



MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Edzett gyémántvasalt munkadarab felületek
keménységének és alakhelyességének vizsgálata

Ferencsik Viktória
I. éves gépészmérnök MSc hallgató

Konzulens:
Dr. Varga Gyula
egyetemi docens

Miskolci Egyetem
Gyártástudományi Intézet

Miskolc, 2014 április 15.

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS	3
2.	FELÜLETSZILÁRDÍTÓ ELJÁRÁSOK	4
2.1.	Gyémántvasalás	6
2.1.1.	Belső hengeres felületek vasalása	7
2.1.2.	Külső hengeres felületek vasalása	8
2.1.3.	A felületi keménységet és alakhelyességet befolyásoló paraméterek	9
3.	KÍSÉRLETI MUNKA	13
3.1.	Kísérleti körülmények	13
3.1.1.	A vasalandó munkadarab jellemzői	13
3.1.2.	A megmunkáláshoz alkalmazott szerszámgép	14
3.1.3.	A vasalószerszám	14
3.1.4.	A felület mikrokeménységének mérése	15
3.1.5.	A felület hengerességének mérése	18
3.2.	A kísérlet végrehajtása	19
4.	AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE	29
5.	ÖSSZEFOGLALÁS	36
6.	IRODALOMJEGYZÉK	37

1. BEVEZETÉS

A hideg-képlékeny alakítás napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő technológiai eljárása. A korszerű képlékenyalakítás fő törekvése az, hogy a tervezett alkatrész alakját és méretét – a szilárdsági és alakváltozási jellemzők megfelelő értékeinek biztosítása mellett – minimális környezetterheléssel valósítsa meg. Ezen eljárások közé tartozik a felületszilárdítás, melyet a hidegalakítási keményedés és maradó nyomófeszültség bevitelei jellemzi [4]. A dolgozatban a felületszilárdítás fő típusai közül részletesen a külső hengeres felületek vasalását tanulmányozom.

A gyémántvasalási eljárást használják külső és belső hengeres felületek megmunkálásakor, fő alkalmazási területét pedig az autóiipari főtengelyek, a belső és külső csapágy futógyűrűk, stb. alkotják. Külső hengeres felületek vasalásának elve, hogy egy adott geometriai méretekkel rendelkező nyomószerszám egyenes vonalú mozgást végezve végighalad a vasalandó, forgó mozgást végző munkadarab felületén. A gyémántvasalás alkalmazásának előnyei: az alakított felületben megnő a diszlokáció sűrűség, növekszik az alakított réteg mikrokeménysége, a munkadarab felületi érdessége javul, a felület keménysége növekszik és a felületközeli rétegben negatív, azaz nyomó feszültség keletkezik, mellyel elérhető a kopásállóság, élettartam és üzembiztonság növelése.

A vasalást végző szerszám kialakítása lehet rugalmas vagy merev. A vasalást végző betét alakja hengeres vagy gömbfelületű, legfőbb anyagai: gyémánt, keményfém, ill. kőbős bórnitrid. Vizsgálatainknál gyémánt anyagú, gömb megmunkáló felületű vasaló szerszámot alkalmazunk. A Miskolci Egyetem Gyártástudományi Intézetén belül már több kutatási munka is folyt a gyémántszerszámos felületvasalással kapcsolatban [19], [20], [21].

A vasalandó munkadarab anyagminősége és keménysége széles tartományban változhat. Vizsgálatunk tárgya C60 jelű edzett acél volt.

Dolgozatom első részében röviden bemutatom a különböző felületszilárdító eljárásokat, kiemelten a vasalás folyamatát ismertetem. Bemutatom a hengeresség- és keménység mérő gépek főbb jellemzőit.

A Taguchi-féle teljes faktoriális kísérlettervezés módszerével a mikrokeménység és az alakhelyesség (hengeresség) változására empirikus képleteket határozok meg a vasalási sebesség, előtolás, vasalóerő és vasalási járatszám függvényében. Kísérleti eredményeimet

egy adott geometriai méretű külső hengeres alkatrészcsoporthoz megmunkálása során mutatom be.

A hengerességi hiba mérése a Gyártástudományi Intézetben lévő TalyRound 365 típusú berendezésen történt.

Dolgozatom utolsó fejezetében új mérőszámok használatával a mért eredményeket értékelem ki és empirikus összefüggéseket határozok meg a független változók és a vizsgált paraméterek között.

„Tudományos diákköri dolgozatom a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Innovációs Gépészeti Tervezés és Technológiák Kiválósági Központ keretében valósult meg.

„My scientific students research work was (partially) carried out in the framework of the Center of Excellence of Innovative Engineering Design and Technologies at the University of Miskolc.”

2. FELÜLETSZILÁRDÍTÓ ELJÁRÁSOK

A gépek működésekor a legtöbb igénybevétel (súrlódás, fárasztás) elsősorban a gépelemek felületét, illetve bizonyos vastagságú felületi rétegét éri. A megmunkált felület mikrogeometriája nagy hatással van a gépelem kopásállóságára, fárasztó igénybevételek esetén pedig feszültséggyűjtő hatása számottevő [1].

Felületszilárdításkor a munkadarab felületi rétegét csúszó-, gördülő- vagy dinamikus terhelő szerszámmal hideg képlékenyalakításnak vetjük alá, amelynek hatására a felületi érdesség csökken, a felületi réteg mechanikai tulajdonságai (keménység, kifáradási szilárdság) javulnak [7].

A gépelem felületének érdessége esetenként hatékonyabban csökkenthető a tartósságnövelő mechanikai megmunkálásokkal, mint forgácsolással, és a felületi réteg tulajdonságai hőkezelés nélkül is nagymértékben javíthatók.

Az anyagszerkezet és a tulajdonságok kapcsolatrendszerének elemzése során számos szilárdságnövelő mechanizmust megismerhetünk, ezek egyike az alakítási keményedés, a hidegalakítás következményeként fellépő szilárdságnövekedés. A felületi rétegre korlátozott hidegalakítás révén ez a szilárdságnövelő mechanizmus is kihasználható a terhelhetőség

növelésére és mindenekelőtt a kifáradással szembeni ellenállás fokozása révén az élettartam növelésére.

A mechanikai felületszilárdítás anyag- és energia-takarékos megoldásainak, eljárásainak közös jellemzője, hogy csökkentik a felületi érdességet, az anyagszerkezeti hibák, diszlokációk átrendezése révén növelik a felületi réteg keménységét, jelentős mértékű nyomófeszültséget eredményeznek a felületi rétegben (1. táblázat).

1. táblázat

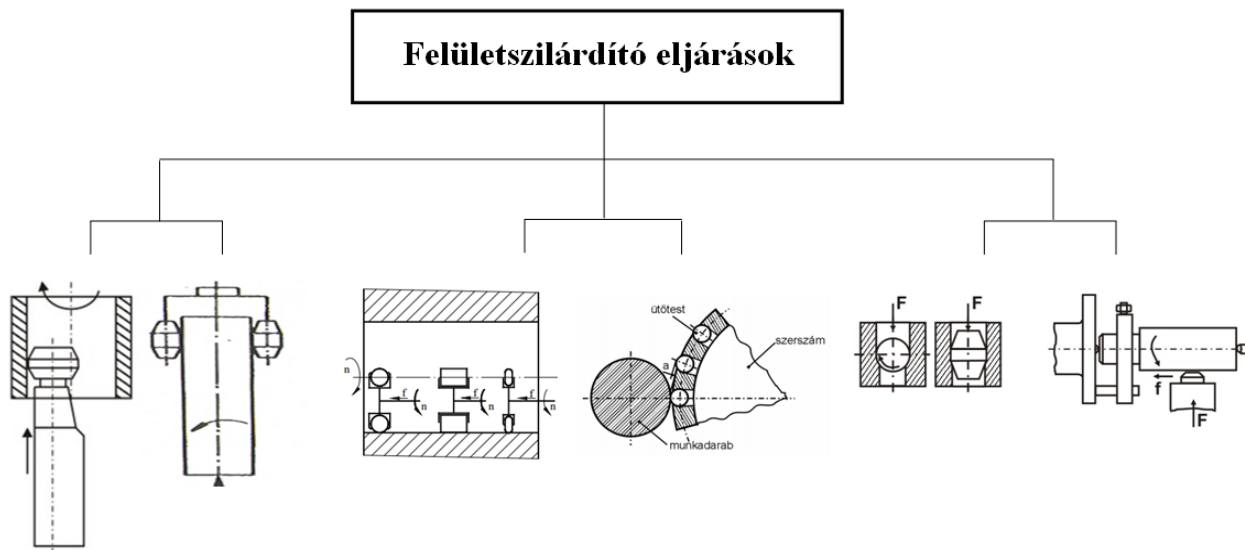
A felületszilárdító eljárások összefoglalása [9]

Eljárás	Szilárdítás célja	Pontosság IT	Érdességi osztály (Ra)	Keményedés		Élettartam növekedés [%]
				Mélység [μm]	%	
Vasalás	a,b,c,d,e	6-10	0,04-0,63	0,2-15	5-60	50-300
Hengerlés	a,b,c,d,e	7-10	0,04-0,63	0,2-15	10-60	50-400
Ütőtestes felület-szilárdítás	a,b,c,d	7-11	0,04-25	0,4-2,5	15-60	50-400

- a) kopásállóság növelése
- b) kifáradási szilárdság növelése
- c) korrózióállóság növelése
- d) érdesség csökkentése
- e) kalibrálás

A felületszilárdító megmunkálások alkalmazása költségcsökkenést eredményez több vonatkozásban is: olcsóbb, kevésbé ötvöztött, kisebb szilárdságú szerkezeti anyagokat alkalmazhatunk alapanyagként, elhagyhatók a köszörülési és más finomfelületi megmunkálások, hőkezelési műveleteket helyettesít, sőt bizonyos esetekben, pl. nagy méretű, bonyolult munkadarabok esetén más megoldás nem is jöhet számításba [3].

A mechanikai felületszilárdítás technológiai megoldásai abban különböznek egymástól, hogy a munkadarab és a szerszám működő-felületeinek relatív elmozdulása milyen jellegű. Eszerint megkülönböztethetők a csúszó relatív elmozdulást alkalmazó vasalás, a gördülő relatív elmozdulásra épülő görgőzés, és a dinamikus hatással alakító ütőtestes felületszilárdító technológiai eljárások (1. ábra) [7].



