

## A FELÜLETVASALÁSI ELJÁRÁS VIZSGÁLATA VÉGESELEMES MÓDSZERREL

**Ferencsik Viktória**

egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [ferencsik.viktoria@uni-miskolc.hu](mailto:ferencsik.viktoria@uni-miskolc.hu)

**Gál Viktor**

tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem  
Korszerű Anyagok és Intelligens Technológiák Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [gal.viktor@uni-miskolc.hu](mailto:gal.viktor@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Jelen tanulmány alumíniumötvözetten végzett hideg képlékeny gyémántszerszámos felületvasalás véges elemes vizsgálatát tárgyalja, mely során bemenő paraméterként a vasalási erő, előtolás és sebesség értéke került meghatározásra, míg kimenő paraméterként a felületi érdesség változását analizáljuk. Ez az élettartamnövelő eljárás hatékonyan csökkenti az érdességet, javítja az alakhibát, illetve növeli a felületközeli réteg keménységét. A vasalást megelőző esztergált felület megmunkálási szimulációja a fizikailag megvalósult, mért értékeknek megfelelően történik DEFORM-2D szoftver alkalmazásával, annak érdekében, hogy a bekövetkező felületminőség-javulást számszerű értékekkel is validáljuk.*

**Kulcsszavak:** vasalás, felületi érdesség, DEFORM-2D, VEM

### **Abstract**

*This study details the FEM analysis of cold forming diamond burnishing process on aluminium alloy. The input parameters are burnishing force, feed rate, speed and the changing of surface roughness is investigated as an output parameter. This lifetime increasing process effectively reduces the roughness, improves shape correctness and also increases the hardness of the sub-surface area. Machining simulation of the turned surface before burnishing is based on the realized, measured values, by using DEFORM-2D software in order to validate the improvement of surface quality with numerical values too.*

**Keywords:** burnishing, surface roughness, DEFORM-2D, FEM

### **1. Bevezetés**

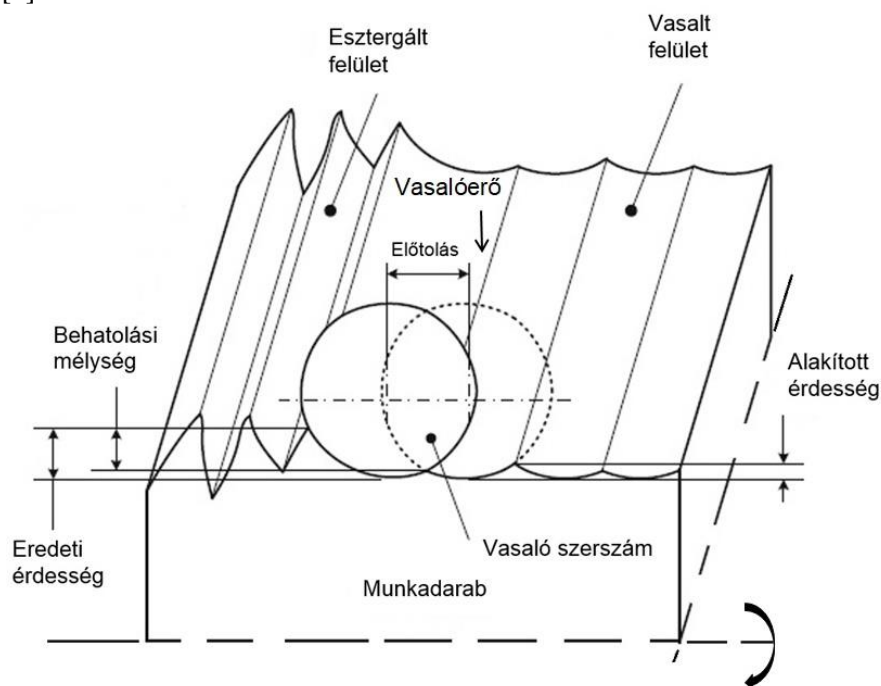
Üzemeltetésük során az egyes alkatrészeket, azok felületét számos igénybevétel (mechanikai, termikus, vegyi, stb.) által kiváltott károsodási forma éri így, az élettartamnövelő felületszilárdító eljárások jelentős szerepet töltenek be az ipari gyakorlatban [1-2]. Ráadásul egyre növekszik az igény az olyan anyag- és energiatakarékos eljárások alkalmazására, melyek környezetbarát módon, speciális feltételek nélkül is megvalósíthatóak [3-4], akár a jelen tanulmány tárgyát képező nem-vasalapú anyagminőségen is. Előnyös és hatékony megoldásként alkalmazható a csúszó relatív elmozduláson alapuló vasalási eljárás, mely amellyel, hogy csökkenti a felületi érdességet, a diszlokációk átrendezése révén növeli a felületközeli réteg keménységét, korrózióval szembeni ellenállóképességét, továbbá javítja az alakhe-

lyességet és nem igényel nagy mennyiségű hűtő-kenő folyadékalkalmazást [5]. Az ipari gyakorlatban például hidraulikus hengerek, dugattyúk, csapágyperselyek és –gyűrűk, valamint főtengelyek befejező megmunkálásaként alkalmazzák [6].

