

Homlokmarás végeselemes szimulációja keménymarás során

Finite element simulation of face milling during hard milling

KÓNYA Gábor¹, SZABÓ Norbert¹, MISKOLCZI István¹,
BOGNÁR Adrián¹, Dr. KOVÁCS Zsolt Ferenc¹, Dr. KÓKAI Eszter¹

¹Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék, Gyártástechnológia kutatócsoport, Izsáki út 10., H-6000 Kecskemét, Hungary

Abstract

In the present scientific work, the authors have dealt with face milling of difficult-to-cut alloy. During this research work, a simulation environment was set up in Ansys software in which the cutting process can be studied. To validate this model, the authors performed experiments in reality, measuring the forces and torques occurring during machining, giving to opportunity to be comparable with the results obtained in the simulation environment.

Keywords: face milling, finite element method, 3D scanning, force – and torque measurement, hard-to-cut alloy

Kivonat

Jelen tudományos munkában a szerzők a nehezen forgácsolható fémötvözet homlokmarásával foglalkoztak. A kutatómunka során Ansysban felállítottak egy szimulációs környezetet, melyben a forgácsolási folyamatot lehet vizsgálni. Ezen modell validálására a szerzők a valóságban is elvégezték a kísérleteket, mely során mérték a megmunkálás során fellépő erőket és nyomatékokat, lehetőséget adva arra, hogy összehasonlítható legyen a szimulációs környezetben kapott eredményekkel.

Kulcsszavak: homlokmarás, végeselemes analízis, 3D szkennelés, erő – és nyomaték mérés, nehezen forgácsolható fémötvözet

1. BEVEZETÉS

A nagy szilárdságú anyagok megmunkálhatósága köztudottan nagy kihívást jelent a gépipar számára. Ezen anyagok kémiai-, fizikai-, illetve mechanikai tulajdonságai kedvezőtlenül befolyásolják a forgácsleválasztás mechanizmusát. Ezen fémötvözetek közé tartozik a GTD-111 jelű Ni-bázisú szuperötvözet is, melyre jellemző a rendkívül nagy melegszilárdság, a rossz hővezető képesség, a korrózió – és hősokkállóság, mely tulajdonságokat extrém magas hőmérsékleten is megőriznek. Ezen kedvező tulajdonságainak köszönhetően alkalmazzák elsősorban a repülőgép – és az energetikai iparban, bár pont e anyagjellemzők miatt válnak oly nehezen forgácsolhatóvá, de az alkatrészek többsége ennek ellenére is forgácsolással készülnek [1] [2].

Ezen ötvözet marása keménymarásnak felel meg, hiszen a keménysége meghaladja az általánosan definícióként elfogadott 40 HRC-s értékhatárt. A kísérletekhez a fent említett fémötvözetet választották a szerzők különlegessége miatt, ezen végeztek el forgácsolási kísérleteket a szimulációs modell validálása céljából.

A GTD-111 jelű Ni-bázisú szuperötvözet mechanikai tulajdonságai az 1. táblázatban látható:

GTD-111 mechanikai tulajdonságai [1]

