

A FELÜLETVASALÁS FELKEMÉNYEDÉSRE ÉS FESZÜLTSGÁLLAPOT-VÁLTOZÁSRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK ELEMZÉSE

Ferencsik Viktória

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

Varga Gyula

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: gyula.varga@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Jelen tanulmányban az élettartam-növelő felületszilárdító eljárások közé tartozó vasalás technológiájának vizsgálatával, az azzal kapcsolatos eredmények bemutatásával foglalkozunk. Analizáljuk, hogy a megmunkálás során beállított paraméterek (vasalási erő, előtolás, sebesség, járatszám) milyen hatással vannak a felületi mikro-keménységre, valamint a feszültségállapotra, illetve elemezzük a köztük lévő korrelációs kapcsolatokat. A kísérletek megtervezése és végrehajtása a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerével történik.

Kulcsszavak: gyémántvasalás, mikro-keménység, maradó feszültség, teljes faktoriális kísérlettervezés

Abstract

In this study the technology of lifetime increasing surface strengthening burnishing process is investigated presenting the results related to it. We analyze the effect of setting parameters (burnishing force, feed rate, speed, number of passes) to the surface micro-hardness and stress condition and examine the correlation relationships between them. To planning and executing the experiments use full factorial experimental design method is applied.

Keywords: diamond burnishing, micro-hardness, residual stress, full factorial experimental design

1. Bevezetés

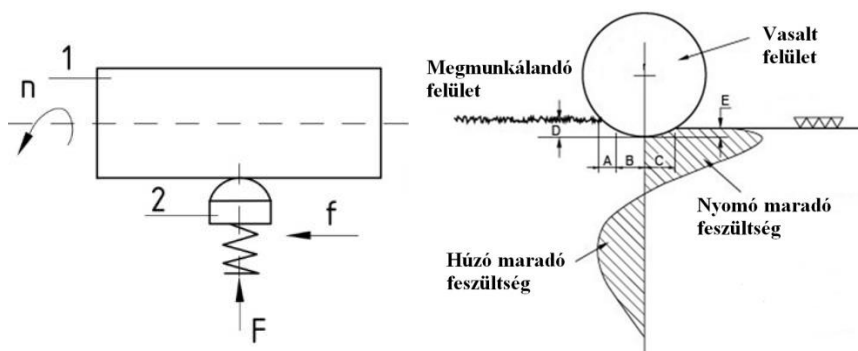
A vasalás, mely eredetileg vasúti tengelyek megmunkálására kifejlesztett [1] befejező eljárás, ma már jelentős szerepet tölt be a hideg képlékeny alakító technológiák között. Az eljárásnak számos előnye van: csökkenti a felületi érdességet, növeli a mikro-keménységet, továbbá javítja a megmunkált darab feszültségállapotának jellemzőit, ráadásul nem igényli nagy mennyiségű hűtő-kenő folyadék alkalmazását, tehát gazdaságos és kis környezetterhelésű [2-5].

A felületvasalás egyaránt alkalmas külső és belső hengeres felületek megmunkálására, követheti napjaink modern forgácsoló megmunkálásait is, ezért a minél hatékonyabb alkalmazás érdekében a módszer minél részletesebb elméleti és gyakorlati vizsgálata szükséges.

Kutatómunkánk során külső hengeres felület gyémántszerszám felületvasalásával, illetve az általa okozott felületi mikro-keménység és maradó feszültség változásával foglalkozunk. A kísérletek megtervezéséhez és végrehajtásához a teljes faktoriális kísérlettervet alkalmazzuk, mellyel empirikus képletek hatékonyan meghatározhatóak, továbbá, az eredményeket speciális viszonyszámok képzésével értékeljük ki.

2. Az eljárás alkalmazása külső hengeres felületen

Tengelyszerű darabok vasalása során a forgó mozgást végző munkadarab (1) felületén egy adott paraméterekkel rendelkező szerszám (2) meghatározott nyomóerővel, egyenes vonalú mozgást végezve végighalad, ezzel átfedést hozva létre a szerszám működő és a munkadarab alakítandó felülete között, így a forgácsolás utáni felületi zónában lévő húzó maradó feszültség [6,7], kedvező nyomó maradó feszültség alakul, ahogy az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A vasalási művelet kinematikája és hatása. [4]

A: gördülési zóna, B: rugalmas deformáció zóna, C: simítási zóna, D: nyomás alatt tartott réteg, E: rugalmas deformáció

Hozzájárulva ugyancsak az élettartam növekedéshez egy másik szilárdságnövelő mechanizmus is fellép, az alakítási keményedés, a továbbiakban a felületi mikro-keménység és a maradó feszültségek vizsgálatát részletezzük.

