

MUNKADARABOK MEREV ÉS RUGALMAS VÁKUUM LEFOGÁSÁNAK VIZSGÁLATA A FAIPARBAN

INVESTIGATION OF DYNAMIC BEHAVIOUR OF RIGID AND SEMI ELASTIC VACUUM CLAMPING IN THE WOOD INDUSTRY

Csanády Etele*; Németh Szabolcs**, Imre Sándor***, Bakki-Nagy****; Tatai Sándor*****

ABSTRACT

The 3-dimensional cutting force and the biaxial vibration measurement parallel with it provide an opportunity to the processing parameters' better setting on the CNC computer controlled machine centres and to a comparison of various clampings. When the work pieces are vacuum clamped, a vibrational system is generated because of the rubber seal. The vacuum clamping constitutes the vibrational system. The force, which generates the vibration, is a plain force which is generated by the cutting tool during the cutting. The investigated tool performs diversely at different revolutions. If the work piece is excited at its natural frequency or its multiple by the tool edges then the feed per tooth on the cutting edges can vary considerably. The surface roughness measurements proved this result. For the industry, it is recommended to choose the suitable revolution in favour of the good surface roughness and also for vacuum clamping, it is recommended to choose the most suitable rubber profile.

Keywords: vibration, excitation, natural frequency, rigid, elastic

BEVEZETÉS

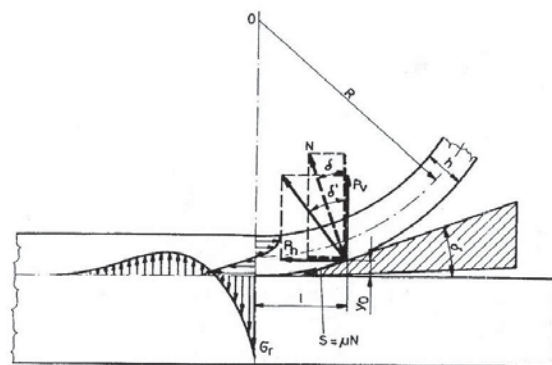
A faiparban a munkadarabok forgácsolása vagy előtolás közben történik az úgynevezett áteresztő gépeknél, vagy rögzített helyzetben, mint például a CNC megmunkáló központokon. Egy összefüggőbb kutatási munka témaként CNC megmunkáló központokon vizsgáltuk a munkadarab lefogásának dinamikai, kinematikai és felületi érdekességet befolyásoló viszonyait. Jellemzően a faipari CNC megmunkáló központokon a vákuumos lefogást alkalmazzák. A vákuumos lefogás nem tekinthető merev lefogásnak és a jellemzően nagy forgácsolási és magas előtolási sebességek komoly erőhatásoknak teszik ki a munkadarabot. Kedvezőtlen forgácsolási paramétereknél, illetve helytelenül ala-

csony vákuumértéknél (0.7 bar alatt) a lefogott elemek elmozdulhatnak, a termék selejtes lesz. Korábbi kutatásaink során vizsgáltuk vákuumos lefogásnál az elmozdításhoz szükséges vízszintes elhúzó erő nagyságát, a munkadarab függőleges irányú leszakításához szükséges erőt adott vákuumértékek esetén. Kimutattuk a gumi tömítőcsík sűrűlódási viszonyokat befolyásoló hatását, meghatároztuk a ténylegesen működő vákuumfelület nagyságát, valamint szimuláltuk a forgácsolás közbeni szerszámél által kifejtett ütő dinamikus erőhatásokat a munkadarabon. Jelen kutatásunkban egy National Instrument és LabView mérőrendszerrel, valamint háromirányú erőmérő cellával és rezgés jeladókkal hasonlítottuk össze forgácsolás közben a munkadarabon fellépő erő- és rezgéskülönbségeket merev lefogás és az iparban alkalmazott vákuumos lefogás közt.