1. táblázat

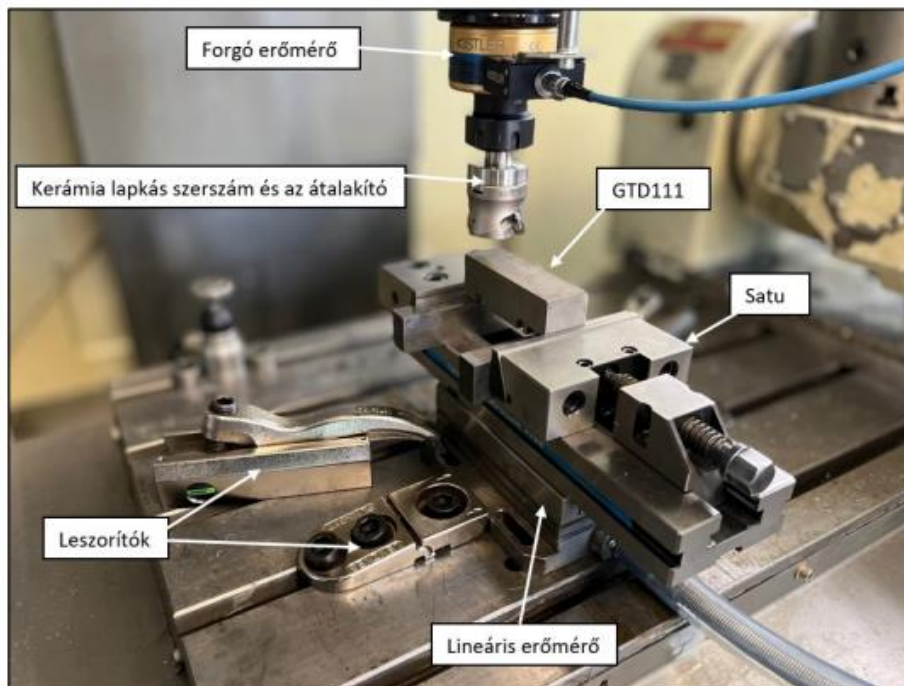
Szakítószilárdság R_m (MPa)	Nyúlás A_5 (%)	Kontrakció Z (%)	Keménység (HRC)
1310	5	5	41,4

2. KÍSÉRLETTERVEZÉS

2.1. Kísérlethez felállított munkaállomás

Mivel a keménymarás rendkívül nagy igénybevételeknek teszi ki a szerszámgépet, ezért egy robosztus, nagy merevségű megmunkáló gépre volt szükség, ezen igényeket az NCT EmL-850D 5AX típusú szerszámgép kielégítette.

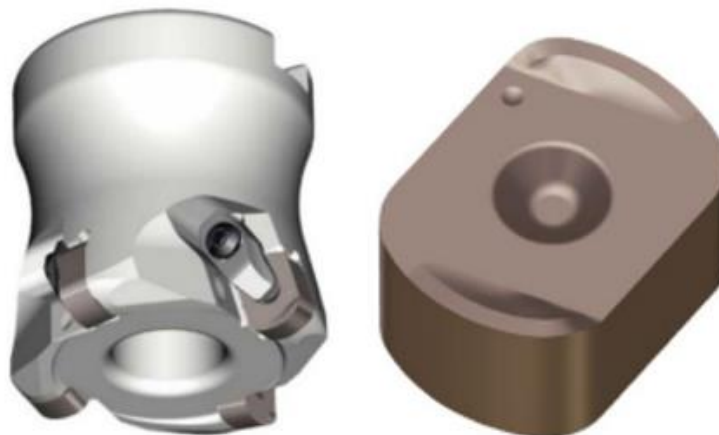
A forgácsoló erők – és nyomatékok méréséhez KISTLER 9125A24 típusú forgó erőmérőt KISTLER 5237A típusú jelerősítővel és KISTLER 9257B típusú lineáris erőmérőt KISTLER 5007 típusú analóg jelerősítővel alkalmaztak a szerzők. A jelfeldolgozásra KISTLER 5697 típusú jelfeldolgozó egységet alkalmaztak. Az eredmények rögzítése DynoWare szoftver segítségével, kiértékelése pedig OriginPro 2021 szoftverben.



1. ábra. Kísérlethez felkészített munkaállomás

2.2. Kísérlethez használt szerszám

A kísérlethez a TaeguTec Hungary Kft által biztosított BNGX 0904 CH-E04 típusú kerámia lapkák voltak alkalmazva, melyek TFMBN 350-22R-09CH típusú szerszámtestben voltak elhelyezve, ez figyelhető meg a 2. ábrán.



2. ábra. A kísérletek során alkalmazott szerszámtest és lapka

2.3. Kísérletekhez használt technológiai paraméterek

A kísérletekhez használt technológiai paraméterek a lapkára vonatkozó ajánlott technológiai paraméterek alapján kerültek meghatározásra, melyek a 2. táblázatban láthatók.

A kísérletek során alkalmazott technológiai paraméterek

2. táblázat

Forgácsoló sebesség v_c (m/min)	Fogankénti előtolás f_z (mm/fog)	Fogásmélység a_p (mm)
900	0,25	1

A kísérletek háromszor voltak megismételve, hogy a mérés bizonytalansága kiszűrhető legyen. Minden esetben száraz megmunkálás történt.