3. Kísérleti körülmények

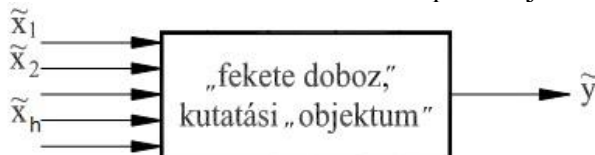
3.1. A vizsgálat tárgya

A kísérletsorozatokhoz gyengén ötvözött alumíniumot választottunk (EN AW-2011), mivel az autó-, repülőgép- és űripari vállalatok egyre inkább megkövetelik a nem-vasalapú anyagok alkalmazását [8-10], köszönhetően azok alacsony sűrűségének és jó mechanikai tulajdonságainak.

A vasalási műveleteket $f_1 = 0,2$ majd $f_2 = 0,15$ mm/ford előtolással beállított simító esztergálás előzte meg, ezt követte az $R = 3,5$ mm méretű PCD (polycrystalline diamond) szerszámmal végzett vasalás.

3.2. A teljes faktoriális kísérlettervezés

A 2. ábrán látható az alkalmazott kísérlettervezési módszer alapmodellje.



2. ábra A kísérlettervezés alapmodellje. [11]

A cél a függő változó (\tilde{y}) és a független változók (\tilde{x}_h), ($h = 1 \dots f$) közötti függvénykapcsolat meghatározása. Mindegyik független változó, vagyis faktor több értéket vehet fel, melyeket szinteknek (p_j); ($j = 1 \dots m$) nevezünk.

A kísérletek során faktorként a vasalási járatszám (i), sebesség (v), előtolás (f), vasalóerő (F) szerepel.

3.3. A vasalási paraméterek

A továbbiakban a számos megvalósított kísérleti vizsgálataink közül 2 esetet mutatunk be jelen cikkben.

A kísérlettervezési módszernek megfelelően a kiválasztott faktorok értékeit 2 szintre állítottuk be, ezt foglalja össze az 1. táblázat.

1. táblázat. Vasalási paraméterek

Ssz.	Vasalási paraméterek I.			Vasalási paraméterek II.			Transzformált paraméterek		
	i [ø]	f [mm/ford]	F [N]	F [N]	f [mm/ford]	v [m/min]	x_1	x_2	x_3
1	1	0,001	10	10	0,001	15	-1	-1	-1
2	3	0,001	10	20	0,001	15	+1	-1	-1
3	1	0,005	10	10	0,005	15	-1	+1	-1
4	3	0,005	10	20	0,005	15	+1	+1	-1
5	1	0,001	20	10	0,001	30	-1	-1	+1
6	3	0,001	20	20	0,001	30	+1	-1	+1
7	1	0,005	20	10	0,005	30	-1	+1	+1
8	3	0,005	20	20	0,005	30	+1	+1	+1

A számszerű értékek meghatározása során korábbi elméleti és gyakorlati kutatómunkák eredményeit vettük figyelembe.

3.4. A felület mikro-keménységének mérése

A felület mikro-keménységének mérését 3 ponton 120°-onként valósítottuk meg Wilson Instruments Tukon 2100B Vickers keménységet mérő berendezésen.

Vizsgálataink során a keménység változásának szemléletesebbé tételéhez dimenzió nélküli viszonyszámokat hoztunk létre, melyet az alábbi képletek segítségével számítottunk ki:

$$\rho_{HV} = \frac{HV_{vasalt}}{HV_{esztergált}} \tag{1}$$

$$\Delta\rho_{HV}\% = (\rho_{HV} - 1) \cdot 100\% \tag{2}$$

, ahol:

- ρ_{HV} A vizsgálati jellemző (keménység) dimenziótlán javulási viszonyszáma
- HV_{vasalt} Vasalás utáni keménység,
- $HV_{esztergált}$ Esztergálás utáni keménység,
- $\Delta\rho_{HV}\%$ A javulási viszonyszám változásának százalékos értéke

Minél nagyobb a viszonyszám értéke, annál nagyobb mértékű javulás, vagyis keménységnövekedés tapasztalható a vasalás következtében.

