

## CNC MEGMUNKÁLÓBERENDEZÉS ELMÉLETI MELEGEDÉSVIZSGÁLATA

**Kundrát Tamás**

fejlesztőmérnök, Robert Bosch Power Tool Kft.  
3526 Miskolc, Robert Bosch Park 1., e-mail: [kundrattamas@gmail.com](mailto:kundrattamas@gmail.com)

**Szilágyi Attila**

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet,  
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [szilagyi.attila@uni-miskolc.hu](mailto:szilagyi.attila@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Cikkünkben egy 5-tengelyes CNC megmunkáló berendezés végeelem-módszerrel történő elméleti vizsgálatát mutatjuk be. Egy megmunkálóberendezés tervezésének korai fázisában a leendő berendezés melegedési tulajdonságainak ismerete nagyon fontos, hiszen a megmunkálás jellegénél fogva a marógépek megnövelt hőhatásnak vannak kitéve. Ennek során időben változó hőhatás éri a megmunkálási környezetet, amely hőfeszültségeket ébreszt a szerszám mellett a berendezésben is, így hatással van a megmunkált darab méretpontosságára. A melegedés, közvetlen káros hatásai mellett, a megmunkálóberendezés hosszútávú viselkedésre is hatással van, tehát a melegedés folyamatának ismeretében lehetőségünk van optimális viselkedésű berendezés megtervezésére, illetve optimális körülmények közötti működtetésére.*

**Kulcsszavak:** melegedés szimuláció, VEM-vizsgálat, hőmérsékletmező

### **Abstract**

*This article concerns a thermal simulation of a 5-axis CNC milling machine by finite element method. At the early stage of a machine designing process, the analysis of thermal conditions is really important, because milling machines are exposed to heat effects. The result of it is a nonstationary temperature field, which can influence accuracy of positioning and it can generate thermal stress in the structure of machines. Besides harmful heat effects can decrease geometry accuracy of manufactured product, but making thermal analysis quality and lifecycle of products can be higher and planning time can be reduced.*

**Keywords:** thermal simulation, FEM-analysis, temperature field

### **1. Bevezetés**

A hő az energia egyik megjelenési formája, amely különböző hőmérsékletű rendszerek közötti áramlás formájában terjed. Egy megmunkálóberendezés hőforrásai lényegében energiaforrások, amelyekből hőenergia áramolhat a berendezés belsejébe. A hőenergia terjedésének három lehetséges módját tartjuk számon: hővezetés, hőátadás és hősugárzás. Hővezetés során a hőenergia a test részecskéin keresztül terjed, hőátadás során a részecskék makroszkopikus távolságon át terjesztik a hőt, míg sugárzás során a hőenergia elektromágneses energia formájában terjed.

## 2. A hőmérsékletmező feltárása

Ebben a fejezetben a hőmérsékleteloszlás kialakulásának elméleti hátterét mutatjuk be röviden. Ez elapján ítélnéljük meg egy megmunkálóberendezésen jelenlévő hőmérsékletmező kialakulását. A hőmérsékletmező általában a hely- és időkoordináták függvényében adható meg, ahogyan ezt az alábbi

$$T = T(x, y, z, t). \quad (1)$$

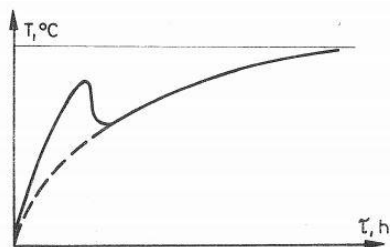
formula is rögzíti [1]. (1) alakban adódik a vizsgálatba vont berendezés által kijelölt térrészre vonatkozó hőmérsékletmező is. Az időkoordináta jelenlétében a hőmérsékletmező tranzienst, időben változó jellegű, instacionárius. Időkoordináta hiányában állandósult (stacionárius) hőmérsékletmezőről beszélünk, ilyenkor a fenti (1) összefüggés az alábbi

$$T = T(x, y, z) \quad (2)$$

összefüggésre módosul.

## 3. Szerszámgépek jellemző melegésvi görbéi

A hő terjedése a berendezésen található, illetve környezeti hőforrásokból indul el. A folyamat során, a hőmérsékletmező időbeli változása mellett, folyamatosan melegszenek a különböző gépegyeségek. A termikus egyensúlyra felírt összefüggések segítségével határozhatjuk meg a melegésvi görbéket, vagyis az instacionárius hőmérséklet-idő diagramokat, amelyek megmutatják, hogy a vizsgált tartomány bizonyos pontjai hogyan érik el a termikus egyensúlyi állapotot. A valóságos melegésvi görbék jelentős mértékben eltérhetnek az elméletitől, amint az az alábbi ábrán is megfigyelhető, amely egy felújított és friss kenőanyaggal ellátott csapágyház melegésvi görbéjét ábrázolja (1. ábra).



