

# FORGÁCSOLÁS NAGYKINYÚLÁSÚ SZERSZÁMOKKAL

## MACHINING WITH LONG EXTENDED TOOLS

*Hegedűs György, PhD, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet*

### ABSTRACT

This article presents the vibrations that can be generated during machining and the sources responsible for these vibrations. Special attention must be paid to the damping of vibrations because of the surface quality requirements, otherwise damaging vibrations will adversely affect the quality of the manufactured part. The examples presented illustrate that vibration requirements are greatly reduced in long tooling, for which there are both manufacturing and design solutions.

### 1. BEVEZETÉS

Megmunkálás közben megfigyelhető a forgácsoló rendszer lengése, ezt forgácsolási rezgésnek nevezzük. A forgácsolási folyamatban bizonyos feltételek mellett a rezgések fokozódnak, melynek hatására a rendszer elveszíti a stabilitását. Ezért a megmunkáló rendszerben fellépő rezgéseket károsnak kell tekintenünk. Egy rendszer lengő mozgását belső gerjesztő erők okozzák. Ezek lehetnek elsődleges és másodlagos gerjesztők. Elsődleges gerjesztők azok az erők, amelyek a lengést közvetlenül kiváltják, másodlagos gerjesztők az elsődleges gerjesztők hatására jönnek létre. Forgácsolás során elsődleges gerjesztések lehetnek például a környezetből átvett rezgések, a megmunkált anyag inhomogenitásából vagy alakjából, a forgács leválásából származó rezgések. Az elsődleges gerjesztők miatt kialakult rezgéseket a szerszám rámásolja a megmunkált felületre, amely a felületi minőségre van hatással (érdesség, hullámosság). Ezt a felületet tovább munkálva a hullámok újabb első gerjesztőként lépnek fel a már korábban meglévők mellé, azok hatásait tovább erősítve. Ilyen vonatkozásban az elsődleges gerjesztők hatásai lesznek a másodlagos gerjesztők. A megmunkáló rendszer tagjainak merevsége hatással van az elsődleges gerjesztők hatásaira. Ha a tagok merevek, a kitérések kicsik, akkor az elsődleges

gerjesztőerők is csökkennek állandó frekvencián, ezzel ki lehet küszöbölni a nagyobb elsődleges gerjesztő erőket, amelyek az öngerjesztést okozzák. Ha az öngerjesztést a másodlagos gerjesztőerők okozzák, akkor valamelyik rendszertag merevségének csökkentésével lehet elkerülni annak kialakulását [1].

### 2. REZGÉSCSÖKKENTÉS LEHETŐSÉGEI

Megmunkálás során rezgések léphetnek fel a szerszám, a befogó, a munkadarab vagy a szerszámgép korlátai miatt. Ez a jelenség minden esetben fennáll, amelyet elfogadunk bizonyos mértékig. Azonban előfordulnak olyan forgácsolási feladatok is, amikor annak teljesítéséhez át kell lépni egy vagy akár több korlátot is. A szerszámgép és szerszámgyártók fejlesztésekkel keresik azokat a megoldásokat, amelyekkel ezek a határok kitolhatóak, ezzel szélesebb teret adva a felhasználók számára a feladatok elvégzéséhez. Ehhez a gépágyak, szánrendszerek, illetve a szerszámok tervezése számítógépes analízissel készülnek, amelyekkel több információ nyerhető már a tervezés során a valós működés közbeni hatásokról.

#### 2.1 Forgácsoló szerszám geometria

A marószerszámok geometriája különböző lehet, így az arra ható forgácsoló erők iránya is ettől a geometriától függ. A gyakorlatban a következő alakok terjedtek el:

- $90^\circ$ -os: a radiális irány a meghatározó iránya a forgácsoló erőknek. Ez elhajlást okoz hosszú kinyúlásnál, viszont kedvezően hat a rezgésre hajlamos vékonyfalú alkatrészek megmunkálásánál, mivel a tengely irányú komponens kisebb.
- $45^\circ$ -os itt a radiális és axiális irányokban egyenletesen oszlanak el az erők.
- *Körlapka*: ebben az esetben a forgácsoló erők nagy része az orsó felé irányul, ezért hosszú szerszámoknál ez a legkedvezőbb

alak. A szerszámválasztásnál mindig törekedni kell a legkisebb szerszám átmérő használatára, amellyel még az adott feladat elvégezhető.