3.5. A maradó feszültség mérése

A képlékenyalakítást kísérő rugalmas alakváltozás az erőhatás irányának megfelelően torzítja a kristályrácsot, ez a torzulás pedig a ható erő megszűnte után is megmaradhat, erre mondjuk, hogy az anyag maradó feszültséggel terhelt [12].

A választott röntgendiffrakciós vizsgálat elve, hogy a maradó feszültség az anyagban a rácspontokban elhelyezkedő atomtörzsek egyensúlyi helyzetből való kimozdulását eredményezi, vagyis megváltoztatja az elemi cella méretét, köbös rendszerben a rácsparaméterét. Továbbá, az anyagban megváltozik a rácssíkok távolsága is és ennek a mérésével visszaszámolható a feszültség.

Tehát maradó feszültség meghatározásakor - a mérésnél beállított röntgensugárzás hullámhosszából - a rácssík-távolság megváltozása okozta ún. Bragg-szög eltolódását mérjük a Bragg-egyenlet felhasználásával [13-14]. A mérést tangenciális és axiális irányban is megvalósítottuk.

A feszültség vizsgálata során az alábbi viszonyszámokat alkottuk meg:

$$\rho_{\sigma} = \frac{|\sigma_{vasalt}|}{|\sigma_{esztergált}|} \quad (3)$$

$$\Delta\rho_{\sigma}\% = (\rho_{\sigma} - 1) \cdot 100\% \quad (4)$$

, ahol:

ρ_{σ}	A vizsgálati jellemző (maradó feszültség) dimenziótlán javulási viszonyszáma
σ_{vasalt}	Vasalás utáni maradó feszültség,
$\sigma_{esztergált}$	Esztergálás utáni maradó feszültség,
$\Delta\rho_{\sigma}\%$	A javulási viszonyszám változásának százalékos értéke

Ákárcsak a keménység esetében, minél nagyobb a viszonyszám értéke, annál nagyobb mértékű a javulás.

4. Eredmények

A mérési eredményeket és a számított javulási viszonyszámokat az I. esetre vonatkozóan a 2. táblázat, a II. esetre a 3. táblázat foglalja össze.

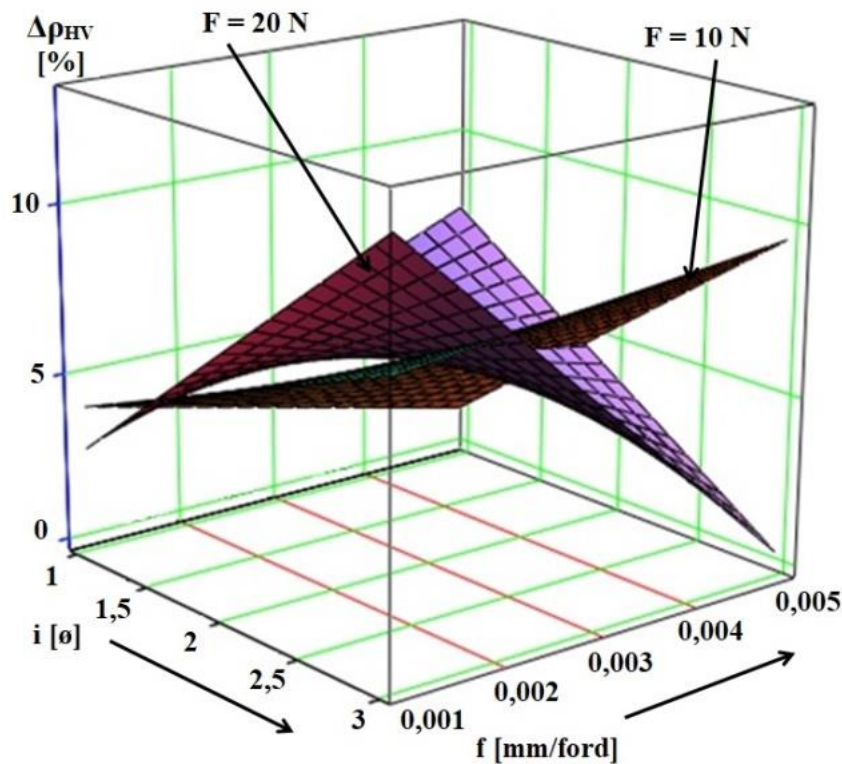
2. táblázat. A mért értékek és a számított viszonyszámok értékei I.