Vizsgálatunk célja a vasalási folyamat során alkalmazott megmunkálási paraméterek felületi minőségre gyakorolt hatásának modellezése. Már a múltban is sok kutató nagy hangsúlyt fektetett a technológia elméleti tanulmányozására [7-11] és továbbra is fennáll az igény egy megbízható végeeselemes modell megalkotására, mely biztosítaná az eljárás okozta anyagban lejátszódó folyamatok alapvető megértését.

## 2. A felületvasalási eljárás és alkalmazása

Külső hengeres felületek vasalása rendszerint hagyományos vagy CNC esztergán történik, mely során a kés helyére fogják be vasalószerszámot, az pedig adott nyomóerőt gyakorolva és egyenes vonalú mozgást végezve végighalad a forgómozgást végző munkadarab felületén. Tehát, ahogy az 1. ábra is szemlélteti, felületvasaláskor a felület érdességének csökkenését a megmunkálandó anyagnál jóval keményebb anyagú szerszám és a vasalandó felület csúszási súrlódásakor végbemenő kölcsönhatása eredményezi [5].



1. ábra A vasalási művelet sematikus ábrázolása [12].

Az eljárás természetesen nem csak külső hengeres felület megmunkálására alkalmas, választásunk azért esett erre, mivel fő alkalmazási területét autóiipari, légiipari alkatrészek, főtengelyek, belső és külső csapágy futógyűrűk, stb. megmunkálása alkotják.

Jelen kísérlet esetében a vasalást OPTIMUM gyártmányú OPTIturn L-típusú síkágyas CNC esztergá gépen végeztük el 3,5 mm sugarú mesterséges gyémánt szerszámmal az 1. táblázatban összefoglalt paraméterek szerint.

**1. táblázat.** Vasalási paraméterek

Technológiai paraméter	Érték	Mértékegység
Vasalóerő (F)	12	N
Előtolás (f)	0,001	mm/ford
Sebesség (v)	15	m/min

### 3. Véges elemes modellezés

A végeselemes analízis alapja a fizikai szerkezet matematikai modellje, ami magában foglalja az anyagmodelleket, peremfeltételeket és mindazon befolyásoló tényezőket, amelyek a fizikai valóságban megjelennek. A módszer lényege a vizsgált geometria kisebb részekre (véges elemekre) bontása, majd az ezeket meghatározó csomópontokra ható terhelések és a hatásukra létrejövő kimenő mennyiség közötti kapcsolatot leíró egyenletrendszer megoldása [13].

#### 3.1. A választott szimulációs program

A vasalási eljárás végeselemes szimulációja cikkünkben a DEFORM program alkalmazásával történt, melyet alapvetően meleg kovácsolási folyamatok szimulációira fejlesztettek ki, viszont a '90-es évek eleje óta hatékonyan alkalmazható hidegalakítási műveletek modellezésére is. Napjainkban az egyik leginkább elterjedt fémalakítási célorientált szimulációs szoftverek közé tartozik [14].

A programcsalád fő termékei közé tartozik az ún. FORMING EXPRESS 2D, illetve -3D, továbbá a DEFORM-3D és -2D. Jelen vizsgálathoz az utóbbi került felhasználásra, mivel alkalmas tengelyszimmetrikus darabok különböző alakváltozási és mikroszerkezeti változásainak vizsgálatára, továbbá lehetőséget biztosít összetett kölcsönhatások modellezésére is [14].

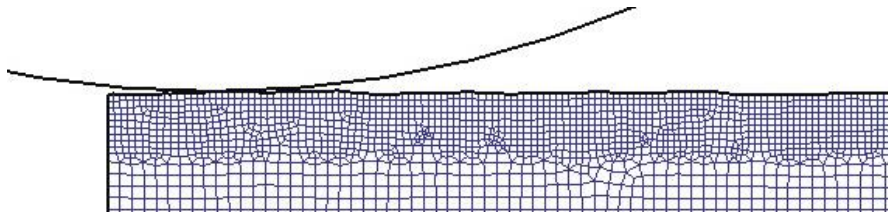
#### 3.2. A szimuláció felépítése

Az eljárás modellezése során szükség volt a szférikus  $r = 3,5$  mm geometriával rendelkező szerszám megalkotására, melyet aztán a felületre merőlegesen meghatározott nyomóerővel, a tengellyel párhuzamosan konstans előtolással mozgattunk a munkadarab felületén. Ki kell emelnünk, hogy a szimuláció során az importált, majd a kiértékelés alapját adó felület egy adott fizikai munkadarab felülete, melyet a vasalás előtt, majd utána is, AltiSurf 520 háromdimenziós felülettopográfiai berendezéssel határoztunk meg.

