

## A FÚRÓSZERSZÁM ÉS A MUNKADARAB ÉRINTKEZÉSEKOR FELLÉPŐ MECHANIKAI KÖLCSÖNHATÁS VIZSGÁLATA MODELLEZÉSSSEL

Dezső Gergely<sup>1</sup>, Varga Gyula<sup>2</sup>, Szigeti Ferenc<sup>3</sup>

főiskolai tanár<sup>1,3</sup>, egyetemi docens<sup>2</sup>

Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszék<sup>1,3</sup>

Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék<sup>2</sup>

postai cím: 4401 Nyíregyháza, Sóstói út 31/B<sup>1,2,3</sup>

e-mail: [dezsog@nyf.hu](mailto:dezsog@nyf.hu)<sup>1</sup>, [gyulavarga@uni-miskolc.hu](mailto:gyulavarga@uni-miskolc.hu)<sup>2</sup>, [szigetif@nyf.hu](mailto:szigetif@nyf.hu)<sup>3</sup>

### Összefoglaló

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológiai Tanszékén, a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékével együttműködve környezetbarát megmunkálásokkal kapcsolatos vizsgálatokat végzünk. A kísérleti munka és a fizikai modellezés egyaránt részét képezi a kutatásnak.

Ebben a cikkben korábbi modellezési eredményeinket fejlesztjük tovább. Célul tűztük ki a fúrószerszám és a munkadarab kölcsönhatásának kvázisztatikus vizsgálatát. Közvetlen szimulációval, kontakt feladatként vizsgáltuk meg a jelenséget. A modellezés során figyelembe vett erők és forgatónyomatékok a kísérleti adatokból származnak. A számítássorozat mélyebb betekintést ad a megmunkálás során létrejövő mechanikai kölcsönhatás erőtani és igénybevételei viszonyaiba, egyúttal előkészíti a jövőben tervezett dinamikai vizsgálatokat.

**Kulcsszavak:** környezetbarát, fúrás, szimuláció, érintkezési feladat

### Abstract

Department of Production Engineering at College of Nyíregyháza and Department of Production Engineering at University of Miskolc cooperates in research of environmentally conscious machining by experimental and simulation methods.

In this paper we develop previous modelling results. The aim is quasi-static investigation of the mechanical interaction between the drilling tool and the workpiece. The phenomenon is simulated as contact problem. Forces and torques applied in the simulation comes from experiments. This study gives insight to the mechanical interaction during the machining, and prepares further dynamical investigations.

**Keywords:** environmentally conscious, drilling, simulation, contact problem

## 1. Bevezetés

A környezetbarát megmunkálások fejlesztése mind gazdasági, mind ökológiai szempontból sürgető kérdés. E törekvések részben új módszerek kutatásában, részben pedig az ismert módszereknek az új követelmények szerinti továbbfejlesztésében nyilvánulnak meg. A forgácsoló eljárások napjainkban is a gyártási megmunkáló folyamatok túlnyomó többségét teszik ki. A forgácsolás során alkalmazott hűtő-kenő anyagok mennyiségének csökkentése igen fontos környezetvédelmi szempontból, mert így lényegesen kevesebb veszélyes anyag áll elő, amelynek kezelése és megsemmisítése jelentős költséggel jár.

Kísérleteink során minimálkenés mellett vizsgáltuk a fúrás erő és forgatónyomaték szükségletét. A kísérletekből nyert adatokat felhasználtuk a fúrási folyamatra vonatkozó modellszámításainkban is. Ebben a dolgozatban bemutatjuk azokat az első eredményeinket, amelyek a fúró és a munkadarab érintkezési feladatának végelesemes módszerrel történt megoldásából származnak. Leírjuk a számítás menetét és közöljük az eredményeket.