1. ábra. Elméleti és valós melegésvi görbék összevetése [1]

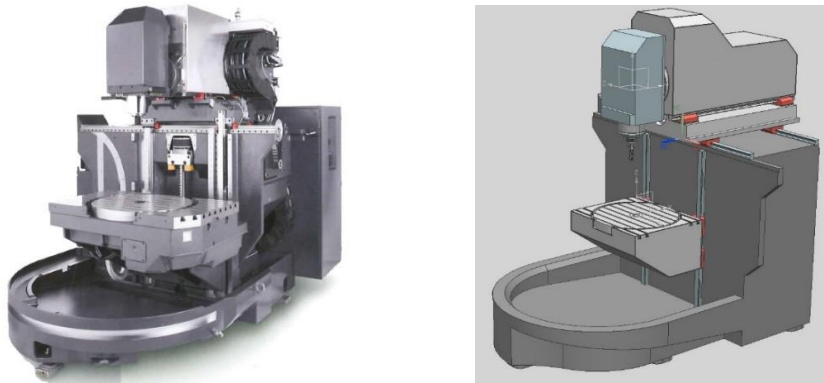
## 4. Melegésvi folyamat szimulációs vizsgálata

A melegésvi folyamatát – bonyolultabb esetekben – parciális differenciálegyenlet-rendszer írja le. Ezek egzakt, zártformulás megoldása csak kivételes, egyszerűbb esetekre ismert, így a mérnöki gyakorlat számára fontos eredmények elérése érdekében a numerikus matematika eszközeit használjuk. Elterjedten alkalmazzák a végeselem-módszert, amely a vizsgált tartományt véges számú elemre osztja fel, és elemen belüli közelítések segítségével állítja fel a keresett mezőmennyiségeket. Melegésvizsgálat mellett alkalmazzuk berendezések szilárdságtani, dinamikai, rezgéstani és kinematika vizsgálatára. A számítások alapján egyes tulajdonságok optimális kialakítása is elvégezhető. Általa előre feltárhatók esetleges megmunkálás közbeni meghibásodások, illetve meghatározhatók a

fejlesztési irányvonalak. Esetünkben segítségével összetett melegésvizsgálata megoldására teszünk kísérletet.

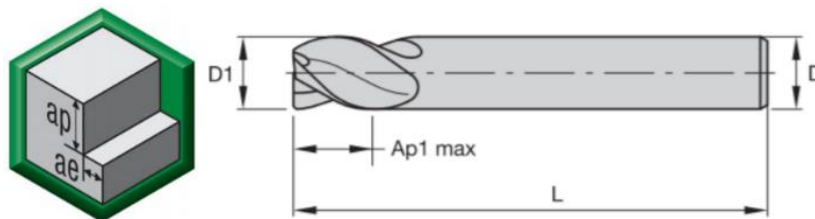
#### 4.1. A DMU 40 megmunkálóberendezés melegésvizsgálata

Ebben a fejezetben a vizsgálatba vont megmunkálóberendezés melegésvizsgálatait mutatjuk be röviden. Megmunkálást imitáló peremfeltételek mellett végezzük szimulációs vizsgálatainkat. Először a berendezés 3D-s geometriai modelljét állítottuk elő, majd a marószerszám, az alkatrész, és számos egyéb peremfeltétel – hőterhelések, hőmérsékleti előírások, hőtáadásra vonatkozó paraméterek, megmunkálási hőmérséklet és teljesítmény, hőforrások hőtéljesítménye – hatását is figyelembe véve állítjuk elő a szimulációs modellt. Az alábbi ábrák jelenítik meg a valós struktúrát és a szimulációs modellt (2. ábra).



2. ábra. A vizsgálatba vont struktúra és annak geometriai modellje [2]

Viszonylag egyszerű marási folyamatot tételezünk fel szimulációs vizsgálataink során, melyhez WIDIA Warimill 4777 szerszámot alkalmazunk az alábbi megmunkálási és geometriai paraméterek mellett: szerszámátmérő  $D_1 = 20 \text{ mm}$ , vágósebesség  $v_c = 150 \frac{\text{m}}{\text{min}}$ , fogásmélység és előtolás  $a_p = 2 \text{ mm}; a_e = 10 \text{ mm}$ . A szimulációhoz alkalmazott szerszám és munkadarab geometriát az alábbi ábrák mutatják (3. ábra).



