

Mellékletek

1.sz. Melléklet: AISI H13-as melegalakító szerszámacél adatlapja



Designed for Processing in Laser Powder Bed Fusion (PBF-LB) or Directed Energy Deposition (DED) Systems

MetcoAdd™ H13-A and H13-B are martensitic, iron-chromium, air-hardenable steel powders powder products with chemistries similar to AISI H13, ASTM H13, SAE H-13 and Werkstoff No. 1.2344 / X40CrMoV 5-1-1.

Room temperature static properties of PBF-LB processed and heat treated material coupons have been shown to be comparable to those of AMS 6408.

For reference purposes Cerlikon has processed MetcoAdd H13-A using fixed parameters and 40 µm layer thickness to provide data below. Additional testing has been performed by an extensive network of consortia and customer partners on a broader range of machine types. Properties may be optimized based on application specific requirements.

Applications

- Hot work dies for casting
- Casting dies for aluminum and magnesium
- Hot forging and stamping dies
- Hot shear blades
- Plastic injection molds

Typical Post Heat Treatment Properties (H13-A) (1)(2)(3)

	Concept Laser M2 Cusing	EOS M290	Test Method
Ultimate Tensile Strength (MPa), XY/Z	1894±12 / 1886±16	1899±7 / 1903±12	ASTM E8
Yield Strength (MPa), XY/Z	1512±14 / 1510±14	1531±37 / 1538±31	
Elongation at break %, XY/Z	10±1 / 10±1	11±1 / 11±1	ASTM E384-17
Hardness (VHN _{0.05})	568±7	571±5	
Relative Density %	>99.8%	>99.9%	Internal Spec.

[1] Disclaimer: All data published in this datasheet has been shared for reference purposes only and is not sufficient to design or certify parts. No warranty or guarantee is made against these results.
[2] Bounds are based on one standard deviation of each population with ten samples per orientation and machine. Test specimens were 6.35 mm diameter round bars machined from coupons (75x75x13mm). Direction XY data is an average of both X and Y horizontal build orientations.
[3] Solutionize at 1850°F ± 25 (1010 °C) for 45 minutes. Cool to room temperature at a rate equivalent to air cooling. Temper at 1000°F (537 °C) for 4h and air cool.

Post Heat Treatment Microstructure (x 50 magnification, Vertical Build Direction)



Chemical Composition

	Weight Percent (nominal)					
	Fe	Cr	Mo	Si	V	C
MetcoAdd H13 Series	Balance	5.2	1.3	1.0	1.0	0.4

Particle Size Distribution and Hall Flow

	Nominal Range [µm]	D90 [µm]	D50 [µm]	D10 [µm]	Hall Flow [s/50 g]
MetcoAdd H13-A	-45 +15	50	34	21	≤ 25
MetcoAdd H13-B	-90 +45	-	-	-	-

For the nominal range, particle size analysis 45 µm or above measured by sieve (ASTM B214), analysis below 45 µm by laser diffraction (ASTM C 1070, Microtrak). | Fractional analysis (D90, D50, D10) are nominal values by laser diffraction. Hall flow (ASTM B213).

Product Information

Classification	Alloy, Iron Base
Chemistry	Fe 5Cr 1Mo 1Si 1V 0.4C
Manufacture	Gas atomized (Argon)
Morphology	Spheroidal
Apparent Density	> 4.0 g/cm ³ (typical)
Melting Range	1371 to 1482 °C (2500 to 2700 °F) (typical)
Process	H13-A: Laser Powder Bed Fusion (LPBF-LB) H13-B: Directed Energy Deposition (DED)
Safety Data Sheet	50-2134 www.oerlikon.com/metco
Package size	10 lb (approx. 4.5 kg) (stock)
Distribution	Global
Order No.	H13-A: 1100784 H13-B: 1100785

Usage Recommendations

- Blend contents prior to use to prevent segregation
- Keep in the original container, or an approved alternative, tightly closed when not in use
- Powder from previously opened containers should be stored in a humidity-controlled environment

oerlikon
am



**AM Metal Powder
Portfolio**

Check our full portfolio at <https://www.oerlikon.com/am/en/offers/metal-powders> or contact us at am@oerlikon.com

We have a broad range of existing alloys, supported by ongoing development. We also know that current off-the-shelf solutions in AM cannot answer every production need. Our R&D teams can rapidly design, optimize, and produce new and custom alloy chemistries for pilot atomization and AM validation in our production facilities.

www.oerlikon.com/am

2.sz. Melléklet: vizsgálat során használt szerszám és lapka adatlapja

SEC-WaveMill **WEX Type**

Recommended Cutting Conditions

WEX1000

Tool: WEX1012E, Insert: AX□T0602

Cutting Conditions: Depth of Cut $a_p = 4\text{mm}$, Width of Cut $a_e = 1\text{mm}$ Dry

Cutting Width
 $a_e = 1\text{mm}$

Depth of Cut
 $a_p = 4\text{mm}$

Milling Cutters

Face Milling

Shoulder Milling

High-Feed

Multi-purpose

Radius

R/D Profiling

Groove/ T-slot

Chamfering

Non-ferrous Metal

High-speed Cast Iron

ISO Classification	Work Material	Workpiece Hardness (HRC)	Chipbreaker	Grade															
				ACP100	ACP200	ACP300	ACK200	ACK300	ACM200	ACM300	DL1000								
				Feed Rate per Tooth f_z (mm/t)															
				Cutting Speed v_c (m/min)															
P	Steel, Carbon Steel S15C	125	G	260	240	220	240	220	200	220	200	180							
	S45C	190	G	200	180	160	180	160	140	160	140	120							
	S45C Hardened	250	G	180	120	140	160	140	120	150	130	110							
	S75C	270	G	160	140	120	150	130	110	130	110	110							
	S75C Hardened	300	G	100	80	70	90	70	80	70	80	50							
P	Low Alloy Steel (SCM, SNCM)	180	G	200	180	160	180	160	150	160	150	130							
	SCM, SNCM Hardened	275	G	130	110	90	120	100	90	100	90	80							
	SCM, SNCM Hardened	300	G	120	100	80	100	90	80	90	80	80							
	SCM, SNCM Hardened	350	G	90	80	80	80	70	80	70	80	40							
	High Alloy Steel (SKD, SKT, SKH)	200	G	180	170	160	170	160	130	150	140	120							
M	SKD, SKT, SKH Hardened	325	G	100	80	80	80	80	60	50	30								
	Stainless Steel SUS430 and Others (Martensitic/Ferritic)	200	E										170	150	120	140	130	110	
M	SUS403 and Others (Martensitic/Hardened)	240	E										140	120	100	120	100	90	
	SUS304, SUS316 (Austenitic)	180	E										180	160	140	180	140	130	
K	Cast Iron		G							240	220	200	220	200	180				
	Ductile Cast Iron		G							160	140	120	140	120	100				
S	Exotic Alloy		E										50	35	45	25			
	Aluminum Alloy Si content of 12.6% or less		S														800	600	400
N	Si content of over 12.6%		S														240	200	160
	Copper Alloy		S														330	300	270

● The recommended cutting conditions may not be practical depending on the operating conditions (e.g. machine, workpiece shape, clamping system).

● For groove milling, adjust the feed rate to around 70% of the above values.

Note The cutting conditions above are a guide. Actual conditions will need to be adjusted according to machine rigidity, work clamp rigidity, depth of cut and other factors.

WEX2000

Tool: WEX2025E, Insert: AX□T1235

Cutting Conditions: Depth of Cut $a_p = 3\text{mm}$, Width of Cut $a_e = 12.5\text{mm}$ Dry

Cutting Width $a_e = 12.5\text{mm}$

Depth of Cut $a_p = 3\text{mm}$

ISO Classification	Work Material	Workpiece Hardness (HRC)	Chipbreaker	Grade															
				ACP100	ACP200	ACP300	ACK200	ACK300	ACM200	ACM300	DL1000								
				Feed Rate per Tooth f_z (mm/t)															
				Cutting Speed v_c (m/min)															
P	Steel, Carbon Steel S15C	125	G	380	350	330	350	330	315	330	315	295							
	S45C	190	G	285	255	235	255	235	220	235	220	200							
	S45C Hardened	250	G	235	210	190	210	190	170	190	170	150							
	S75C	270	G	190	162	148	171	152	133	152	133	115							
	S75C Hardened	300	G	145	115	95	115	95	75	95	75	55							
P	Low Alloy Steel (SCM, SNCM)	180	G	265	235	220	235	220	200	220	200	180							
	SCM, SNCM Hardened	275	G	170	145	125	150	130	115	130	115	95							
	SCM, SNCM Hardened	300	G	150	125	105	135	115	95	115	95	75							
	SCM, SNCM Hardened	350	G	125	95	75	105	85	65	85	65	45							
	High Alloy Steel (SKD, SKT, SKH)	200	G	235	210	190	210	190	170	190	170	150							
M	SKD, SKT, SKH Hardened	325	G	125	95	75	95	75	55	75	55	35							
	Stainless Steel SUS430 and Others (Martensitic/Ferritic)	200	E										175	155	125	155	140	110	
M	SUS403 and Others (Martensitic/Hardened)	240	EH										160	140	110	145	125	100	
	SUS304, SUS316 (Austenitic)	180	E										190	170	140	170	150	125	
K	Cast Iron		G							285	255	235	255	235	220				
	Ductile Cast Iron		G							190	160	140	160	140	125				
S	Exotic Alloy	300	E										50	40	45	35			
	(Heat-Resistant Alloy, Super Alloy, Titanium Alloy, etc.)	330	E										35	25	30	20			
N	Aluminum Alloy Si content of 12.6% or less		S														1000	750	500
	Si content of over 12.6%		S														250	200	170
N	Copper Alloy		S														350	330	300

● The recommended cutting conditions may not be practical depending on the operating conditions (e.g. machine, workpiece shape, clamping system).

● For groove milling, adjust the feed rate to around 70% of the above values.

Note The cutting conditions above are a guide. Actual conditions will need to be adjusted according to machine rigidity, work clamp rigidity, depth of cut and other factors.

3.sz. Melléklet: A pontos geometria meghatározását célzó próba gyártások során használt additív technológiai paraméterek, lézersugár teljesítményét és a hegesztőfej sebességét változtatásával

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság h [mm]	Cél magasság [mm]	Megjegyzés
1.	50%	225	5	1,04	300	1	50%	0,5	2	5	Nem megfelelő, alacsony
2.	65%	292,5	5	1,04	300	1	50%	0,5	1,9	5	Nem megfelelő, alacsony
3.	80%	360	5	1,04	300	1	50%	0,5	3,2	5	Nem megfelelő, alacsony
4.	50%	225	10	1,04	300	1	50%	0,5	0,5	5	Nem megfelelő, alacsony
5.	65%	292,5	10	1,04	300	1	50%	0,5	0,6	5	Nem megfelelő, alacsony
6.	80%	360	10	1,04	300	1	50%	0,5	1,3	5	Nem megfelelő, alacsony
7.	50%	225	15	1,04	300	1	50%	0,5	-	5	A paraméterek által mutatott tendencia alapján a gyártás értelmetlen.
8.	65%	292,5	15	1,04	300	1	50%	0,5	-	5	
9.	80%	360	15	1,04	300	1	50%	0,5	-	5	

4.sz. Melléklet: A pontos geometria meghatározását célzó próba gyártások során használt additív technológiai paraméterek, lézersugár teljesítményét és a lézersugár átmérőjének változtatásával

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság h [mm]	Cél magasság [mm]	Megjegyzés
1.	50%	225	5	0,74	200	1	50%	0,5	1,8	5	Nem megfelelő, alacsony
2.	65%	292,5	5	0,74	200	1	50%	0,5	3,6	5	Nem megfelelő, alacsony
3.	80%	360	5	0,74	200	1	50%	0,5	4,6	5	Nem megfelelő, alacsony
4.	50%	225	5	1,25	200	1	50%	0,5	0,6	5	Nem megfelelő, alacsony
5.	65%	292,5	5	1,25	200	1	50%	0,5	1	5	Nem megfelelő, alacsony
6.	80%	360	5	1,25	200	1	50%	0,5	1,8	5	Nem megfelelő, alacsony
7.	50%	225	5	1,5	200	1	50%	0,5	-	5	
8.	65%	292,5	5	1,5	200	1	50%	0,5	-	5	

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság h [mm]	Cél magasság [mm]	Megjegyzés
9.	80%	360	5	1,5	200	1	50%	0,5	-	5	A paraméterek által mutatott tendencia alapján a gyártás értelmetlen.

5.sz. Melléklet: A pontos geometria meghatározását célzó próba gyártások során használt additív technológiai paraméterek, lézersugár teljesítményét és a rétegvastagság változtatásával

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság h [mm]	Cél magasság [mm]	Megjegyzés
1.	50%	225	10	1,04	100	1	50%	0,5	1	5	Nem megfelelő, alacsony
2.	65%	292,5	10	1,04	100	1	50%	0,5	2,5	5	Nem megfelelő, alacsony
3.	80%	360	10	1,04	100	1	50%	0,5	1,5	5	Nem megfelelő, alacsony
4.	50%	225	10	1,04	200	1	50%	0,5	0,8	5	Nem megfelelő, alacsony
5.	65%	292,5	10	1,04	200	1	50%	0,5	1,2	5	Nem megfelelő, alacsony
6.	80%	360	10	1,04	200	1	50%	0,5	1,7	5	Nem megfelelő, alacsony
7.	50%	225	10	1,04	400	1	50%	0,5	-	5	A paraméterek által mutatott tendencia alapján a gyártás értelmetlen.
8.	65%	292,5	10	1,04	400	1	50%	0,5	-	5	
9.	80%	360	10	1,04	400	1	50%	0,5	-	5	

6.sz. Melléklet: A pontos geometria meghatározását célzó próba gyártások során használt additív technológiai paraméterek, lézersugár teljesítményét és a vonalköz változtatásával

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság	Cél magasság	Megjegyzés
1.	60%	270	5	0,74	200	0,74	40%	0,296	2	3	Nem megfelelő, alacsony
2.	75%	337,5	5	0,74	200	0,74	40%	0,296	3,3	3	Megfelelő

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság	Cél magasság	Megjegyzés
3.	90%	405	5	0,74	200	0,74	40%	0,296	3,1	1,6	Nem megfelelő, túl magas
4.	60%	270	5	0,74	200	0,74	50%	0,37	2,7	3	Nem megfelelő, alacsony
5.	75%	337,5	5	0,74	200	0,74	50%	0,37	4	3	Nem megfelelő, túl magas
6.	90%	405	5	0,74	200	0,74	50%	0,37	2,7	1,6	Nem megfelelő, túl magas
7.	60%	270	5	0,74	200	0,74	60%	0,444	3,1	3	Megfelelő
8.	75%	337,5	5	0,74	200	0,74	60%	0,444	4,6	3	Nem megfelelő, túl magas
9.	90%	405	5	0,74	200	0,74	60%	0,444	3,7	1,6	Nem megfelelő, túl magas

7.sz. Melléklet: Az első próba gyártások alapján módosított paraméterek

Sorszám	Teljesítmény P[%]	Teljesítmény P[W]	Sebesség v[mm/s]	Spot Size [mm]	Rétegvastagság [um]	Vonal vastagság [mm]	Overlap[%]	Hatch distance [mm]	Elért magasság	Cél magasság	Megjegyzés
10.	77,5%	348,75	5	0,74	200	0,74	40%	0,296		3	
11.	62,5%	281,25	5	0,74	200	0,74	50%	0,37		3	
12.	65,0%	292,5	5	0,74	200	0,74	50%	0,37		3	
13.	67,5%	303,75	5	0,74	200	0,74	50%	0,37		3	

8.sz. Melléklet: additív technológiával gyártott próbatestek méretei

Próbatest kód	Magasság [mm]			Szélesség [mm]	Hosszúság [mm]
	Legkisebb mért magasság	Legnagyobb mért magasság	Mértékértékek közti különbség		
Néveleges méret	5		-	11	13
1/1	7,30	10,10	2,80	14,30	15,80
1/2	6,55	7,00	0,45	12,00	14,50
1/3	5,6	6,80	1,20	12,40	14,10

Próbatest kód	Magasság [mm]			Szélesség [mm]	Hosszúság [mm]
	Legkisebb mért magasság	Legnagyobb mért magasság	Mértékértékek közti különbség		
Néveleges	5		-	11	15
2/1	3,70	4,85	1,15	11,70	15,70
2/2	4,05	5,00	0,95	12,00	15,80
2/3	3,6	4,30	0,70	11,70	15,80

Próbatest kód	Magasság [mm]			Szélesség [mm]	Hosszúság [mm]
	Legkisebb mért magasság	Legnagyobb mért magasság	Mértékértékek közti különbség		
Néveleges	5		-	11	18
3/1	3,95	5,50	1,55	11,80	19,00
3/2	4,10	5,40	1,30	11,70	18,90
3/3	5,8	6,40	0,60	12,00	19,10

9.sz. Melléklet: Forgácsolt felület felületi érdesség mérésének eredményei

Próbatest jele	Forgácsolt felület azonosítója	Marás típusa	Mérés Sorszama	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Mért értékek átlaga		Mért értékek szórása	
						Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]
1/1	1-1-1	Ellenirányú marás	1.	0,413	2,760	0,434	2,780	0,126	0,670
			2.	0,569	3,460				
			3.	0,320	2,120				
	1-1-2	Egyenirányú marás	1.	0,459	3,010	0,383	2,417	0,081	0,616
			2.	0,298	1,780				
			3.	0,392	2,460				
1/2	1-2-1	Ellenirányú marás	1.	0,387	2,374	0,357	2,561	0,027	0,193
			2.	0,348	2,550				
			3.	0,336	2,760				
	1-2-2	Egyenirányú marás	1.	0,438	4,210	0,322	2,673	0,103	1,335
			2.	0,240	1,800				
			3.	0,288	2,010				
1/3	1-3-1	Ellenirányú marás	1.	0,434	3,710	0,387	2,850	0,041	0,745
			2.	0,361	2,390				
			3.	0,366	2,450				
	1-3-2	Egyenirányú marás	1.	0,333	2,380	0,223	1,800	0,096	0,585
			2.	0,183	1,810				
			3.	0,153	1,210				

Táblázat 17: 1. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért átlagos és közepes érdesség mélységek, a mért adatok átlagával és szórásával

Próbatest jele	Forgácsolt felület azonosítója	Marás típusa	Mérés Sorszama	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Mért értékek átlaga		Mért értékek szórása	
						Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]
2/1	2-1-1	Ellenirányú marás	1.	1,571	8,79	1,066	7,203	0,450	1,585
			2.	0,918	7,2				
			3.	0,708	5,62				
	2-1-2	Egyenirányú marás	1.	1,138	6,57	0,746	5,443	0,354	0,986
			2.	0,649	5,02				
			3.	0,451	4,74				
2/2	2-2-1	Ellenirányú marás	1.	0,782	4,1	0,687	3,757	0,083	0,302
			2.	0,655	3,64				
			3.	0,625	3,53				
	2-2-2	Egyenirányú marás	1.	0,29	2,21	0,267	2,273	0,034	0,251
			2.	0,228	2,06				
			3.	0,284	2,55				
2/3	2-3-1	Ellenirányú marás	1.	0,331	2,47	0,322	2,203	0,008	0,371
			2.	0,316	1,78				
			3.	0,318	2,36				
	2-3-2	Egyenirányú marás	1.	0,441	3,6	0,361	2,930	0,069	0,665
			2.	0,323	2,27				
			3.	0,319	2,92				