3. FORGÁCSOLÁS SZIMULÁCIÓ

3.1. Anyagmodell megalkotása

A homlokmarás szimulációja Ansys szoftverben került elkészítésre. A modell felépítésének első lépése az anyagmodell létrehozása, mely során az anyagra jellemző fizikai – és mechanikai tulajdonságokat kell megadni ahhoz, hogy az anyagmodell a valósággal megegyező legyen.

A forgácsolási folyamatok végesselemez szimulációinak egy kritikus pontja a forgács kialakulása, szétválása. A probléma kezelésére egy kritériumot alakítanak ki, ami a repedések és tönkremenetekre lokalizál. Ezek összetett fizikai és mechanikai modellezést igényelnek, amely nagyon nehezen kivitelezhető, ezért egy anyaghatárhoz kapcsolódó elkülönítési kritériumot vezetnek be. Ez a kritérium két különálló értéken alapul ez a paraméter a λ . Az adott elem törlésre kerül, ha ($\lambda = 1$), vagy nem kerül törlésre, ha ($\lambda = 0$). A kritérium a következő kumulált képlékeny alakzaton alapul [3]:

$$\lambda = \left\langle \frac{\bar{\varepsilon}^P - \bar{\varepsilon}_{\infty}}{|\bar{\varepsilon}^P - \bar{\varepsilon}_{\infty}|} \right\rangle \text{ with } \langle X \rangle = \begin{cases} 0 & \text{ha } X \leq 0 \\ 1 & \text{ha } X > 0 \end{cases} \quad (1)$$

,ahol $\bar{\varepsilon}_{\infty}$ a képlékeny alakváltozási határérték, melynek értéke maráskor 0,8, ez határozza meg az anyag eltávolítását.

A forgácsképződés erősen kötődik a szerszám és munkadarab találkozásánál. Ezek figyelembevétele miatt be kell vezetni a geometriák közötti érintkezést és figyelembe kell venni a súrlódás következtében létrejövő energiákat. Ezek a jelenségek rendkívül összetettek és a forgácsolási körülményeknek megfelelően változnak, a szerszámgeometria alapján és különösen az anyagi viselkedés miatt a szerszám és a munkadarab között. Általában a megmunkálásban ezeket a jelenségeket statikus Coulomb-törvénnyel (9) közelítik [3].

$$\mu = \mu_s = 0,8 \quad (2)$$

,ahol μ_s a statikus súrlódási együtthatót jelenti. Az együtthatót esztergálási tesztekkel vezették le [4].

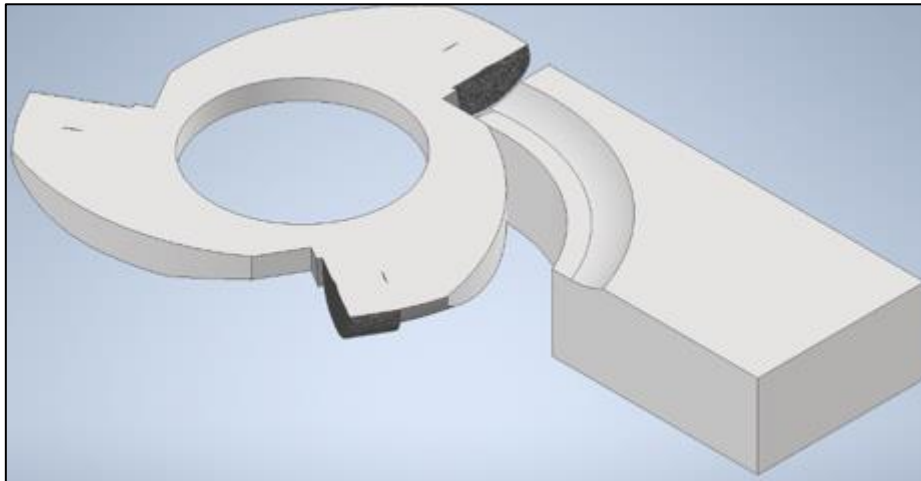
3.2. Geometriai modellek

A szimulációs modell megalkotásához szükséges elkészíteni az alapanyag modelljét, a szerszámtest és a lapka dolgozó modelljét, úgy, hogy minél egyszerűbb legyen, hiszen a felesleges nagy modell rengeteg számítási időt leköt.