1. ábra

Belső és külső hengeres felületek hengerlése, ütőtestes felületszilárdítása és vasalás [7], [8]

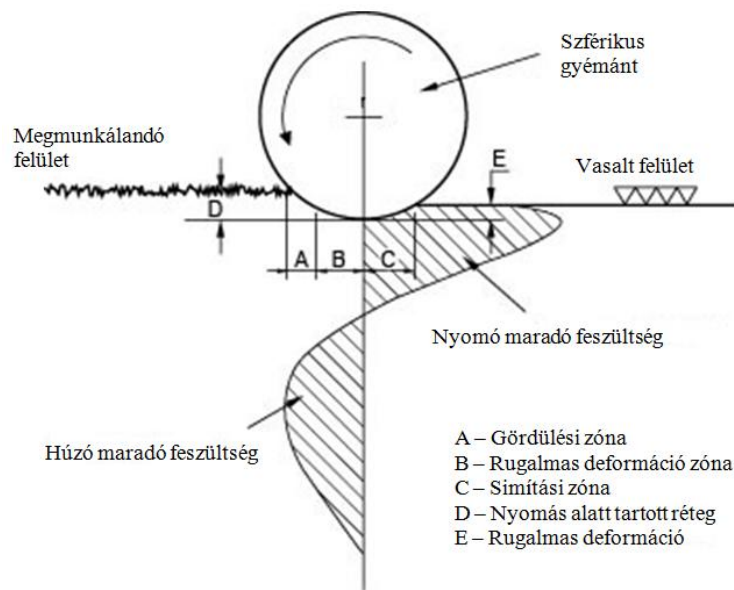
2.1. Gyémántvasalás

Felületvasaláskor a felület érdességének csökkenését és a felületi réteg szilárdítását a megmunkálendő anyagnál jóval keményebb anyagú szerszám és a szilárdítandó felület csúszási súrlódásakor végbemenő kölcsönhatása jellemzi. A szerszám anyaga lehet edzett acél, keményfém, ásványi kerámia, természetes vagy mesterséges gyémánt. A hidegalakítás megvalósulásához szükséges nyomás a szerszám működő és a munkadarab alakítandó felülete közötti átfedés hatására jön létre [1], [9], [10].

Külső és belső hengeres felületek nagy pontosságú és kis érdességű, működő felületeinek befejező művelete. Az alakítóelem és a munkadarab felületének statikus érintkezése révén bekövetkezett képlékeny alakváltozás tipikusan 0,01-0,2 mm vastagságú felületi rétegben valósul meg.

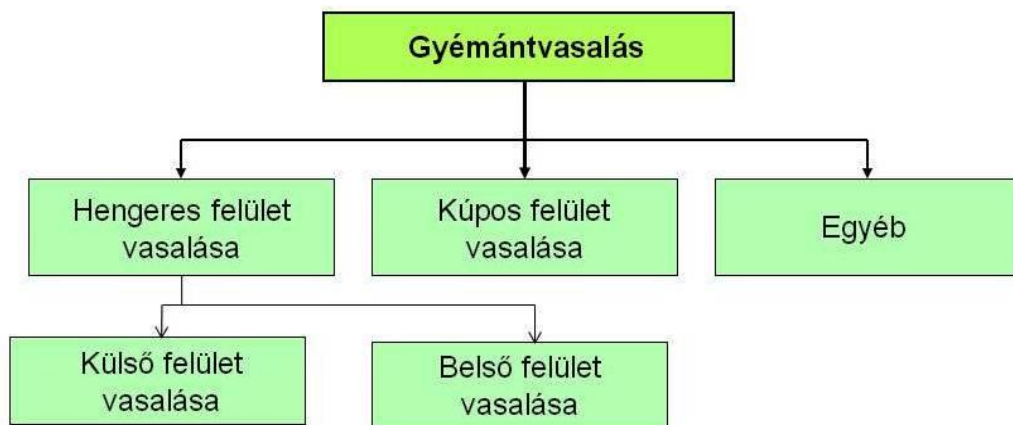
A folyamat a forgácsolás utáni felületi zónában lévő húzó maradó feszültséget nyomó maradó feszültséggé alakítja, mely javítja a mechanikai tulajdonságokat. A felületi feszültség javulása főleg arra szolgál, hogy a munkadarab dinamikus terhelés alatti kifáradási viselkedését javítsa (2. ábra).

A megmunkálás célja, kiterjedése szerint megkülönböztetünk simító vasalást (érdesség-csökkentés kis átfedéssel), felület-vasalást (alakítás meghatározott mélységben) és alakító vasalást (alakítás teljes keresztmetszetben). A különböző vasalási eljárások osztályozását a 3. ábra szemlélteti.



2. ábra

Feszültségviszonyok a megmunkálás során [17]



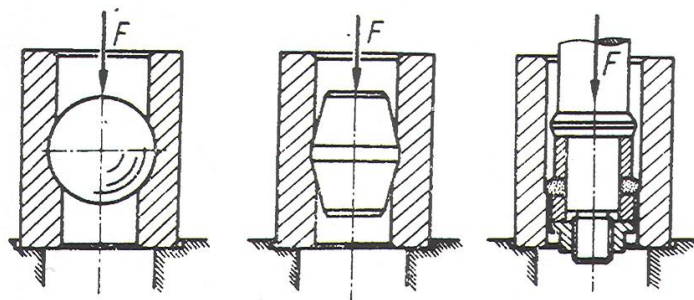
3. ábra

Vasalási eljárások osztályozása [10]

2.1.1. Belső hengeres felületek vasalása

A furatvasalás célja a méretpontosság, a felületi simaság, a kopásállóság és a kifáradással szembeni ellenállás fokozása. A furatvasalásra merev szerszámok használhatók, ezeket átnyomják vagy áthúzzák a furaton.

A szerszám anyaga színesfém alkatrészekhez G03, G04 jelű golyóscsapágyacél vagy szerszámacél, acélokhöz keményfém (4. ábra). A furatvasaláskor a felületi terhelést a szerszám és a furat túlfedése, a munkadarab anyaga és geometriai kialakítása szabja meg.



4. ábra

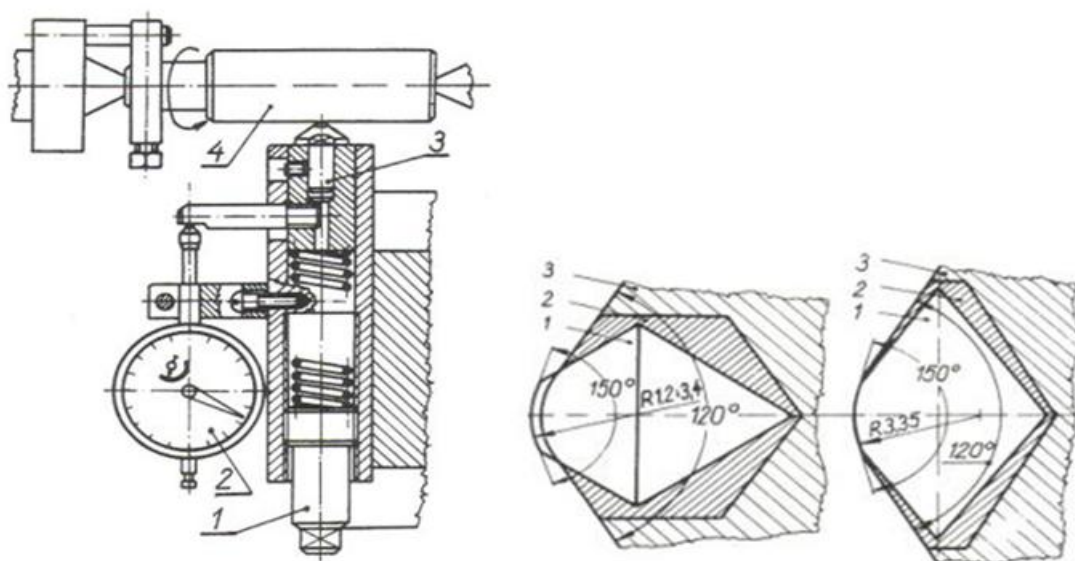
Acélgolyó (a), merev vasalótest (b), szerelt (c) vasalószerszám [1]

A furatot vasalhatjuk csak a felület simítása céljából, ekkor a felületi terhelés nem lépi túl az anyag rugalmassági határát, illetve a folyáshatárt és a felületi kristályszerkezet lényegesen nem változik. A maradó alakváltozást létrehozó felületszilárdítás hatására a munkadarab keresztmetszetének egy része vagy teljes keresztmetszete méretváltozást szenved és a furat felülete keményebb lesz.

2.1.2. Külső hengeres felületek vasalása

Tengelyek nagy pontosságú és kis érdességű működő felületeinek befejező műveletei a köszörülést követő tükörsimítás, vagy fényesítés. Ezek a műveletek számottevően csökkentik a köszörült felület érdességét, de lényegében csak kis mértékben változtatják meg a felület alatti réteg tulajdonságait. Ezeknek a viszonylag alacsony termelékenységű és költséges megmunkálásoknak esetenkénti helyettesítésére, a külső hengeres felületek gyémántszerszámmal történő vasalását alkalmazzák. A mesterséges illetve természetes gyémánt ilyen alkalmazását teszi lehetővé, hogy súrlódási tényezője fémfelületekkel történő súrlódáskor igen kis értékű, valamint, hogy az igen kemény vasalószerszámmal a felület kis érdességűvé változtatható.

Külső hengeres felületek vasalását hagyományos egyetemes, vagy modern CNC esztergákon végzik a gyakorlatban. A gyémánt vasalófejet tartalmazó szerszámbefogó az esztergagép késtartójába van befogva (5. ábra).



a) 1. feszítőcsavar, 2. mérőóra, 3. gyémánt
végű foglalat, 4. munkadarab

b) 1. vasalógyémánt, 2. foglalfém,
3. foglalat

5. ábra

A gyémántvasalási művelet vázlata (a) és a vasalógyémánt (b) [1]

A gyémánt vasalófejben alacsony olvadáspontú fémme rögzítik a vasalógyémántot, amelyet hengeresre vagy szférikusra csiszolnak.

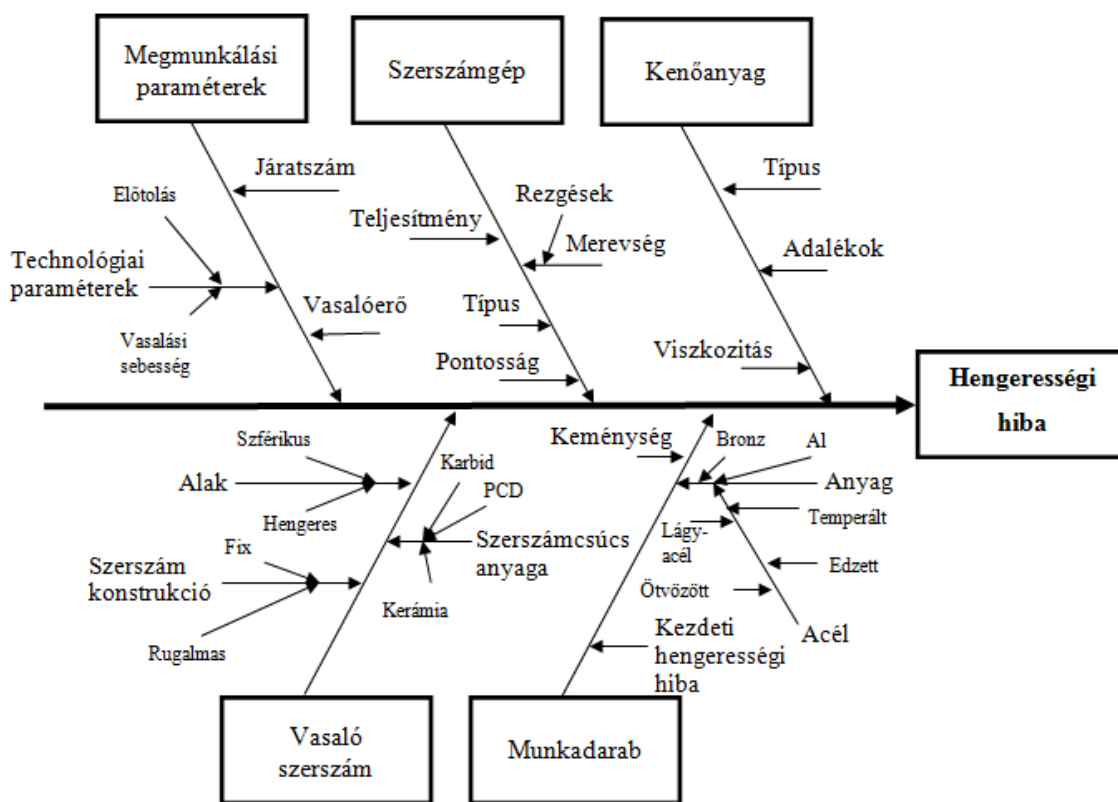
Vasalás céljaira 1-2 karát nagyságú gyémántokat alkalmaznak. A gyémánt befogásakor figyelembe kell venni, hogy kopásállósága különböző irányban eltérő.