## 2. A kísérletek körülményei

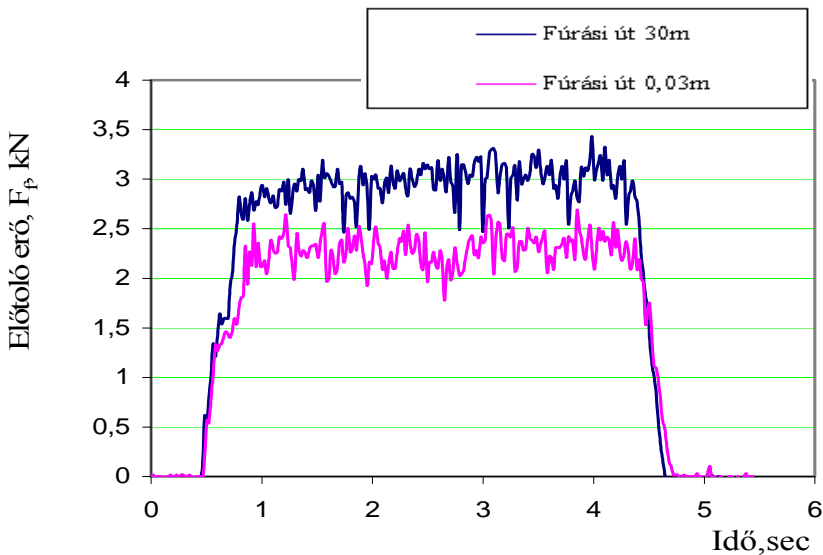
A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537 (melynek anyaga monolit keményfém TiAlN bevonattal, belső hűtő-kenő csatornával – ez a típus állt rendelkezésünkre, bár a külső minimál kenés miatt a belső csatornákat nem használtuk). A belső hűtő-kenő csatornával rendelkező fúrás eredményeit összehasonlítottuk a külső hűtéssel kapott eredményekkel, s az összehasonlítás akkor tehető meg legjobban, ha a csigafúró mechanikai merevsége, másodrendű tehetetlenségi nyomatéka is megegyezik [5]. A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561), amelybe 30 mm hosszúságú átmenő furatokat készítettünk a kísérletsorozat alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadékot a fúró külső palástjára való hozzáféréseivel történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel (a térfogatáram 10 cm<sup>3</sup>/h és 250 cm<sup>3</sup>/h között fokozatmentesen állítható). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használtunk. A kísérletek végrehajtása MU-250 típusú marógépen az alábbi paraméterekkel történt:

Maróorsó ford.:	$n = 2250$ f/perc
Előtolás:	$f_1 = 0,18$ mm/ford , $f_2 = 0,3$ mm/ford
Forgácsolási sebesség:	$v_c = 72,06$ m/perc
HKF mennyiség:	$\dot{V} = 10$ és $28$ cm <sup>3</sup> /h
Előtolás sebessége:	$v_{f1}^{\text{olaj}} = 405$ mm/perc, $v_{f2} = 675$ mm/perc
Gépi főidő:	$t_1 = 0,074$ perc $t_2 = 0,044$ perc
Furathossz:	$l_w = 30$ mm.

Az axiális fúróerő ( $F_f$ ) és csavaró nyomaték ( $M_c$ ) mérése KISTLER 9271 A típusú kétkomponensű, kompakt dinamométerrel történt. A sarokkopás ( $VB_S$ ) és hátkopás ( $VB_H$ ) méréséhez a fúrót függőleges helyzetben mérőmikroszkópon lefényképeztük, majd a kopásértékeket a digitális fotó számítógépes feldolgozásával határoztuk meg.

