy o ± 5 mm. Tieto modely sa vytvárali priamo v programe CAD Pro/Engineer.



Obrázok 1 Analyzované tvary telesa pílového kotúča

Priemer telesa $\varnothing D = 350$ mm, priemer upínacieho otvoru $\varnothing d = 30$ mm, počet zubov $z = 36$, hrúbka telesa $a = 2,5$ mm, priemer uvažovaných upínacích prírúb $\varnothing d_f = 110$ mm.

CAE modely telesa kotúča vo FEM Pro/Mechanica boli modelované a analyzované ako 3D modely pomocou tenkostenných trojuholníkových a štvoruholníkových prvkov typu shell (škrupina). CAE s FEM umožňujú stanovenie zadaného počtu alebo rozsahu hodnôt vlastných uhlových frekvencií a tvarov kmitania technických sústav v stanovených frekvenciách pomocou „modálnej analýzy“. Vlastné uhlové frekvencie a tvary kmitania napríklad telesa pílového kotúča stanovené pomocou modálnej analýzy označujeme ako vlastné uhlové frekvencie a tvary kmitania neotáčajúceho sa pílového kotúča. Rotáciou pílového kotúča okolo osi upnutia vzniká v jeho telese napätovo – deformačný stav, ktorý je závislý na hodnote uhlovej rýchlosti rotácie kotúča a tvare telesa kotúča. Napätovo – deformačný stav zvyšuje priečnu tuhosť kotúča a tým ovplyvňuje hodnoty jednotlivých vlastných uhlových frekvencií, ktoré v tomto prípade označujeme ako vlastné uhlové frekvencie otáčajúceho sa pílového kotúča (dynamické frekvencie). Vlastné uhlové frekvencie otáčajúceho sa pílového kotúča je možné v CAE s FEM stanoviť pomocou analýzy typu „prestress modal“. Na obr.2 je znázornený výsledok prestress modal analýzy tvaru kmitania pílového kotúča č.2 v troch uzlových priemeroch $k = 3$.

Vzťah medzi vlastnou uhlovou frekvenciou otáčajúceho sa pílového kotúča a otáčkami je podľa (Nishio a Marui, 1996) vyjadrený rovnicou:

$$f_d(n)^2 = f_{(n=0)}^2 + \lambda \left(\frac{n}{60} \right)^2, \text{ Hz} \quad (1)$$

kde: $f_d(n)$ – vlastná uhlová frekvencia otáčajúceho sa pílového kotúča získaná z prestress modal analýzy,

$f_{(n=0)}$ – vlastná uhlová frekvencia neotáčajúceho sa pílového kotúča získaná z modálnej analýzy, t.j. keď $n = 0$.

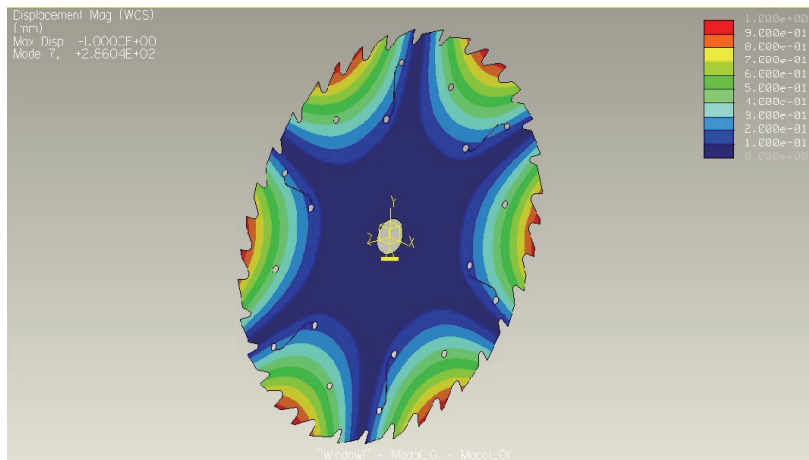
n – otáčky pílového kotúča, (min^{-1})

λ - koeficient odstredivej sily.

Hodnoty kritických otáčok sa určujú podľa rovnice:

$$n_k = \frac{60 \cdot f_{(n=0)}}{\sqrt{k^2 - \lambda}}, \text{ min}^{-1} \quad (2)$$

kde: k – počet uzlových priemerov ($k = 2; 3; 4 \dots$).