Hengeresre munkált gyémánt vasalószerszám alkalmazásakor a megmunkálás hatékonysága függ a gyémánthenger tengelye és a hengeres felület tengelye közötti szög nagyságától. Mesterséges gyémánttal végzett kísérletek tapasztalatai szerint a tengelyek közötti optimális szög nagysága 120° [1], [2].

2.1.3. A felületi keménységet és alakhelyességet befolyásoló paraméterek

Több kutató kísérletileg tanulmányozta a vasalási folyamat során alkalmazott technológiai paraméterek felületi minőségre gyakorolt hatását. A munkadarabban lévő, a vasalási folyamatot megelőző, illetve követő maradó feszültségek, szintén vizsgálat tárgyát képezték. Az eredmények szerint a felület nyomó maradó feszültsége, amely az alkatrész működési idejének meghosszabbítása miatt előnyös, a vasalási folyamatból következik. Azt tapasztalták, hogy a vasalási járatszám egy további fontos paraméter a megmunkált alkatrész hengeressége és keménysége szempontjából [10].

A hengerességi hibát befolyásoló paramétereket foglalja össze az alábbi Ishikawa-diagram.

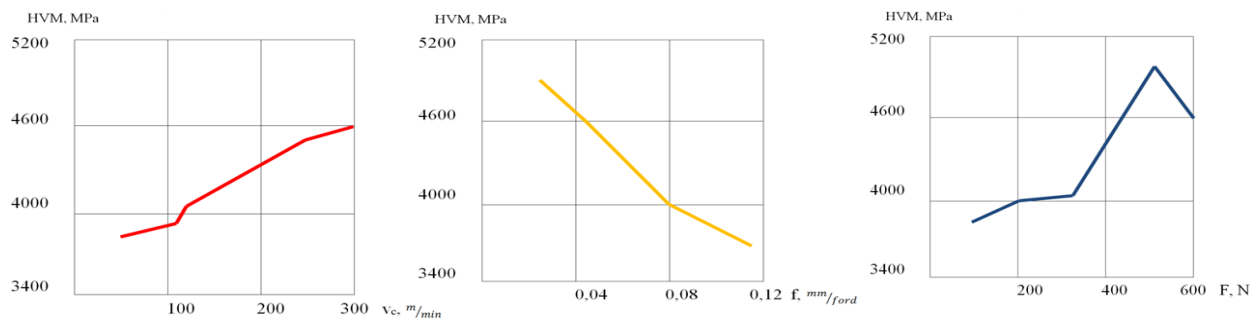


6. ábra

A hengerességi hibát befolyásoló paraméterek [15]

Kísérleti munkám során két különböző értékű fordulatszámot, vasalási előtolást, járatszámot és vasalási erőt állítottunk be, egyféle kenőolaj alkalmazása mellett.

A szakirodalomban már vannak vizsgálati eredmények bizonyos hőkezeltégű (keménységű) munkadarabok vasalására, különböző technológiai paraméterek alkalmazása esetén. Ezekből ízelítőként néhány fontos (martenzites acél megmunkálása során kapott) eredmény bemutatása következik.



7. ábra

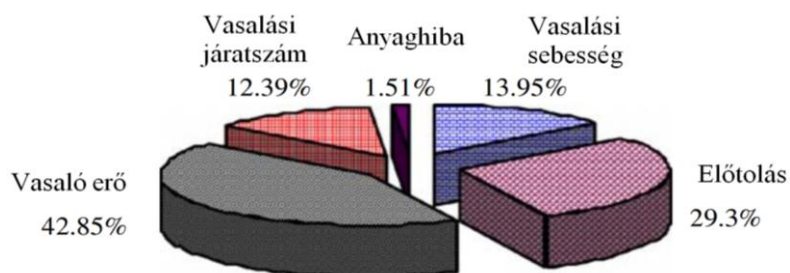
A vasalási sebesség, előtolás és erő mikrokeménységre gyakorolt hatása [1]

A görbe emelkedését az is befolyásolta, hogy a vasalási zónában a sebesség növekedésével a hőmérséklet is növekszik. Ez csökkenti a mozgásból adódó nyírási ellenállást és a diszlokációk növekedését a fémbe, a rugalmas deformáció pedig könnyebben és nagyobb mértékben növekszik. Ebből következik, a vasalási sebesség növekedésével nő az alakított elem felületi mikrokeménysége.

Az ábrán látható, hogy a keménység számottevően romlik az előtolás növekedésének függvényében, tehát fordított arányosság figyelhető meg. Ezt az értéket befolyásolja az alkalmazott szerszámgép teljesítménye is, mivel ha az előtolás értéke túl alacsony, a gépen kúszási jelenség jön létre, így a felületi mikrokeménység növekszik [9], [10].

A vasalási erő hatására a felületi réteg mikrokeménysége szinte egyenletes mértékben növekszik, míg el nem ér egy HVM_{opt} pontot, melyet túllépve a diszlokációk átrendeződéséből adódóan a keménység értéke lecsökken [11].

Összefoglalva a felületi réteg mikrokeménységét meghatározó tényezőket, figyelembe véve a korábbi tanulmányok eredményeit, az alábbi kördiagram rajzolható fel:



8. ábra

A felületi mikrokeménységet befolyásoló paraméterek [16]

Ebben a tanulmányban, a Taguchi technikát, a hatékonysági jellemzők paraméteres tervezésének egy nagy teljesítményű eszközét, alkalmaztuk, hogy meghatározzuk a vasalási folyamat hengerességi-hibára, valamint a felületi réteg felkeményedésére való hatását.

A Taguchi módszer hatékony, kiváló minőségű kísérlettervezési eszköz. Egy egyszerű, hatékony és szisztematikus rendszer használatával az egyes felületvasalási paraméterek hatása is meghatározható. Továbbá, minimális kísérleti költséggel ez a közelítés a minőségi jellemzők gyors és hatékony javulásához vezetett a variációk forrása-hatásának csökkentésével. A Taguchi módszer számos sikeres alkalmazásáról beszámoltak, mellyel sok folyamat és termék megbízhatóságot, minőséget már megjavítottak [10].

3. KÍSÉRLETI MUNKA

3.1. Kísérleti körülmények

3.1.1. A vasalandó munkadarab jellemzői

A vasalandó munkadarab anyagminősége és keménysége széles tartományban változhat. Vizsgálatunk tárgya C60 jelű hőkezelt acél volt, melynek vegyi összetételét az 2. táblázat mutatja.

2. táblázat

Vegyi összetétel (térfogat %) [12]

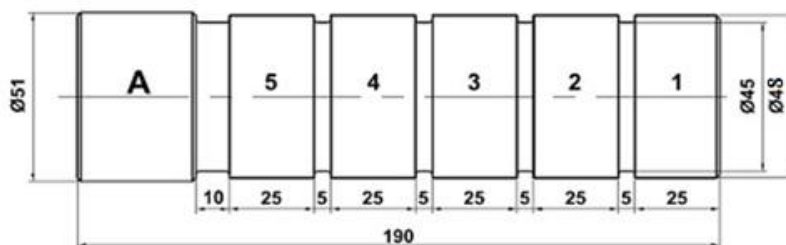
C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
0,57-0,65	max 0,4	max 0,4	max 0,4	max 0,1	max 0,045	max 0,045

Az anyagválasztást befolyásolta a nemesíthető szerkezeti acélok kedvező mechanikai tulajdonságai. Közepes igénybevételű, kopásnak kitett alkatrészekhez alkalmazhatók leginkább.

3. táblázat

Mechanikai tulajdonságok [12]

Tulajdonságok	Érték	Mértéke.
R_m	670	MPa
R_e	340	MPa
$R_{p0,2}$	550	MPa



9. ábra

A munkadarab geometriai méretei

3.1.2. A megmunkáláshoz alkalmazott szerszámgép

A vasalási műveleteket a Gépgyártástechnológiai Intézet műhelyébe telepített OPTIMUM (OPTIturn S600) típusú síkágyas CNC esztergagépen végeztük el.



10. ábra

OPTIturn S600 OPTIMUM CNC esztergagép

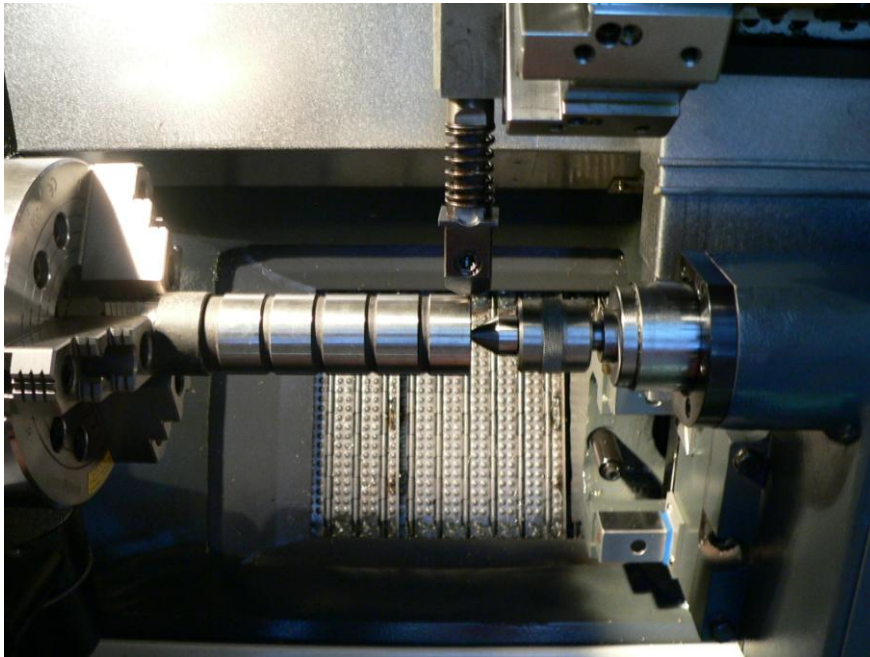
3.1.3. A vasalószerszám

A megmunkálás során szférikus felületű (5. ábra), $R = 3,5$ mm méretű PCD szerszámot alkalmaztunk. Ezen szerszámtípus alkalmazásának nagy előnye, hogy nagyobb stabilitást kölcsönöz a vasalási rendszernek [10].