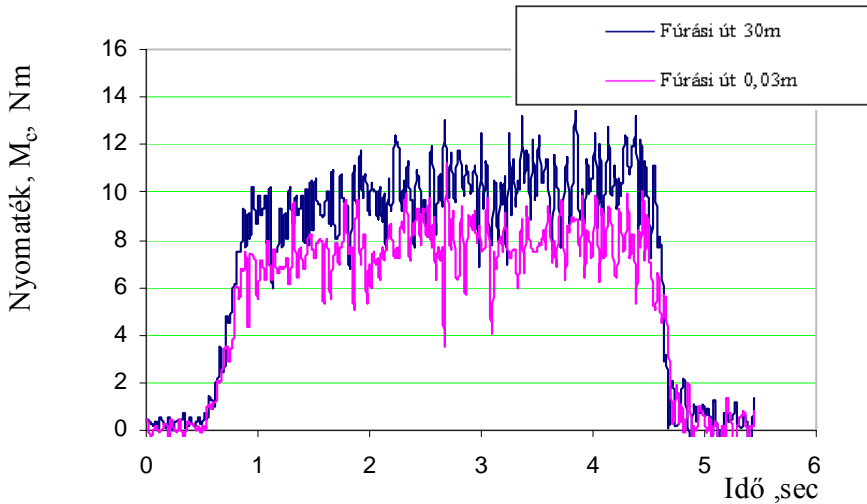
A fúrási folyamatot gyakran ([1], [2]) az előtolás irányú forgácsoló erővel ( $F_f$ ) és a fúrási nyomatékkal ( $M_c$ ) jellemzik. Kísérleteinkben mi is e két értéket vizsgáltuk.



1. ábra. Az előtolás irányú forgácsolóerő változása az idő függvényében fúráskor ( $\dot{V}_{olaj} = 28 \text{ cm}^3 / \text{h}$ )

Az 1. és 2. ábra az előtolás irányú forgácsolóerő és nyomaték idő szerinti változását szemlélteti. Jól látható, hogy az előtolás irányú forgácsoló erő ( $F_f$ ) értéke a fúrási folyamán jelentősen oszcillál, s a fúrási hossz növekedésével az átlagértéke növekszik.

Méréseinket a Taguchy féle teljes faktoriális kísérlettervezés módszerével végeztük és értékeltük ki [3].



2. ábra. A fúrónyomaték változása az idő függvényében fúráskor  
 $(\dot{V}_{olaj} = 28\text{cm}^3/\text{h})$

### 3. A fúrési folyamat modellezése

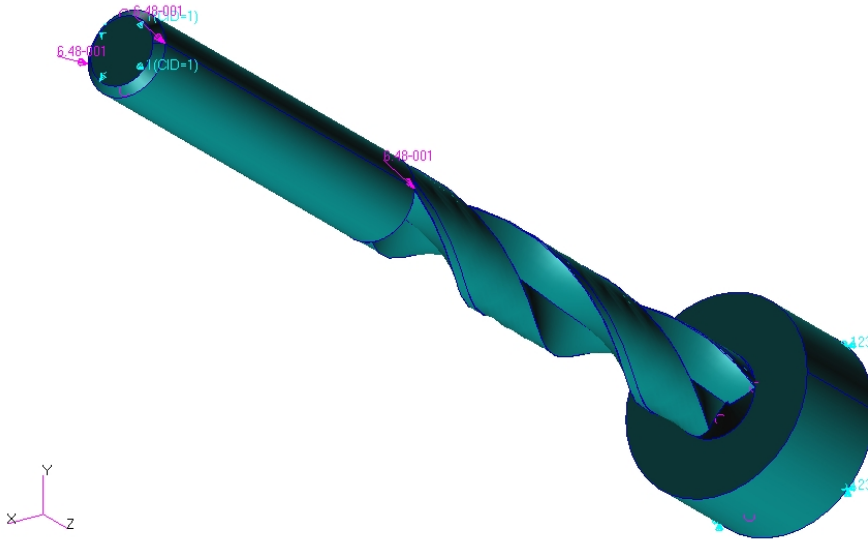
A fúrószerszám és a munkadarab CAD modelljét elkészítettük, a két szilárd testet egymáshoz viszonyítva pozicionáltuk (3. ábra). A fúrás kezdeti szakaszát modelleztük, amely során a keresztél még működik, és a fúrószerszám még nem hatol mélyen a munkadarabba.

