ZÖMÍTÉS VÉGESELEMES MODELLEZÉSE A HŐFEJLŐDÉS FIGYELEMBE VÉTELÉVEL

FINITE ELEMENT MODELING OF UPSETTING CONSIDERING HEAT GENERATION

Mihalovits Roland¹, Gonda Viktor², Széll Károly³

^{1,2} Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag és Gyártástudományi Intézet, 1081 Budapest, Népszínház u. 8.

³ Óbudai Egyetem, Alba Regia Műszaki Kar, 8000 Székesfehérvár, Budai út 45.

¹ mihalovits.roland@gmail.com; ² gonda.viktor@bkg.uni-obuda.hu

Abstract

In this article, a finite element modeling of upsetting of a cylindrical workpiece is presented. In the modeling, the effect of friction, heat generation from the deformation, and the heat losses from conduction and convection are considered.

Keywords: *finite element analysis, coupled model, friction, thermal balance.*

Összefoglalás

A cikkben egy hengeres munkadarab zömítésének a végeselemes modellezését mutatjuk be a súrlódás, a képlékeny alakváltozásból adódó hőfejlődés, és az alakítás utáni hőelvezetés számításának figyelembe vételével.

Kulcsszavak: *végeselemes analízis, csatolt modell, súrlódás, hőegyensúly.*

1. Bevezetés

A végeselemes módszer (VEM) segítségével a képlékenyalakítás technológiai tervezése nagyban egyszerűsíthető. A technológiai paraméterek számítása komplex alakítási eseteknél nagyon bonyolult képletek alkalmazását igényli, vagy nagyfokú egyszerűsítésekkel lehet csak becslést tenni, a mérésük nem megoldható, vagy költséges. A végeselemes módszer megoldást adhat ilyen esetekben, a szimulációk segítségével, virtuális prototipizálással a próbagyártás folyamata is lerövidíthető, így jelentős költség-megtakarítás érhető el. A modell segítségével az alakítás folyamatában vizsgálhatók a feszültségek, alakváltozások és egyéb

ezekből számítható paraméterek változása, ezzel segítséget nyújtva a technológia optimalizálására [1].

A VEM egy numerikus módszer, amely segítségével a testek mechanikai és/vagy termikus modelljét nem folytonos kontinuumként, hanem részekre, ún. elemekre bontva alkotjuk meg. Ez a módszer a mai elérhető számítási kapacitás mellett jelentősen meggyorsítja a tervezéseket, és számítások idejét.

A végeselemes modellezéshez az MSC Marc Mentat 2016 programot használtuk, mely jól alkalmazható a képlékenyalakító technológiák termikus-mechanikus modellezésére [2].

Jelen cikkben egy hengeres test zömítésének végeselemes modellezését mutatjuk be, ahol a cél egyrészt egy mechanikai képlékeny modell megalkotása, valamint ennek a csatolt hőtani kiterjesztése, a gyors alakváltozásból adódó hőfejlődés vizsgálata, valamint az alakítás utáni lehűlés számítása. A zömítés modellezését több részleteségi szintre bontjuk, a kezdeti súrlódásmentes képlékeny alapmodelltől egészen egy olyan modellig, amely alkalmas a hőtani vizsgálatok elvégzésére.

2. A modell felépítése

A vizsgált munkadarab egy Ø20 mm átmérőjű, és 30 mm magas acél henger. A modell megalkotása során csupán a geometria tengelymetszetének negyede került megrajzolásra a szimmetriát kihasználva, síkbeli tengelyszimmetrikus esetet tekintve. A szerszám átmérője Ø30 mm, a magassága pedig 10 mm. A zömítés során a mozgó szerszámelem elmozdulás-vezérelt, a mozgás lineáris, az alakításnál a bélyegút a munkadarab magasságának a harmada.

A modell komplexitását négy szintre bontottuk: az első szintű modell az ideális alakításhoz tartozik, a második szinten a súrlódást figyelembe vesszük, a harmadik szinten a hőfejlődést, a negyedik szinten a szerszám hővezetését.