Ahogy az az 5. ábrán is látható, a szerszám két részből áll, az első rész egy bázis rész, mely befogható az eszterga szerszámbefogójába, míg a másik rész a vasaló dolgozórész befogására szolgál.

A beépített rugó fontos szerepe, hogy az alkalmazott erőt (a munkadarab tengelyére merőleges erőt) mérje a vasalás folyamata alatt. A rendszer nagyobb stabilitása érdekében, alacsonyabb sebességet beállítva, a vasalás okozta radiális erő szabályozható a rugó által; míg magasabb sebességnél rezgés keletkezik, amely szintén befolyásolja a rendszer működését.

A fej mozgása, az alkalmazott vasalóerő következtében, a rúgó összenyomódását okozza. Ezt az összenyomódást lehet kalibrálni a szerszámba ugyancsak beépített mérőóra segítségével.

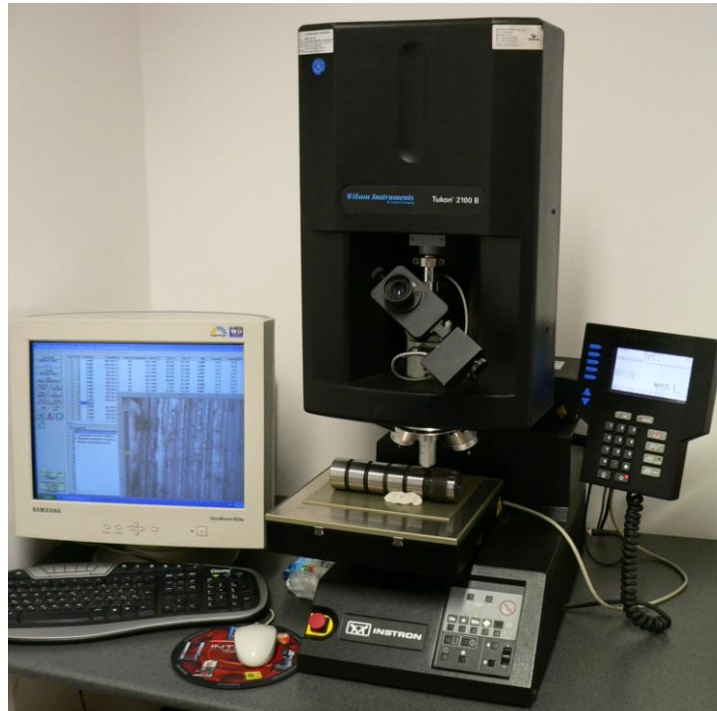


11. ábra

A megmunkálást végző szerszám

3.1.4. A felület mikrokeménységének mérése

A próbadarabok felületi rétegének mikrokeménységének mérése (vasalás előtt és után) a Műszaki Anyagtudományi Kar Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében lévő Instron típusú keménységmérő gépen történt.



12. ábra

Wilson Instruments Tukon 2100B

A berendezés Vickers-keménységet is mér, melynek elve, mint általában minden keménységmérés esetén, annak vizsgálata, hogy egy standard erőforrást alkalmazva, hogyan áll ellen a kérdéses anyag a plasztikus deformációnak. A mérés során egy 136° -os gyémántgúlát nyomunk meghatározott erővel, kísérletünk esetében 100 g erőt 10 másodpercen keresztül, a mérendő felületre. A kiértékelés során CCD kamera segítségével, megmérjük a lenyomat átlóit és a kettő átlagából a berendezés saját szoftvere kiszámítja a lenyomat felületét.

Az optika alatt található az X-Y tárgyasztal, melynek segítségével a minta X és Y irányban állítható, egy hajtókaros tárcsa segítségével pedig Z-irányban is mozgatható a minta élesre állítása (fókuszálása) érdekében. A minta felületének képét az optika közvetíti a CCD kamerába, amely elküldi a videójelet a számítógépben található képrögzítőre. Itt megtörténik a videójel digitalizálása és átvitele a program vezérlésével a monitorra. Minden adatfeldolgozást és hardvervezérlést a keménységmérő program végez.



13. ábra

Mérés közbeni állapot

A képernyő egyik részén található a kezelőpanel, amely lehetővé teszi a keménységmérő számítógép által történő vezérlését, míg a képernyő nagyobb, jobb oldali része mutatja a mérési eredményeket. Az összes bemélyedés mérése a mérő monitoron a számítógép egerének segítségével történik, ezt az eljárást szemlélteti az alábbi ábra.



14. ábra

Vickers-teszt lenyomata a munkadarab felületén

A szálvonalak belső élét pontosan a benyomódás sarkához kell illeszteni. A benyomódási élek feltételezett metszéspontját tekintjük saroknak. Mivel látszólag minden

benyomódás sarka lekerekített, mindig a lehető legkisebb távolságot kell hagyni a szálvonal és a benyomódás sarka között [22].

A minél pontosabb értékek rögzítése érdekében ellenőrző méréseket végeztünk mind a munkadarab felületén, mind egy ellenőrzőtömbön, kalibrálva ezzel a készüléket.

A berendezés alkalmazásának előnyei közé tartozik, hogy a mérendő felület nagysága és tömege széles tartományban változhat, a terhelőerő pedig 10 g-tól 30 kg-ig állítható, figyelembe véve ezzel a mérés célját (mikro-, makro-vizsgálat), valamint a minta anyagminőségét. Maximálisan 600-szoros nagyítási kép nyerhető, a maximális mérési hiba értéke pedig $0,3\ \mu\text{m}$ 500-szoros nagyítás esetén [22].

3.1.5. A felület hengerességének mérése

A hengerelt próbatestek alakhelyességének mérése a Gyártástudományi Intézetbe telepített Taylor Hobson Talyrond365 típusú köralakvizsgáló berendezésen történt.



15. ábra

Taylor Hobson Talyrond365

A mérőberendezés alapfunkciói közé tartozik a tengelyre merőleges metszetbeli hibák feltárásakor a forgó munkadarabon a kívánt függőleges helyzetben rögzített mérőelemmel történő profilletapogatás. Ez a funkció alkalmas (többek között) a köralak és hengerességi hiba feltárására, kiértékelésére [23].

A hengerességet úgy értékeli, hogy kombinál egy bizonyos számú körkörösségi mérést, melyeket a vizsgálandó darab különböző magasságaiban mért. A tapintó mozgása

motorizált, ezzel lehetőséget nyújtva a sokkal pontosabb pozicionálásra és mozgatásra a számítógép segítségével [23].

A gép alkalmazásának előnye, hogy nagyméretű munkadarabok (500x450 mm, 50 kg) is mérhetőek, illetve az alakhelyesség mellett az egytengelyűség is ellenőrizhető.

Az induktív szenzor segítségével a próbadarabok egyes részeit 3 mm-es méréstartománnyal mértük mind a felületvasalás előtt és után, figyelembe véve a keménységmérő okozta szerkezeti hibát is.

3.2.A kísérlet végrehajtása

Ahhoz, hogy kiértékeljük, a vasalásnak milyen hatása volt a felületi réteg mikrokeménységére, illetve hengerességére, a Taguchi-féle teljes kísérlettervezéssel megtervezett kísérlettervet hajtjuk végre.

A hengeresség-eltérés a ráfekvő henger és a valóságos felület pontjai közötti legnagyobb távolság a vonatkoztatási hossz határain belül [13].

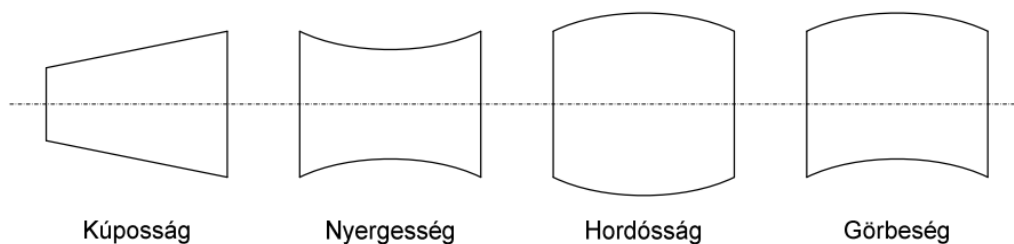
Mérésére különleges berendezéseket használnak, amelyeken vagy egy igen pontos csapágyazásban megvezetett tapintó járja körül a vizsgált profilt vagy a vizsgált munkadarabot hordozó precíziós szabályozású körasztal fordul el az álló tapintó előtt [14]. Alkalmazott mérőgépünk ez utóbbinak felel meg.

A kulcselvárás a hengerességi mérésekben, hogy a tapintó mozgása pontosan függőleges, illetve párhuzamos legyen a forgó dátumtengelyhez képest.

A hengeresség összetett jellemző, mértéke több elemből tevődik össze:

- a keresztmetszetek köralakhúsége
- az alkotók egyenessége
- az alkotók párhuzamossága

Hengeres felületek hossz-szelvényének profileltérése a hengeres felület tengelyén átmenő síkban fekvő profiljának ebben a síkban levő pontjai közötti legnagyobb távolság a vonatkoztatási hossz határain belül. Ez különböző átmérők mérési sorozata alapján állítható elő, speciális esetei pedig az alábbi ábrán láthatóak [13],[14].

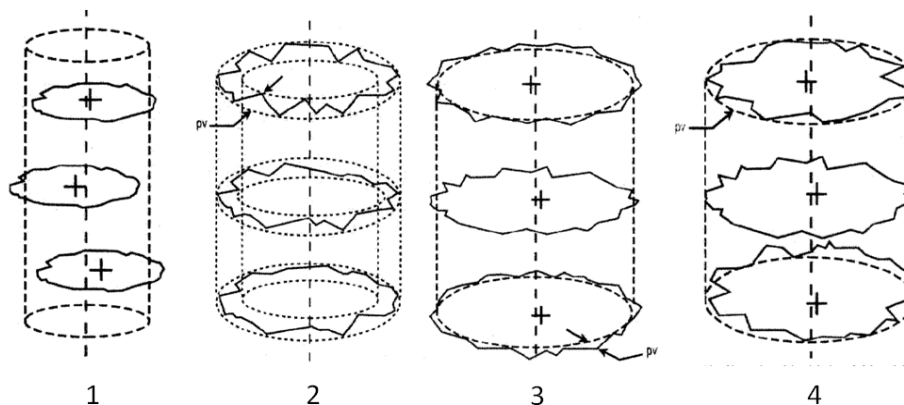


16. ábra

A hosszmeteszetben vizsgált hengeresség-eltérés különleges esetei

A kísérlet során a CYLt jelölésű vasalás előtti és utáni hengerességi paramétert vizsgáltam, amely egy valós hengertől való eltérést mér.