Táblázat 18: 2. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért átlagos és közepes érdesség mélységek, a mért adatok átlagával és szórásával

Próbatest jele	Forgácsolt felület azonosítója	Marás típusa	Mérés Sorszama	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Mért értékek átlaga		Mért értékek szórása	
						Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]	Átlagos érdesség Ra [μm]	Közepes érdesség mélység Rz [μm]
3/1	3-1-1	Ellenirányú marás	1.	0,273	1,81	0,255	1,593	0,022	0,196
			2.	0,231	1,43				
			3.	0,261	1,54				
	3-1-2	Egyenirányú marás	1.	0,252	1,93	0,323	2,210	0,084	0,538
			2.	0,301	1,87				
			3.	0,416	2,83				
3/2	3-2-1	Ellenirányú marás	1.	0,281	2,54	0,296	2,300	0,013	0,210
			2.	0,301	2,15				
			3.	0,305	2,21				
	3-2-2	Egyenirányú marás	1.	0,425	2,98	0,406	2,867	0,031	0,196
			2.	0,37	2,64				
			3.	0,424	2,98				
3/3	3-3-1	Ellenirányú marás	1.	0,311	2,36	0,405	2,843	0,164	0,837
			2.	0,31	2,36				
			3.	0,595	3,81				
	3-3-2	Egyenirányú marás	1.	0,219	2,05	0,288	2,247	0,065	0,182
			2.	0,347	2,41				
			3.	0,299	2,28				

Táblázat 19: 3. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért átlagos és közepes érdesség mélységek, a mért adatok átlagával és szórásával

10.sz. Melléklet: Mikrokeménység mérés eredményei

Próba test kód	1/1		1/2		1/3	
Marás típusa	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás
Mérés sorszáma	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)
1.	765,6	701,7	806,8	797,4	692,2	652,4
2.	763,4	717,4	790,4	752,6	851,4	692,2
3.	949,5	756,9	809,2	964,8	759,1	632,1
4.	875,1	682,8	914	894,3	883,2	585,3
5.	795	763,4	940,4	846,3	776,7	637,1
6.	785,8	673,6	958,6	772,3	851,4	697,9
7.	690,3	681,1	779	806,8	688,4	690,3
8.	779	707,5	886	859,2	911,2	657,6
9.	838,7	654,1	843,7	765,6	854	719,4
10.	774,5	609,6	883,2	799,7	735,7	679,1
Átlag	801,7	694,8	861,1	825,9	800,3	664,3
Szórás	67,3	43,6	61,1	62,6	76,1	37,5

Táblázat 20: 1. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért mikrokeménységek, azok átlaga és szórása

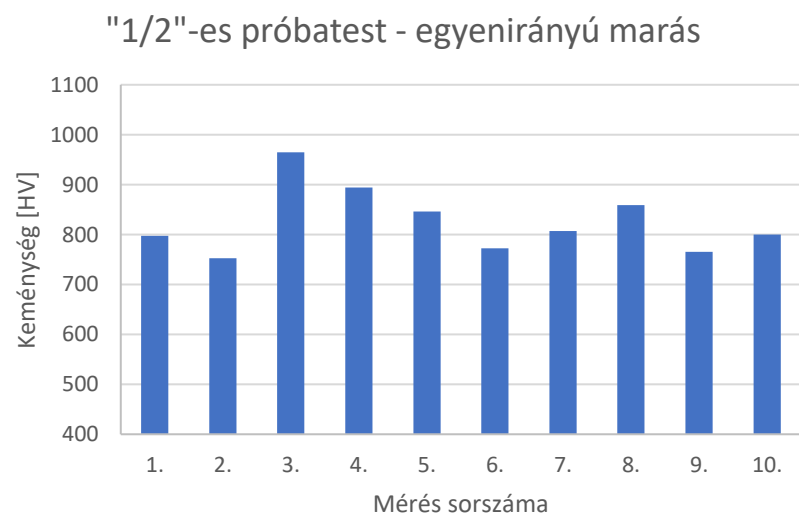
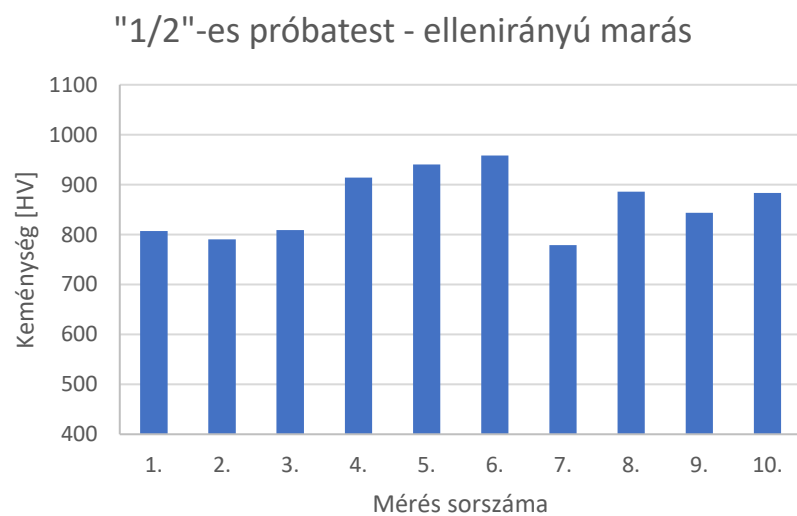
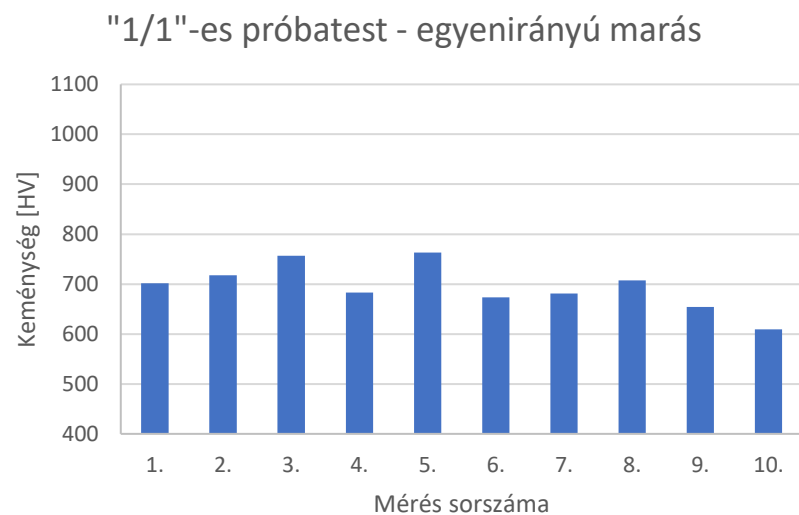
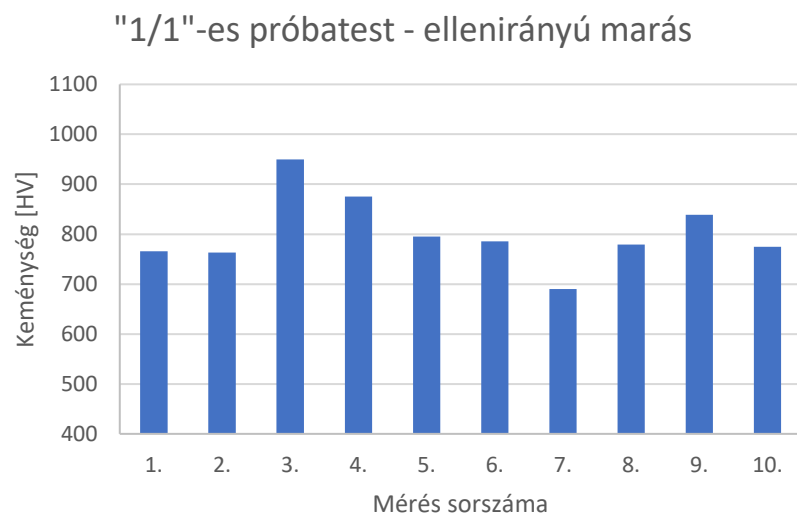
Próba test kód	2/1		2/2		2/3	
Marás típusa	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás
Mérés sorszáma	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)
1.	600,3	643,8	614,3	614,3	595,8	559,7
2.	547,6	649,9	601,9	591,3	630,4	493,4
3.	533,2	576,6	638,7	537,1	673,6	542,3
4.	628,8	647,2	637,1	579,5	654,1	604,9
5.	570,9	534,5	601,9	538,4	721,4	563,9
6.	612,7	640,4	609,6	589,8	662,9	483,3
7.	591,3	572,3	617,5	559,7	788,1	547,6
8.	677,3	614,3	670	591,3	776,7	625,5
9.	622,3	661,1	688,4	575,2	619,1	598,8
10.	594,3	612,7	664,6	555,6	579,5	483,3
Átlag	597,9	615,3	634,4	573,2	670,2	550,3
Szórás	39,5	39,5	29,2	23,8	67,9	48,5

Táblázat 21: 2. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért mikrokeménységek, azok átlaga és szórása

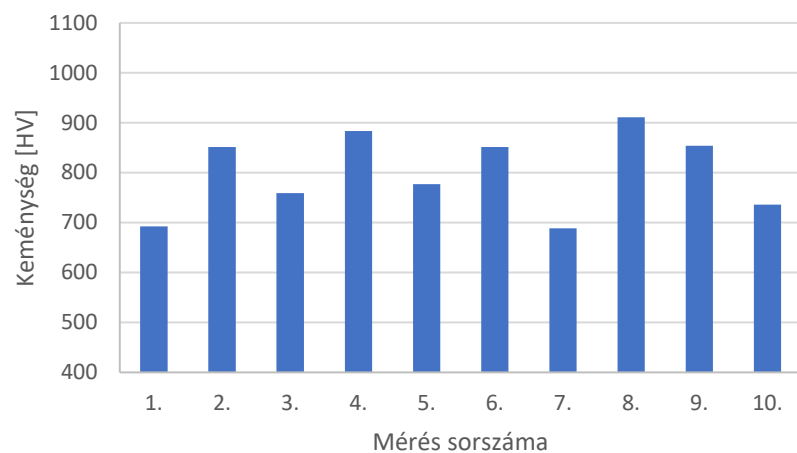
Próba test kód	3/1		3/2		3/3	
Marás típusa	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás	Ellenirányú marás	Egyenirányú marás
Mérés sorszáma	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)	Mikrokeménység (HV)
1.	967,9	821,3	790,4	877,8	744,1	671,8
2.	987	790,4	804,4	908,3	701,7	620,7
3.	1013,3	797,7	759,1	809,2	552,9	623,9
4.	977,4	733,7	843,7	838,7	623,9	657,6
5.	987	759,1	841,2	752,6	476,8	666,4
6.	952,5	699,8	767,8	765,6	742	661,1
7.	993,5	888,7	754,7	867,1	688,4	713,4
8.	897	916,9	788,1	762,7	625,5	714,4
9.	996,7	996,7	779	697,9	833,6	666,4
10.	928,5	949,5	828,7	781,3	794,4	681
Átlag	970,1	835,4	795,7	806,1	678,3	667,7
Szórás	33,4	93,1	31,1	62,5	104,3	29,6

Táblázat 22: 3. alaptesten található próbatestek forgácsolt felületein mért mikrokeménységek, azok átlaga és szórása

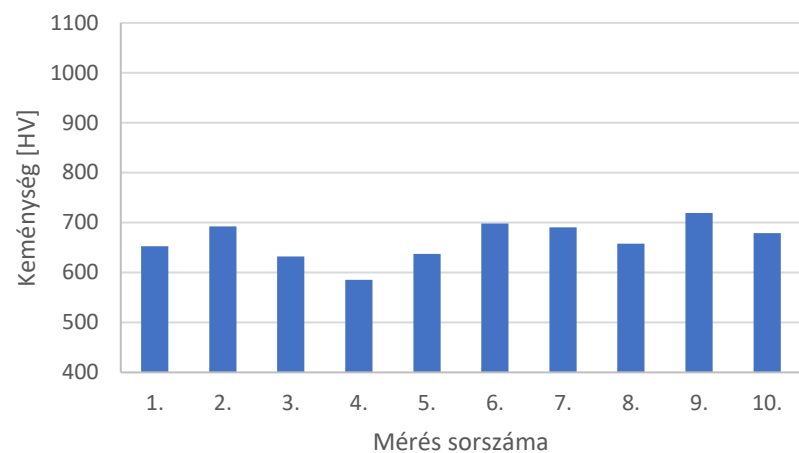
11.sz. Melléklet: Mikrokeménység mérés eredményei grafikusán ábrázolva