A szerszám modellje az első szintű modellben merev, így ennek hálózására nincs szükség. A munkadarab rugalmas-képlékeny keményedő anyagmodellét kap, így ez hálózott lesz. Az érintkezést súrlódásmentesnek tekintjük.

Miután elkészültek a geometriák, a következő lépés az anyag mechanikai tulajdonságainak megadása (1. táblázat), az érintkezések létrehozása, a terhelési eset, valamint a számítási feladat beállítása. A szimuláció sikeres futásával az alapmodell megfelelőnek mondható, az alap modell alkalmas a fő alkotóelemek helyességének,

valamint a számítási feladat lefutásának ellenőrzésére.

A második modellezési szint a súrlódás figyelembe vétele. Nem csupán a súrlódási együttható értékét kell rögzítenünk, hanem a súrlódás típusát is, ebben a modellben Kudo-féle súrlódást alkalmaztunk. A Kudo-féle súrlódási számot a munkadarab és a szerszám között $m = 0,8$ értékkel definiáltuk.

A harmadik modellezési szint a gyors alakváltozásból adódó hőfejlődés vizsgálata. Ehhez definiálni kellett a munkadarab hőtani jellemzőit: a hővezetési tényezőt, a fajlagos hőkapacitást (fajhő), és a kezdeti hőmérsékletet, amelynek értéke 293 K. A további termikus, illetve mechanikai paramétereket az **1. táblázat** tartalmazza. Ezek mellett aktiválni kellett a képlékeny alakváltozásból adódó hőfejlődési csatolt modell használatát.

1. táblázat. A termikus- és mechanikai paraméterek

Jellemző	Munkadarab	Szerszám
Rugalmassági modulus [GPa]	200	-
Poisson-tényező [-]	0.3	-
Folyáshatár [MPa]	275	-
Keményedési együttható [MPa]	722	-
Keményedési kitevő [-]	0,262	-
Sűrűség [kg/m ³]	7800	
Hővezetési tényező $\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$	36	40
Hőkapacitás $\left[\frac{J}{m^2 \cdot K} \right]$	450	350
Hőátadási tényező $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ (környezet és modell között)	2,95	
Hőátadási tényező $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ (munkadarab és szerszám között)	400	

A negyedik modellezési szinten a szerszám hővezetése is beépítésre kerül, így a művelet során és után kialakuló hőegyensúly változása vizsgálható. Ezért ebben az esetben már hálózott szerszámmra van szükség, hiszen a program csak csomópontokra tudja számítani a különböző paramétereket, tehát a hőmérsékletet is, viszont mechanikai szempontból merevnek tekintjük a szerszámot, így ennek merev-hálózott modellje lesz. Definiáltuk az érintkezéseknél a munkadarab-, valamint a szerszám és a környezet közötti hőátadási tényezőket is, amelyek értékét szintén az **1. táblázat** tartalmazza. A már meglévő modellek módosításánál, kiegészítésénél nagyon körültekintően kell eljárni, hiszen az egymással érintkező elemek átfedő csomópontjainál könnyen torzíthatjuk a teljes modellt, hiszen a modellalkotás után törölni kell az duplikált csomópontokat és elemeket.

3. Eredmények

A különböző modellezési szintek eredményeit külön-külön mutatjuk be. Az első szintű alapmodell célja a helyes lefutás ellenőrzése, ezért az most nem kerül részletezésre.

3.1. A súrlódás hatása

A súrlódás hatása a munkadarab hordósodásában jelenik meg, amelyet az **1. ábra** szemléltet. Az ábrán a szimmetria tengelye a vízszintes tengely, a munkadarab szerszámmal érintkező felülete a bal oldali függőleges vonal ebben a metszetben, a jobb oldali vonal a tükrörszimmetria síkját jelöli.