A paraméter meghatározásához referencia hengerek definiálása szükséges, melyeket a 17. ábra szemléltet.



17. ábra

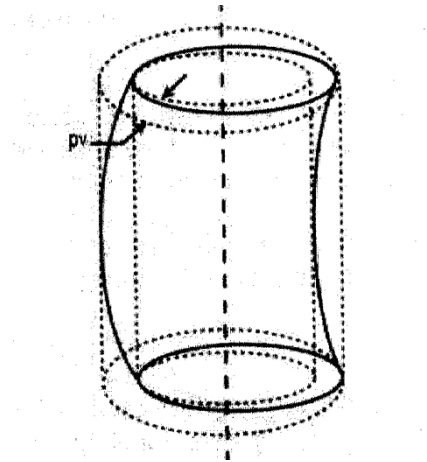
Referenciahengerek [18]

Az 1-es számmal jelölt legkisebb merőleges henger (Least Square Cylinder - LSCY) úgy tekinthető, mint, az összes kiemelkedés és árok átlagának ábrázolása, matematikailag a sugaras távolságok négyzetösszegének minimuma a referenciahengertől mérve a profilhoz képest. A másik három referenciahengerhez képest ez a legstabilabb, ezt használjuk fel a központosítás során dátumtengelyként [23].

A 2-es számmal jelölt legkisebb zónás henger (Minimum Zone Cylinder - MZCY) két koaxiális tengely, mely tartalmazza a profil minden pontját, a hengeresség legalacsonyabb értékét adja meg. Ezzel szemben a 3-as számú legnagyobb beírható henger (Maximum Inscribed Cylinder - MICY) a legnagyobb hengert ábrázolja, amit teljes mértékben be lehet rajzolni a profilba. A jobb szélső legkisebb köré írható henger (Minimum Circumscribed

Cylinder - MCCY) pedig értelemszerűen a legkisebb henger mely magába foglalja az összes mért pontot.

A berendezés által vizsgált (az ISO 12180-1 szabványban meghatározott) hengerességi paraméterek közé tartozik a CYLp és CYLv értékek, melyek a referenciához viszonyítva ábrázolják az anyag legnagyobb eltérését csúcsok (peak) és árkok (valley) formájában. A kísérlettervezés során figyelembe vett CYLt változása pedig a kiemelkedések és árkok távolságát adja meg.



18. ábra

CYLT hengerességi tűrés illusztrációja

A berendezés számszerűsíti a CYLtt értéket is, mely a kúposágot mutatja. Minden szelvényhez 0° és 180° között egy egyenes vonalat hoz létre a darab pontjain keresztül, egyezve a hengerben lévő minden egyes körkörösségi síkkal, valamint létrehoz egy másik egyenest is, tükrözve a dátumtengelyre. Az egyeneseik pontjait összekötve, az átmérők abszolút eltéréseiből számítja ki a kapott kúp értékének maximumát.

Cylindricity		
k1-1		
CYL/LS Cylinder/Gaussian/1-500upr		
22/02/2014 16:30:58		
Ferencsik Viktoria		
22/02/2014 16:30:39		
Specification		
Reference Type		LS Cylinder
Filter Type		Gaussian
1-500upr		
Datum		Self
Number Of Planes	6	
Parameters		
CYLp	19.98	µm
CYLp Pos	356.6	°
CYLp Pln Zht	84.54	mm
CYLv	3.34	µm
CYLv Pos	279.8	°
CYLv Pln Zht	99.54	mm
CYLt	23.33	µm
CYLt Pos	-20.96	µm
CYLt Pos	103.4	°
Profile Incl	100.0	%
Total Runout	23.33	µm
Coax ISO	0.00	µm
Coax DIN	0.50	µm
Conc	0.00	µm
Height for Conc	0	mm
Avg Radius	72.203	mm
Cone Ang	-0.0406	°
Angle	89.999	°
Phase	56.0	°
Conditions		
Attitude		Vertical
Contact Direction		R Negative

19. ábra

A berendezés által számszerűsített értékek 1-1 jelű köszörült próbadarab esetén

A hengeresség teljes jellemzéséhez szükséges a próbadarab egyes részeinek adott síkjaiban mért értékek 3D-s ábrázolása is. A mért értékek kiértékeléséhez a berendezés saját szoftverét (Talyrond) használtam. Az induktív szenzorral végzett mérés jól mutatja a jellegzetes megmunkálási nyomokat, valamint a kúposság mértékének csökkenését és azok számszerűsíthető jellemzőit is szolgáltatja.

Az analízis alá vont összesen 16 topográfia esetében a működési tulajdonságokat leginkább meghatározó hengerességi paramétereket határoztuk meg és hasonlítottuk össze. A kísérletterv mátrixa a dimenziótlan rendszerben a 4. táblázatban van összefoglalva, mely egyben a kapott vasalás előtti – köszörült – és vasalás utáni felületi réteg keménység-javulásának meghatározásához is alkalmazásra került.

4. táblázat

A kísérletterv transzformált paraméterei

Sorszám	Transzformált paraméterek		
	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Ahol:

 x_1 – vasalási erő x_2 – vasalási fordulatszám x_3 - vasalósebesség

A (-1) érték jelöli a faktor alsó szintjét, míg a (+1) érték a felső szintjét, melynek számszerűsített értékeit az alábbi táblázat mutatja.

5. táblázat

Alkalmazott vasalási paraméterek

	F [N]	f [mm/ford]	v_c [m/min]
Alsó szint	50	0,05	40
Felső szint	100	0,1	80

A hengeresség-eltérés, valamint a keménység javulási arányát az alábbi képletekkel számítottuk ki:

$$\rho_{CYL} = \frac{CYL_t}{CYL_v} \times 100\% \quad (1)$$

ahol:

ρ_{CYLt} Az CYLt paraméter javulási száma, egy dimenziótlán viszonyyszám, jellemzi a megmunkálás hatására bekövetkező hengeresség-változást

$CYLt_k$ Kösörülés utáni CYLt érték

$CYLt_v$ Vasalás utáni CYLt értéke

$$q_{HV} = \frac{HV_k}{HV_v} \times 100\% \quad (2)$$

ahol:

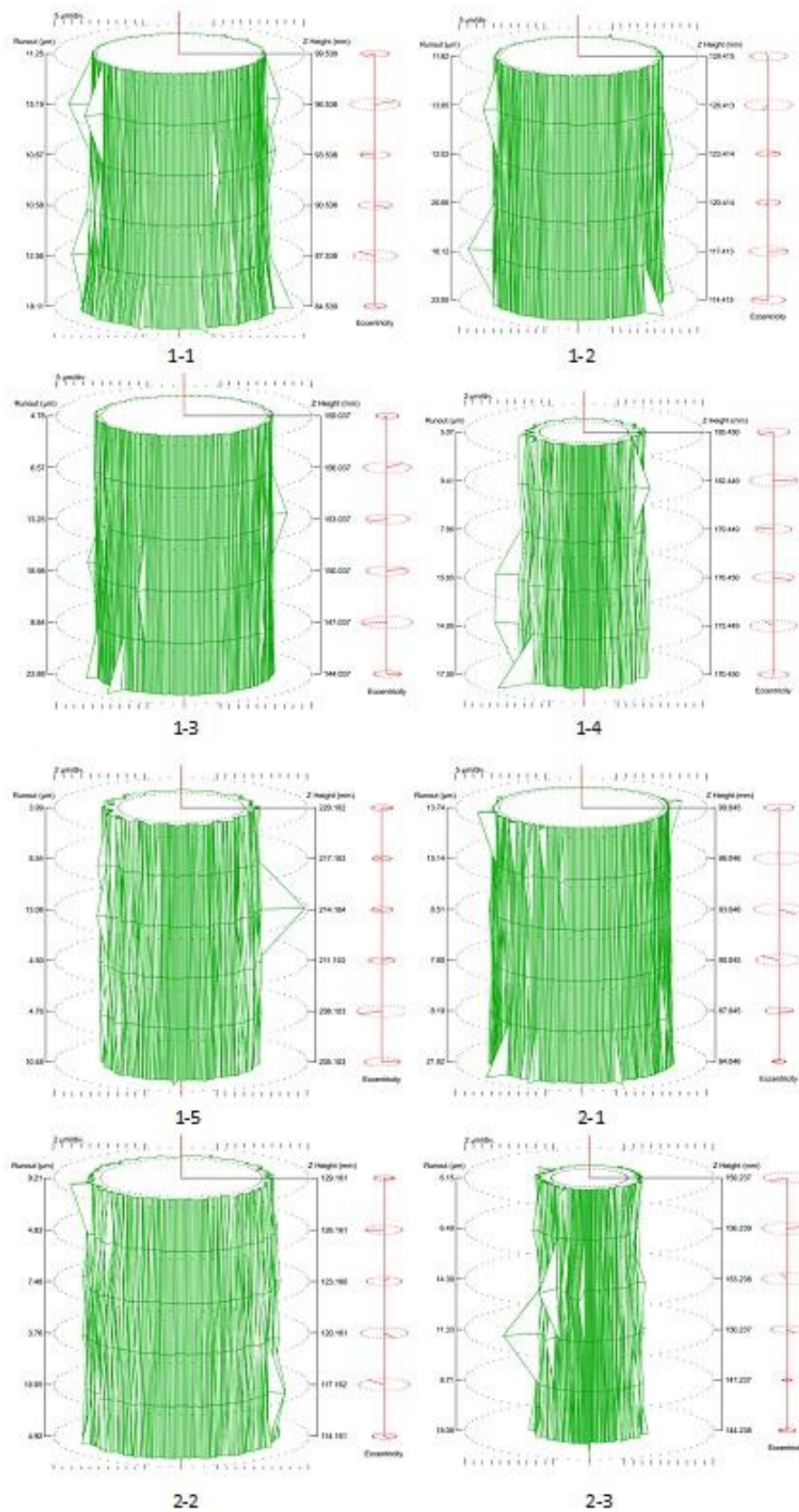
q_{HV} A felületi réteg keménységi javulásának dimenziótlán viszonyyszáma