A végeselemes modellezés kritikus pontja a próbatest hálóelemekre bontása. A hálóelemek mérete-eloszlása alapvetően határozza meg a szimuláció eredményeinek pontosságát. Ideális esetben a tengelyszimmetrikus 3D próbatest 2d térbe való leképezése során a modellezett próbatest vastagsága megfelel a valós próbatest sugarának. A hálóelemszám növelésével emelkedő számítási idők (illetve adott esetben a véges hálóelemszám) azonban a legtöbb esetben az egyszerűsítések irányába mozdítják el a modellalkotást. A vasalás modellezésének kritikus pontja a bevitt, alakítás előtti felületgeometria pontos modellezése, amit a lehető legkisebb élhosszúságú elemekkel érhetünk el.

Az imént leírtakkal összhangban előkísérleteket végeztünk azért, hogy meghatározzuk, hogy a felület-től mérve mekkora az a távolság, ahol az elvégzett vasalás még változást hoz létre az anyagban. Az előkísérleti szimulációk eredményei azt mutatták, hogy a felület alakításának hatásövezete 0,15-0,17 mm volt. A biztonság érdekében a pontos fizikai felület bevitele után 0,2 mm volt a meghatározott anyagvastagság.

A csökkentett vizsgálati vastagsággal elérhettük, hogy megfelelő számítási idő mellett a felszín közelében alkalmazott négy-csomópontú hálóelemek élhosszúsága 0,01 mm legyen. Ennek ellenőrzéseként megvizsgáltuk az így kapott felületi érdességet, amely a fizikai mérés szerinti  $Ra_{\text{fizikai}} = 1,478 \mu\text{m}$ -ról  $Ra_{\text{szimuláció}} = 1,457 \mu\text{m}$ -re változott. A hálóelemek méretének további csökkentésével elérhető lett volna a felület még pontosabb lekötése, ami bár az eredmények tekintetében nem okozott volna releváns változást, a számítási időt drasztikusan növelte volna. A szerszámot és a behálózott munkadarabot a 2. ábra szemlélteti.



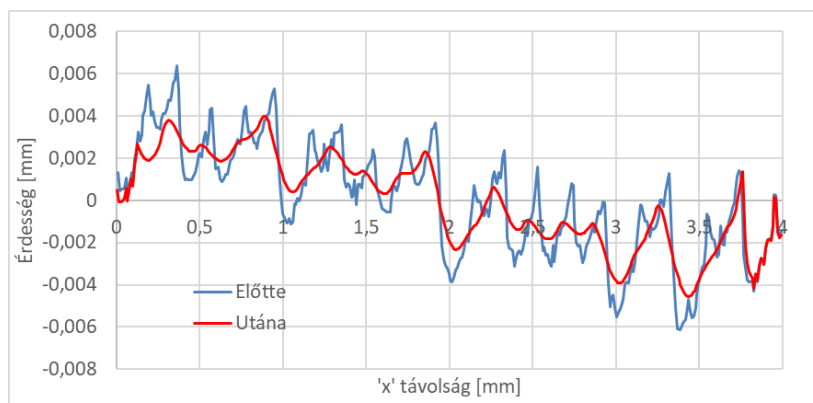
2. ábra A vasalási modell egy részlete.

A T0 állapotban lévő 6065 alumíniumból készült munkadarab alakváltozásának leírásához definiálni kell annak mechanikai tulajdonságait. Az anyag rugalmas viselkedését a Young modulus (68900 MPa) és a Poisson-tényező (0,33) segítségével határoztuk meg. Elasztó-plasztikus anyagoknál a folyáshatár felett a rugalmas és a képlékeny alakváltozás egyszerre történik. A rugalmas alakváltozás utáni tartományt ennek megfelelően az anyag jellemző folyásgörbéjével definiáltuk.

A próbatest képlékeny alakításra adott válaszában pontos leírásához elengedhetetlen az érintkezési feltételek megadása. Mivel a fizikai mérések során a szerszám és a felület között nagy mennyiségű kenőanyagot alkalmaztunk, a felületek között létrejövő súrlódástól eltekintettünk.

#### 4. Eredmények

Lefuttattuk a fizikai mérés alapján készült végeselemes modellt, majd összehasonlító elemzést végeztünk az egyes felületi topográfia változása alapján. A 3. ábrán egyértelműen látható a különbség a kék színnel jelölt esztergált-hálózott (vasalás előtti) felület és a pirossal jelölt, 1. táblázatban szereplő adatok alapján készült vasalási szimuláció által eredményezett felületi profil között.