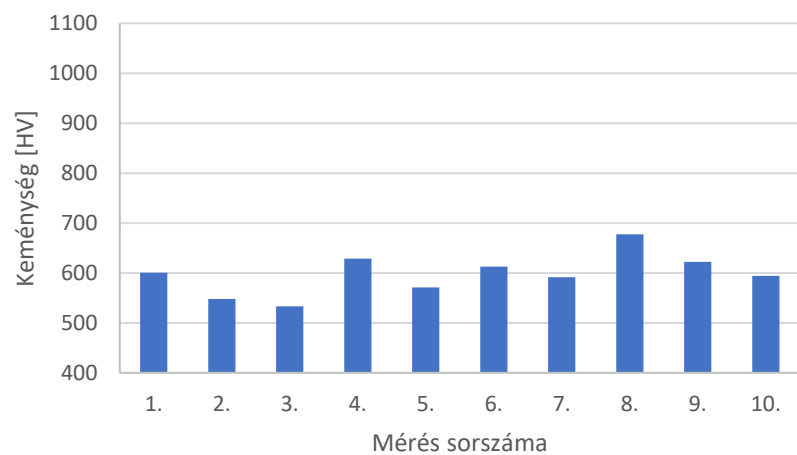
"1/3"-as próbatest - ellenirányú marás



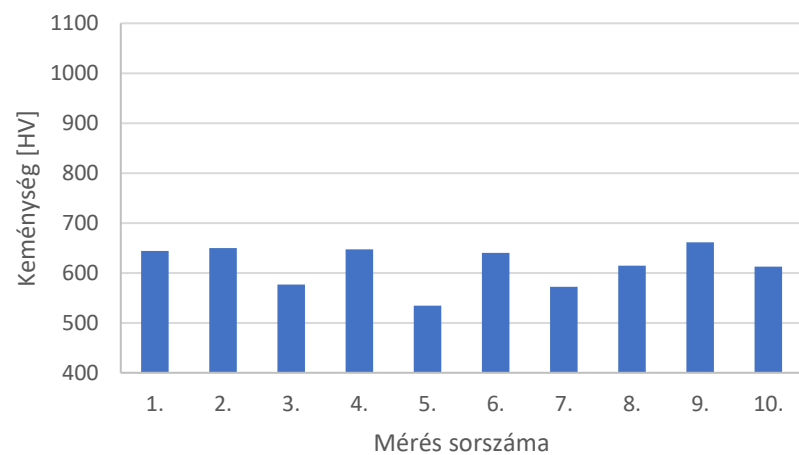
"1/3"-es próbatest - egyenirányú marás



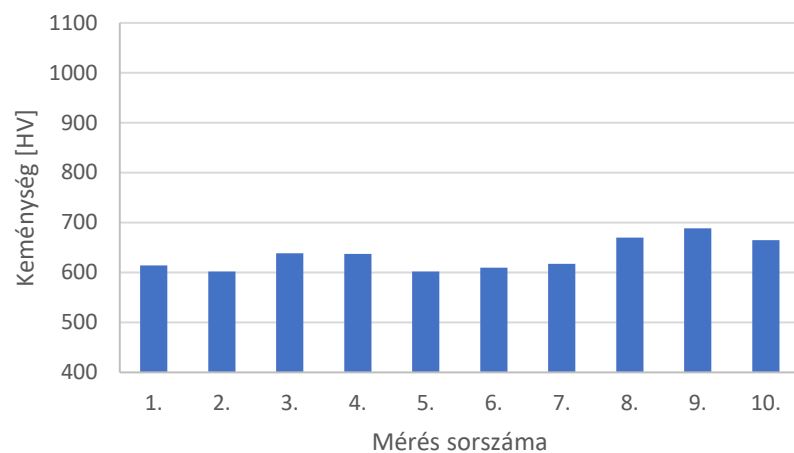
"2/1"-es próbatest - ellenirányú marás



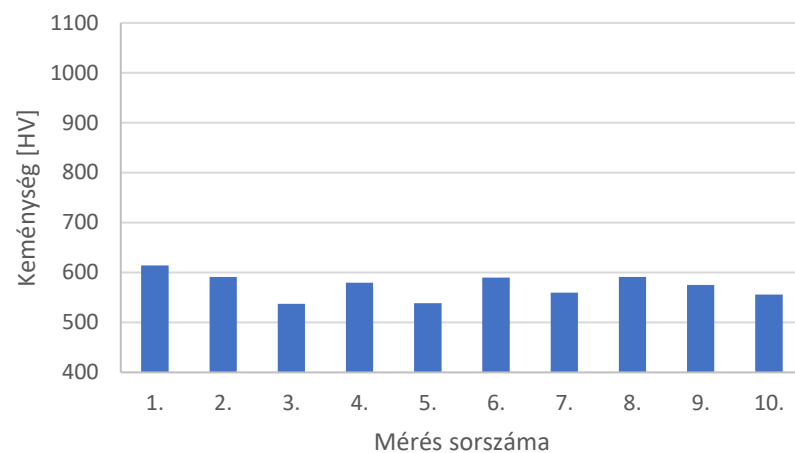
"2/1"-es próbatest - egyenirányú marás



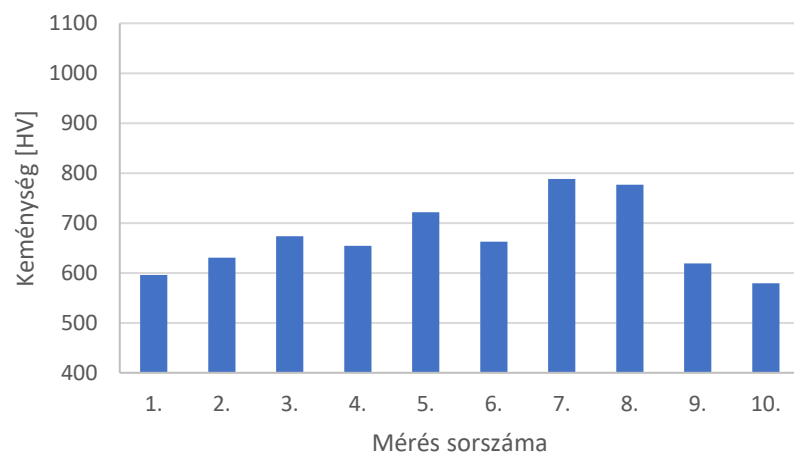
"2/2"-es próbatest - ellenirányú marás



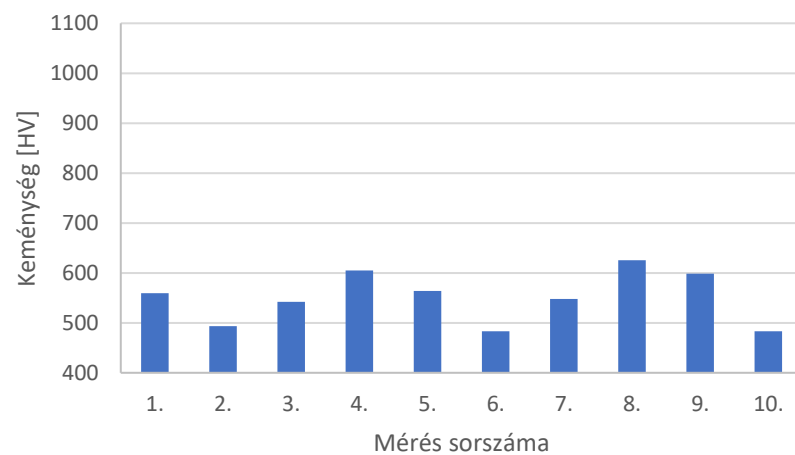
"2/2"-es próbatest - egyenirányú marás



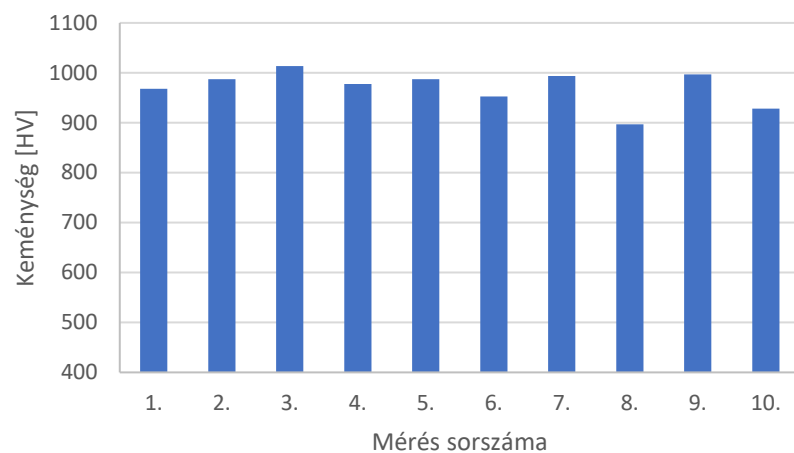
"2/3"-as próbatest - ellenirányú marás



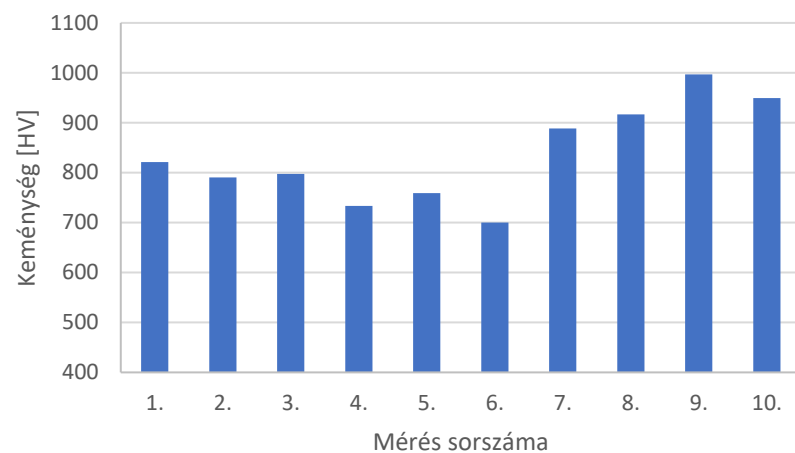
"2/3"-es próbatest - egyenirányú marás



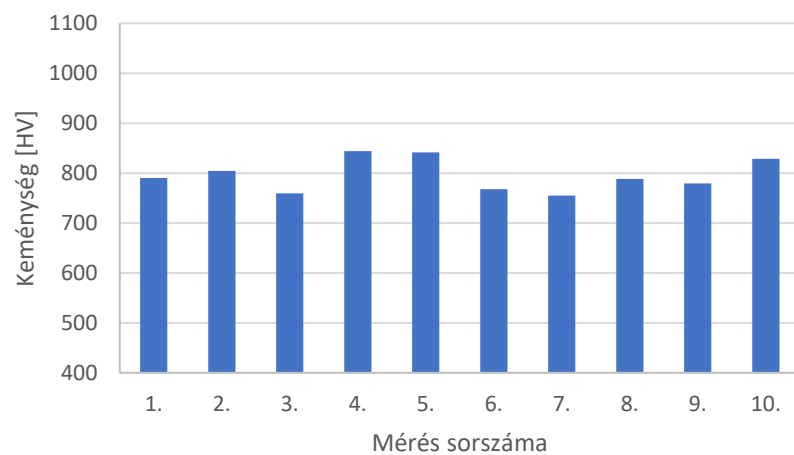
"3/1"-es próbatest - ellenirányú marás



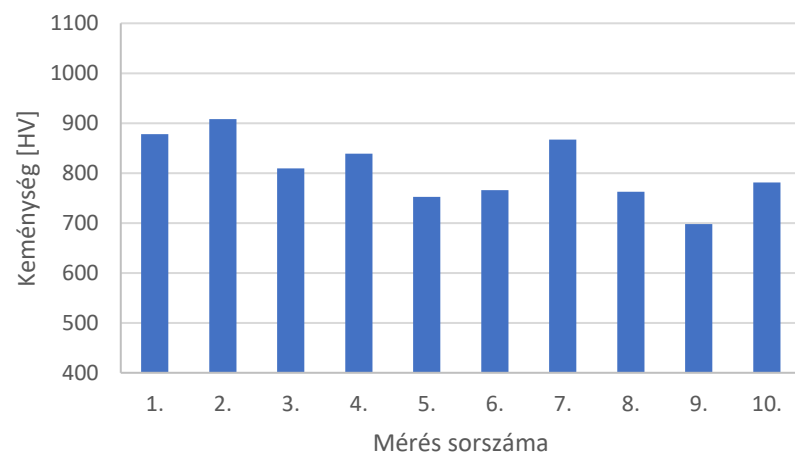
"3/1"-es próbatest - egyenirányú marás



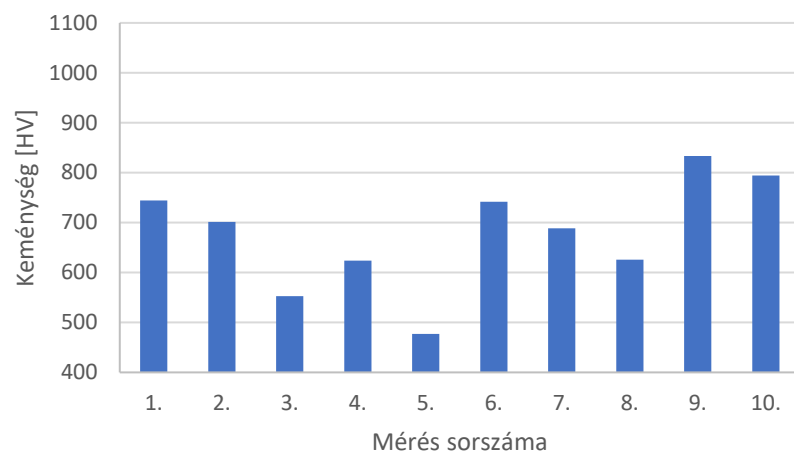
"3/2"-es próbatest - ellenirányú marás



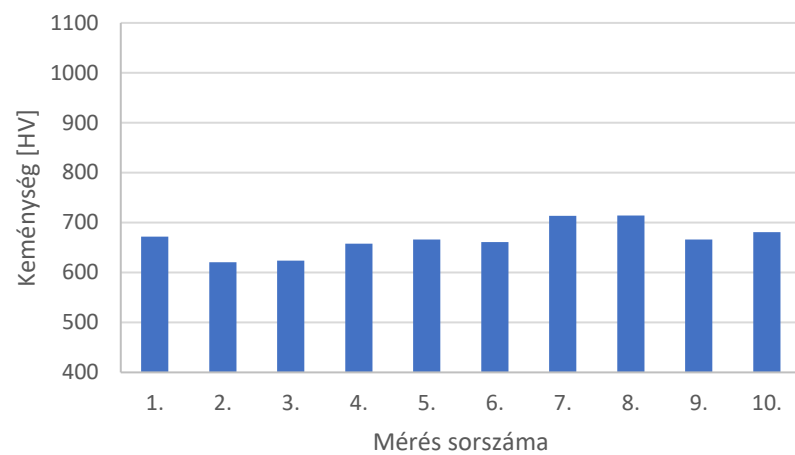
"3/2"-es próbatest - egyenirányú marás



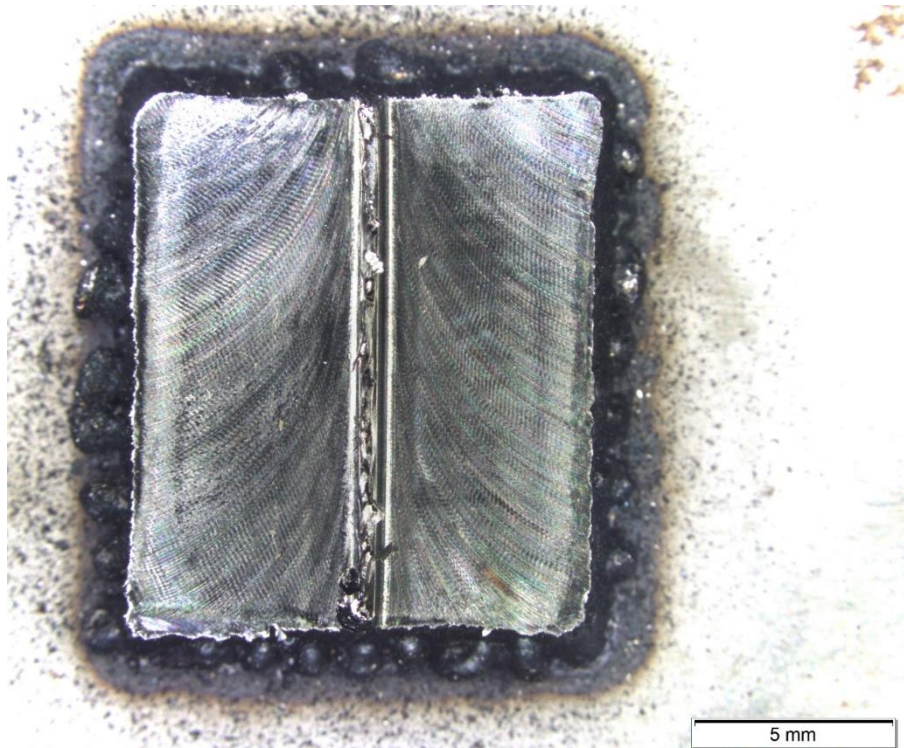
"3/3"-as próbatest - ellenirányú marás



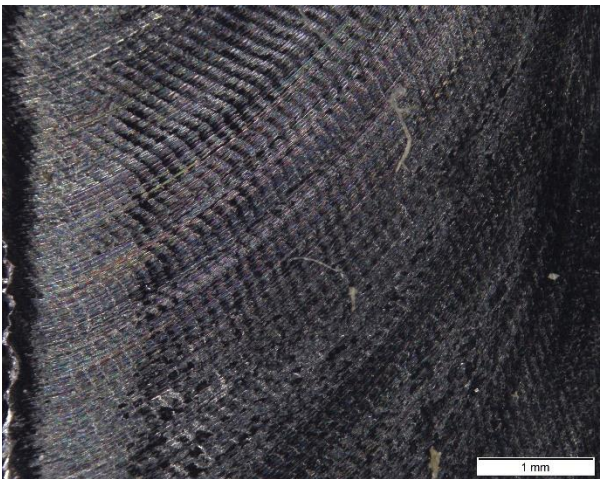
"3/3"-es próbatest - egyenirányú marás



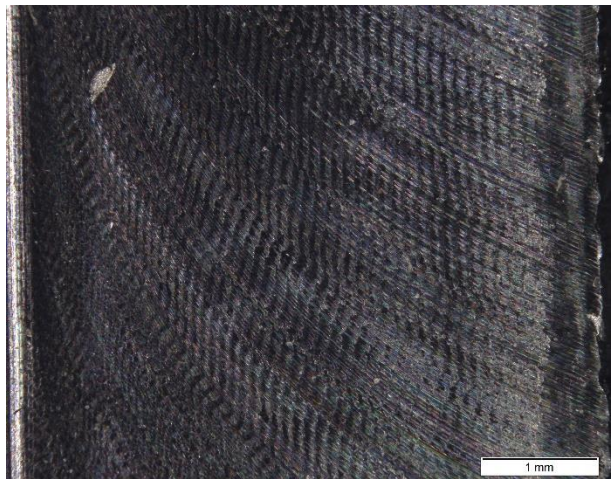
12.sz. Melléklet forgácsolt felületekről készített mikroszkópos felvételek



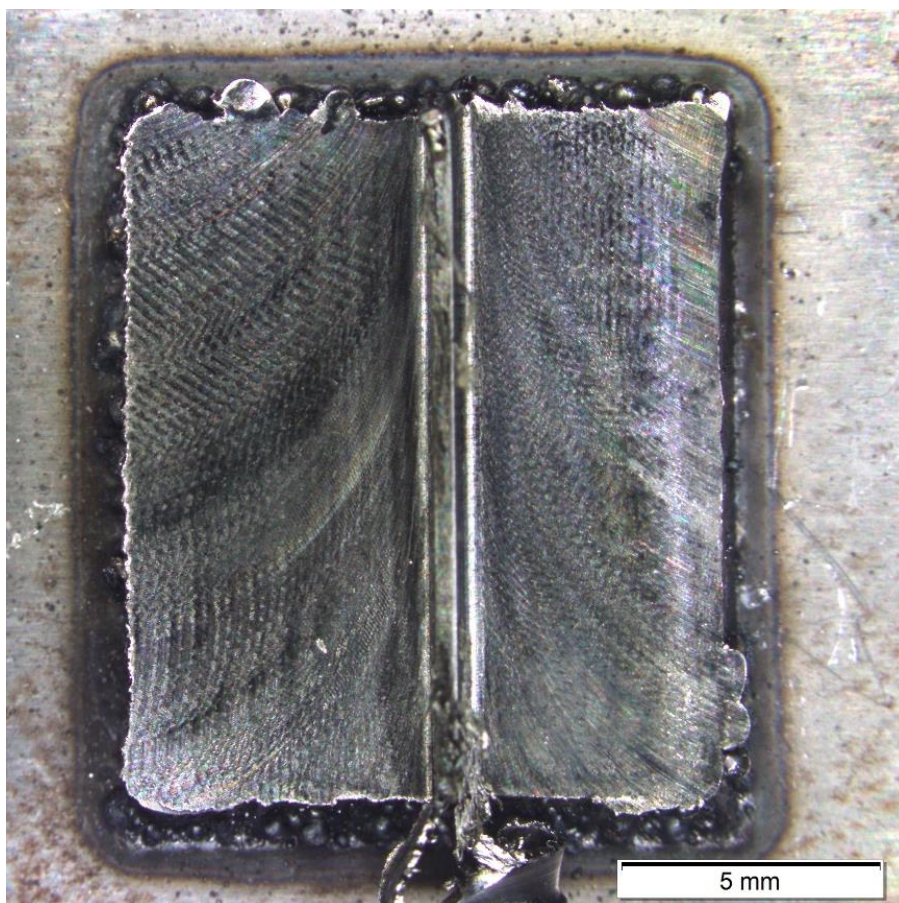
Kép 21: "1/1" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



Kép 22: "1/1"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



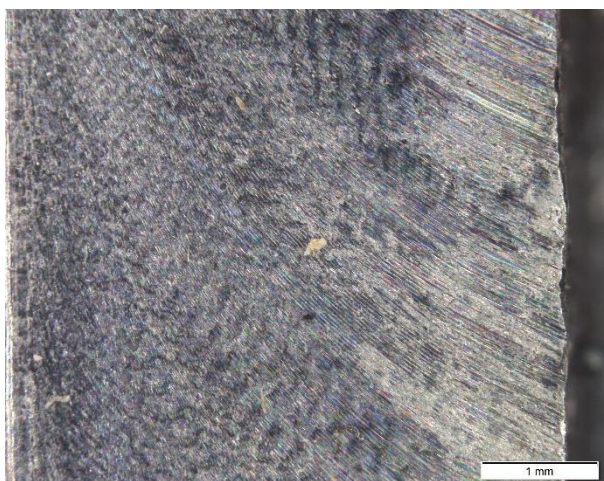
Kép 23: "1/1"-es próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



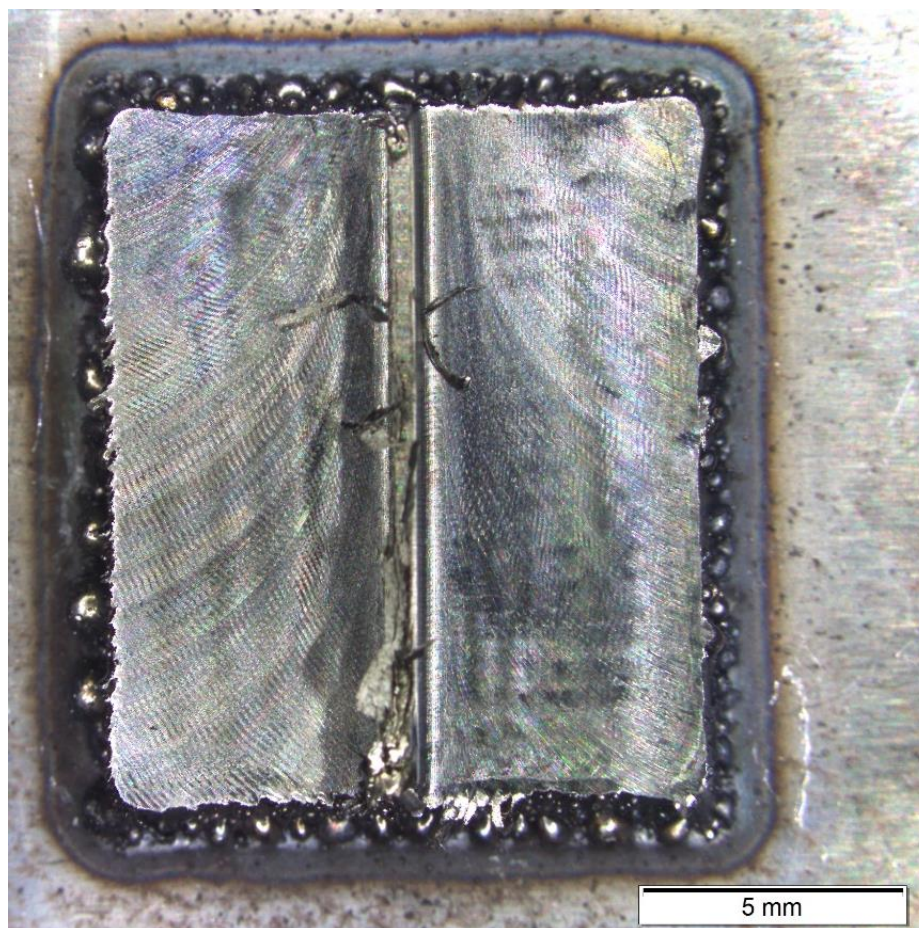
Kép 24: "1/2" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