HV_k Kösörült felület keménysége

HV_v Vasalt felület keménysége

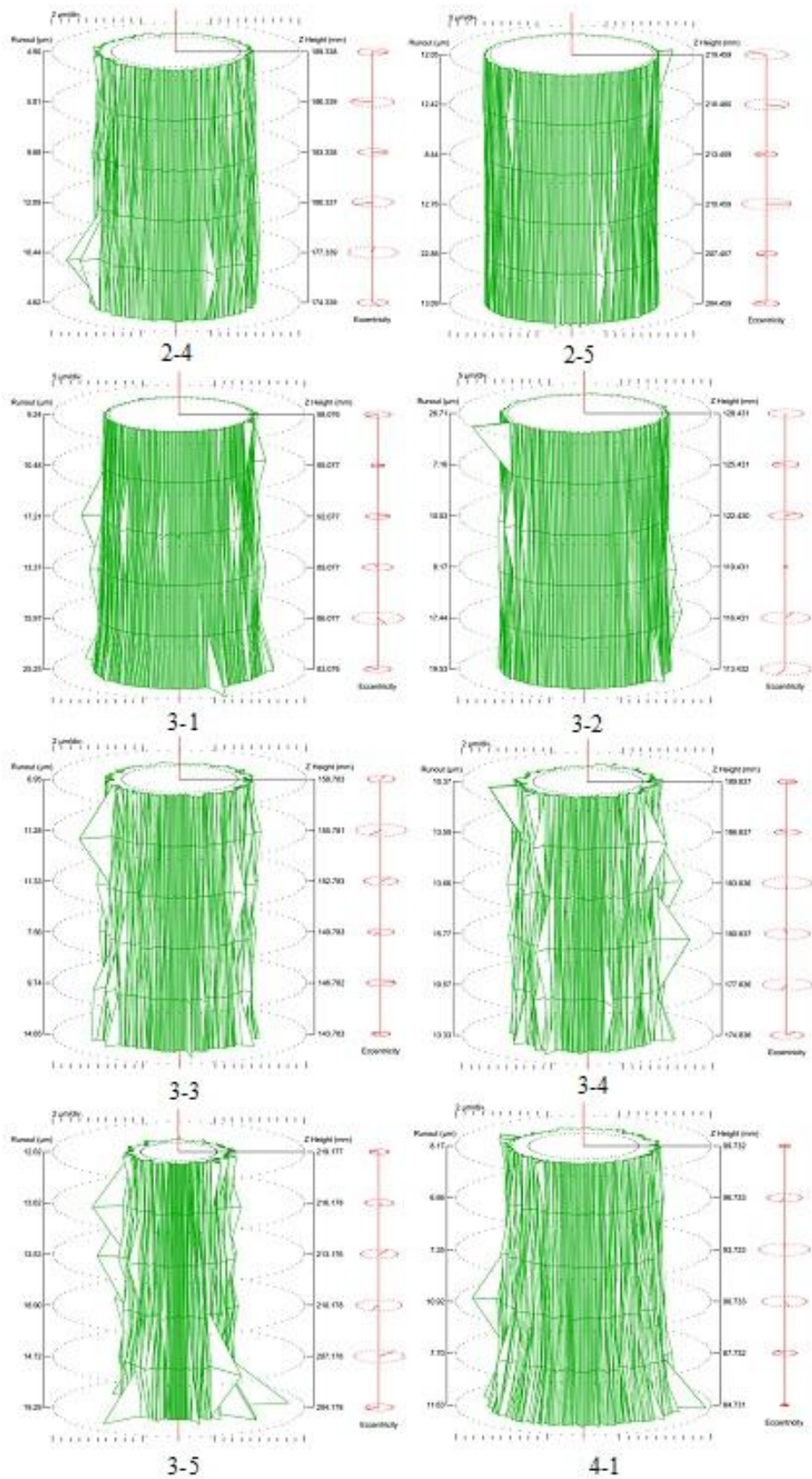
Ha a keménységi viszonyyszám (q_{HV}) értéke 1-nél kisebb, a hengerességi viszonyyszám (ρ_{CYLt}) értéke pedig 1-nél nagyobb, akkor javulás állapítható meg a vasalás következtében.

A különböző paraméterek beállítása melletti megmunkálási eredményeket a (20.-23. ábra) ábrák tartalmazzák.