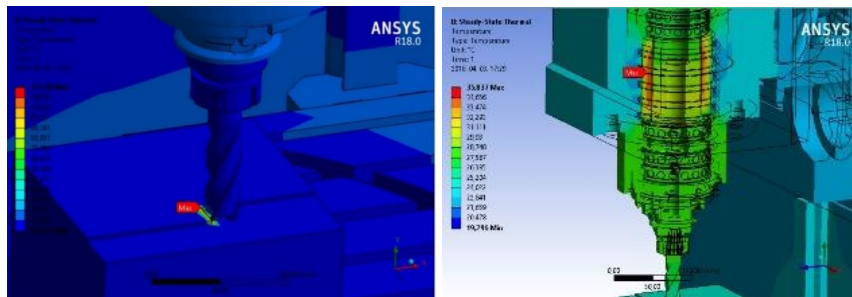
3. ábra. A szerszám és a munkadarab geometriája [3]

#### 4.2. A melegésvizsgálata eredményei

A számításokhoz előállítottuk a szimulációs modellt, melynek során a modellhez rendeltük a korábban említett anyagi jellemzőket és peremfeltételeket. Szimulációs vizsgálatainkhoz az ANSYS szoftvercső-

mag egyes moduljait használtuk. Előállítottuk a 3D-s geometria végelem-hálóját, és ezt követően – a beépített algoritmus segítségével – előállítottuk a hőmérsékletmezőt, ez alapján a hőfeszültségmezőt és alakváltozásokat, végül pedig a méretváltozási jellemzőket. A mechanikai jellemzőket csatolt hőszilárdságtani analízis segítségével határoztuk meg.

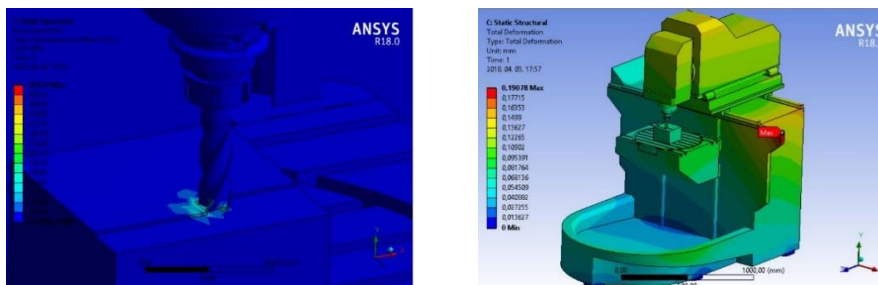
Az alábbi, szimulációs diagramból kiolvasható, hogy a hőmérsékletmező maximális értéke közvetlenül a munkadarab és a marószerszám közös érintkezési felületein jelenik meg. E mellett a főorsó és más nagypontosságú egységek is jelentős hőterhelést szenvednek el. Az alábbi 4. ábra bal oldali diagramja a szerszámmegfogó környezetének hőeloszlását mutatja színskálán feltüntetve a várható hőmérséklettartományokat.



4. ábra. A marási folyamat során előálló hőmérsékletmező

A hőmérsékleteloszlás mellett a mechanikai feszültségmezőt is meghatároztuk (5. ábra). Látható, hogy jelentős mértékű feszültség ébred a szerszám-munkadarab érintkezésénél. Ez szintén a szerszám-élettartam csökkenését és a megmunkálás pontatlanságát okozhatja. Az alakváltozási és az elmozdulásmezők is ismertté váltak. A munkadarab egészében homogén alakváltozási mezőt mutat, egységes  $60\ \mu\text{m}$ -es elmozdulást minden irány mentén. Ez a fajta alakváltozási mező két szempontból is kedvező, egyrészt nyíró deformációk nem lépnek fel, tehát nincs szögtorzulás, másrészt pedig – az előzőből következően – a hosszirányú alak- és méretváltozások szoftveres algoritmussal könnyen kompenzálhatók.

Közvetlen kompenzáció segítségével – miközben szenzorok segítségével rögzítjük a hőmérsékletmezőt és a deformációkat – a CNC-vezérlésen keresztül módosul a korábban programozott szerszám-pálya. Közvetett kompenzáció során a szimulációs modell alapján nyert adatok segítségével – szintén a vezérlésen keresztül – módosíthatjuk az éppen aktuális szerszámkoordinátákat. A fenti kompenzációs eljárások segítségével a hődeformációkból eredő megmunkálási pontosságok csökkenthetők nagy mértékben.