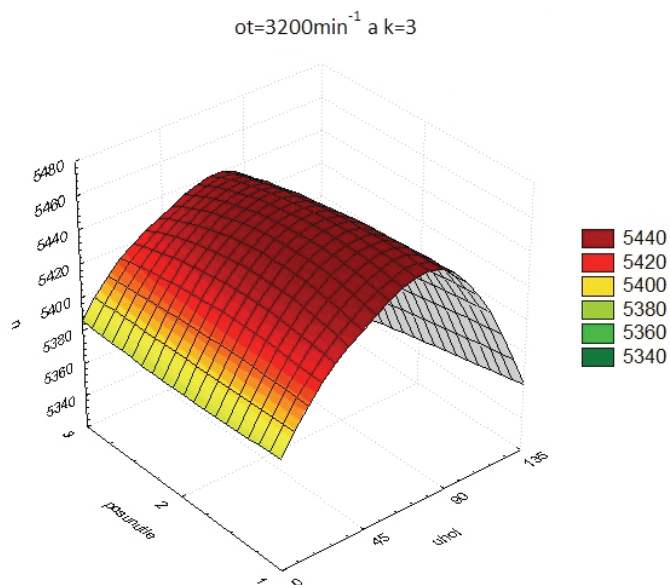


Obrázok 2 Výsledok prestress modal analýzy. Deformácia telesa pílového kotúča č.2 pri kmitaní v tvare $k = 3$ zodpovedajúcom vlastnej uhlovej frekvencii otáčajúceho sa pílového kotúča $f_d = 301,8$ Hz a rotujúceho uhlovou rýchlosťou $\omega = 334,9 \text{ s}^{-1}$.

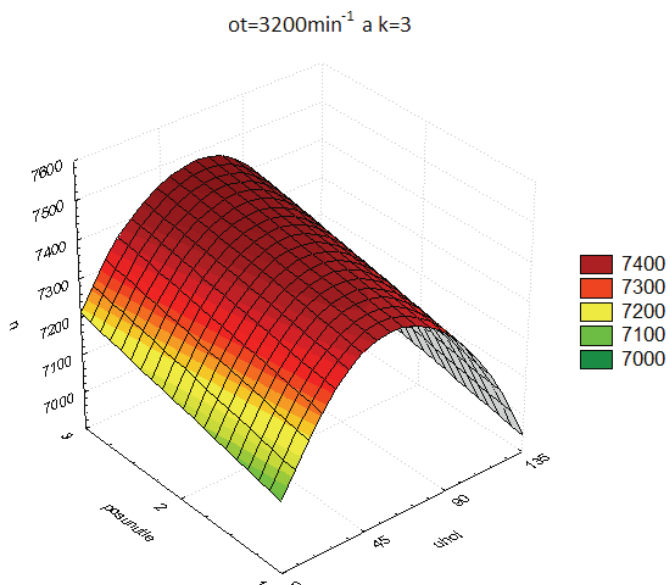
VÝSLEDKY ANALÝZ A DISKUSIA

Grafické znázornenie výsledkov analýz je na obr.3, obr.4 a obr.5, z ktorých sme zistili nasledujúce poznatky:

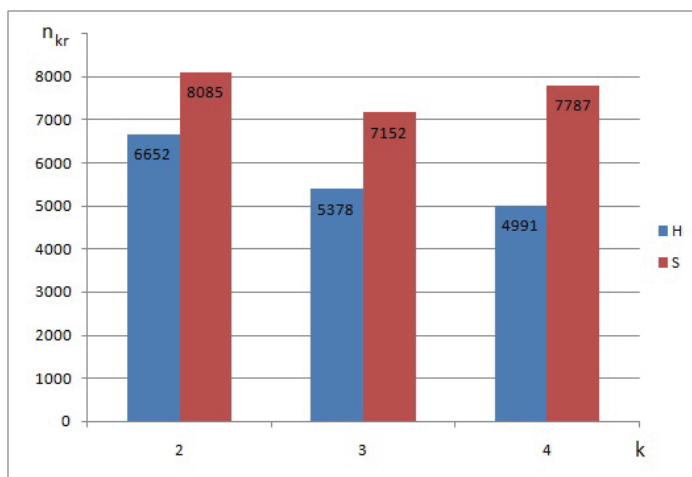
- tvar kompenzačnej drážky vplýva na hodnoty kritických otáčok pílových kotúčov,
- poloha kompenzačnej drážky v radiálnom smere vplýva tiež na hodnoty kritických otáčok pílových kotúčov,
- najvýhodnejšie sa ukázali kompenzačné drážky v tvare písmena S.