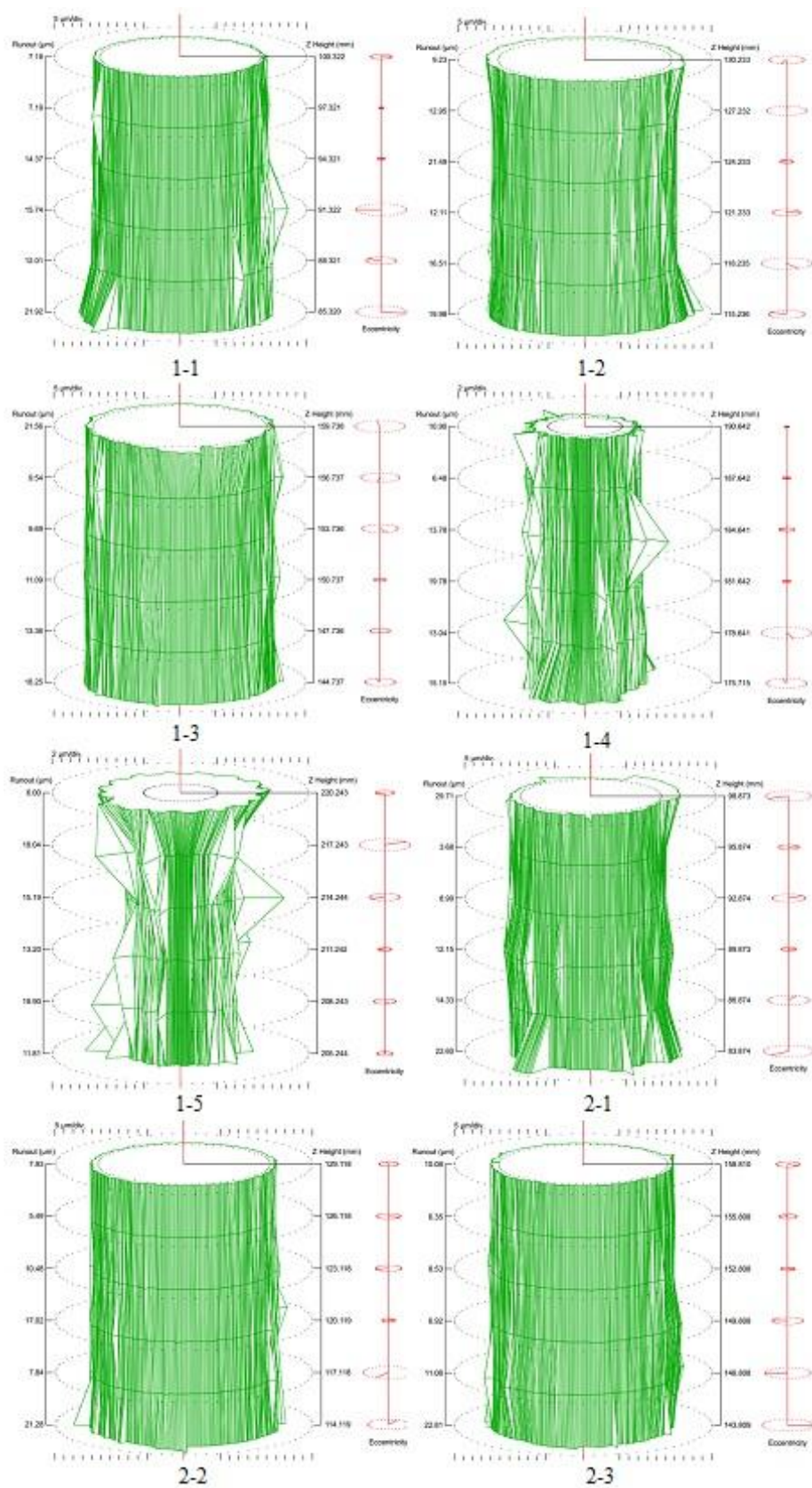
20. ábra

Hengeresség hibája köszörülés után N=1 járatszám esetén



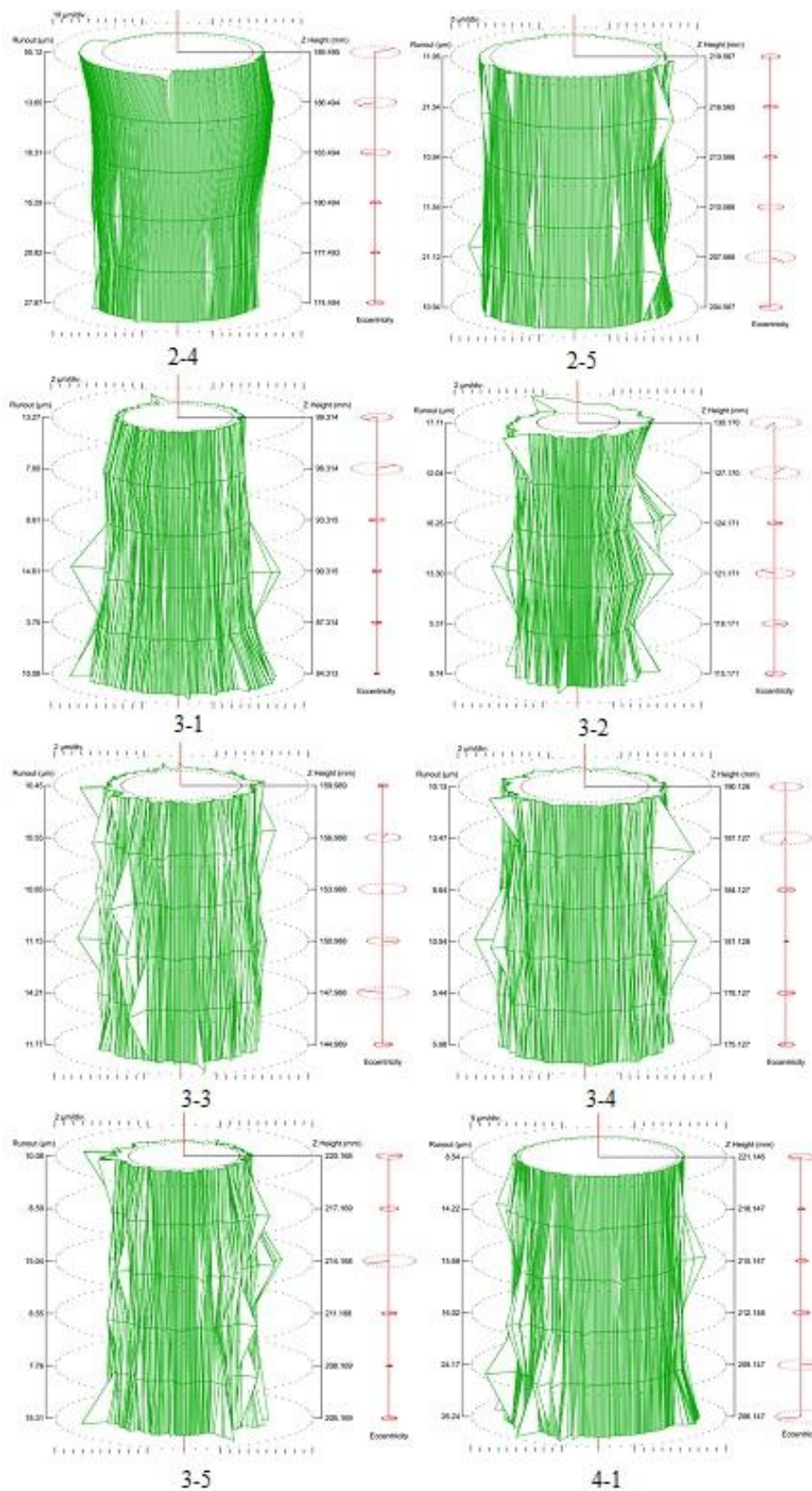
21. ábra

Hengeresség hibája köszörülés után N=3 járatszám esetén



22. ábra

Hengeresség hibája vasalás után N=1 járatszám esetén



23. ábra

Hengeresség hibája vasalás után N=3 járatszám esetén

4. AZ EREDMÉNYEK KIÉRTÉKELÉSE

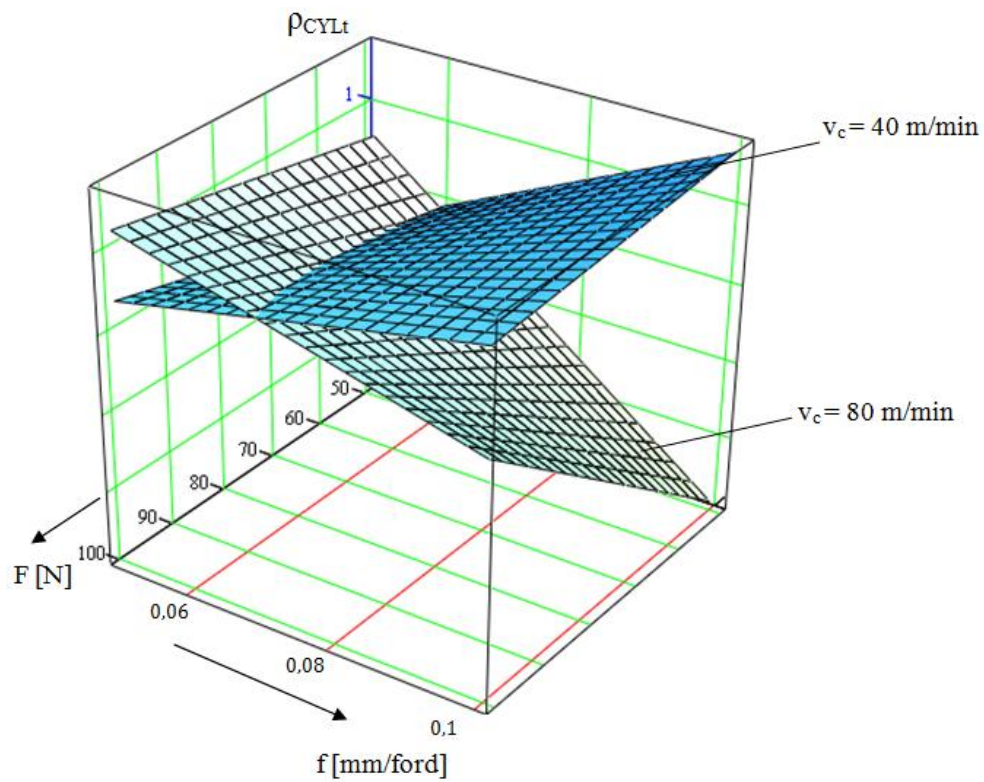
A mért kísérleti adatokból kiszámított ρ_{CYLt} és q_{HV} paraméterekből empirikus képletek alkothatók a faktoriális kísérlettervezés módszerének alkalmazásával. A számításokat a MathCAD program segítségével végeztük. A (3), (5) képletek az egyszeri vasalási járatszám esetén vizsgált ρ_{CYLt} és q_{HV} paraméterekre vonatkozik, míg a (4), (6) egyenletek a háromszori vasalási járatszámra.

6. táblázat

N=1 vasalási járatszám esetén kapott hengerességi értékek

Próbadarab jele	F [N]	f [mm/ford]	v_c [m/min]	CYLt [μm]		ρ_{CYLt}
				Köszörült	Vasalt	
1-1	50	0,05	40	14,04	19,92	0,70
1-2	100	0,05	40	17,53	19,78	0,88
1-3	50	0,1	40	24,46	21,56	1,13
1-4	100	0,1	40	23,72	22,09	1,07
1-5	50	0,05	80	23,33	25,20	0,92
2-1	100	0,05	80	23,23	22,02	1,05
2-2	50	0,1	80	13,40	55,12	0,23
2-3	100	0,1	80	19,44	24,00	0,81

Az egyes egyenletek szemléltetése a 24. és 25. ábrákon látható.



24. ábra

Kísérleti eredmény N=1 járatszám beállítása esetén

$$\begin{aligned} \rho_{N1} = & k_0^{N1} + k_1^{N1}v + k_2^{N1}f + k_3^{N1}F + k_{12}^{N1}v \cdot f + k_{23}^{N1}v \cdot F + k_{23}^{N1}f \cdot F + \\ & + k_{123}^{N1}v \cdot f \cdot F \end{aligned} \quad (3)$$

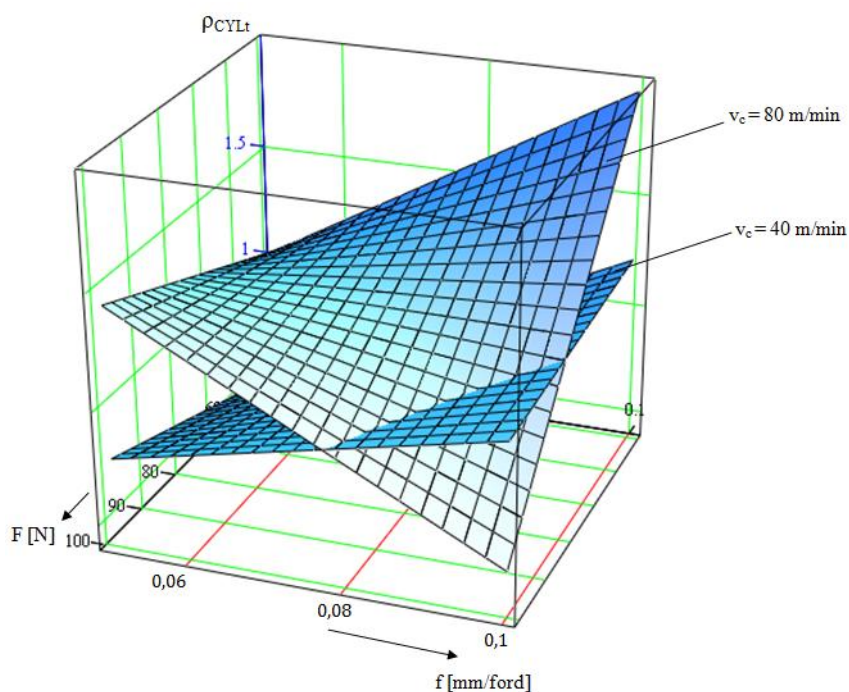
ahol:

$$\begin{array}{llll} k_0^{N1} = -2,23 & k_1^{N1} = 0,023 & k_2^{N1} = 49,6 & k_3^{N1} = 0,052, \\ k_{12}^{N1} = -0,372 & k_{13}^{N1} = -3,7 \cdot 10^{-4} & k_{23}^{N1} = 0,905 & k_{123}^{N1} = 6,9 \cdot 10^{-3} \end{array}$$

N=3 vasalási járatszám esetén kapott hengerességi értékek

Próbadarab jele	F [N]	f [mm/ford]	v_c [m/min]	CYLt [μ m]		ρ_{CYLt}
				Köszörült	Vasalt	
2-4	50	0,05	40	10,19	23,27	0,43
2-5	100	0,05	40	24,00	30,63	0,78
3-1	50	0,1	40	19,52	15,90	1,22
3-2	100	0,1	40	15,77	13,83	1,14
3-3	50	0,05	80	15,19	14,74	1,03
3-4	100	0,05	80	26,83	18,63	1,44
3-5	50	0,1	80	30,84	15,72	1,96
4-1	100	0,1	80	15,91	26,55	0,59

Az eredményeket itt is a MathCAD 2001 Professional programmal ábráztuk.



25. ábra

Kísérleti eredmény N=3 járatszám beállítása esetén

$$\rho_{N3} = k_0^{N3} + k_1^{N3}v + k_2^{N3}f + k_3^{N3}F + k_{12}^{N3}v \cdot f + k_{23}^{N3}v \cdot F + k_{23}^{N3}f \cdot F + k_{123}^{N3}v \cdot f \cdot F$$

(4)

ahol:

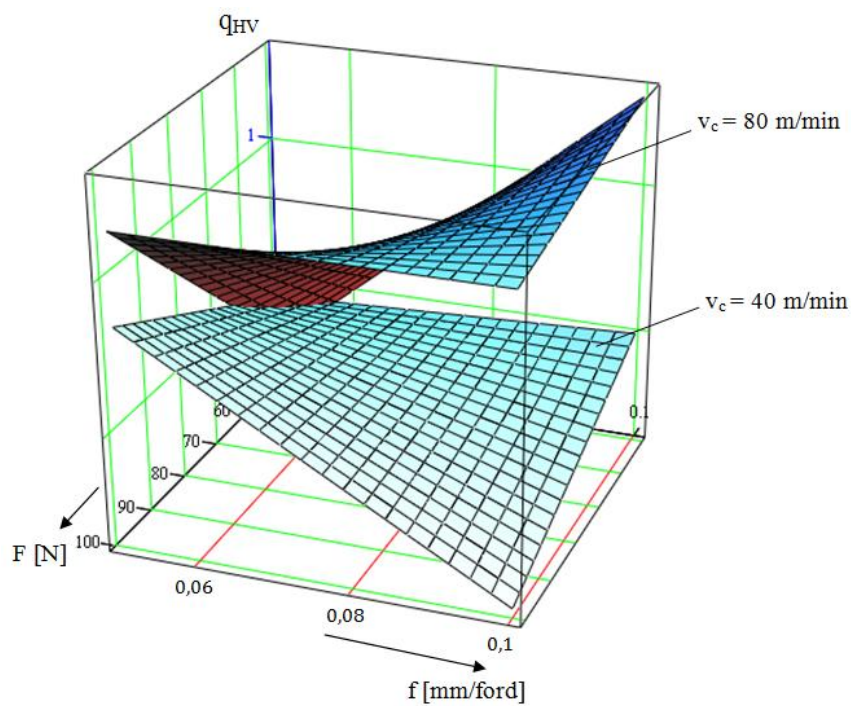
$$\begin{aligned} k_0^{N3} &= -0,19 & k_1^{N3} &= -0,013 & k_2^{N3} &= -5,4 & k_3^{N3} &= -0,024, \\ k_{12}^{N3} &= 0,368 & k_{13}^{N3} &= 7,05 \cdot 10^{-4} & k_{23}^{N3} &= 0,745 & k_{123}^{N3} &= -0,014 \end{aligned}$$

8. táblázat

N=1 vasalási járatszám esetén kapott keménységi értékek

Próbadarab jele	F [N]	f [mm/ford]	v _c [m/min]	HV		q _{HV}
				Köszörült	Vasalt	
1-1	50	0,05	40	882,4	985,5	0,89
1-2	100	0,05	40		914	0,97
1-3	50	0,1	40		977	0,90
1-4	100	0,1	40		1059	0,83
1-5	50	0,05	80	882,4	1024	0,86
2-1	100	0,05	80	883	860	1,03
2-2	50	0,1	80		832	1,06
2-3	100	0,1	80		854,5	1,03

Az egyes egyenletek szemléltetése a 26. és 27. ábrákon látható.