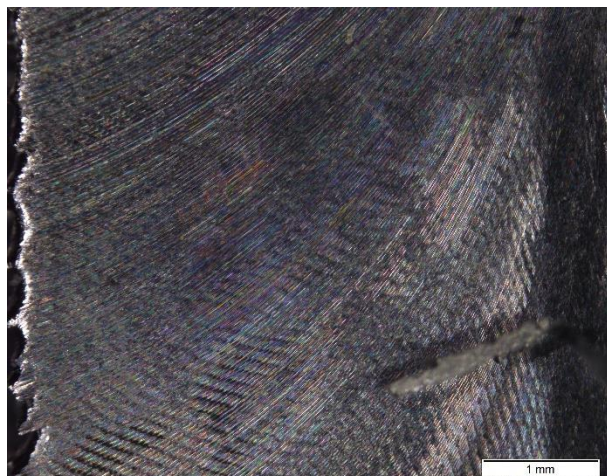
Kép 25: "1/2"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



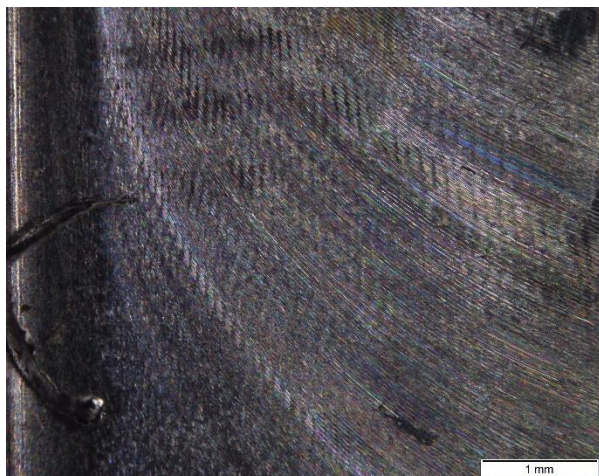
Kép 26: "1/2"-es próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



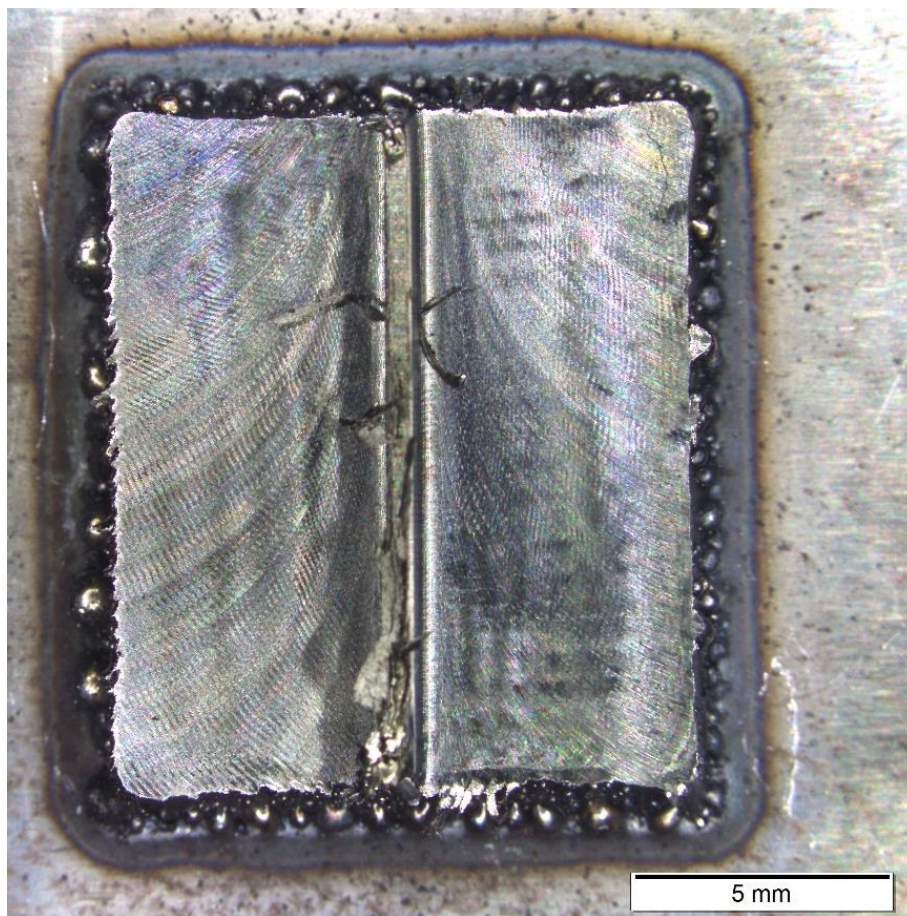
Kép 27: "1/3"-as próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



Kép 28: "1/3"-as próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



Kép 29: "1/3"-as próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



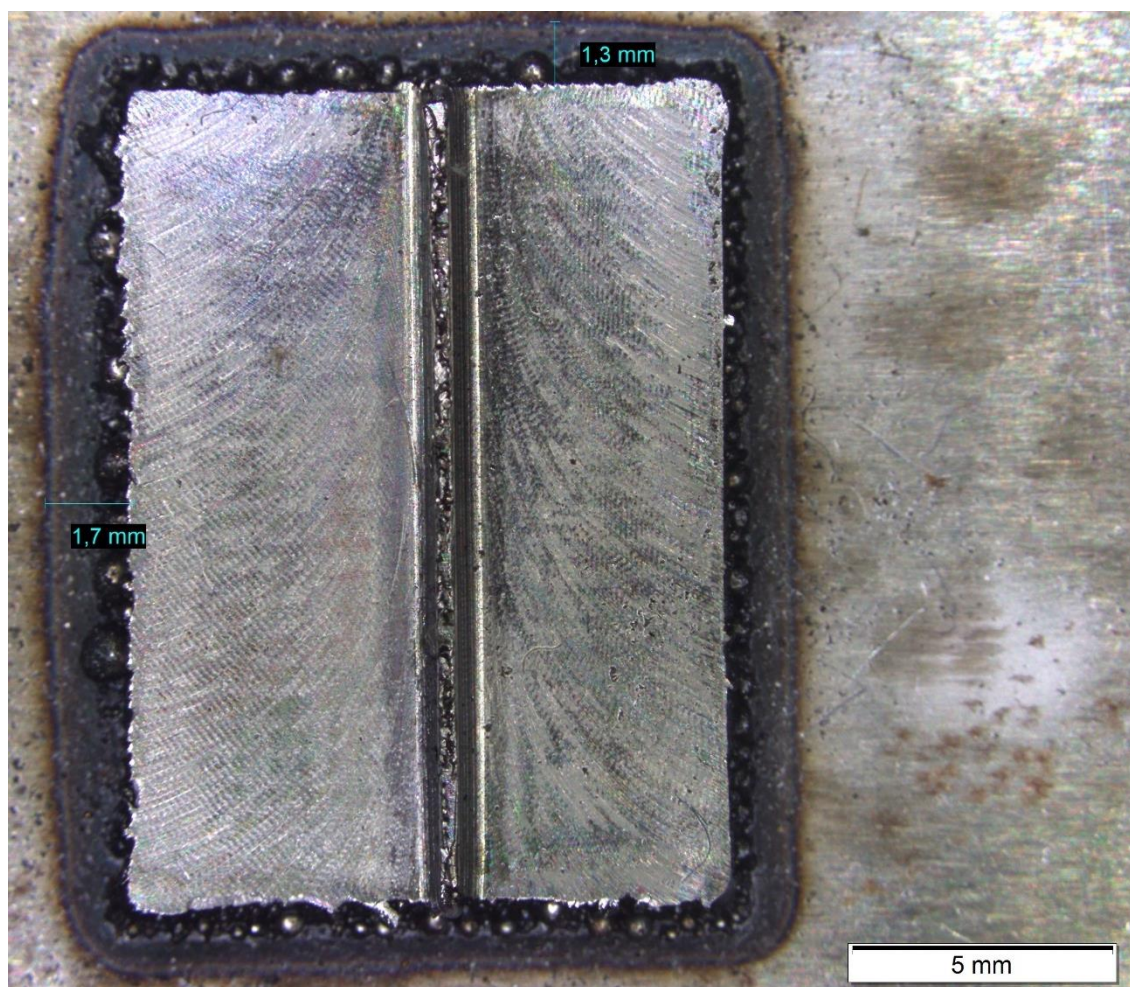
Kép 30: "2/1"-es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



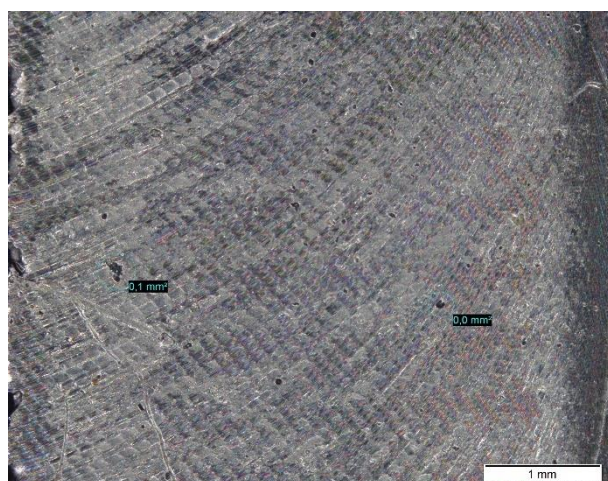
Kép 31: "2/1"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



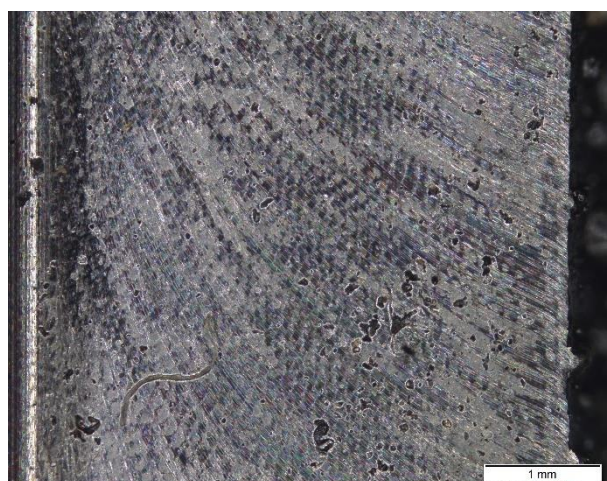
Kép 32: "2/1"-es próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



Kép 33: "2/2"-es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



Kép 34: "2/2"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



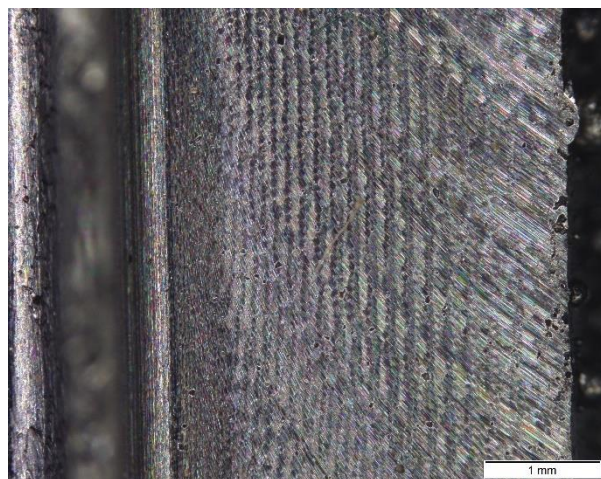
Kép 35: "2/2"-es próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



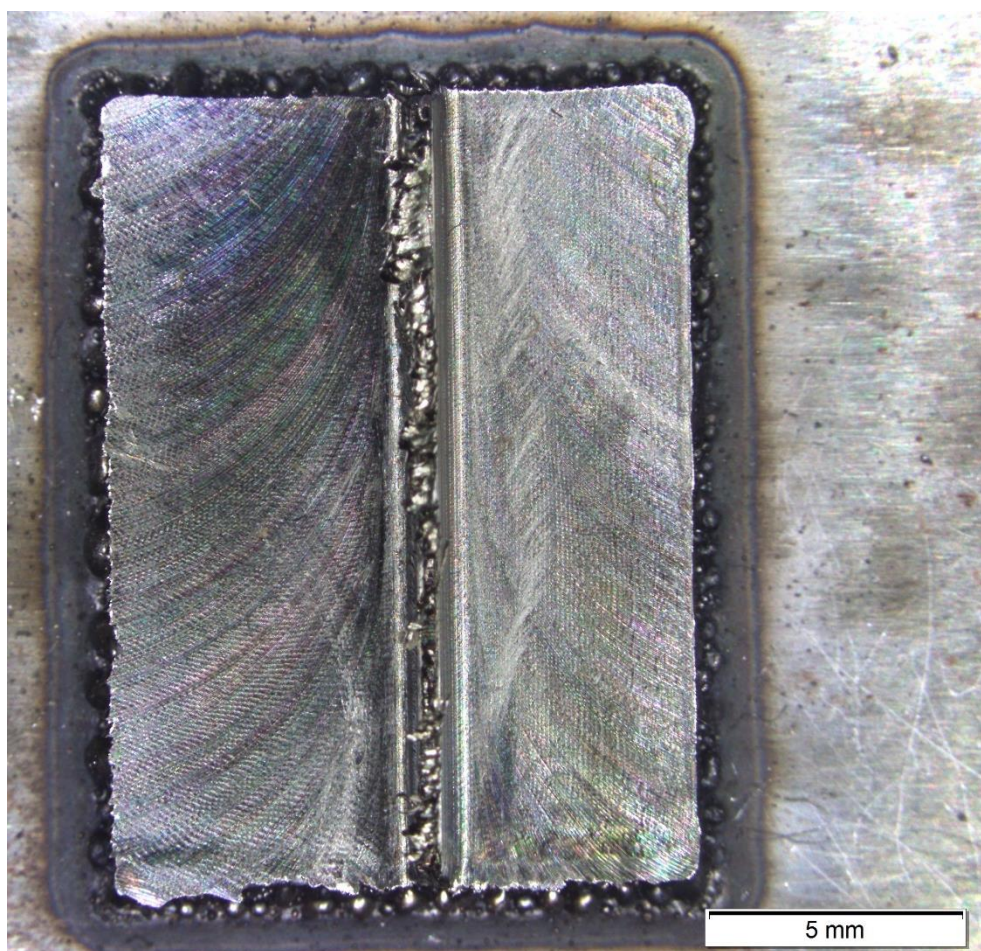
Kép 36: "2/3" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



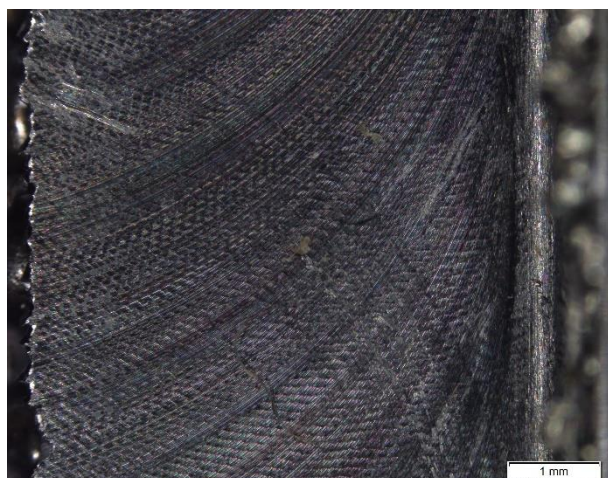
Kép 37: "2/3"-as próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



Kép 38: "2/3"-as próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



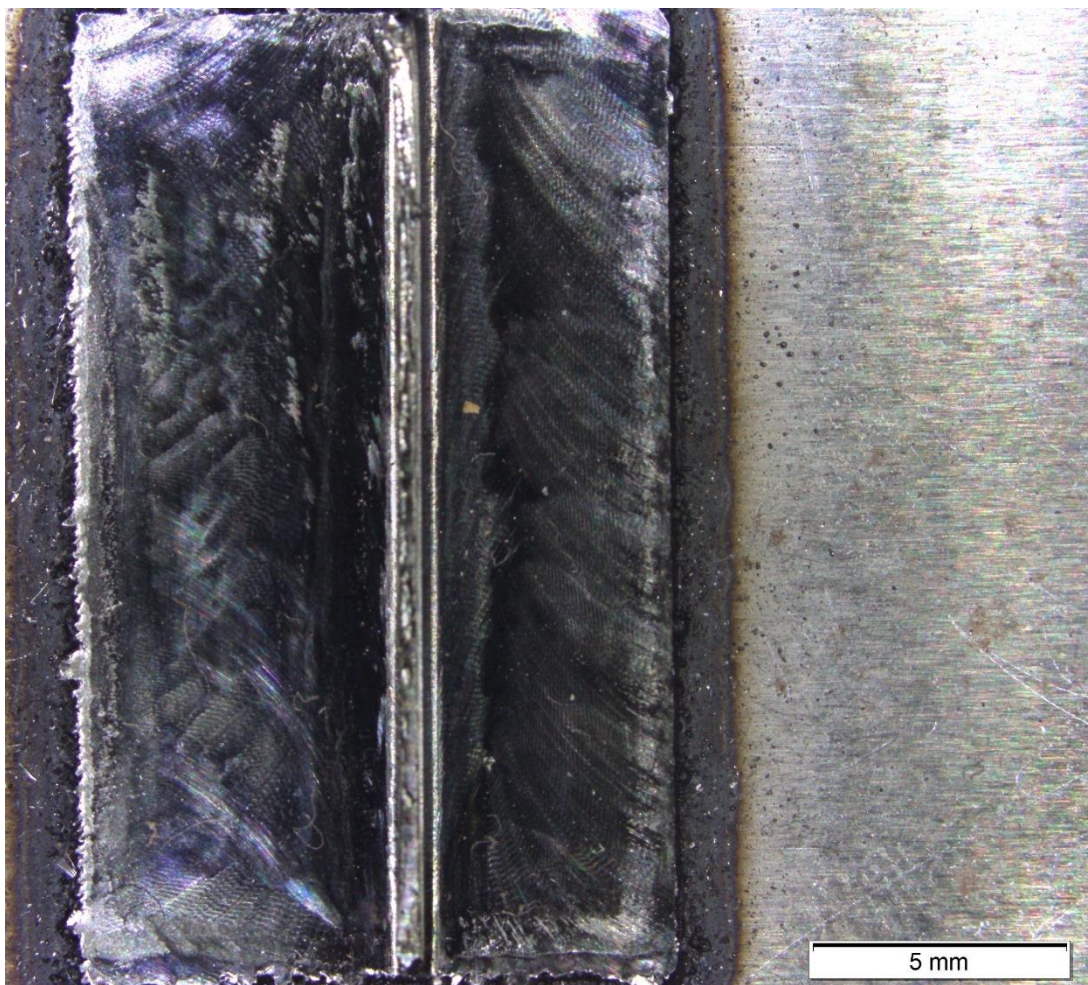
Kép 39: "3/1" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