Ssz.	σ_t [MPa]		$\Delta\rho_{\sigma t}$ [%]	σ_a [MPa]		$\Delta\rho_{\sigma a}$ [%]	Keménység [HV]		$\Delta\rho_{HV}$ [%]
	esztergált	vasalt		esztergált	vasalt		esztergált	vasalt	
1	-9,5	-187,0	1868,4	74,5	-217,0	391,3	165,7	172,3	4,02
2	-9,5	-142,3	1397,9	74,5	-202,7	372,1	155,7	168,7	8,34
3	-9,5	-194,1	1943,2	74,5	-300,3	503,1	168,3	170,3	1,19
4	-9,5	-183,5	1831,6	74,5	-307,9	513,3	157,0	172,0	9,55
5	-9,5	-152,8	1508,4	74,5	-212,9	385,8	156,7	161,0	2,76
6	-18,5	-115,1	522,2	67,0	-167,1	349,4	149,0	167,0	12,08
7	-18,5	-198,7	974,1	67,0	-308,9	561,0	160,7	173,0	7,67
8	-18,5	-132,5	616,2	67,0	-198,9	396,9	178,3	179,0	0,38

3. táblázat. A mért értékek és a számított viszonzszámok értékei II.

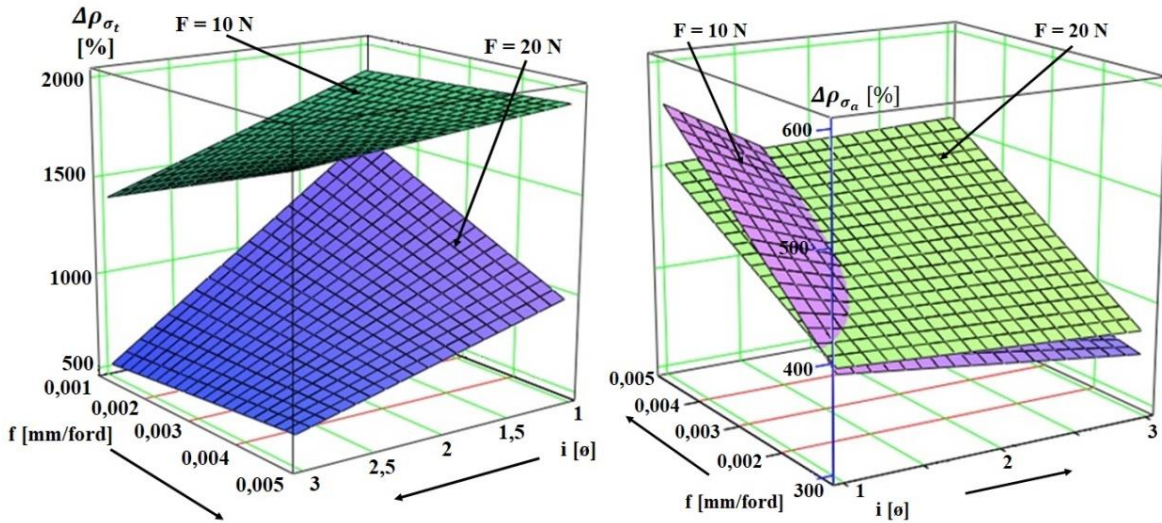
Ssz.	σ_t [MPa]		ρ_{σ_t} [%]	σ_a [MPa]		ρ_{σ_a} [%]	Keménység [HV]		ρ_{HV} [%]
	esztergált	vasalt		esztergált	vasalt		esztergált	vasalt	
1	23,4	-97,2	315,38	-6,1	-163,3	2577,05	160,7	169,3	1,62
2	23,4	-89,6	282,91	-6,1	-105,9	1636,07	160,7	180,3	12,19
3	23,4	-209,3	794,4	-6,1	-220,5	3514,75	160,7	160,0	-0,44
4	23,4	-131,5	461,97	-6,1	-207,9	3308,19	160,7	162,0	0,81
5	23,4	-148,4	534,19	-6,1	-191,6	3040,98	160,7	181,0	12,63
6	49,3	-71,8	45,64	10,5	-82,6	686,67	162,7	170,0	4,49
7	49,3	-200,3	306,29	10,5	-294,9	2708,57	162,7	158,0	-2,89
8	49,3	-150,1	204,46	10,5	-241,1	2196,19	162,7	170,0	4,49