26. ábra

Kísérleti eredmény N=1 járatszám beállítása esetén

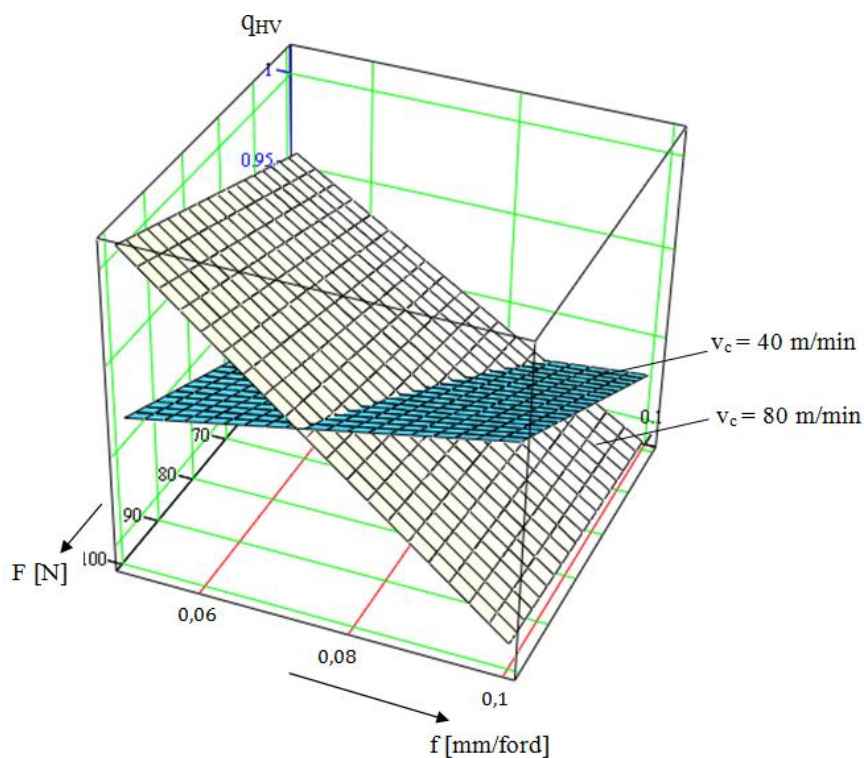
$$\rho_{N1} = k_0^{N1} + k_1^{N1}v + k_2^{N1}f + k_3^{N1}F + k_{12}^{N1}v \cdot f + k_{23}^{N1}v \cdot F + k_{23}^{N1}f \cdot F + k_{123}^{N1}v \cdot f \cdot F \quad (5)$$

ahol:

$$\begin{aligned} k_0^{N1} &= 1,01 & k_1^{N1} &= 1,8 \cdot 10^{-3} & k_2^{N1} &= -1,6 & k_3^{N1} &= -9 \cdot 10^{-3}, \\ k_{12}^{N1} &= -0,04 & k_{13}^{N1} &= 7 \cdot 10^{-5} & k_{23}^{N1} &= 0,12 & k_{123}^{N1} &= -5 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

N=3 vasalási járatszám esetén kapott hengerességi értékek

Próbadarab jele	F [N]	f [mm/ford]	v_c [m/min]	HV		q_{HV}
				Köszörült	Vasalt	
2-4	50	0,05	40	883	1018,5	0,86
2-5	100	0,05	40	883	961,5	0,92
3-1	50	0,1	40	874,6	986	0,88
3-2	100	0,1	40		909	0,96
3-3	50	0,05	80		906,5	0,96
3-4	100	0,05	80		865,5	1,01
3-5	50	0,1	80	874,6	1042,5	0,84
4-1	100	0,1	80	846	991,5	0,85



27. ábra

Kísérleti eredmény N=3 járatszám beállítása esetén

$$\begin{aligned}\rho_{N3} = & k_0^{N3} + k_1^{N3}v + k_2^{N3}f + k_3^{N3}F + k_{12}^{N3}v \cdot f + k_{23}^{N3}v \cdot F + k_{23}^{N3}f \cdot F + \\ & + k_{123}^{N3}v \cdot f \cdot F\end{aligned}\tag{6}$$

ahol:

$$\begin{array}{llll}k_0^{N3} = 0,61 & k_1^{N3} = -2 * 10^{-4} & k_2^{N3} = 1,6 & k_3^{N3} = 4,75 * 10^{-3}, \\ k_{12}^{N3} = 0,032 & k_{13}^{N3} = 2,5 * 10^{-5} & k_{23}^{N3} = -0,04 & k_{123}^{N3} = -6 * 10^{-4}\end{array}$$

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat az edzett acélon végzett gyémántvasalási kísérleteket és annak mérési, kiértékelési eredményeit tartalmazza. Kísérleti változó paramétereknek a vasalás technológiai paramétereit, így a vasalási sebességet, előtolást, erőt és járatszámot választottam.

A vizsgálat célja az volt, hogy ezen paraméterek hogyan hatnak a hengerességi hiba és a mikrokeménység változására. A kísérleteket és a mérési eredmények kiértékelését a teljes faktoriális kísérletterv alkalmazásával végeztem. A szemléletesebb kiértékelés érdekében dimenzió nélküli viszonyszámokat képeztem, s az empirikus képleteket is ezekre írtam fel. A vizsgálati eredményeket a táblázati megjelenítés mellett 3D-s diagramokban is szemléltettem, melyekből a következő következtetéseket vontam le.

A vizsgált technológiai paraméterek közül a vasalási járatszám hatása volt a legdominánsabb a ρ_{CYL} hengerességi hiba értékére, kiemelkedő javulás figyelhető meg

$N=3$ járatszám

$F = 50 \text{ N}$

$f = 0,1 \text{ mm/ford}$

$v_c = 80 \text{ m/min}$

paraméterek beállítása esetén.

Q_{HV} mikrokeménység javulási viszonyszám legkisebb, azaz legkedvezőbb értékét szintén $N = 3$ járatszám esetén figyelhető meg.

Ezúton is szeretnék köszönetet mondani a Gyártástudományi Intézet kollektívájának, különösen konzulensemnek, Dr. Varga Gyula egyetemi docensnek a TDK munka elkészítésében nyújtott támogatásáért. Köszönettel tartozok Pásztor István tanszéki mérnöknek a megmunkálási, mérési eljárásokban nyújtott segítségéért, továbbá az Anyagtudományi Kar Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet munkatársainak, Dr. Veres Zsolt egyetemi docensnek, valamint Bodnárné Nyári Napsugár műszaki ügyintézőnek a mikrokeménység-mérésekben nyújtott közreműködésükért.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Bálint Lajos, Gribovszki László, (1975). *A gépgyártástechnológia alapjai*, Miskolc, p:418-442
- [2] Dudás Illés, (2011). *Gépgyártástechnológia III.*, Miskolc, pp:193-203
- [3] Gál Gaszton, Kiss Antal, Sárvári József, Tisza Miklós, (2008). *Képlékeny hidegalakítás*. Tankönyvkiadó, Budapest, p:315
- [4] Tisza Miklós, Balogh András, Schäffer József, (2007). *Mechanikai technológiák*. Miskolc, pp:73-74
- [5] Genichi Taguchi, *System of Emperimetal Design*, New York, p:531
- [6] Fridrik László (1989), *Válogatott fejezetek a gépgyártástechnológiai kísérletek tervezése témaköréből*, Budapest, p:109
- [7] Fazekas Lajos, (2011). *Gépjavítás IV., Oktatási segédlet*, p:11-16
- [8] Balla Sándor, Göndöcs Balázs, Sólyomvári Károly, Takács János, Weltsch Zoltán, (2012). *Járműgyártás folyamatai II.*, TÁMOP-4.1.2 A2 könyvei, Typotex Kiadó, pp.:101-102
- [9] *Anyagfelvitel nélküli felületkezelések*, Széchenyi István Egyetem, (2008). Győr, d.:3-7
- [10] Ferencsik Viktória, (2013). *Gyémántvasalt munkadarab-felületek felületi érdekességének 3D-s vizsgálata*, Miskolc, p.: 37
- [11] W. Brostow, K. Czechowski, W. Polowski, P. Rusek, D. Toboła, I. Wronska, (2013). *Slide diamond burnishing of tool steels with adhesive coatings and diffusion layers*, Material Research Innovations, pp.: 269-277
- [12] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=154
- [13] Monostoriné Hörcsik Renáta, (2009). *A megmunkált felület pontossága és minősége*, TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0001, Nemzeti Tankönyvkiadó, Miskolc, pp.: 4-9
- [14] Dr. Takács György, Szilágyi Attila, Demeter Péter, Barak Antal, (2009). *Forgácsoló szerszámgépek*, TÁMOP-4.1.2-08/1/A-2009-0001, Nemzeti Tankönyvkiadó, Miskolc, pp.: 84-86
- [15] Varga Gy., Sovilj B., Pasztor I.: *Experimental Analysis of Sliding Burnishing*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Editura Politehnica, Volume 11, 3/2013, pp.: 6-11, ISSN: 1583-7904,

- [16]T.A. El-Taweel, M.H. El-Axir, (2009). *Analysis and optimization of the ball burnishing process through the Taguchi technique*.International Journal Advertising of Manufacture Technology 41:pp.: 301-310
- [17]Adnan Akkurt, (2011). *Comparison of Roller Burnishing Method with Other Hole Surface Finishing Processes Applied on AISI 304 Austenitic Stainless Steel*, Journal of Materials Engineering and Performance, Volume 20, Issue 6,pp.:960-968
- [18]Prof. Dr.-Eng. J.Chajda, Dr.-Eng. M.Grzelka, MSc.-Eng. B.Gapinski, MSc.-Eng. M. Pawłowski, MSc.-Eng. M.Szelewski, Dr.-Eng. M. Rucki, (2008). *Coordinate measurement of complicated parameters like roundness, cylindricity, gear teeth or free-form surface*, Division of Metrology and Measuring Systems Institute of Mechanical Technology Poznan University of Technology, Poznan (Poland), pp.: 225-231
- [19]Varga Gy., Dudás, I., (2000). *Examinations of Sliding Burnishing Using for Improving the Surface Quality of External Cylindrical Surfaces*, 15th World Conference on Non-Destructive Testing, Roma, Italy, October 15-21, Abstract Book: p.: 237, and 5 pages on CD Proceeding
- [20]Varga Gy: *Effects of Technological Parameters on the Surface Texture of Burnished Surfaces*, Key Engineering Materials, Volume 581: Precision Machining VII, pp.: 403-408, 2014, ISSN 1013-9826
- [21]Varga Gy.: *Can Diamond Burnishing be Done in an Environmentally Friendly Way?*, Applied Mechanics and Materials, Vol. 474 ISSN 1660-9336, 2014. pp.: 411-416
- [22]Wilson Instruments Tukon 2100B Vickers/Knoop Hardness Tester User Guide
- [23]Varga Gy. Hepp I., (2013). *A Talyrond 365 típusú köralak- és helyzethiba vizsgáló berendezés használatának kezdő lépései*, Oktatási segédlet, Miskolc, pp.: 5-6