Kép 40: "3/1"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



Kép 41: "3/1"-es próbatest egyenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



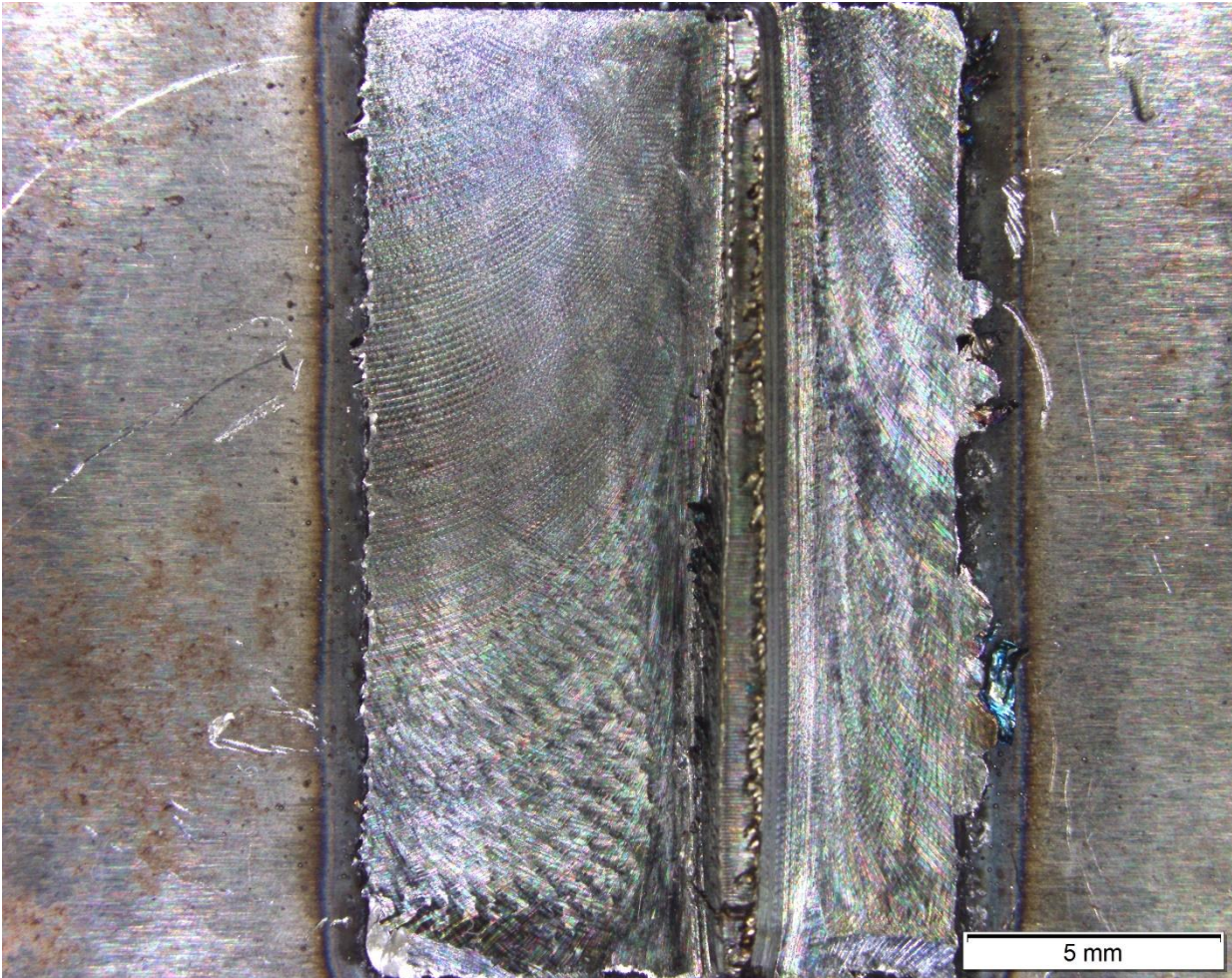
Kép 42: "3/2" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.



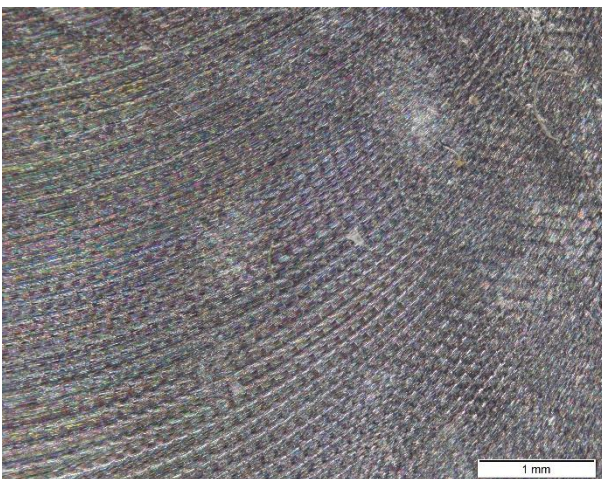
Kép 43: "3/2"-es próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



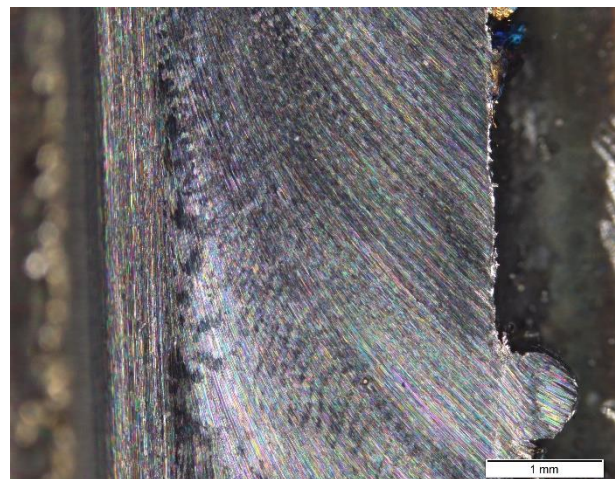
Kép 44: "3/2"-as próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.



Kép 45: "3/3" - es próba test forgácsolt felületeiről készült mikroszkópi felvétel.

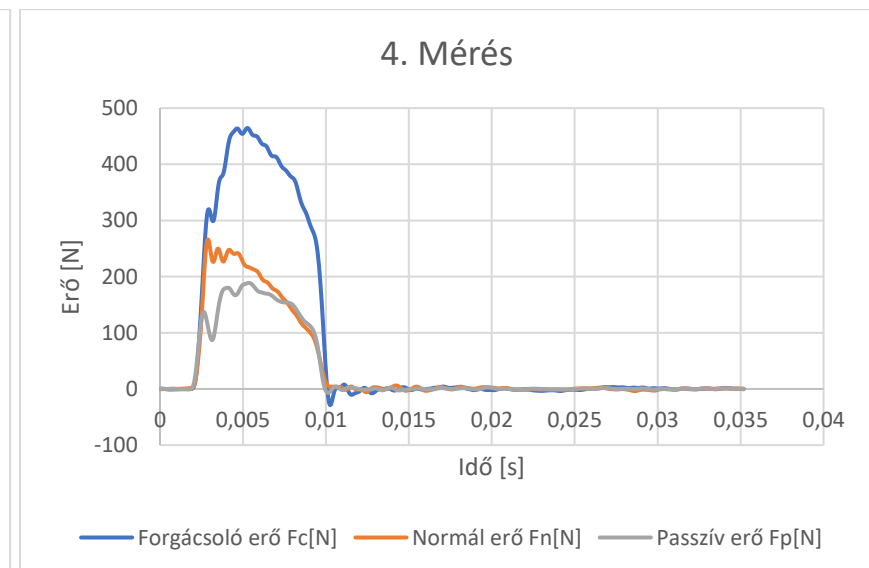
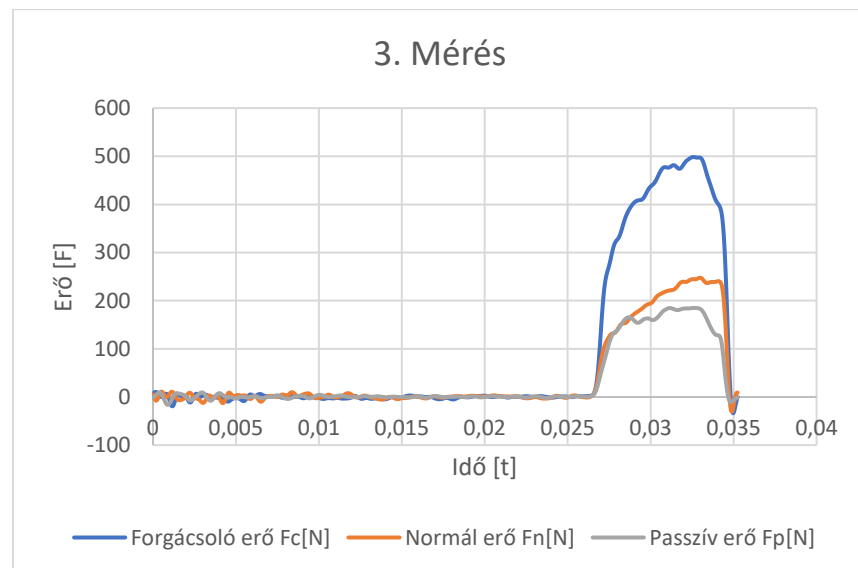
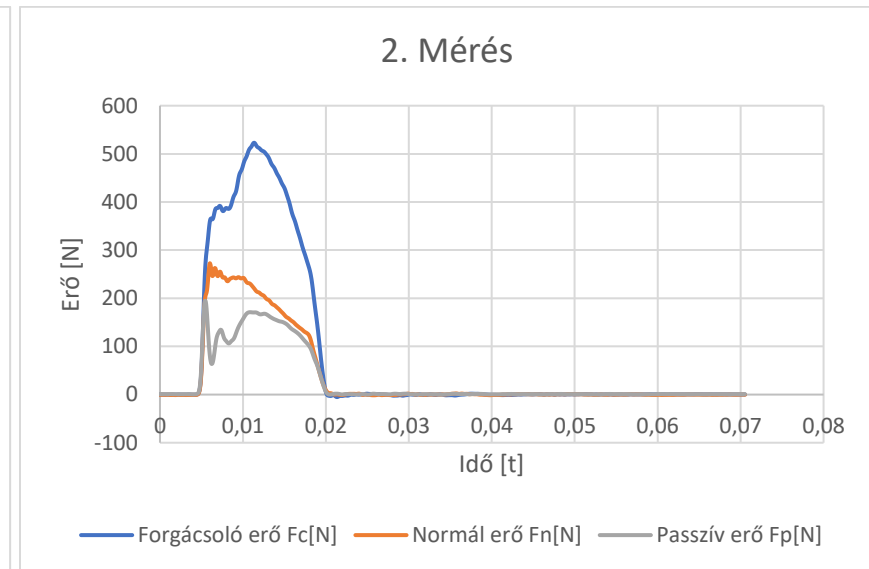
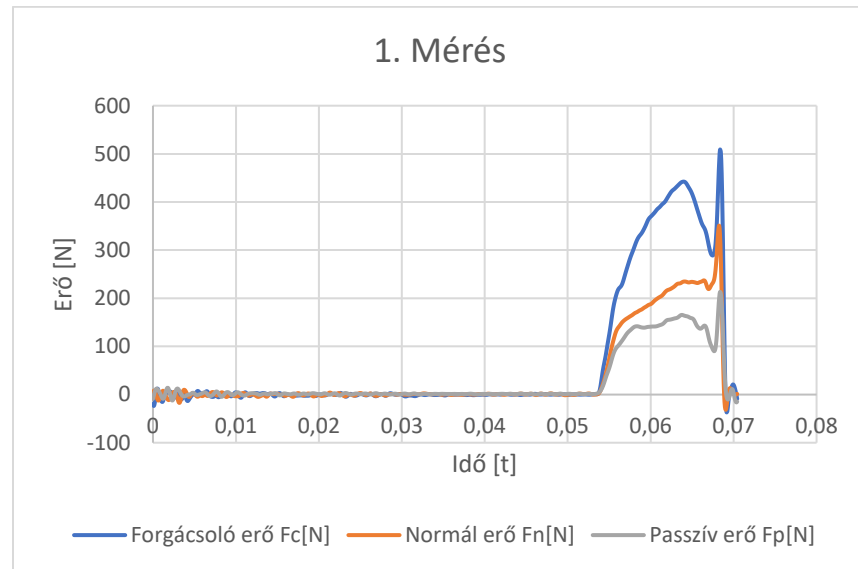


Kép 46: "3/3"-as próbatest ellenirányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.

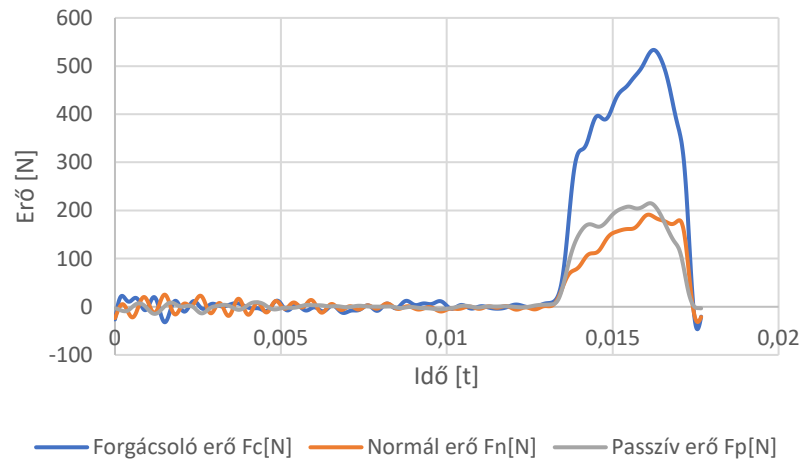


Kép 47: "3/3"-as próbatest egyenirányú irányú marással előállított felületéről készült mikroszkópi kép.

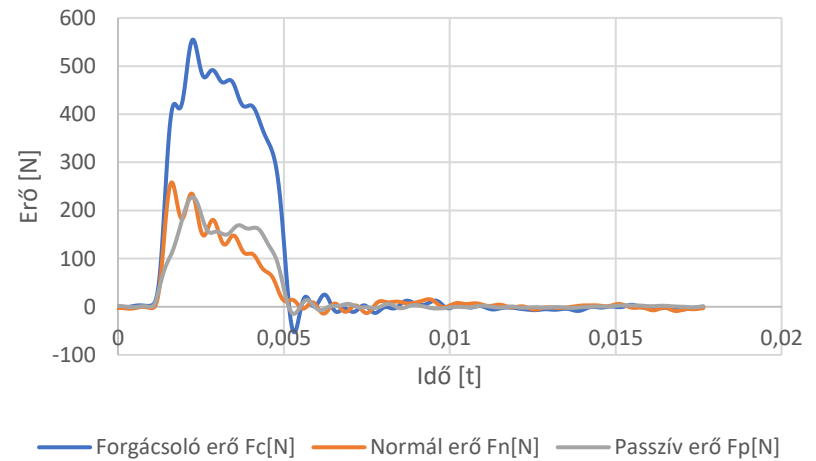
13.sz. Melléklet: Mért forgácsoló erő komponensek grafikonon ábrázolva