A teljes faktoriális kísérlettervezés alkalmazásával empirikus képletet (5-10) határoztunk meg, a számítások elvégzéséhez és a szemléltetéshez (3.-6. ábra) pedig a MathCAD programot használtuk fel.



3. ábra Vasalás I.: a felületi mikrokeménység változása

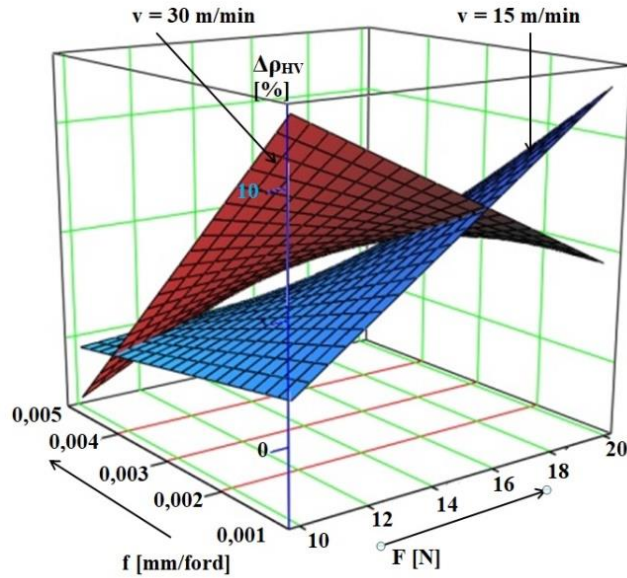
$$\Delta\rho_{HV} = 11,3488 - 3,426 \cdot i - 5,729 \cdot 10^3 \cdot f - 0,828 \cdot F + 3,086 \cdot 10^3 \cdot i \cdot f + +0,508 \cdot i \cdot F + 451,625 \cdot f \cdot F - 258,125 \cdot i \cdot f \cdot F \quad (5)$$



4. ábra Vasalás I.: a feszültségi állapot változása

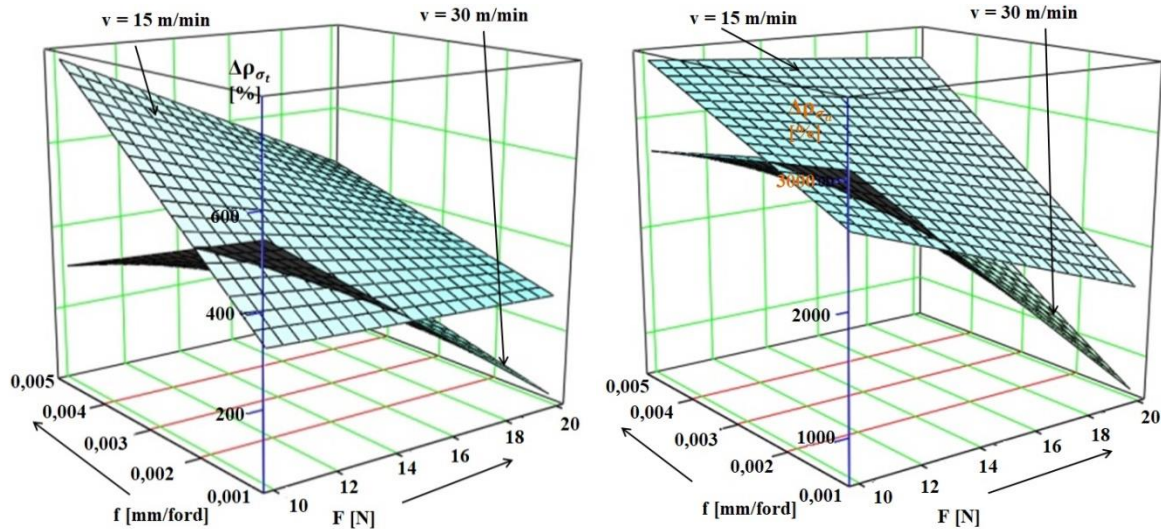
$$\Delta\rho_{\sigma_t} = 2,0463 \cdot 10^3 + 10,637 \cdot i + 1,597 \cdot 10^5 \cdot f + 8,324 \cdot F + 1,126 \cdot 10^4 \cdot i \cdot f - 29,101 \cdot i \cdot F - 1,858 \cdot 10^4 \cdot f \cdot F + 3,361 \cdot i \cdot f \cdot F \quad (6)$$