ELMÉLETI ALAPOK. A FA FORGÁCSOLÁSA KÖZBEN FELLÉPŐ ERŐHATÁSOK

Ahhoz, hogy az elvégzett komplex mérési sorozatokból adódó új eredményeket megértsük, néhány alapvető törvényszerűséget meg kell ismerni a faanyag forgácsolásakor. Faanyag megmunkálásakor teljesen más viszonyok alakulnak ki, mint fémek esetében.

A fellépő forgácsoló erő vízszintes és függőleges összetevőinek meghatározásához feltételezzük, hogy a forgács a kés felületén egy R sugáron deformálódik, amit egy sor gyakorlati megfigyelés támasztott alá.



1. ábra: Forgács erő és deformáció viszonyok (3)

* egyetemi docens, NymE Gépészeti és Mechatronikai Intézet

** egyetemi adjunktus, NymE Gépészeti és Mechatronikai Intézet

***** egyetemi adjunktus, NymE Gépészeti és Mechatronikai Intézet

Az 1. ábra a forgács erő- és deformáció viszonyait mutatja. A szerszámnak a homlokfelületére hat egy N normális erő, ami komponenseire bontható. Mivel a forgács a szerszám homlokfelületén csúszik, ezért $S = \mu N$ súrlódó erő is keletkezik, ami szintén szétbontható komponenseire. Ha a komponenseket összegezzük, akkor a kapott eredő erő a mozgás irányába előre hajlik és a függőlegessel bezárt szöge az alábbiak szerint alakul:

$$P_h = N \cdot \sin \delta + \mu \cdot N \cdot \cos \delta$$

$$P_v = N \cdot \cos \delta + \mu \cdot N \cdot \sin \delta$$

amelyből:

$$\tan \delta' = \frac{P_h}{P_v} = \frac{\tan \delta + \mu}{1 - \mu \cdot \tan \delta}$$

A forgácsoló erő komponenseinek meghatározásához a nyomatékok egyensúlyából kell kiindulni. Ha a semleges szál közepén fekszik, akkor a relatív nyúlás és az ellenállás-nyomaték kifejezése a következők:

$$\varepsilon = \frac{r - R}{R} = \frac{h}{2R} \quad \text{és} \quad W = \frac{b^2}{6}$$

Viszont a semleges szál eltolódásakor az értékek módosulnak, számítások szerint a következőképp:

$$\varepsilon \cong \frac{h}{5R} \quad \text{és} \quad W \cong \frac{b^2}{0}$$

Az egyensúlyi egyenlet így a következőképp írható fel:

$$P_v \cdot l + P_h \cdot y_0 = \sigma_h \cdot W = E \cdot \frac{h}{5 \cdot R} \cdot \frac{b^2}{0}$$

ahol:

b – a forgács szélessége.

$$l \cong R \cdot \sin \delta \quad \text{és} \quad y_0 \cong R \cdot (1 - \cos \delta)$$

$$P_v = \frac{1}{f(\mu, \delta)} \cdot \frac{E \cdot b}{\Theta} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \cdot h \quad (3)$$

ahol:

$$f(\mu, \delta) = \sin \delta \cdot (1 - \mu \cdot \tan \delta) + (\sin \delta + x_0 / R) \cdot \tan \delta \cdot (\tan \delta + \mu)$$

és x_0 - a geometriai előhasadás

A vízszintes erőkomponens a forgácsolóerő, a következő egyenletből számítható:

$$P_h = \frac{\tan \delta'}{f(\mu, \delta)} \cdot \frac{E \cdot b}{\Theta} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \cdot h \quad (3)$$

mely egyenlet a forgács deformációjára fordított erőt adja. De a valóságban a lekerekített élre is hat erő, amelynek a fa nyomószilárdságát kell legyőznie.

$$P'_h = s \cdot b \cdot \sigma_y$$

ahol: $s \cong 2\rho$ - az él vastagsága

σ_y - fa nyomószilárdsága.