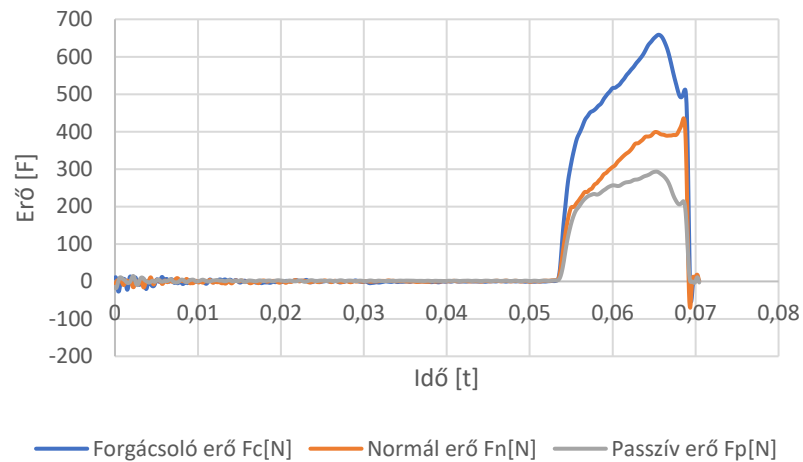
5. Mérés



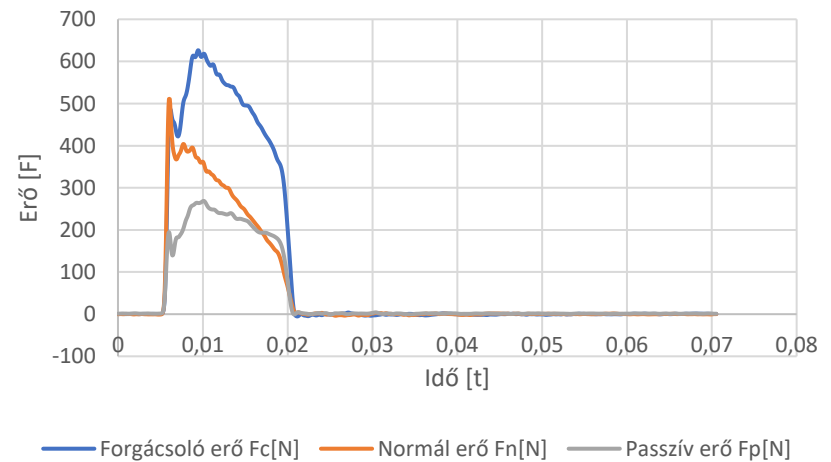
6. Mérés



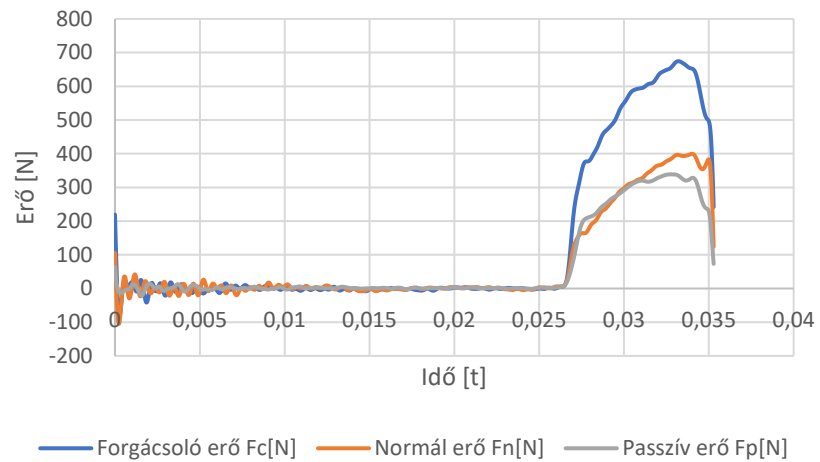
7. Mérés



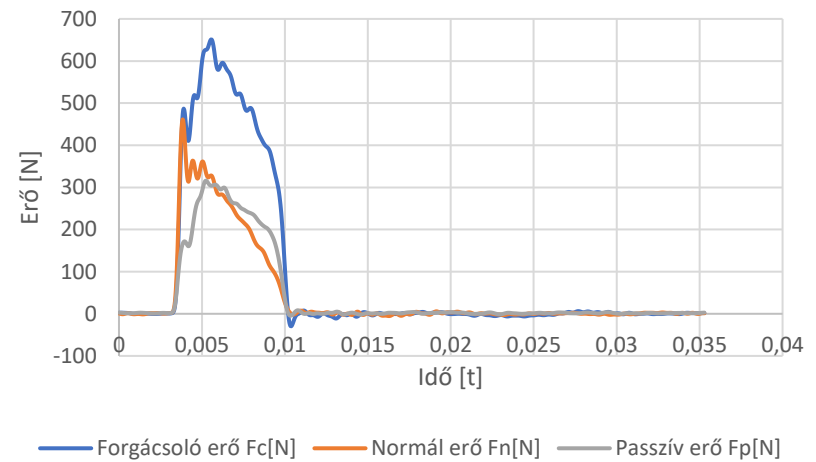
8. Mérés



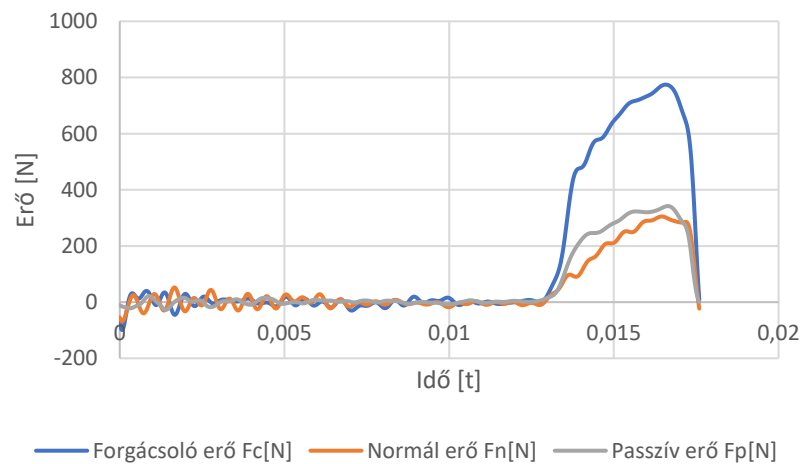
9. Mérés



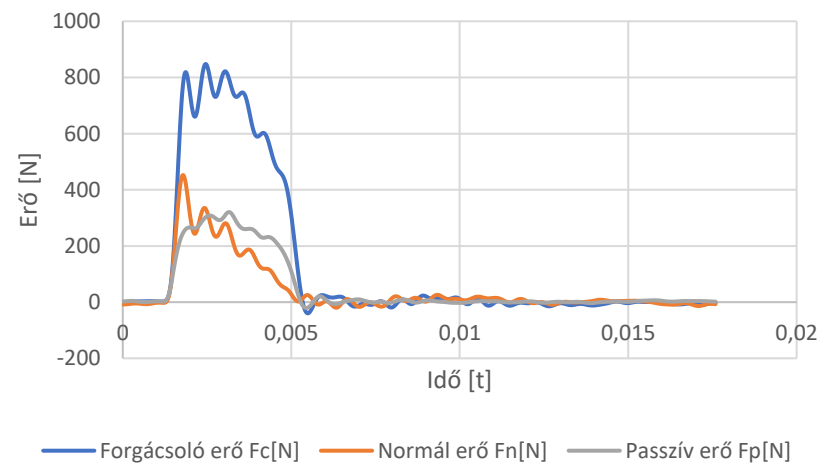
10. Mérés



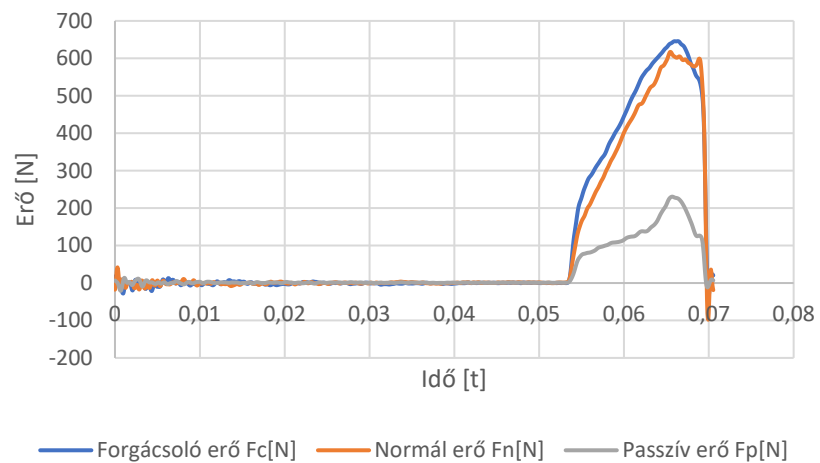
11. Mérés



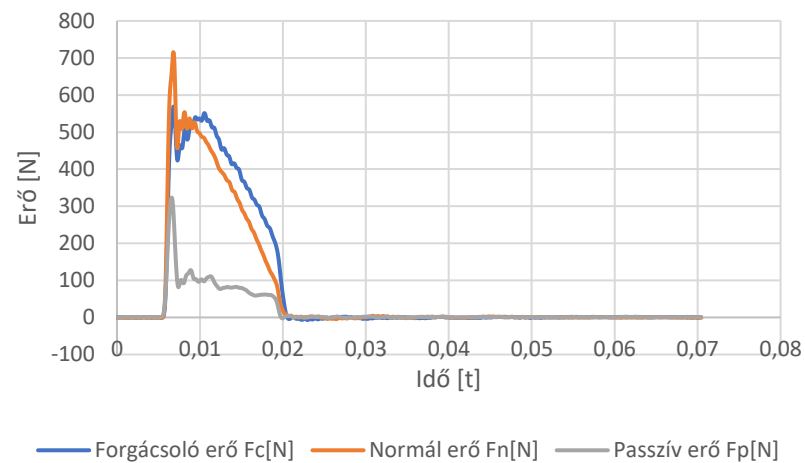
12. Mérés



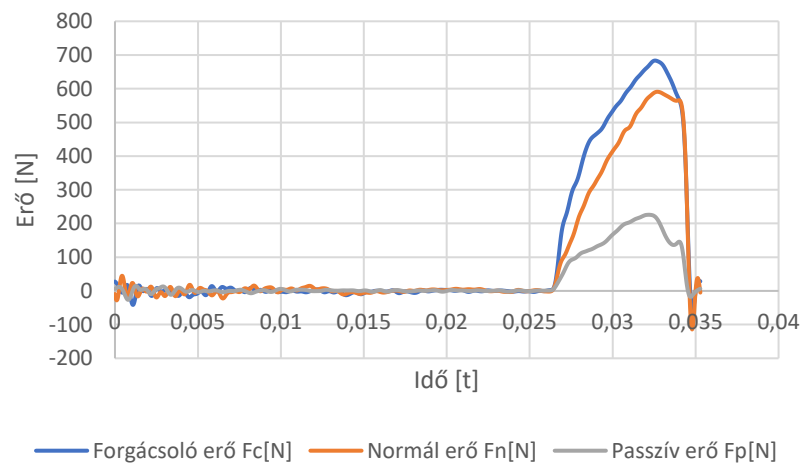
13. Mérés



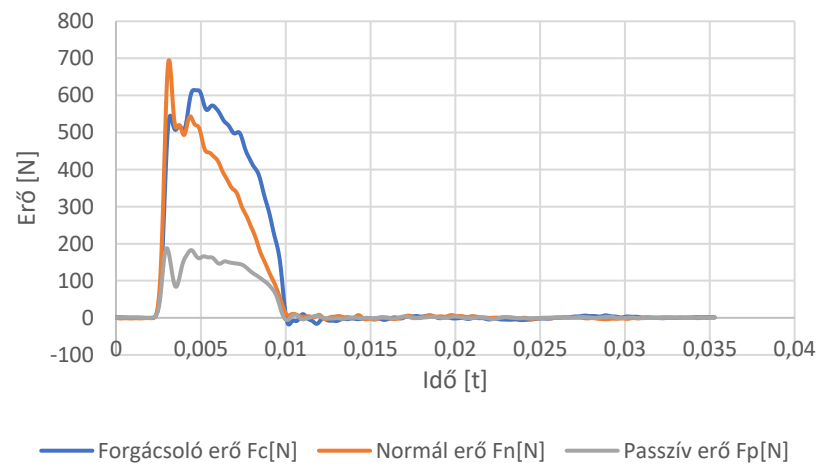
14. Mérés



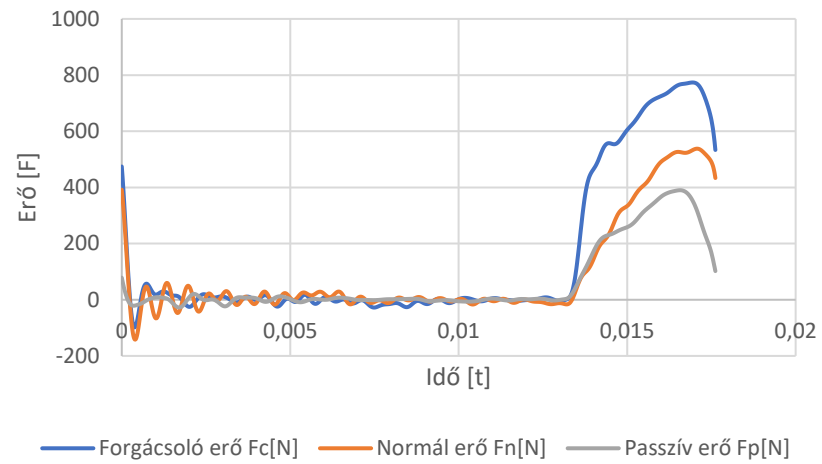
15. Mérés



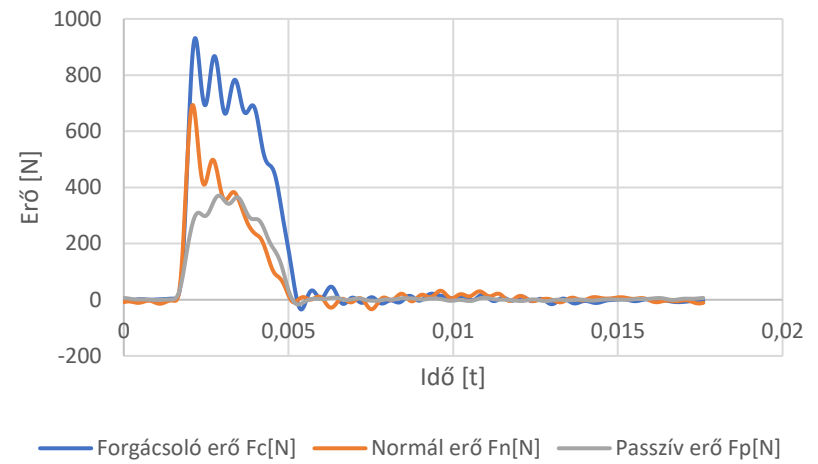
16. mérés



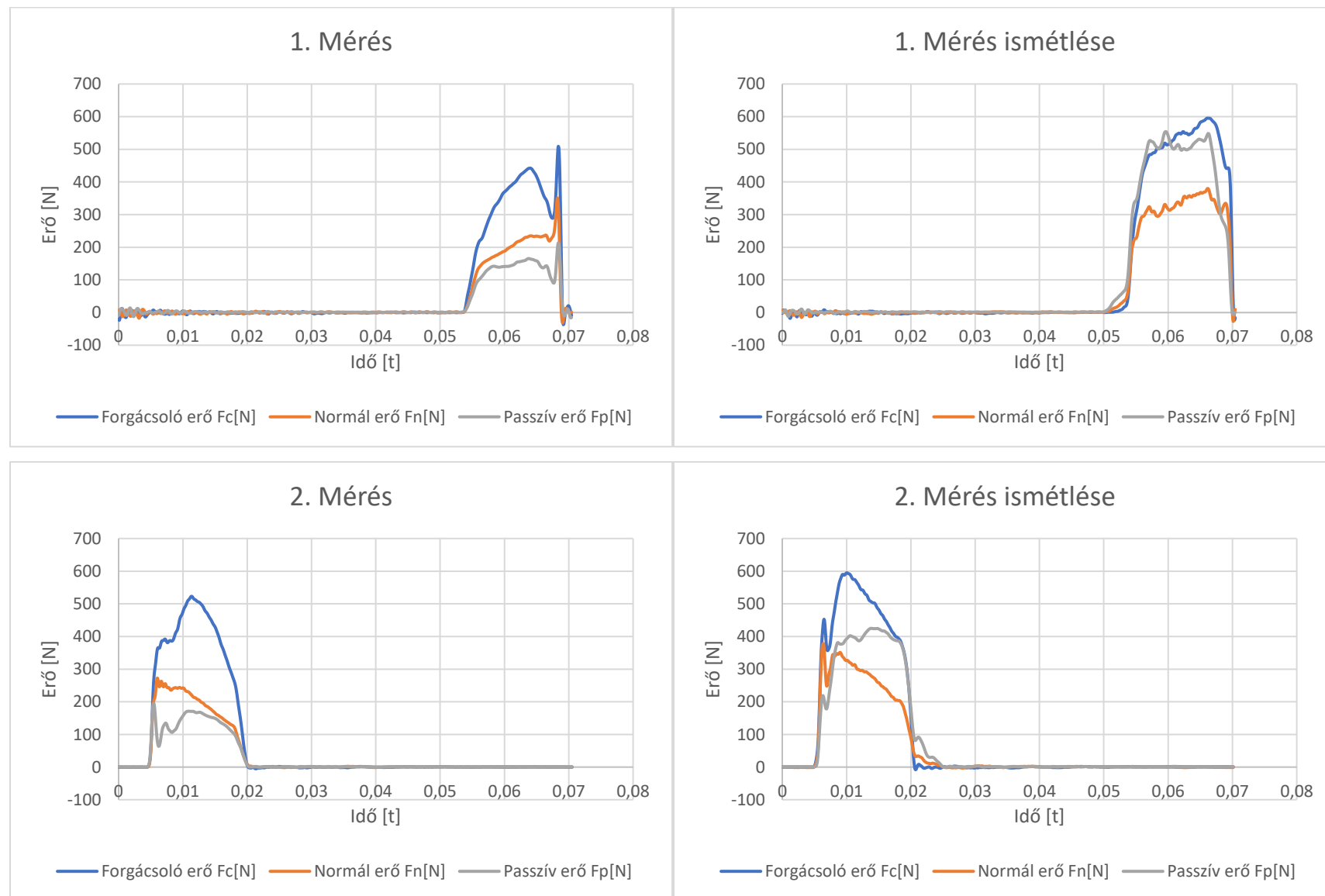
17. Mérés



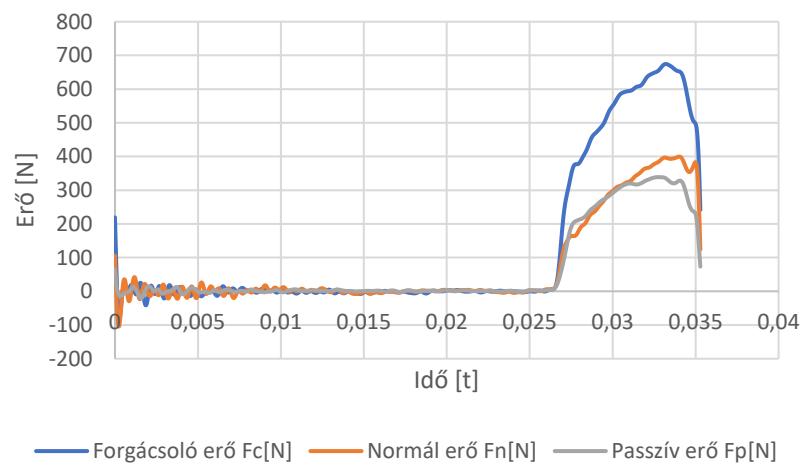
18. Mérés



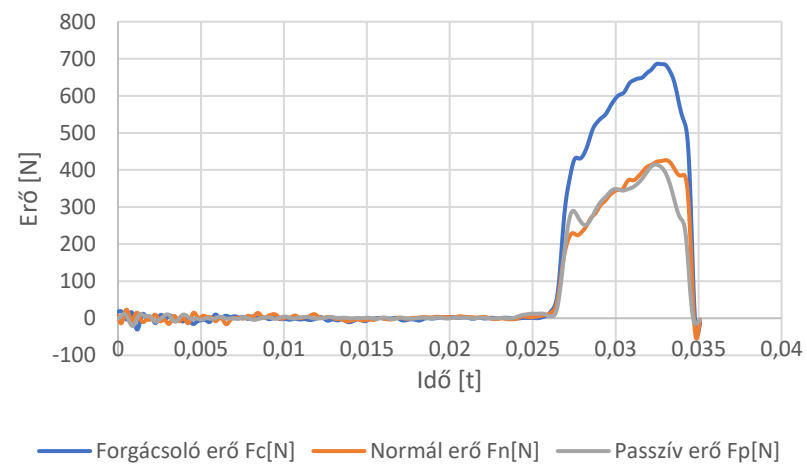
14.sz. Melléklet: A mért forgácsoló erők és az ismétlő mérések grafikonon ábrázolva