A lapka modelljének elkészítéséhez 3D szkennelés volt alkalmazva, majd a kapott pontfelhőt feldolgozva, el lettek készítve a szimuláció szempontjából fontos, funkcionális felületek.

Ezt követően a szerszámtest modelljének elkészítése történt meg, majd ezt a lapkával együtt egy testmodellbe lettek foglalva, a felesleges kontaktok elkerülése szempontjából, illetve egyszerűsítés is történt a számítási igény csökkentése végett.

Alapanyag modelljét is el kellett készíteni, mely úgy került kialakításra, hogy a szerszám már forgácsolásban van, hiszen, ha nem így lenne, jelentős mértékű számítási időre lenne szükség. Ennek megfelelően a szerszám úgy volt kényszerítve a munkadarabhoz képest, hogy az új fogáshoz volt beállítva a lapka. Ez tekinthető meg a 3. ábrán:



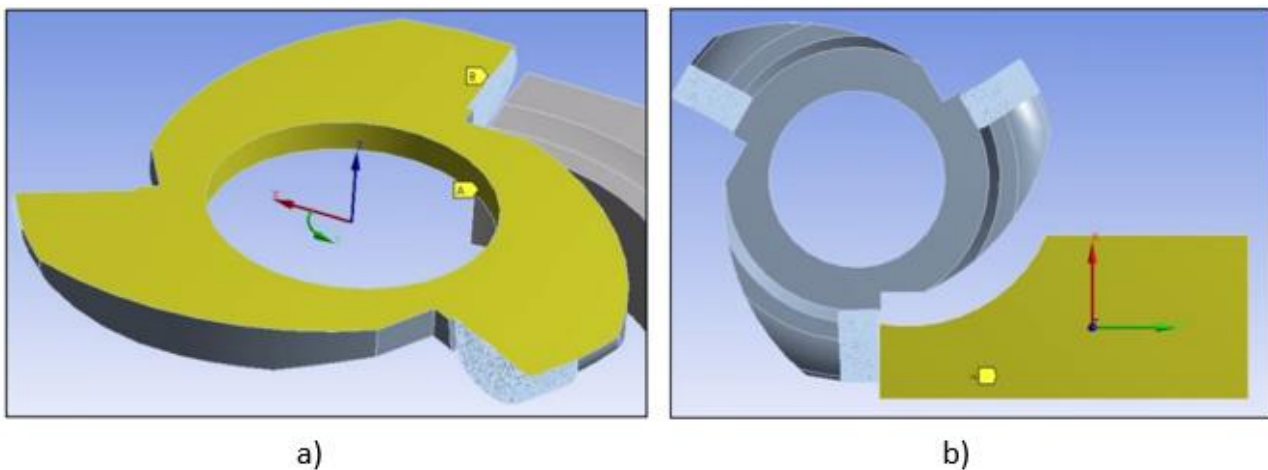
3. ábra. A szerszám és az alapanyag beállítása

A munkadarabon hexahedron-, még a szerszámon tetraéder hálózás volt alkalmazva, mivel ez jól leköveti az alakváltozásokat [5].

A hálózás jelentősen befolyásolja a mérési eredményeket, ezért úgy lett kialakítva, hogy a forgácsolási zónában a legrészletesebb (0,035 mm elemméret), melynek mélysége 1 mm a fogásmélységgel megegyezően, a modell többi részén, amely a forgácsolásban közvetlenül nem vett részt, azon ritkítva lett.

Szimuláció utolsó lépéseként definiálva lettek a kényszerek és az elmozdulások. Elsődlegesen a szerszám elfordulása került meghatározásra az idő függvényében. Az elfordulás értékét fokban kell rögzíteni, így összesen 576°-os szögelfordulást fog megtenni a maró. A többi irányban az elmozdulás korlátozva volt, mivel a szerszám lényegesen le lett egyszerűsítve tengelyirányban, ezért meg kell akadályozni, hogy abba az irányba deformálódni tudjon. Tehát azon a felületen is alkalmazni kell egy kényszert.