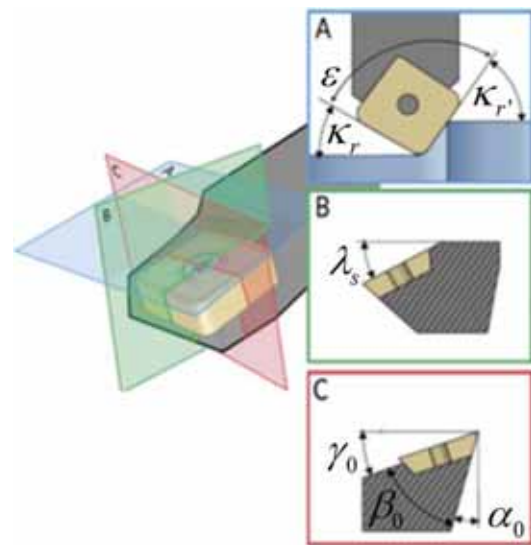
Szerszámátmérő: legfeljebb 50-70%-a legyen fogásban. Fontos szerepe van a marószerszám fogásba gördülésének. Úgy érhetjük el a vékonyabb forgács keletkezését, ha a marót a fogás középvonalán kívülre pozicionáljuk. Így kevésbé hajlamos a szerszám a rezgésre. Fogak száma: ritka fogú, vagy differenciált fogosztású szerszám használata javasolt. A kis tömegű marószerszámok használatával még inkább elkerülhetjük a rezgések kialakulását. A forgácsolási stratégiánál figyelembe kell venni a megmunkált alkatrész jellegét, stabilitását megmunkálás közben. A szerszám belépési szöge is hatással van a rezgésekre. Vékony falvastagságú, illetve kevésbé stabil alkatrészek munkálásánál inkább rövid szerszámot célszerű választani és nagy belépési szöget. Ez kis axiális forgácsoló erőt fog jelenteni. Ha nagy kinyúlást kell alkalmazni, akkor viszont a kis belépési szöggel járó nagy axiális erő a kedvezőbb. Ez utóbbi esetben az erők nagy részét az orsó fogja felvenni így a szerszám kevésbé lesz kihajlásra hajlamos [3].

## 2.2 Forgácsoló szerszámok élgeometriája

A forgácsoló szerszámok élgeometriája igen változatos, mivel különböző célra készülnek, ezért értelmezésüket a legegyszerűbb egyélű szerszámon elvégezni. A forgácsoló szerszámok két fő részből állnak. A szárból és a forgácsoló részből. A forgácsoló rész élgeometriája alatt értjük a rajta lévő felületek, szögek és vonalak összességét, ezek számszerű értékeit és egymáshoz viszonyított helyzetét. A szerszámlapok és szerszámélek által bezárt szögeket élszögeknek nevezzük. Ezeket ortogonál és normál koordináta rendszerben értelmezhetjük. A normál koordináta rendszerben értelmezhető szögek és jelölésük a következő:

- a szerszám élsík és az előtolóirány által bezárt szög a szerszámelhelyezési szög ( $\kappa_r$ ),
- a szerszám melléksík és a szerszám élsík által bezárt szög a szerszámcsúcshoz szög ( $\varepsilon_r$ ),
- a szerszám melléksík és az előtolóirány által bezárt szög a szerszám

mellékforgácsoló élének elhelyezési szöge ( $\kappa_r$ ) [2].



1. ábra. A forgácsoló lapka szögei a normál koordináta rendszerben [2].

Az ortogonál síkban értelmezett szögek:

- szerszám ortogonál hátszög ( $\alpha_0$ ),
- szerszám ortogonál ékszög ( $\beta_0$ ),
- szerszám ortogonál homlokszög ( $\gamma_0$ ),
- az élsíkban értelmezhető a szerszám terelőszög ( $\lambda_s$ ).

Az egyes szögértékeket a munkadarab és a szerszám anyagától függően táblázatok segítségével lehet megállapítani. A homlokszögek értékei lehetnek pozitív, negatív, vagy nulla. A rezgések csökkentését segíthetjük a helyes élgeometria megválasztással is. Az éles szerszámok vékony bevonattal és negatív forgácsolóélgeometriával lágyan forgácsolnak. Bizonyos esetekben az enyhén kopott élű szerszám mutatkozik jobb megoldásnak. Az ilyen típusú megmunkálásoknál fontos a tapasztalat és az intuíció is [3].