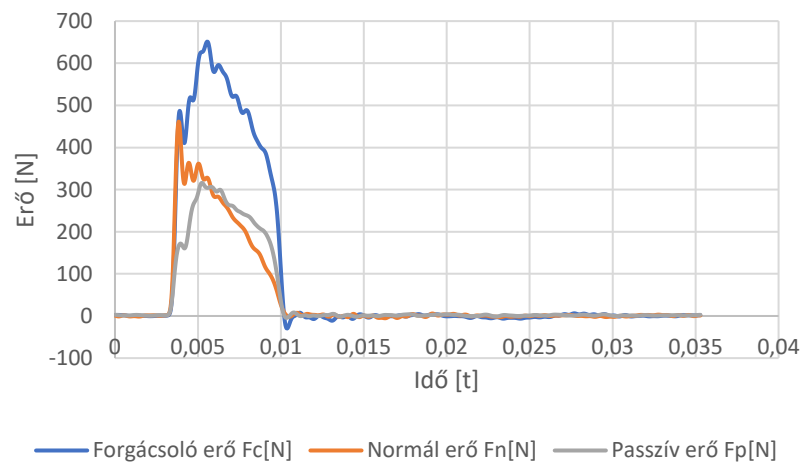
9. Mérés



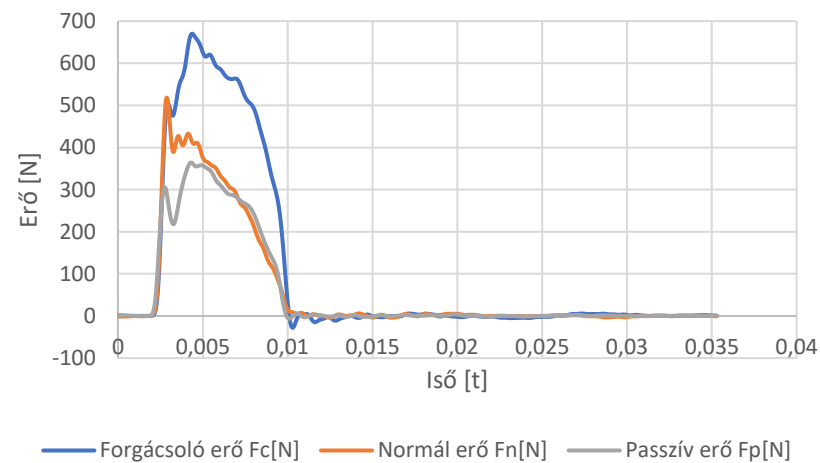
9. Mérés ismétlése



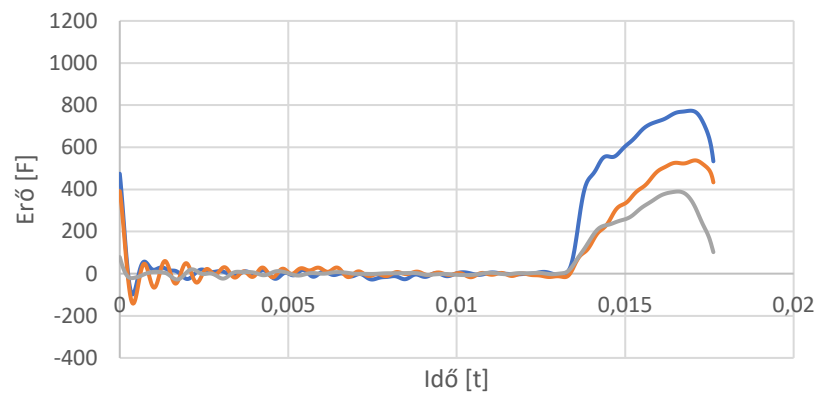
10. Mérés



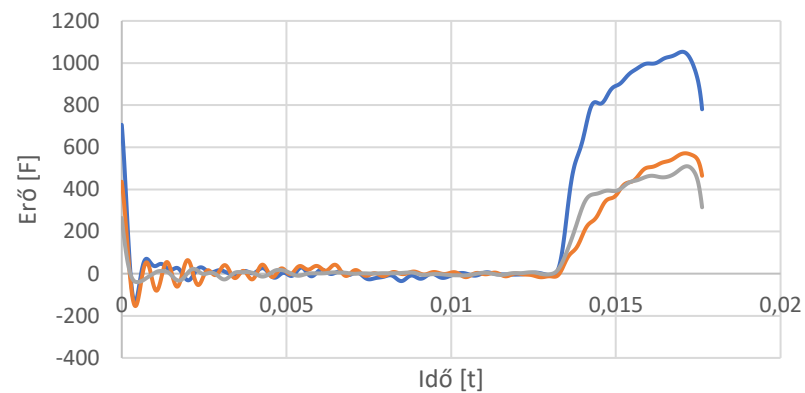
10. Mérés ismétlése



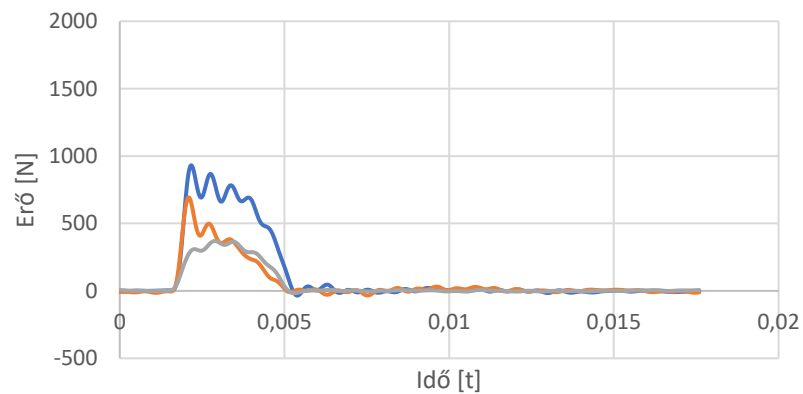
17. Mérés



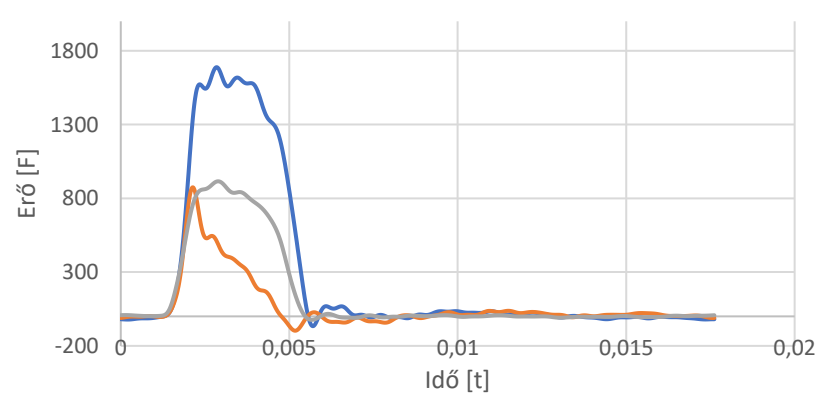
17. Mérés Ismétlése



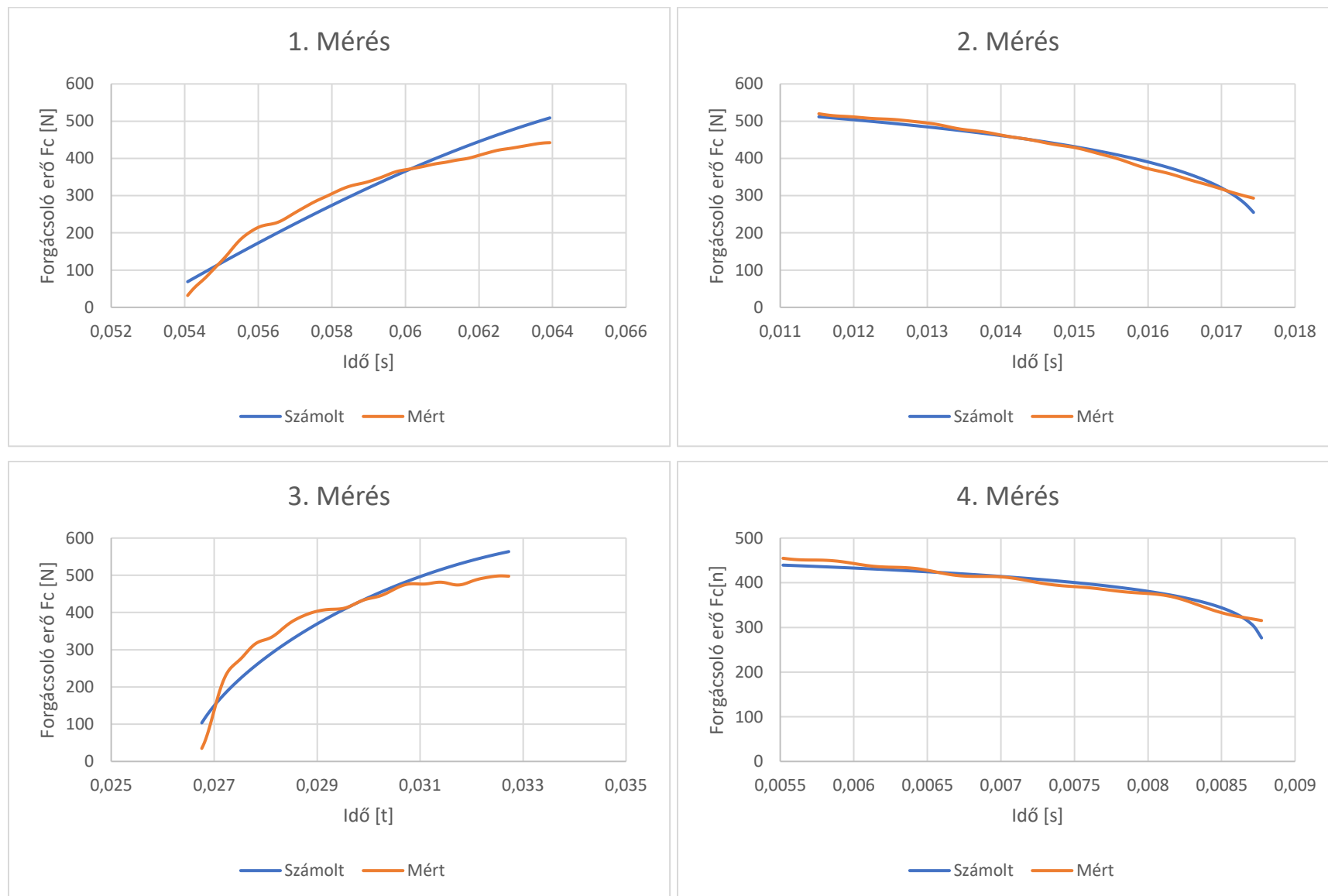
18. Mérés



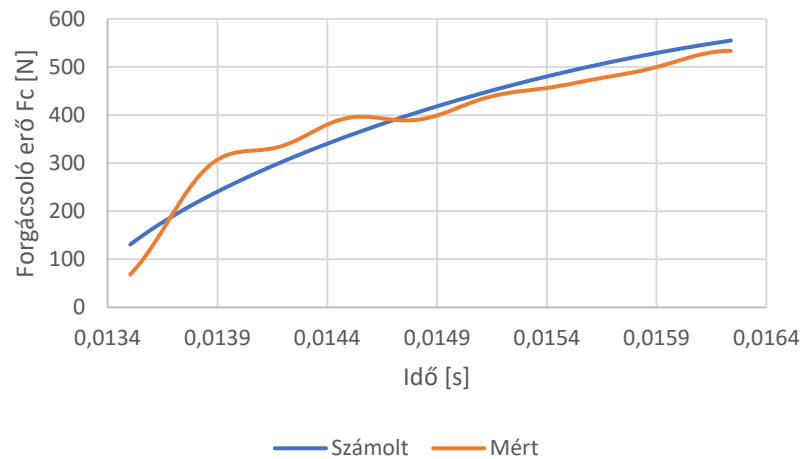
18. Mérés ismétlése



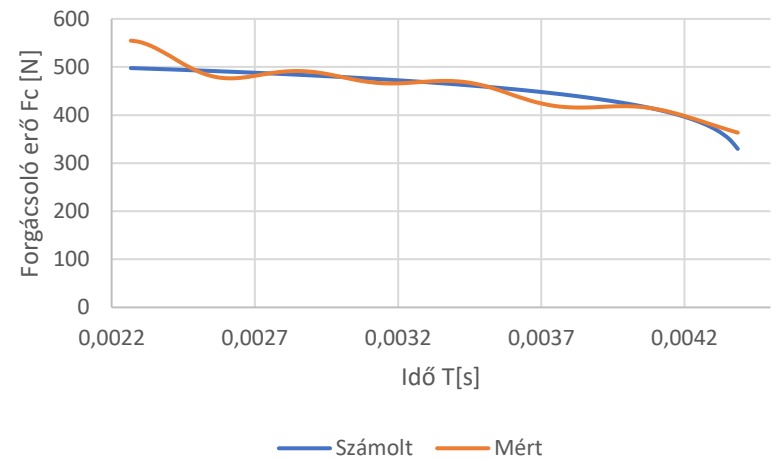
15.sz. Melléklet: A mért forgácsoló erők és a számolt forgácsoló erők grafikonon ábrázolva