A hordósodás azzal magyarázható, hogy a munkadarab és a szerszám érintkező felületén a megjelenő súrlódó erő gátolja az elmozdulást sugár irányban, így ezen a részen a munkadarab átmérő növekedése a zömítés során kisebb lesz. Ahogy távolodunk tengelyirányban a szerszámtól, úgy csökken ennek a jelenségnek a hatása.

1. ábra. A hordósodás jelensége ($m = 0,8$). A skála a radiális eltolódást mutatja mm-ben.

A súrlódási együttható értékének növelése nem minden esetben eredményez nagyobb sugár irányú méretnövekedést.

Ahogy az **1. ábrán** is látható, a nagy együttható azt eredményezi, hogy a paláston az első elem nagyon nagy torzulást szenved, itt megfigyelhető egy jelentős ugrás a hordósodás ívében. Ezt sűrűbb hálózással ki lehet küszöbölni, hogy pontosabb eredményt kapjunk.

3.2. Hőfejlődés

Az alakítás hatására hő fejlődik a munkadarabban. Ha az alakítás kellően gyors, jelen esetben 0,5 másodperc, akkor a hővesztesség elhanyagolásával az adiabatikus eset vizsgálható. A munkadarab hőmérséklete emelkedik, a hőmérséklet eloszlása nem homogén, ahogy az a **2. ábrán** megfigyelhető. A legmagasabb hőmérséklet a munkadarab középpontjában adódik, amíg a legalacsonyabb hőmérséklet a munkadarab tengelyének a szerszám síkját metsző pontjában, itt a súrlódásnak nincs jelentős hatása. Az alakváltozás hatására létrejövő legnagyobb hőmérséklet 380 Kelvin, amely 87 Kelvinnel nagyobb, mint a kezdeti szoba-hőmérséklet.

2. ábra. A hőmérséklet eloszlása a zömítés végén

3.3. Hővesztesség

A hőegyensúlyt azért érdemes vizsgálni az alakítás végéhez tartozó bélyeghelyzet megtartása mellett, így a szerszám hővezetésének a hatását meg lehet mutatni.

Az eredmények kiértékeléséhez különböző időpillanatokban ($t = \{0,5; 1,82; 10,26; 43,46; 100,5\}$ s) felvettem a munkadarab tengelyvonalán a hőmérsékletet a szerszám felső síkjától a munkadarab félmagasságáig.

3. ábra. A hőmérséklet alakulása szerszám felső síkjától a munkadarab félmagasságáig

Az így kapott eredményeket a 3. ábrán látható grafikonban egyesítettem, amelyen megfigyelhetjük, hogy az alakítás végén ($t = 0,5$ s) a szerszám és a munkadarab érintkezési síkjának közelében a legmagasabb a hőmérséklet, hiszen itt volt az egyik legnagyobb alakváltozás. Ezután a véghelyzetben tartás során ebből az első csomópontból a hőmérséklet elkezdett terjedni mindkét irányba, hiszen ennek a csomópontnak a hőmérséklete csökkent, míg a szerszám, illetve a szomszédos csomópontok hőmérséklete is emelkedett, ez a jelenség figyelhető meg a ($t = 1,82$ sec) időpillanatban.

Ezután a munkadarab és a szerszám ezt a hőeloszlási karakterisztikát megtartva hűlnék vissza a kezdeti hőmérséklete 100 s elteltével.

4. Összegzés

A kutatás során elkészült a zömítés végeelemes modellje, négy különböző részletességi szinttel, amelynek segítségével meg lehetett vizsgálni a súrlódás hatását, a gyors alakváltozásból adódó hőfejlődést, valamint a keletkezett hő elvezetését.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-I-OE-779/15 pályázati támogatásának, valamint az EFOP-3.6.1-16-2016-00010 pályázati támogatásnak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Henry S. Valberg: *Applied Metal Forming*, Chapter 11., Cambridge, 2010.
- [2] Marc E: *Demonstration Problems*, Chapter 8.59; Volume MSc Software, 2013.