$$\Delta\rho_{\sigma_a} = 409,0125 - 24,312 \cdot i - 1,121 \cdot 10^4 \cdot f - 3,239 \cdot F + 2,331 \cdot 10^4 \cdot i \cdot f + 1,104 \cdot i \cdot F + 3,549 \cdot 10^3 \cdot f \cdot F - 1,964 \cdot 10^3 \cdot i \cdot f \cdot F \quad (7)$$



5. ábra Vasalás II.: a felületi mikrokeménység változása

$$\Delta\rho_{HV} = -50,06 + 3,782 \cdot F + 1,136 \cdot 10^4 f + 2,62 \cdot v - 854 \cdot F \cdot f - 0,166 \cdot F \cdot v - 638,333 \cdot f \cdot v + 41,4 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (8)$$



6. ábra Vasalás II.: a feszültségi állapot változása

$$\Delta\rho_{\sigma_t} = -870,185 + 67,027 \cdot F + 5,431 \cdot 10^5 \cdot F + 68,219 \cdot v - 2,467 \cdot 10^4 \cdot F \cdot f - 4,185 \cdot F \cdot v - 2,323 \cdot 10^4 \cdot f \cdot v + 1,144 \cdot 10^3 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (9)$$

$$\Delta\rho_{\sigma_a} = 995,933 + 56,523 \cdot F + 6,451 \cdot 10^5 \cdot F + 164,752 \cdot v - 9,319 \cdot 10^3 \cdot F \cdot f - 11,265 \cdot F \cdot v - 3,962 \cdot 10^4 \cdot f \cdot v + 1,845 \cdot 10^3 \cdot F \cdot f \cdot v \quad (10)$$

5. Összegzés és következtetések

Ebben a cikkben a gyémántszerszámú felületvasalással kapcsolatos kísérleti vizsgálataink egy részét taglaltuk gyengén ötvözött alumínium anyagminőség esetére. A vizsgált kísérleti paraméterek a vasalási járatszám, előtolás és erő és járatszám voltak.

A kísérlet célja az volt, hogy elemezzük, ezek a paraméterek hogyan hatnak a felületi mikro-keménységre és feszültségi állapotra, illetve egymással milyen korrelációban állnak, melyhez felhasználtuk a teljes faktoriális kísérlettervezés módszerét. Az eredmények szemléletesebbé tételéhez megalkottunk több dimenzió nélküli viszonyszámot, majd az empirikus képlet definiálását követően a szám-szerű értékeket 3D-s diagramok formájában is bemutattuk.

Az elvégzett két kísérlet analizált eredményei alapján az alábbi következtetéseket tesszük:

- Egyértelműen az axiális irányú nyomó maradó feszültség javult nagyobb mértékben, tehát a megmunkálás iránya is hatással van ezen jellemző módosulására;
- A nyomó maradó feszültség értéke növelhető az előtolás növelésével és az erő csökkentésével, a legjobb eredmények az alábbi beállítások mellett adódtak:

Vasalás I.	σ_t	σ_a
	$i = 1$	$i = 3$
	$f = 0,005 \text{ mm/ford}$	$f = 0,005$
	$F = 10 \text{ N}$	$F = 10 \text{ N}$

Vasalás II.	σ_t	σ_a
-------------	------------	------------

$i = 1$	$i = 3$
$f = 0,005 \text{ mm/ford}$	$f = 0,005$
$F = 10 \text{ N}$	$F = 10 \text{ N}$