Az egységnyi hosszra vonatkoztatott forgácsolóerő kifejezése így:

$$P_h = 2\rho \cdot \sigma_y + \frac{\tan \delta'}{f(\mu, \delta)} \cdot \frac{E \cdot b}{\Theta} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \cdot h$$

A forgácsolás irányától függően ez az erő vagy valamelyik komponense határozza meg a vákuummal lefogott munkadarab általunk vizsgált dinamikai és kinematikai viszonyait. A rugalmas lefogórendszer viselkedésének meghatározásához minden forgácsolási paramétercsoportnál párhuzamosan vizsgáltuk a merev lefogással rögzített munkadarab viselkedését is.

A MÉRŐRENDSZER FELÉPÍTÉSE

Mérőrendszerünk felépítéskor kettős célt tűztünk ki: egyidejűleg mértük a fellépő erőket és rezgéseket a munkadarabon.

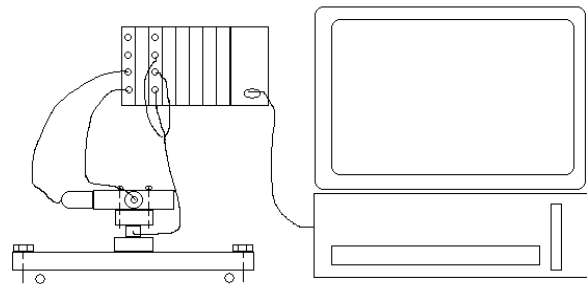
A forgácsoláskor fellépő rezgéseket vízszintes síkban x és y irányban mértük IPC 608A11 típusú piezoelektromos rezgés jeladóval, amelynek főbb műszaki paraméterei az alábbiak voltak:

- Méréshatár: 50 g

- Rezgés frekvencia: 0,5-10 kHz

Dinamikus erőhatások mérésére PCB piezoelektromos háromirányú erőmérő cellát alkalmaztunk, melynek segítségével egyszerre tudtunk mérni dinamikus és kvázi-stacioner erőértékeket. Az erőmérő cella maximális terhelhetősége x -y irányban 3200 N és z irányban pedig 1700 N volt.

Az ismertett rezgés- és erőmérő szenzorokat NI 9233 típusú adatgyűjtő kártyákhoz csatlakoztattuk, amely a mérési adatokat gyűjtötte és a számítógépnek továbbította USB porton keresztül. Az adatokat a számítógép egy erre alkalmas szoftver (LabVIEW) segítségével dolgozta fel.



2. ábra: Számítógépes adatgyűjtő rendszer mérésvázlata

A 2. ábrán látható adatgyűjtő rendszer az alábbi két jellemző paraméterrel rendelkezik:

- Mintavételezés: 5 millió minta/másodperc kártyánként

- Órajel maximális frekvenciája: 0-20 MHz

A National Instruments mérőrendszer rugalmas felhasználói programokat és moduláris, többfunkciós hardver-

ket használ PC-hez kapcsolódva. Virtuális műszereket alkalmaz, amely a LabVIEW grafikusan programozható fejlesztői környezet segítségével építhető fel. Ezen alkalmazásokon keresztül valós jelek mérése, azok szimulálása, megjelenítése, rögzítése, kiértékelése, valamint a kapott eredmények megjelenítése és továbbítása oldható meg. A LabVIEW program által felkínált blokkdiagram segítségével felépítettük grafikus elemekkel virtuálisan is a mérőrendszerünket. Beépítettük a szükséges függvényeket, aritmetikai és logikai műveleteket, valamint az egyéb szükséges objektumokat. A mérőkör felépítését huzalozással fejeztük be, amely az adatáramlás útvonalát jelölte ki.

Méréseinknél az alábbi határparamétereket szabtuk az egyes fizikai mennyiségek számára: vízszintes időtengely tartomány 0-0,2 sec, erő tartomány -3000 N – (+) 3000 N, rezgésyorsulás tartomány pedig -50 – (+) 50g közé lettek állítva. Mérőrendszerünket úgy parametrizáltuk, hogy egyidejűleg nagysebességgel tudtuk rögzíteni az erőjeleket x, y, z irányban, valamint a rezgéseket x és y irányban. A 3. ábra mutatja a forgácsolásra kerülő munkadarabot, valamint a beépített jeladókat. A méréseket egy 5D szabadságfokú CNC megmunkálóközponton végeztük. A forgácsoláshoz egyenes, cserélhető kétélű keményfémlepkés marószerszámot használtunk.