A fúró befogott, hengeres felületére alkalmaztuk az előtoló és forgató erőrendszert (az ábrán lila nyilak mutatják az eredőjét). Ezt az erőrendszert a tokmány fejt ki a szerszámra. Bár a kísérletekből megtudtuk, hogy ez az erő időfüggő, és erősen oszcillál a fúrás során, a jelenlegi számításokban időtől független erőrendszert vettünk fel. Az előtoló erő 1kN, a forgatónyomaték pedig 1 Nm. Ezek az értékek a fúrás kezdeti, „felfutó” szakaszára jellemző, viszonylag kis terheléseknek felelnek meg. A szerszám fedőlapjára kinematikai kényszert definiáltunk, amely megtiltja annak radiális elmozdulását a forgástengelyre vonatkoztatva. A munkadarab alsó lapját befogtuk, azaz pontjainak mindhárom szabadsági fokát elvettük.

Az érintkezési feladat megadásakor a súrlódási együtthatóra 0.2 értéket vettünk fel. A munkadarab és a fúrószerszám deformálható testként szerepelt a feladatban. A testek közötti érintkezést kétoldalú vizsgálattal detektáltuk, úgy, hogy a diszkretizált modell alapján fogalmaztuk meg az érintkezés kritériumát.

A végeelem felosztás elkészítésekor kvadratis, 10 csomópontú tetraéder elemeket használtunk. A fúrószerszám élén lokális sűrítést alkalmaztunk. Ennek az

a célja, hogy a feszültségállapotot és a deformációt pontosabban lehessen közelíteni azokon a helyeken, ahol a célfüggvényeknek várhatóan nagy a gradiense.