## 2.3 Szerszám tartó

Nagy mélységű megmunkálásoknál túlméretes marókat használunk. Ezek általában kettő vagy több szerelhető egységből épülnek fel. A jól megtervezett szerszám befogó készülékek és gyorscsatlakozó modulelemek csökkentik a szerszámmozásból eredő mellékidőt, ami a termelékenységet növeli. Közvetlenül a főorsóba csatlakozó befogója miatt a szerszámok több gépen is használhatóak.



2. ábra. Moduláris szerszámcsatlakozások esztergálási műveletekhez [4].

A szerszámot a moduláris gyorscsatlakozó segítségével lehet cserélni (2. ábra), amely segítségével még gyorsabbá válik a szerszámcsere. A megmunkálóközpontokon jól használható rendszer sokféle adaptert, hosszabbítót, szűkítőt tartalmaz, ezáltal lehetővé téve különböző alakú és hosszúságú szerszámok összeszerelését. Nagy előnye, hogy kevesebb speciális és drága szerszám is elegendő lehet. Több gépen is használható megfelelő gyártásütemezéssel. A moduláris szerszám használatánál szem előtt kell tartani néhány szabályt a hatékony megmunkálás érdekében. Szerszámselectvény választásánál a lehető legmerekvebb szerszámtest elérése a cél, ezért a legnagyobb átmérőt és a legrövidebb hosszt kell használni. Szűkítők helyett kúpos toldókkal kell kisebb átmérőre szűkíteni a szárat. Törekedni kell a lehető legkevesebb elem használatára. Ha lehetőség van rá, akkor több lépcsőben végezzük el a marást. A tapasztalat szerint a rövidebb szerszámtest használata kedvezőbb. Meg kell határozni marási szinteket és a hozzájuk tartozó technológiát, amivel hatékonyabbá tehető a megmunkálás. A szerszám rezgésre való hajlama megnő amennyiben az eléri a kritikus  $L/d$  viszonyt. Ennek a hatásnak a kiküszöbölésére fejlesztették ki a rezgéscsillapított szárat (3. ábra). Rezgéscsökkentő módszerek marás közben szármáró esetén a radiális bemerülés ne legyen nagyobb, mint a szerszámátmérő 25%-a, az axiális lehet nagyobb.



3. ábra. Moduláris szerszámcsatlakozások esztergálási műveletekhez [4].

Homlokmaró esetén kis axiális fogással, nagy fogankénti előtolással célszerű a marást végezni. A pályarádiuszokat lágyítani kell, ezzel is csökkentve a sarkokban kialakuló rezgéseket. Kis forgácskeresztmetszetenél a szerszám inkább dörzsöl, mint forgácsol, ezzel rezgéseket kelt, ekkor célszerű a fogankénti előtolás növelése [3].

#### 2.4 A szerszám gép

Forgácsolás során fellépő erőket a szerszám és a megfogó készülék továbbítja a szerszám gép mozgó szerkezeti egységeire és a hajtásrendszerre. Ezek átadják a gépvázra, amely a talajba juttatva vezeti le azokat. A mozgó és álló szerkezeti egységek között lineáris csapágyak biztosítják a kapcsolatot. Ezek kialakítása meghatározó a szerszám gép pontosságára, merevségére és gyorsaságára nézve. Rezgések kialakulásának szempontjából fontos tulajdonság a szerszám gép merevsége. Ezt meghatározza egyrészt a vázszerkezet anyaga és alakja, másrészt az egymáson elmozduló szerkezetek közötti lineáris csapágyak vagy másnéven csúszóvezetékek kialakítása. Az egymáson elcsúszó felületeket kezdetben kimunkálták a szükséges helyeken, később a megnövekedett pontosság igénye miatt a felületi érdességen javították, így növelve a szerszám gép pontosságát. Az érdesség csökkentése egy bizonyos határig kedvezően befolyásolta a hatásfokot és a pontosságot. Az akadozó csúszást az anyagpárok megválasztásával, illetve a csúszó felületek kezelésével lehet csökkenteni. További megoldást kínál még a hidrodinamikus