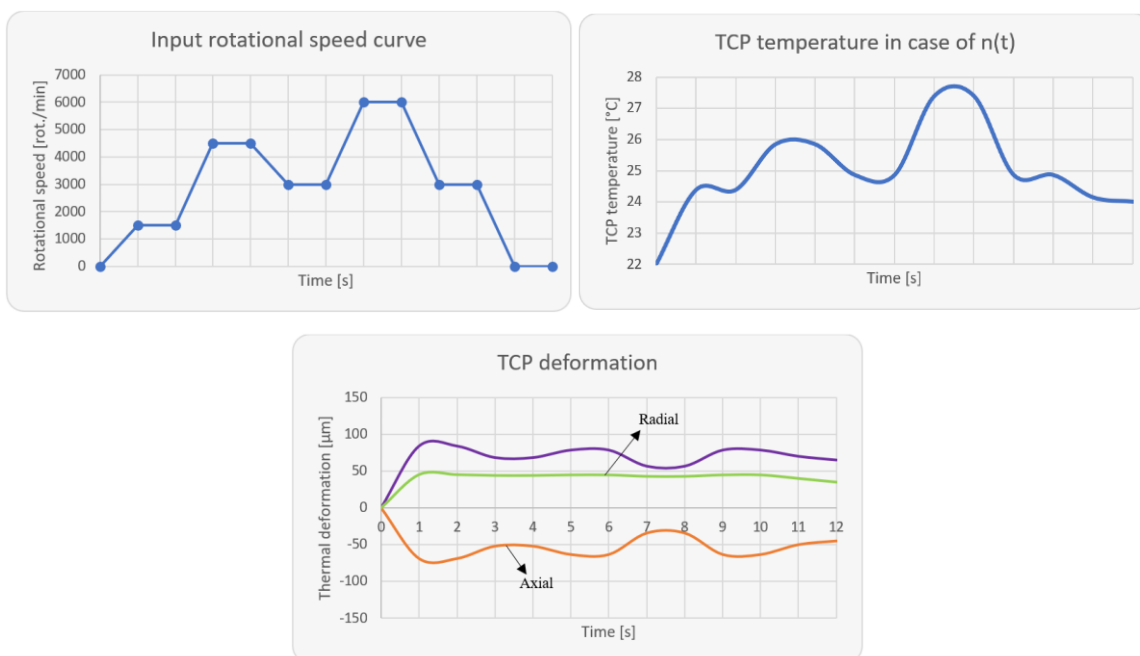


5. ábra. A marási folyamat során előálló feszültségmező

A fenti ábrákból az is kitűnik, hogy a szimulációhoz felhasznált geometriai modell csak a leglényesebb építőelemeket használja, tehát viszonylag egyszerű geometriát használtunk. A geometriai modell bonyolultsága a számítási idővel függ össze: bonyolultabb geometria növelt számítókapacitást és időt igényel, így a modell optimális geometriájának megválasztása nem kerülhető el.

Érzékenységvizsgálatot is végeztünk a TCP-re (Tool Center Point) vonatkozóan: különböző megmunkálási paraméterek mellett számoltuk ki a vizsgált pont melegedési görbéjét. Ennek során feltételeztük, hogy a főorsó fordulatszáma időben változik (6. ábra bal felső diagramja), majd ezt bemeneti függvényként alkalmazva, különböző fordulatszámoknál határoztuk meg a vizsgált pont pillanatnyi hőmérsékletét, és kaptuk eredményül a 6. ábra jobb felső görbéjét. Végül ezek alapján meghatároztuk a TCP axiális és radiális irányú elmozdulásfüggvényét. E görbék alapján megítélhető a marási folyamat hődeformációs hatása. Képet kaphatunk a hőforrások hatásáról, akár csak a tervezési folyamat irányának helyességéről.

A 6. ábra a TCP melegedés hatására bekövetkező termikus és deformációs viselkedését mutatja.



6. ábra. A TCP elmozdulása hőterhelés hatására

## 5. Összefoglalás

Cikkünkben egy 5-tengelyes CNC fúró-maró megmunkálóközpont működés közbeni melegésvizsgálatát végeztük el szimulációs környezetben. Elsőként a hőmérsékletmezőt, és egyes elemek melegedési görbéit állítottuk elő. Ezt követően a végelem-módszert alkalmaztuk a szimulációs környezet megteremtésére, majd meghatároztuk a hőmérsékletmezőt, és ez alapján a hődeformációkat és a hőfeszültségeket. A szimulációs eredmények alapján meghatároztuk a programozott pont (TCP) hődeformációk hatására bekövetkező elmozdulásait, amely az indirekt hőkompenzációs eljárások alapját képezi.

Megjegyezzük, hogy a szimulációs környezetben elvégzett szimulációs vizsgálat kiemelt jelentőséggel bír egy berendezés tervezésének korai fázisában, hiszen eredményei alapján dönthetünk az eddigi konstrukció irányvonal helyességéről, esetleg annak módosításáról. A végeselem-módszer hasznos szimulációs környezetet biztosít berendezések melegésvizsgálatához, hiszen segítségével – ellentétben egy hőkamerás vizsgálattal – nem csak a felszíni, hanem tartomány belső pontjaiban fellépő hőmérsékleteloszlás is feltárható.

## **6. Köszönetnyilvánítás**

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## **Irodalom**

- [1] Baráti, A.: Szerszám gép-vizsgálatok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1988.
- [2] <https://en.dmgmori.com/>
- [3] <https://www.widia.com/en/about-us.html>