Az elvégzett mérési feladatok az alábbiak voltak:

- A vákuumos és merev lefogás esetén ébredő erők és rezgések meghatározása.
- Vákuumos lefogás során két különböző profilú gumitömítés (O és U) erő- és rezgéstani viselkedésnek összehasonlítása.



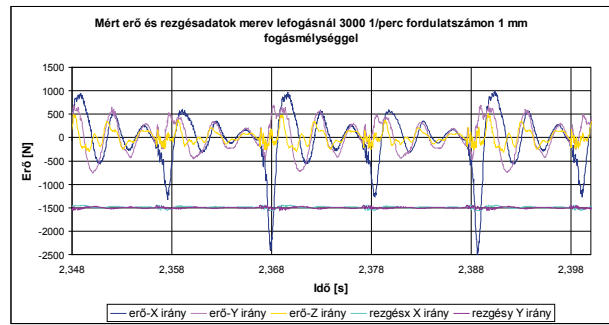
3. ábra: Rezgémérő műszer munkadarabra rögzítése

A kísérleteket 20 mm vastag egy oldalán laminált MDF lapon végeztük el. Minden esetben X irányban forgácsolunk kétélű szerszámmal és ellenirányú marást alkalmaztunk.

Az összehasonlító vizsgálatoknál a 3000, 4500, 6000, 9000, 12000 (1/min) fordulatszámokkal és négy különböző fogásmélységgel (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 mm) végeztük a marást, állandó 5 m/perces előtolás mellett.

MÉRÉSI EREDMÉNYEK

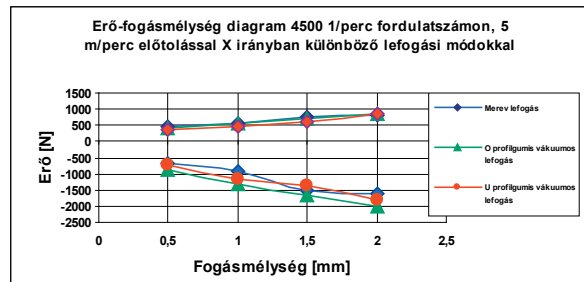
A mérési eredmények értékelését Microsoft Excel programmal végeztük. A méréskor automatikusan elmentett fájlokat importáltuk a táblázatkezelőbe.



4. ábra: X, Y, Z irányban kirajzolt grafikon részlet

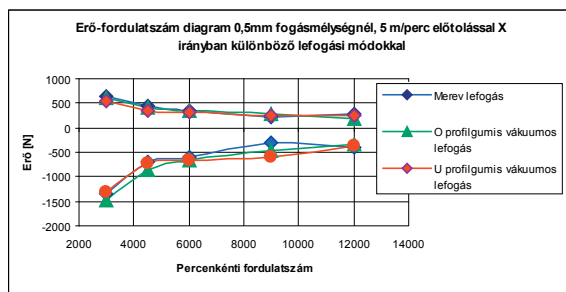
A 4. ábrán berajzolt függőleges osztások a szerszám fél fordulatát jelentik, ugyanitt függőlegesen letolva ábrázoltuk a rezgésyorsulásokat is.

A 4. ábrán jól látható, hogy bármely él forgácsolás kezdésekor megjelenik egy X és Y erőcsúcs. Ez megfelel az ellenirányú maráskor várható viszonyoknak. Alacsonyabb fordulatszámokon a forgácsoló munkadarab lengeni kezd és csillapított harmonikus rezgőmozgáshoz hasonlóan viselkedik. A teljes csillapodásra nincs idő, mivel a második él is fogásba lép és erőhatásával megváltoztatja a lengést. A rezgés görbén ez jól látszik. Az 5. ábrán az állandó fordulatszámokon kialakult X irányú erőket láthatjuk, mereven lefogott, valamint O és U keresztmetszetű tömítés használatakor a fogásmélység függvényében vákuumlefogásnál.