3. ábra A felületi profil változása (kék-vasalás előtt, piros-vasalás után).

A megvalósított kísérlet és a szimuláció számszerű összehasonlítását pedig a 2. táblázatban foglaltuk össze, kiválasztva egyet a számos érdességet jellemző paraméter közül.

**2. táblázat.** Az átlagos felületi érdesség (Ra) számszerű értékei

Ra [ $\mu\text{m}$ ]		
	Kísérlet	VEM modell
Esztergált	1,478	1,457
Vasalt	0,0965	0,0916

## 5. Összefoglalás

A publikációban DEFORM program alkalmazásával létrehoztuk a felületvasalási eljárás 2D-s véges-elemes modelljét, mely során a beállított paraméterek megegyeztek a valós kísérleti körülményekkel. A szimuláció futtatása és az eredmények kiértékelése alapján a következő megállapításokat tesszük:

- A vizsgált anyagminőségen a felületvasalás - jelen paramétertartományon belül - hatékonyan alkalmazható, igazolják ezt mind a kísérleti, mind a szimulációs eredmények;
- A szimuláció során, a modell hitelessége szempontjából kardinális jelentőséggel bír a helyes hálólelem méret megválasztása;
- Jelen tanulmányban az átlagos felületi érdesség szimulált számszerű értéke jó közelítést mutat a gyakorlati kísérlet eredményével, a köztük lévő különbség csupán 5,35 %, tehát a modell alkalmas a vasalás okozta további jellemzők változásának elemzésére.

Mindezek alapján, jövőbeni terveink között szerepel a vasalás okozta feszültségállapot-változás jelenségének szimulációs elemzése.

## 6. Köszönetnyilvánítás

„A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatallodó 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] Bálint, L., Gribovszki, L.: *A gépgyártástechnológia alapjai*, Miskolci Egyetem (1975), pp.: 418-442
- [2] Bagyinszki, G., Bitay, E.: *Felületkezelés*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki tudományos füzetek 5. (2009), pp.:9-85 <https://doi.org/10.36242/mtf-05>
- [3] El-Nasr, A. A.: *Thermomechanical fatigue behavior of burnished 7075-T6 aluminium alloy*, Proceedings of the 15th Int. AMME Conference (2012), pp.: 40-50 <https://doi.org/10.21608/amme.2012.36958>
- [4] Kadhim, Z. D., Abdulrazzaq, M. A., Hussain, W. S.: Mechanical properties of burnished steel AISI 1008, *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, Vol. 14., No. 4 (2018), pp.: 133-142 <https://doi.org/10.22153/kej.2018.06.005>
- [5] Gribovszki, L.: *Gépipari megmunkálások*, Miskolc, Egyetemi Tankönyvkiadó (1977), p.: 421
- [6] Abodena, A.: Optimization of surface roughness of brass by burnishing, *The International Journal of Engineering and Information Technology*, Vol. 5, No. 2 (2019), pp.: 90-96

- [7] Bougharriou, A., Sai, K., Bouzid, W.: *Finite element modeling of burnishing process*, Materials Technology: Advanced Performance, Vol. 25. (2010), pp.: 56-67 <https://doi.org/10.1179/175355509X387110>
- [8] Rodriguez, A., Lopez De Lacalle, L. N., Celaya, A., Lamikiz, A., Albizuru, J.: *Surface improvement of shafts by the deep ball-burnishing technique*, Surface and Coatings Technology, 206:1 (2012), pp.: 2817-2824 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2011.11.045>
- [9] Yen, Y. C., Sartkulvanich, P., Altan, T.: *Finite element modeling of roller burnishing process*, CIRP Annals-Manufacturing Technology, 54:1 (2005), pp.: 237-240 [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)60092-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)60092-4)
- [10] Klocke, F., Backer, V., Wegner, H., Zimmermann, M.: *Finite element analysis of the roller burnishing process for fatigue resistance increase of engine components*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture 225:1 (2011), pp.: 2-11 <https://doi.org/10.1243/09544054JEM2044>
- [11] Sayahi, M., Sghaier, S., Belhadjsalah, H.: *Finite element analysis of ball burnishing process: comparisons between numerical results and experiments*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 67:5-8 (2013), pp.: 1665-1673 <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4599-9>
- [12] Shiou, F.J., Huang, S.J., Shih, A.J., Zhu, J., Yoshino, M.: *Fine Surface Finish of a Hardened Stainless Steel Using a New Burnishing Tool*, Procedia Manufacturing 10 (2017), pp.: 208-217 <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.048>
- [13] moodle.autolab.uni-pannon.hu/Mecha\_tananyag/vegeselem\_modszerek/ch02.html
- [14] DEFORM v12sp2 System Documentation Release Notes (2020), kézikönyv, pp.:1-6111