Az A jelű felületen az elforduláshoz szükséges kényszer, míg a B felületen az egyszerűsítés miatti deformáció megakadályozása miatt alkalmazott rögzítés található. A munkadarabon csak az elmozduláshoz szükséges paramétereket kell megadni. Itt Y irányban 1,7 mm-t fog a munkadarab a szerszám felé mozogni a vizsgálat során. A szerszámon és a munkadarabon alkalmazott kényszerek a 4. ábrán láthatók:

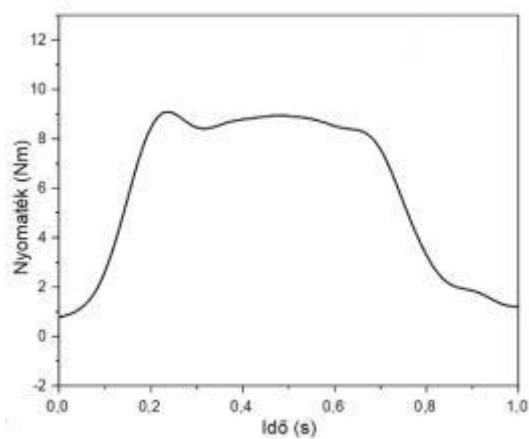


4. ábra. a) a szerszámon - és b) a munkadarabon alkalmazott kényszerek

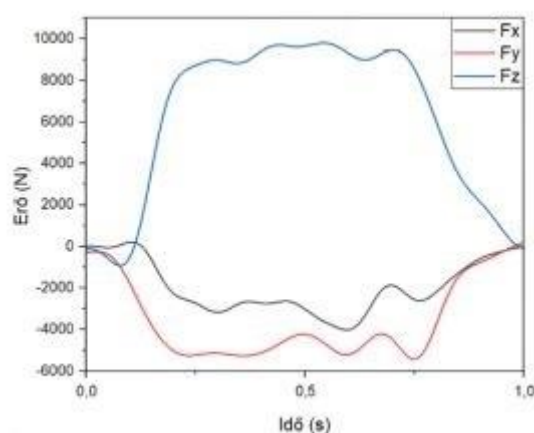
4. EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

4.1. Kísérletek eredménye

A szimulációs modell validálása céljából készült kísérletek során mért forgácsolási nyomatékok – és erők láthatók az 5. és 6. ábrán.



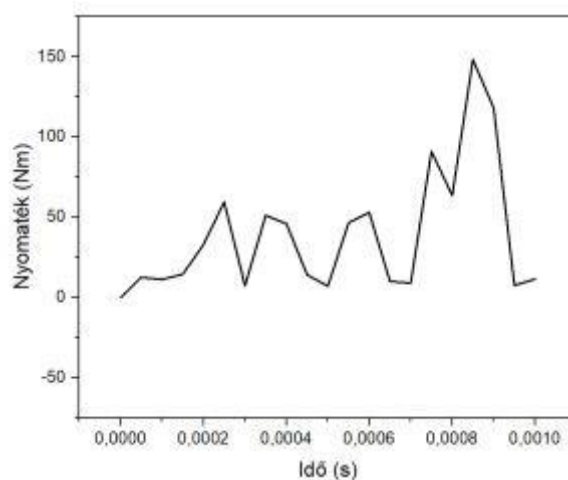
5. ábra. Forgácsolás során fellépő nyomaték