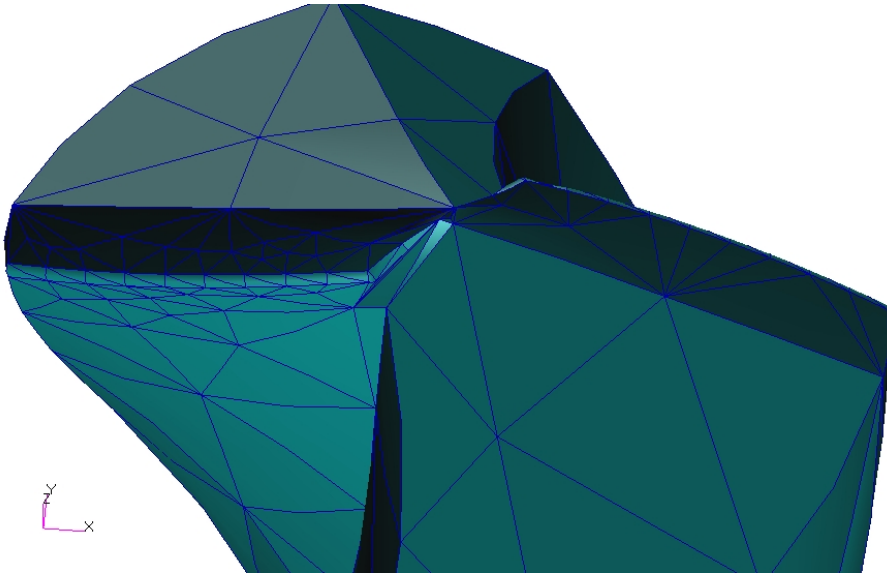


**3. ábra.** A fűrészszám és a munkadarab CAD modellje a terhelésekkel és a többi peremfeltétellel

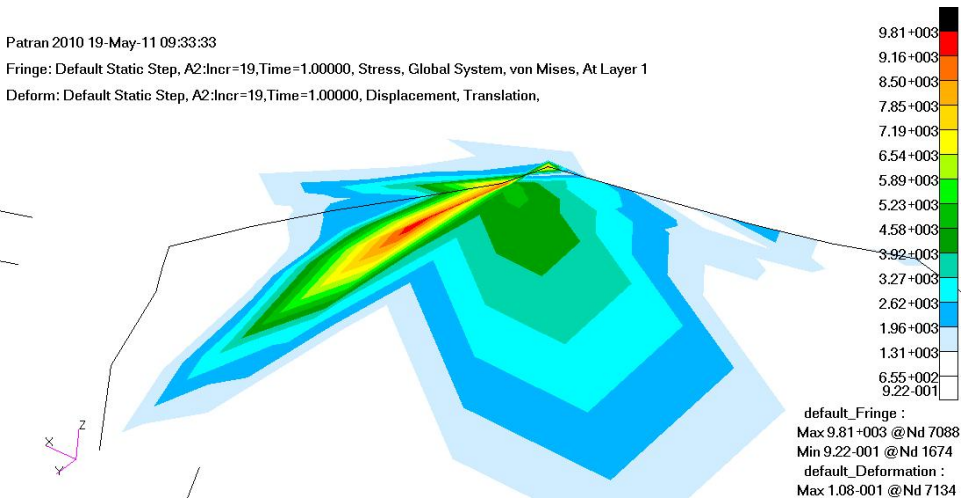
A végelem modellezést explicit nemlineáris számítással végeztük el. Ehhez az MSC szimulációs programcsomagjából a Marc szoftvert használtuk [4]. A számítás során a peremfeltételeket azonnal, a terheléseket pedig több lépésben fokozatosan alkalmaztuk a rendszerre, 19 lépésben, adaptív inkrementálással. Ehhez 5,17 óra gépidőre és 4,5 GB munkamemóriára volt szükség.

Az 5. ábra a fűrészszámban kialakult Miseses szerinti redukált feszültség eloszlását mutatja. Ez a redukált feszültség megmutatja, hogy hol szenved maradandó alakváltozást a szilárd test az igénybevétel következtében. Azokon a helyeken, ahol a Miseses szerinti feszültség meghaladja a folyáshatárt, ott rugalmatlan deformáció, repedés, törés következhet be.

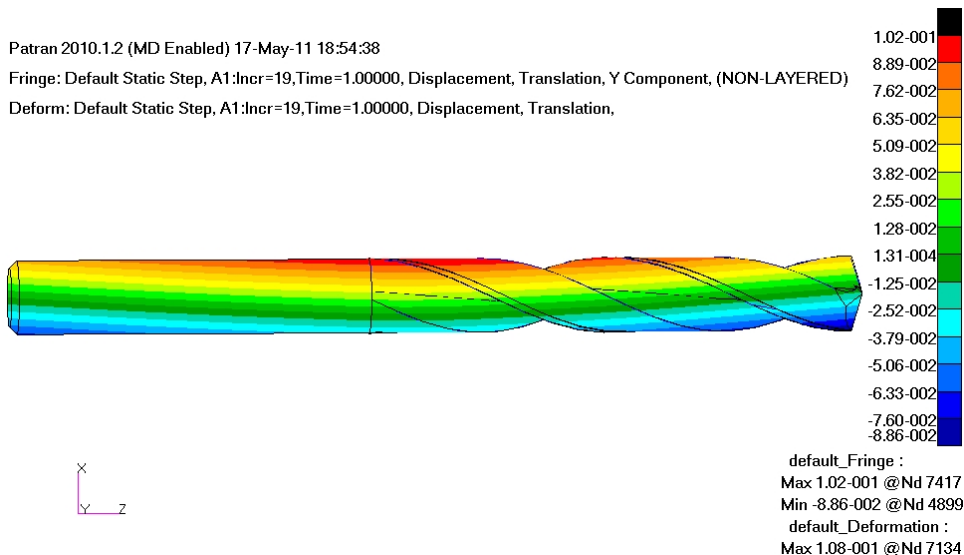
Az 5. ábrán látható, hogy a Miseses szerinti feszültség legnagyobb értékei a keresztélen lépnek fel. Ez összhangban van azzal a tapasztalattal, hogy a szerszám használatának kezdetekor, azaz kicsi fűrési úthosszak mellett a keresztél még éles, de gyorsan kopik.