- A keménység szempontjából legnagyobb mértékű javulást pedig a következő paraméterek beállítása esetén tapasztaltuk:

Vasalás I.	$i = 3$
	$f = 0,001 \text{ mm/ford}$
	$F = 20 \text{ N}$

Vasalás II.	$F = 10 \text{ N}$
	$f = 0,001 \text{ mm/ford}$
	$v = 30 \text{ m/min}$

Ennek magyarázata, hogy ezzel a beállítással a hideg képlékeny alakítás, tehát a felkeményedés is hatékonyabban tud megvalósulni, mivel a szerszám működő és a munkadarab megmunkálendő felülete nagyobb erővel és hosszabb időtartamban érintkezik, de meg kell jegyezni, hogy a járatszám növelésével is növelhető ez az időtartam, így a felületi mikro-keménység is.

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] Bednarski, P., Bialo, D., Brostow, W., Czechowski, K., Polowski, W., Rusek, P., Tobola, D.: *Improvement of tribological properties of metal matrix composites by means of slide burnishing*, Materials Science (Meddзиаotyra) 19:4 (2013), pp.: 368-372 <https://doi.org/10.5755/j01.ms.19.4.2404>
- [2] Varga, G., Sovilj, B., Pasztor, I.: *Experimental Analysis of Sliding Burnishing*, Academic Journal of Manufacturing Engineering 11:3 (2013), pp.: 6-11
- [3] Stalin John, M., Suresh, P., Raguramand, D., Vinayagam, B. K.: *Surface characteristics of low plasticity burnishing for different materials using lathe*, Arab J SciEng. 39 (2014), pp.: 3209–3216 <https://doi.org/10.1007/s13369-013-0923-4>
- [4] Akkurt, A.: *Comparison of roller burnishing and other methods of finishing treatment of the surface of openings in parts from tool steel D3 for cold forming*, Journal of Materials Engineering and Performance 20:6 (2011), pp 960-968
- [5] Luca, L., Neagu-Ventzel, S., Marinescu, I., *Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels*, Precision Engineering 29 (2005), pp.: 253-256 <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2004.02.002>
- [6] El-Taweel, T.A., El-Axir, M.H.: *Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 41 (2009), pp. 301-310 <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1485-6>

- [7] Varga, G.: *Effects of Technological Parameters on the Surface Texture of Burnished Surfaces*, Key Engineering Materials 581: Precision Machining VII (2014), pp.: 403-408, 2014 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.581.403>
- [8] M.Hassan, A., Al-Bsharat, A.S.: *Influence of Burnishing Process on Surface Roughness, Hardness, and Microstructure of Some Non-Ferrous Metals*, Wear 199 (1996), pp.: 1-8 [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)06847-3](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)06847-3)
- [9] Toboła, D., Rusek, P., Czechowski, K., Miller, T., Duda, K.: *New Indicators of Burnished Surface Evaluation – Reasons of Application*, Metrol, Meas. Syst. XXII: 2 (2015), pp.: 263–274 <https://doi.org/10.1515/mms-2015-0018>
- [10] Sequera, A., Fu, C. H., Guo, Y. G., Wei, X.T.: *Surface Integrity of Inconel 718 by Ball Burnishing*, Journal of Materials Engineering and Performance (2014), pp.: 3347-3353 <https://doi.org/10.1007/s11665-014-1093-6>
- [11] Fridrik, L.: *Válogatott fejezetek a gépgyártástechnológiai kísérletek tervezése témaköréből*, (1989) Budapest, p.:109
- [12] Mertinger, V., Sólyom, J., Cseh, D.: *Maradó feszültség vizsgálata röntgendiffrakcióval*, Segédlet TÁMOP-4.2.1.B/-10/2/KONV-2010-0001 (2012), pp.: 1-39
- [13] Mertinger, V., Benke, M.: *Fémfelületek röntgendiffrakciós vizsgálatainak speciális lehetőségei*, Archeometriai Műhely 12:1 (2015), pp.: 15-24
- [14] Fitzpatrick, M.E., Fry, A.T., Holdway, P., Kandil, F.A., Shackleton, J., Suominen, L.: *Determination of residual stress by X-ray diffraction*, Measurement Good Practice Guide (2005), p.: 68