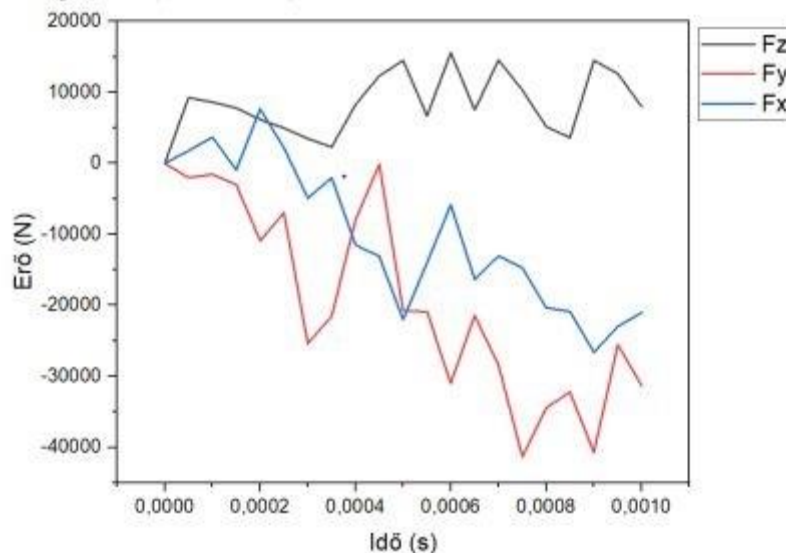
6. ábra. Forgácsolás során mért forgácsoló erő komponensek

4.2. Szimuláció eredménye

A fentiekben ismertetett szimuláció a cikk megírásáig nem futott le, így csak a gyakorló modellen kapott eredmények kerülnek publikálásra. A szimuláció során kapott nyomatékok és erők a 7. és 8. ábrán figyelhetők meg.



7. ábra. Szimulációs modell esetén kapott forgácsolási nyomaték



8. ábra. Szimulációs modell esetén kapott forgácsolási erő komponensek

A fenti két diagramot összehasonlítva az 5. és 6. ábrán látható diagramokkal jól látható, hogy nagyságrendi különbségek vannak a szimulált és a valós, mért eredmények között, azonban az is megfigyelhető, hogy előjelhelyesek a szimuláció során kapott eredmények, ami alapján kijelenthető, hogy a modellen beállított kényszerek, elmozdulások a valóságnak megfelelnek.

ÖSSZEGZÉS

A szerzők a homlokmarás végeelemes szimulációjával foglalkoztak jelen kutatómunkájában. Ansys szoftverben felállították a forgácsolás modelljét a valóságnak megfelelően, majd a kapott eredményeket összehasonlították a valóságban elvégzett kísérletek eredményeivel. A számértékek esetén jól látható, hogy nagyságrendbeli eltérések tapasztalhatók a mért és a szimulált eredmények között, azonban előjelhelyesek, ami arra következtet, hogy a szimulációs modellben definiált kényszerek és elmozdulások a valóságnak megfelelnek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.4.3-16-2016-00002 „Felsőoktatási intézményi fejlesztések a felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása érdekében a Neumann János Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Kodácsy János, Kovács Zsolt Ferenc, Viharos Zsolt János: A Ni-bázisú szuperötvözetek megmunkálhatósága horonymaráskor. *Gradus* Vol 2. No 2, pp. 219-226. ISSN 2064-8014
- [2] Kodácsy János, Kovács Zsolt Ferenc, Viharos Zsolt János: A forgácsolhatóság meghatározásának módszerei Ni-bázisú szuperötvözetek horonymarásakor. *Gyártás 2015 Konferencia*, Budapest, Hungary, Gépgyártás szaklap különszám, Vol. 15 No 2, pp. 125-129., ISSN 0016-8580
- [3] A. Maurel-Pantel, M. Fortaine, S. Thibaud, J. C. Gelin: 3D FEM simulations of shoulder milling operation on a 304L stainless steel. *Simulation Modelling Practice and Theory*, pp. 13-27., DOI: 10.1016/j.simpat.2011.10.009
- [4] Marcos Rodriguez-Millán, José Díaz-Álvarez, Richard Bernier, José Luis Cantero, Alexis Rusinek, Maria Henar Migulez: Thermo-Viscoplastic Behavior of Ni-Based superalloy Haynes 282 and Its Application to Machining Simulation. *MDPI Metals* Vol. 7., Issue 12., DOI: 10.3390/met7120561
- [5] Prakash C., Vijay Sekar K. S.: 3D Finite Element Analysis Simulation Of Slot Milling Process For Titanium Alloy Ti6Al4V. *IOSR Journal of Engineering*, pp. 22-28., ISSN 2250-3021