**4. ábra** A végelem felosztás elkészítésekor a fűrőszerszám élein lokális sűrítést alkalmaztunk



**5. ábra.** A Mises szerinti redukált feszültség a fűrőszerszám élein. Az alacsony feszültségű helyek színe fehér az eredmények jobb láthatósága érdekében (ld. a színskala alsó részét)



6. ábra. A fúrószerszám elmozdulásának y irányú összetevője

A 6. ábra a fúrószerszám alakváltozását mutatja. Az elmozdulás mező vektorainak y irányú koordinátáját mutatja a test mentén. Feltűnő, hogy ez nem hengerszimmetrikus a szerszám fogástengelyére vonatkozóan. Mivel a munkadarab teljesen hengerszimmetrikus, a fúró elhelyezése is az, valamint a fúrószerszám alakja is kétértékű forgásszimmetriával bír, az elmozdulás mezőnek ezt az aszimmetriáját nem a terhelés vagy az elrendezés aszimmetriája okozza, hanem a fúrószerszám igen kismértékű kihajlása, ami az erőhatások szimmetriáját is megszünteti. Az a tény, hogy ezt a jelenséget a sztatikai számítás is kimutatja, azt jelzi számunkra, hogy a fúrás dinamikai vizsgálata során is jelentősége lesz, és valószínűleg jelentős járulékot ad a fúrás során fellépő erős rezgésekhez.

#### 4. Összefoglalás

Környezetbarát fúrési kísérleteink adataira alapozva a fúrás folyamatának kvázistatikus szimulációját végeztük el. A modell felépítésekor a fúrési folyamat kezdeti szakaszának megfelelő terheléseket alkalmaztunk a szerszámra. A kis fúrési úthosszakra jellemző állapotot szimuláltuk, amelyben a keresztél még éles. A számításainkat explicit nemlineáris végeelem modellezéssel végeztük el, melynek során adaptív inkrementálást alkalmaztunk.

Számításainkkal kimutattuk a keresztélen kialakuló igen nagy feszültséget, amely annak gyors kopásáért felelős.

Az alakváltozás vizsgálatok kismértékű, de az erőtani viszonyokat erősen befolyásoló kihajlást tapasztaltunk. Még további vizsgálatokat igényel annak kimu-

tatása, hogy ez milyen kapcsolatban áll a fúrás során kialakuló rezgési jelenségekkel, de azt feltételezzük, hogy ez a kapcsolat fontos a folyamat megértése szempontjából.

Munkánk folytatásaként tervezzük a fúrási folyamat további szimulációját kvázistatikus esetben, majd a dinamikai vizsgálatokat is.

## 5. Köszönetnyilvánítás

Ez a dolgozat a Nyíregyházi Főiskola „Helikoid és csavarfelületek” kutatócsoportja, CAD-CAM és additív gyártás al csoportjának keretei között készült.

Kutatásainkat a Baross Gábor Program támogatásával, az „nyfmmk09” jelű, „Menetfelületek korszerű kutatásához szükséges eszközpark kiépítése a Nyíregyházi Főiskolán” című pályázati projekt keretében végeztük.

A modellszámítások elvégzéséhez részben a Nyíregyházi Főiskola Informatikai Szolgáltató Központjának erőforrásait használtuk.

A tanulmány részben a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült.

## 6. Felhasznált irodalom

- [1] WEINERT, K.: *Trockenbearbeitung und Minimalschmierung*. Springer Verlag Berlin 2000.
- [2] IGAZ, J., PINTÉR J., KODÁCSY J.: *Minimálkenés Gépgyártás XLVII. évf. 2007. 4.sz pp.: 22-31*
- [3] DEZSŐ G., VARGA GY., SZIGETI F., PÉTER L.: *Csigafúró igénybevételeinek vizsgálata kísérleti úton és modellezéssel*, GÉP, LX 9-14 (2009/12) ISSN 0016-8572
- [4] MSC softwares, Academic Simulation Bundle, 2010.
- [5] SZIGETI F., VARGA GY., DEZSŐ G.: *Experimental Investigation on Roughness of Drilled Surfaces Resulted from Environmentally Conscious Machining*, Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering, Tome viii (year 2010). Fascicule 3, pp.: 313 – 317, ISSN 1584 – 2673