siklócsapágy és a szilárdkenésű vezeték, illetve a hidrosztatikus vezetékek használata. Rezgéstani szempontból kedvezőek, mert nagy felületen képesek az ébredő erőket átadni, ezáltal nagy merevséget adva a szerszámgepeknek. Hátrányuk a csúszó-, és tapadó ellenállásból ered, amely határt szab a pontosságuknak és a sebességüknek. A pontosság növelése érdekében fejlesztették ki az LM (*Linear Motion*) rendszereket. Ennél a megoldásnál az egymáson elmozduló elemek között gördülőelemeket használnak. Működésük és méretezésük szempontjából a gördülőcsapágyakhoz hasonlónak kell tekinteni. Egyes géporsók rendelkeznek rezgésre hajlamos területekkel, amelyek instabil tartományokat jelentenek. A cél az, hogy a megmunkálásokat stabil zónákban végezzük el. Az instabil területeket kis változtatással, például a szerszám fordulatanak változtatásával könnyedén át lehet tolni a stabil területbe, ahol már el lehet végezni a forgácsolási feladatot.

### 3. ESETTANULMÁNY

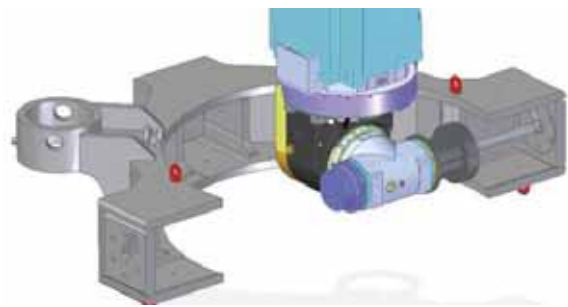
Az esettanulmányban egy nagyméretű hegesztett szerkezet megmunkálása volt a feladat. Az előgyártmány méreteiből adódóan annak megmunkálására egy portálmargépen volt lehetőség (4. ábra). A megmunkálendő felületekhez hosszú szerszámokra volt szükség.



4. ábra. Az előgyártmány megmunkálása hosszú szerszámmal, megvezetés nélkül.

A technológiai paraméterek alacsonyan tartása ellenére a nagy szerszámkinyúlás és a szerelt szerszám nem kellő merevsége miatt a forgácsoló erő hatására olyan mértékű rezonancia lépett fel, aminek következtében a felülettel szemben elvárt minőségi mutatók tarthatatlanok voltak. A rezgések csökkentésének egyik megoldását a rezgéscsillapított szerszámok jelenthetik,

azonban ezek a kívánt hosszal nem állnak rendelkezésre jelenleg.



5. ábra. A szerszámvezető készülék koncepciójának 3D-s összeállítási modellje.

A probléma megoldását egy egyedi tervezésű, a portálmargép főorsójához rögzített készülék jelentette (5. ábra). A szerszám hosszabbító szár megvezetését és támasztását a készülékhez hasonlóan belül támasztócsapágyazás valósította meg. Ezzel a megoldással a szerszám forgácsolás közbeni rezgésre való hajlama csökkenthető volt, így az előírt felületi minőségi követelmények tarthatók voltak.

### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben áttekintettük, hogy milyen rezgések keletkezhetnek a forgácsolás során, melyek azok a források, amik rezgésekért felelősek. A rezgések csillapítására a felületi minőségi követelmények miatt különös figyelmet kell fordítani, ellenkező esetben a káros rezgések kedvezőtlenül befolyásolják a gyártott alkatrész minőségét. A bemutatott példák jól ábrázolják, hogy hosszú kinyúlású szerszámoknál nagymértékben romlanak a rezgések okozta követelmények, melyekre léteznek már gyártói és tervezői megoldások is.

### 5. IRODALOM

- [1] *Machine Tool Vibrations*, In: Laperrière, L., Reinhart, G. (eds) *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, ISBN 978-3-642-20616-0, doi:10.1007/978-3-642-20617-7\_100264.
- [2] *Turning Tool Angles*, [www.manufacturingguide.com/en/ordlista/turning-tool-angles](http://www.manufacturingguide.com/en/ordlista/turning-tool-angles)
- [3] B. C. Gegg, C. Steve Suh, Albert Albert C.J. Luo: *Machine Tool Vibrations and Cutting Dynamics*, Springer New York, NY, 2011, ISBN 978-1-4419-9800-2 doi:10.1007/978-1-4419-9801-9
- [4] *Silent Tools™ Termelőkenység keskeny szerszámokkal*, Sandvik Coromant, 2016