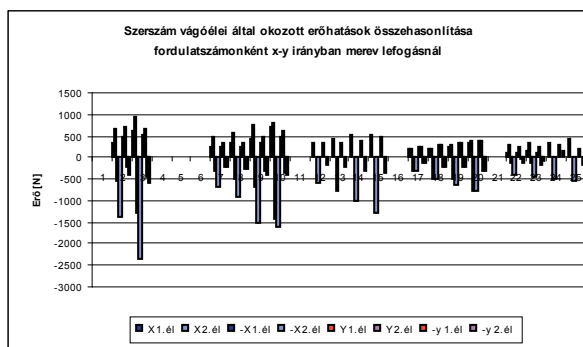
5. ábra: Erő-fogásmélység viszony állandó fordulatszám-nál és előtolásnál

A 6. ábrán az állandó fogásmélységen kialakult X irányú erőket láthatjuk, mereven lefogott, valamint O és U keresztmetszetű tömítés használatakor a fordulatszám függvényében vákuumlefogásnál.

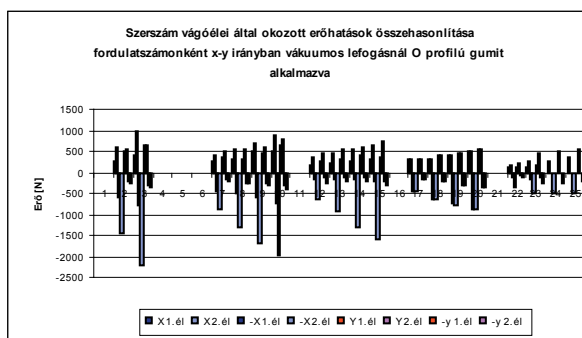


6. ábra: Erő-fordulatszám viszony állandó fogásmélységnél és előtolásnál

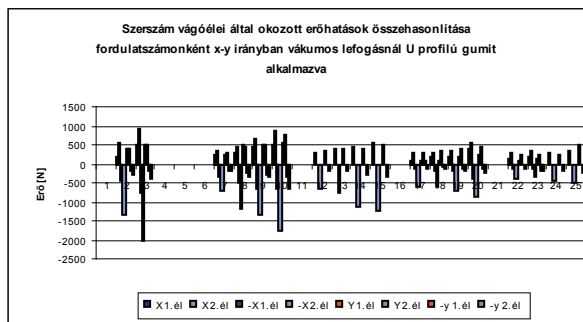
A méréseket összefoglalva a 7-8-9. ábrákon ábrázoltuk. A diagramokon az oszlop csoportok fordulatszámokhoz tartoznak, az oszloppárok pedig a két forgácsoló élet jelentik külön-külön. A pozitív és negatív erőcsúcsok külön kerültek felhordásra.



7. ábra: Munkadarab erőviszonyai változó paraméterek mellett merev lefogásnál



8. ábra: Munkadarab erőviszonyai változó paraméterek mellett O profilú vákuumtömítés esetén

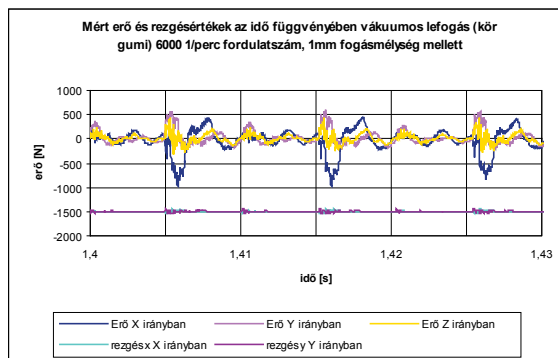


9. ábra: Munkadarab erőviszonyai változó paraméterek mellett U profilú vákuumtömítés esetén