Obrázok 3 3-D graf znázorňujúci závislosť kritických otáčok od uhla natočenia a posunutia pre kotúč s vlnovitými drážkami



Obrázok 4 3-D graf znázorňujúci závislosť kritických otáčok od uhla natočenia a posunutia pre kotúč s esovitými drážkami



Obrázok 5 Graf znázorňujúci závislosť kritických otáčok na počte uzlových priemerov pre kotúč s vlnovitými (H) a esovitými drážkami (S)

ZÁVER

Aplikácia CAD a CAE systémov umožňuje stanovenie kritických otáčok pílových kotúčov s kompenzačnými drážkami rôznych tvarov a polohy. Určenie presnej hodnoty kritických otáčok pre príslušné tvary kmitania $k = 2; 3; 4$ má aj širší praktický význam. Použitá metóda je aplikovateľná v praxi a to hlavne v procese vývoja nových pílových kotúčov pri hľadaní optimálnych tvarov kompenzačných drážok a posúdenia ich vplyvu na hodnoty kritických otáčok. Výsledky aplikácie CAD a CAE systémov sú porovnateľné s výsledkami získanými experimentálnymi meraniami na reálnych pílových kotúčoch. Tieto merania boli realizované v laboratórnych podmienkach katedry drevárskych strojov a zariadení FEVT - TU vo Zvolene.

LITERATÚRA

- HOLOYEN, S.: 1987. Vibrations and natural frequencies of angular slot circular saws. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 45, 1987, p. 101 – 104.
- LEOPOLD, J. – MÜNZ, U.V.: 1992. Dynamische und statische Untersuchungen von Kreisägeblättern mittels der Finite – Elemente – Methode. *Holzbearbeitung*, 6, 1992, p. 52 – 56.
- MICHNA, S. – SVOREŇ, J.: 2007. Application of CAD, CAE with FEM for estimation ranges of values of critical rotational speed of Circular saw blades. *Acta facultatis Technicae*, XI, 2007, 1, s. 201 – 206. ISSN 1336-4472.
- NISHIO, S. – MARUI, E.: 1996. Effects of Slots on the Lateral Vibration of a Circular Saw Blade. *Proceedings of Tenth Wood Machinig Seminar*, 1996, p. 159 – 168.

- RAMAN, A. – MOTE, C. D.: 1999. Non – linear oscillations of circular plates near a critical speed resonance. *International Journal of Non – Linear Mechanics*, 34, 1999, p. 139 - 157.
- STAKHIEV, Y. M.: 2000. Today and tomorrow circular sawblades: Russian version. *Holz als Roh - und Werkstoff*, 58, 2000, p. 229 – 240.
- SVOREŇ, J. – NAŠČÁK, L.: 1997. Vplyv drážok tela pilových kotúčov na rezonančné a kritické otáčky. *Acta Facultatis Technicae*, 1, 1997, s. 93 –99.
- SVOREŇ, J.: 2001. Vlastné statické frekvencie kmitov pilových kotúčov s kompenzačnými drážkami. In: *Zborník prednášok z Medzinárodnej vedeckej konferencie, Sekcia č.1, Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2001, s.185 – 189.
- SVOREŇ, J. – MICHNA, S.: 2006. Estimation centrifugal force coefficient of circular saw with compensating slots by two methods. *Trends of wood working, forest and environmental technology development and their application in manufacturing process*. International Scientific conference to the 10th anniversary of FEVT foundation, Zvolen, 2006, s. 372 – 379. ISBN 80-228-1648-5.
- SZYMANI, R.: 1987. Dynamic design of saws: from theory to practice. *Wood Wood*, 28, 1987, č. 4, p. 40 – 42.
- YU, R. C. – MOTE, C. D.: 1987. Vibration of Circular saws Containing Slots. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 45, 1987, p. 155 – 160.

Pod'akovanie

Výsledky boli získané v rámci riešenia grantového projektu KDSZ VGP – č. 1/0022/09