A diagramokról jól látható, hogy 3000 és 4500 1/min fordulatszámánál mindkét keményfémlepkára forgácsol, bár vannak eltérések az egyes erő nagyságok között. Merev lefogásnál az eltérések kisebbek, mint vákuumos lefogás esetén. Ennek az az oka, hogy merev lefogás esetén minden él fogásmélysége ugyanakkora. Ha a munkadarab lengést végez, akkor a lengéskitérés növelheti vagy csökkentheti a fogásmélységet. A két gumiprofil összehasonlítva azt

mondhatjuk, hogy az U profil kedvezőbb eredményeket ad, mert ez közelíti jobban a merev lefogást. Alacsony fordulatszám tartományban (3000 – 4500 1/min) a merev lefogás adja a legjobb eredményt.

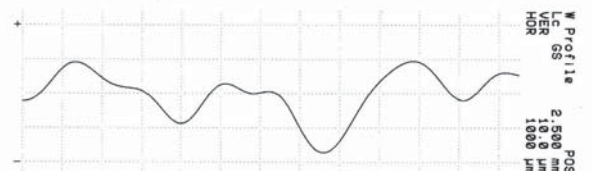
6000 1/perc fordulatszám esetén a második forgácsolóél által keltett erőjel nagyon csekély. Nagyobb fogásvételnél alig láthatóan, de már kapunk értékelhető erőértékeket. Ezek mértéke, az első él által kifejtett erő értékének 5-15%-a. Vagyis a lengéskitérés csökkenti az egyik él fogásmélységét.



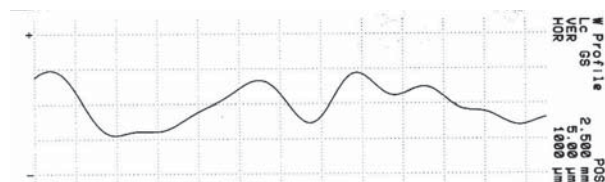
10. ábra: Erő-idő diagram

A 10. ábra bizonyítja, hogy a második él is forgácsol, csak kis mértékben. (a rezgés jeladók érzékelnek).

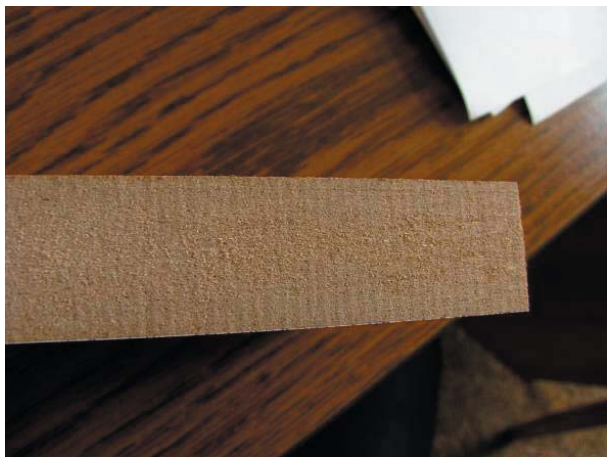
Az ismertetett eredmények azt bizonyítják, hogy egy lengőrendszer alakult ki, amely az élek fogásmélységét változtatja és a felületi érdességet kedvezőtlen irányba befolyásolja. A végzett felületi érdességvizsgálat a 11., 12. ábra is ezt bizonyítja.



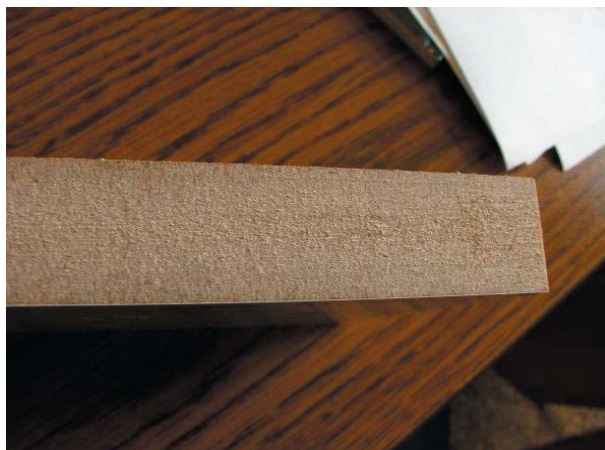
11. ábra: Felületi érdesség 6000/min fordulatszámánál, 5 m/min előtolási sebességnél



12. ábra: Felületi érdesség 9000/min fordulatszámánál, 5 m/min előtolási sebességnél



13. ábra: Marás 6000 1/perc fordulatszámon



14. ábra: Marás 9000 1/perc fordulatszámon

A felületi érdességet összehasonlítva azt kapjuk, hogy 6000 1/perc fordulatszámon végzett marás hullámmélységei eléri a $\pm 20 \mu\text{m}$ -t, 9000 1/perc fordulatszámon pedig csak $\pm 5 \mu\text{m}$ -t. Ez alapján megállapítható, hogy 9000 1/perc fordulatszámon, még 2 mm fogásmélységgel is sokkal jobb minőségű felületet nyerünk, mint a 6000 1/perc fordulatszámon 1mm fogásmélység esetén.

EREDMÉNYEK

A mérési eredményeket figyelembe véve, a merev lefogás adja a legkisebb lengéseket és az O profilú vákuumos gumitömítés a legnagyobbakat. Az *erő-idő diagramok* vizsgálatakor kiderült, hogy a 6000 és 12000 1/perc fordulatszámok esetén a lengőrendszer megakadályozza a második él, elsővel azonos mértékű forgácsoló hatását. Ezen jelenség magyarázata, hogy a forgácsleválasztáskor a munkadarab

400 Hz-es frekvenciával kezd lengeni. A lengés vákuumos lefogásnál nagyobb mértékű, köszönhetően a rugalmas alátámasztásnak, de szintén 400 Hz körüli. 6000 1/perc fordulatszámú kétélű szerszám éleinek forgácsolási frekvenciája 200 Hz, ennek a frekvenciának egész számú többszöröse a munkadarab önlengése. 9000 1/perc fordulatszám esetén a forgácsolás frekvenciája 300 Hz, aminek 400 Hz nem egész számú többszöröse. A fentiekből következik, hogy a szerszám 6000 és 12000 1/perc fordulatszámokon gerjesztheti a munkadarabot. A kialakuló lengés frekvenciája miatt kritikus fordulatszámokon a második él csak kismértékben forgácsol. A megmunkált felületi minőség javítása érdekében tehát el kell hangolni a szerszámélek forgácsolási frekvenciáját a munkadarab önlengés frekvenciájától más fordulatszámot kell alkalmazni.

ÖSSZEFOGLALÁS

A végzett mérések bizonyították, hogy vákuumos munkadarab lefogásnál fontos szerepet játszik a tömítőgumi profilja. Az erő- és rezgésmérések bizonyították, hogy a szerszám forgácsolási frekvenciáját el kell hangolni a munkadarab rugalmas lefogás miatti önlengés frekvenciájától. A felületi érdesség javítása érdekében tehát megmunkáláskor más fordulatszámot célszerű alkalmazni.

SUMMARY

The measurements have shown that the rubber profile has very important role when vacuum clamping is used. The force and acceleration measurements have shown that the frequency of the cutting must be mistuned with the natural frequency of the work piece.

It is recommended to choose the suitable revolution in favour of the good surface roughness.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BOROS I.: Villamos mérések a gépészetben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [2] CSÁKI F.: Irányítástechnikai kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1997.
- [3] SITKEI GY. (szerk.): A faipari műveletek elmélete. Szaktudás Kiadó, Budapest, 1994.
- [4] National Instruments Corporation: Getting started with LabVIEW, 2000.
- [5] National Instruments Corporation: LabVIEW Tutorial, 2000