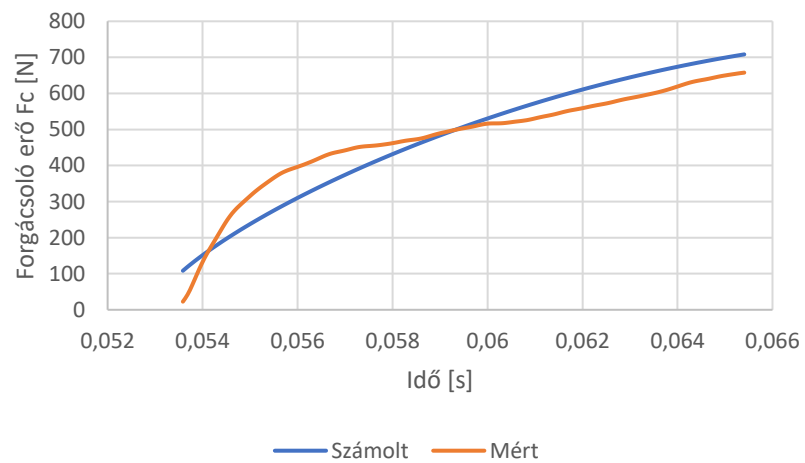
5. Mérés



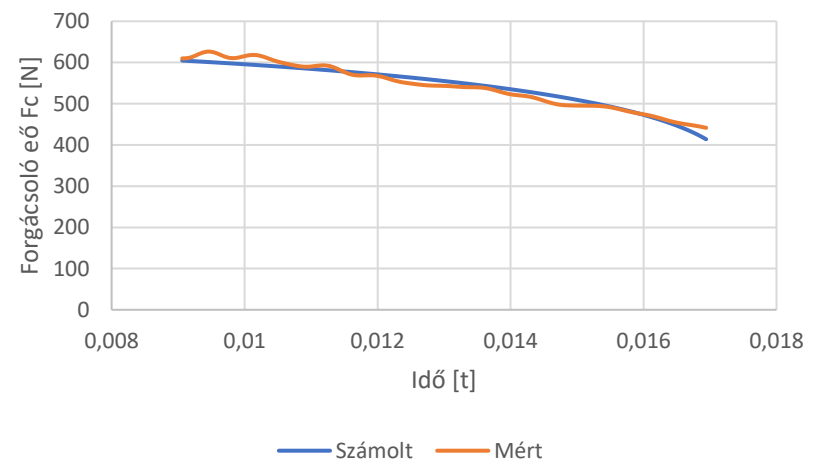
6. Mérés



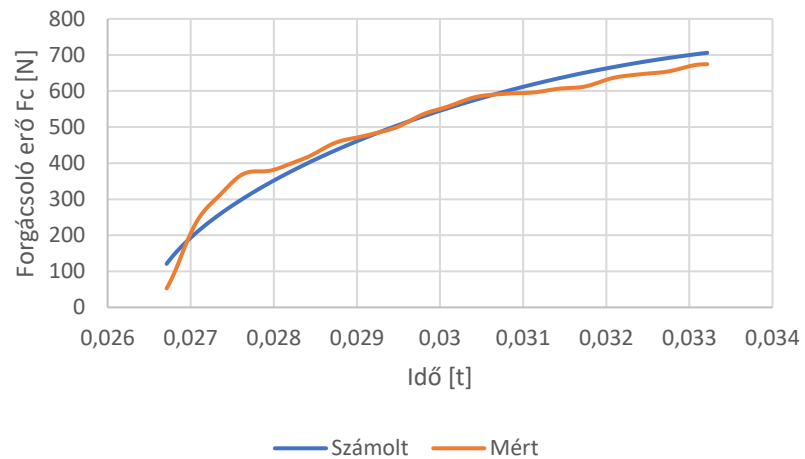
7. Mérés



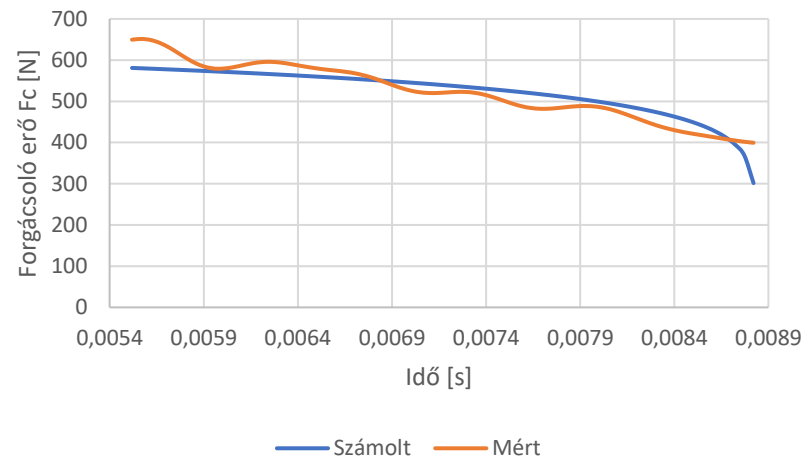
8. Mérés



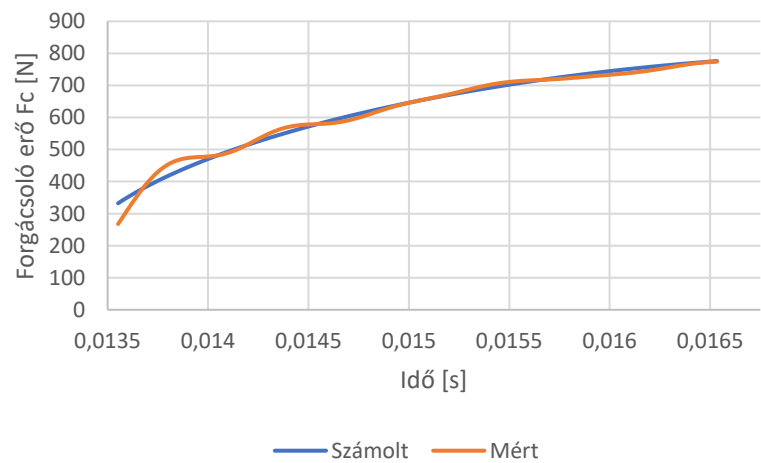
9. Mérés



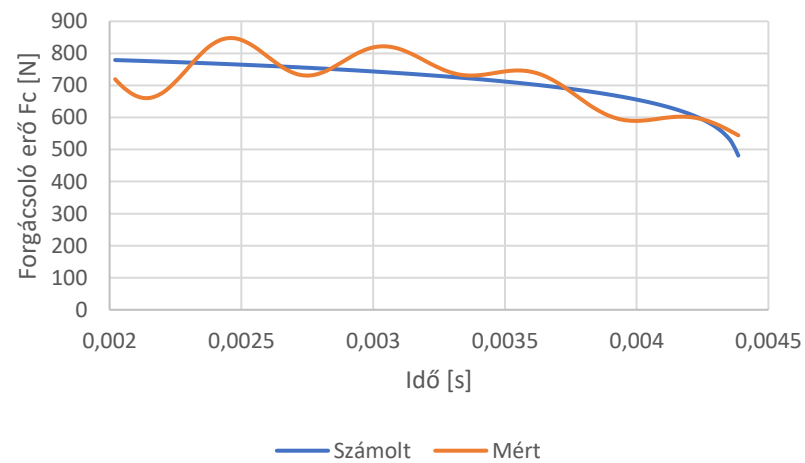
10. Mérés



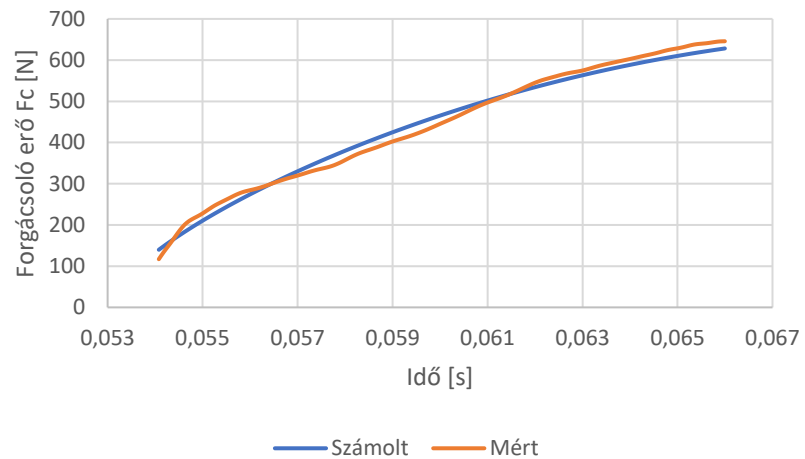
11. Mérés



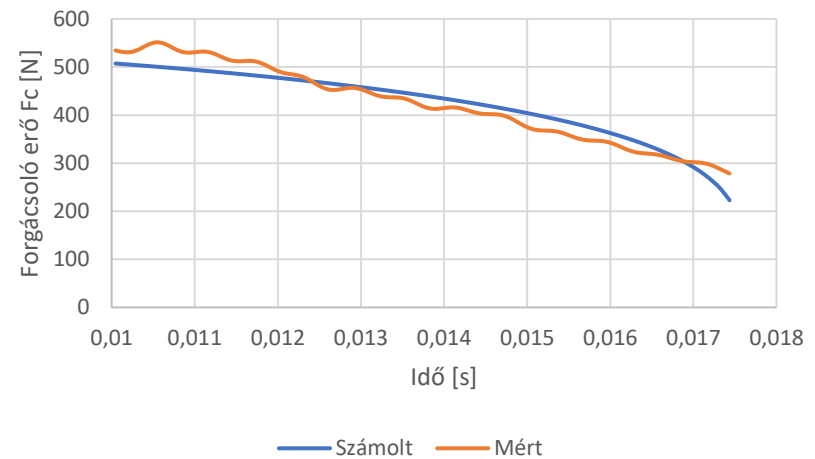
12. Mérés



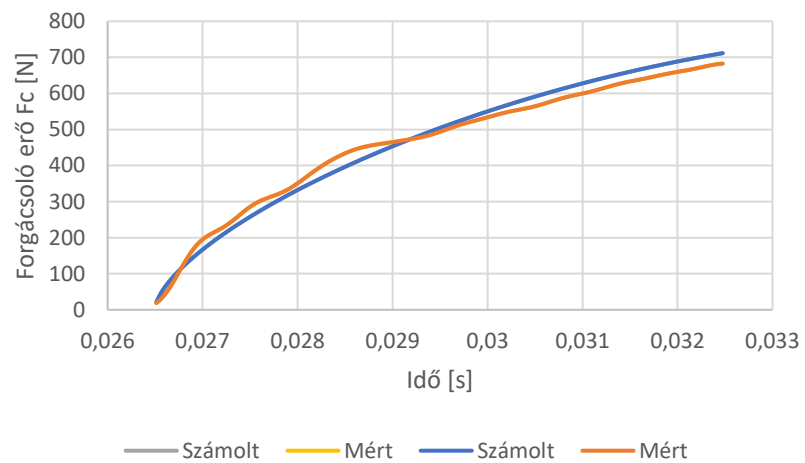
13. Mérés



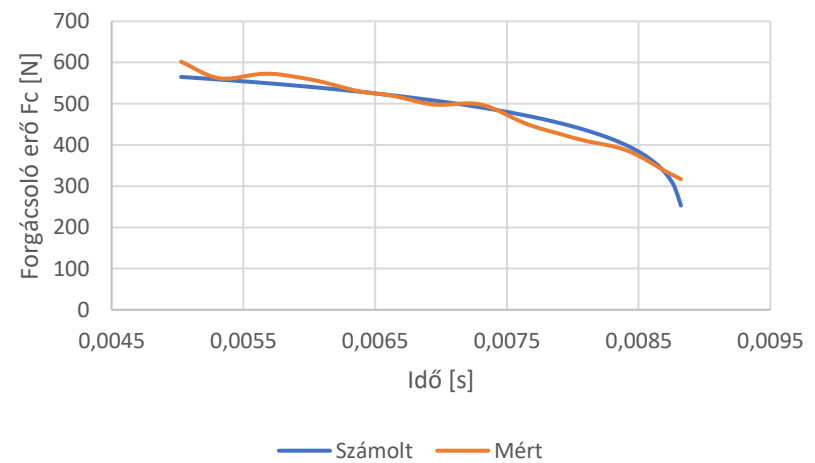
14. mérés



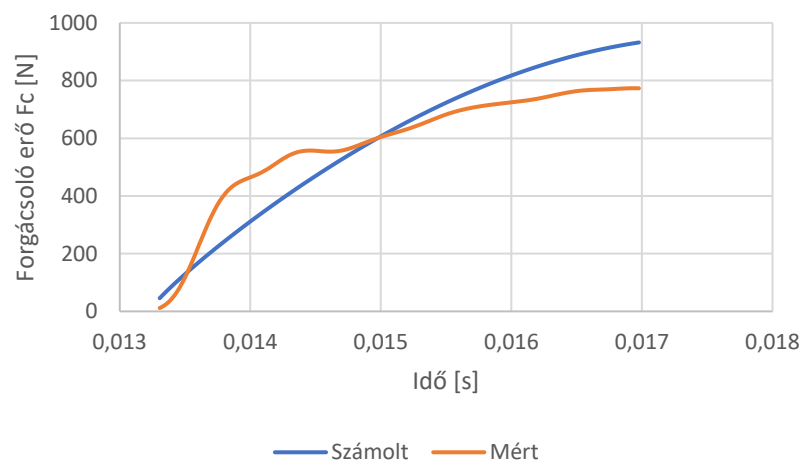
15. Mérés



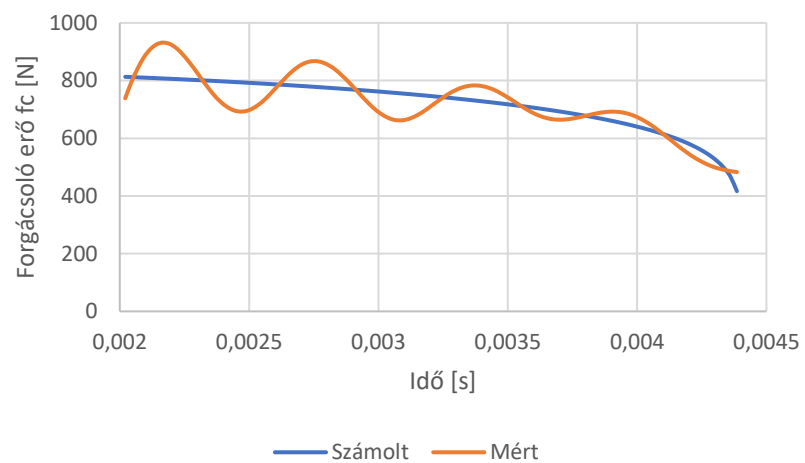
16. Mérés



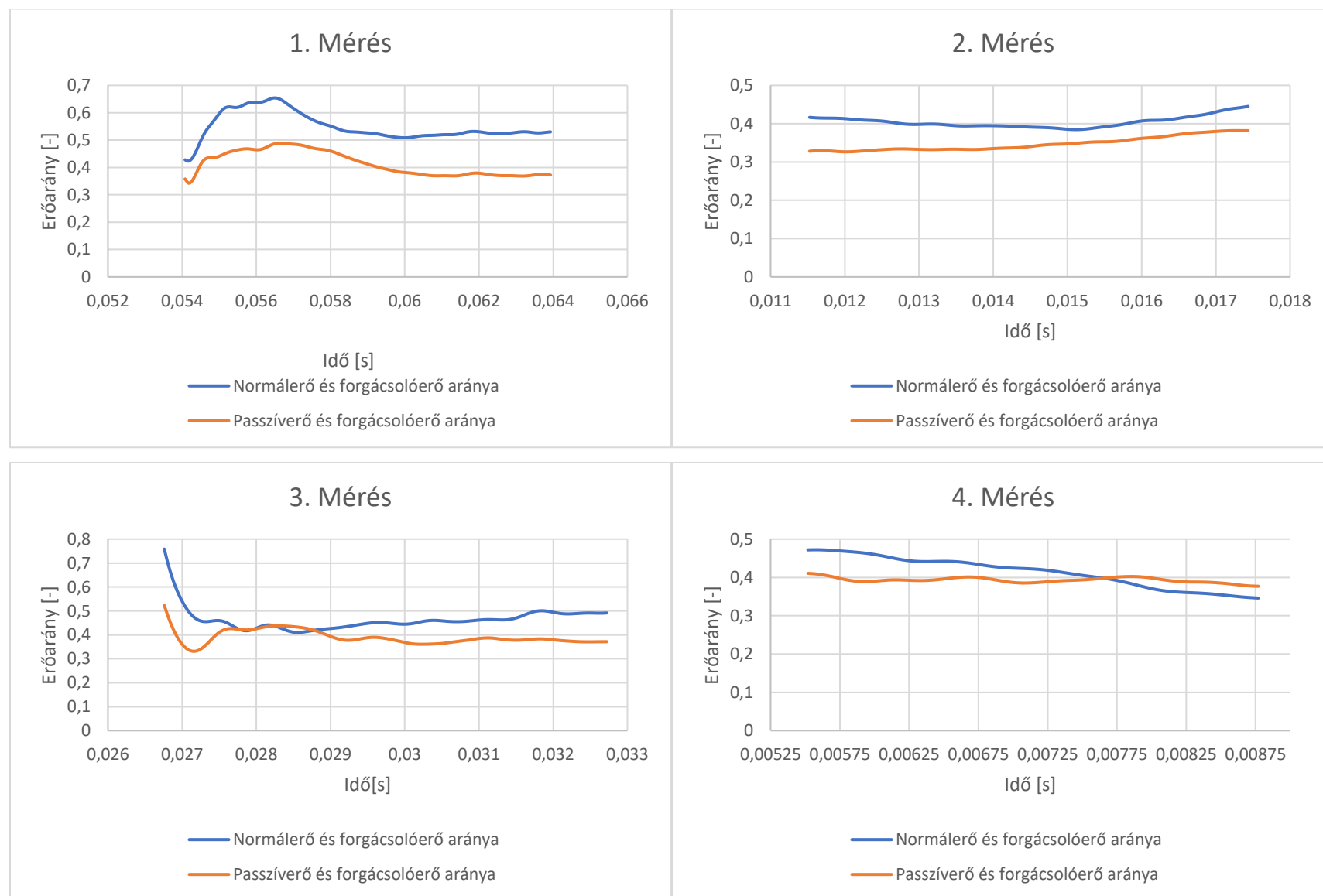
17. Mérés



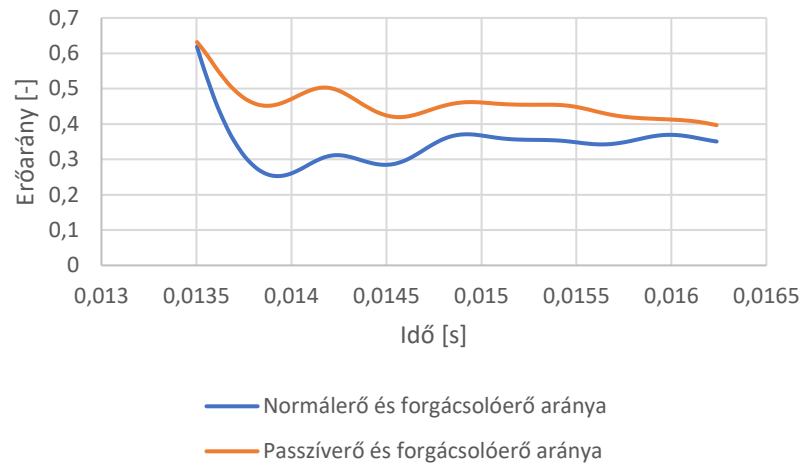
18. Mérés



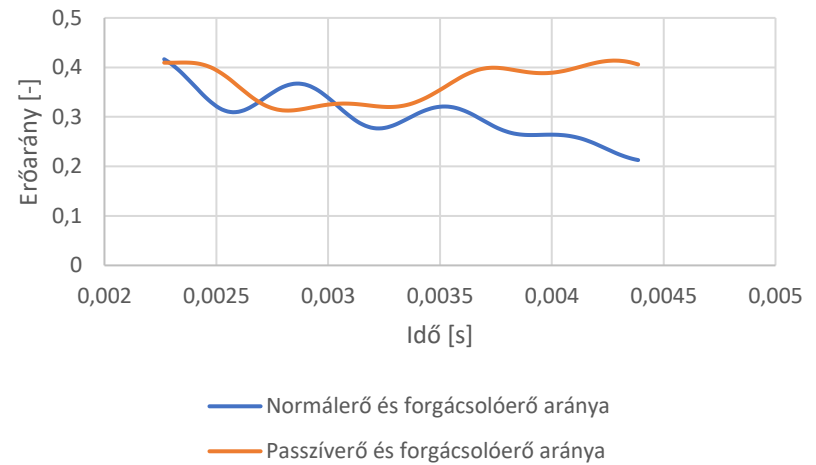
16.sz. Melléklet: Erőarányok grafikonon történő ábrázolása



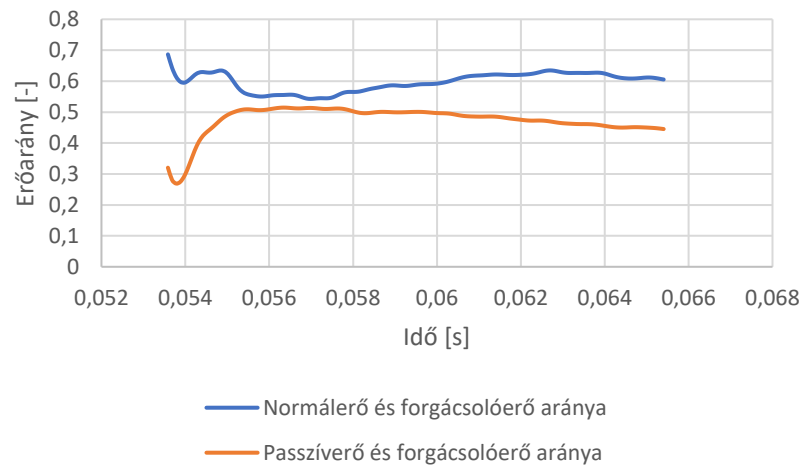
5. Mérés



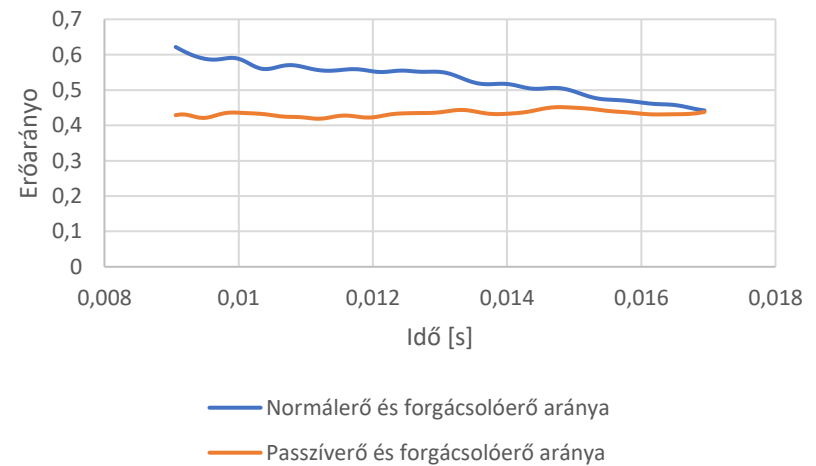
6. Mérés



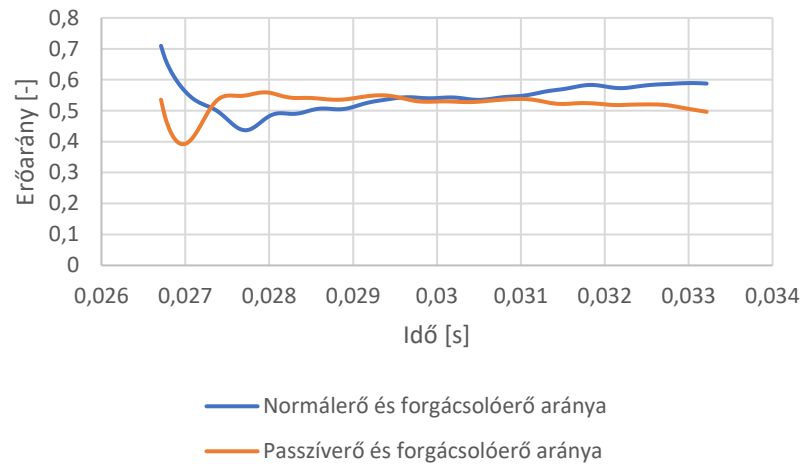
7. Mérés



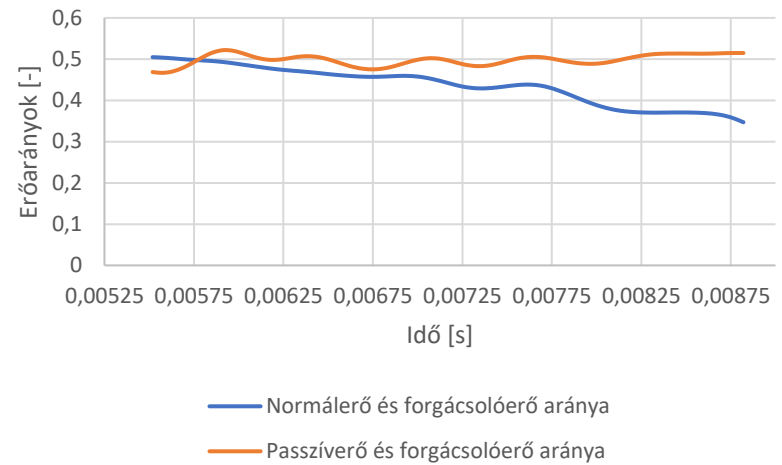
8. Mérés



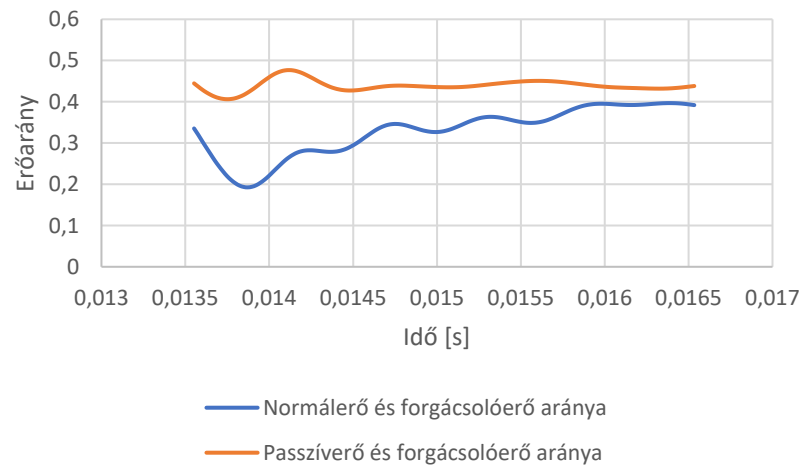
9. Mérés



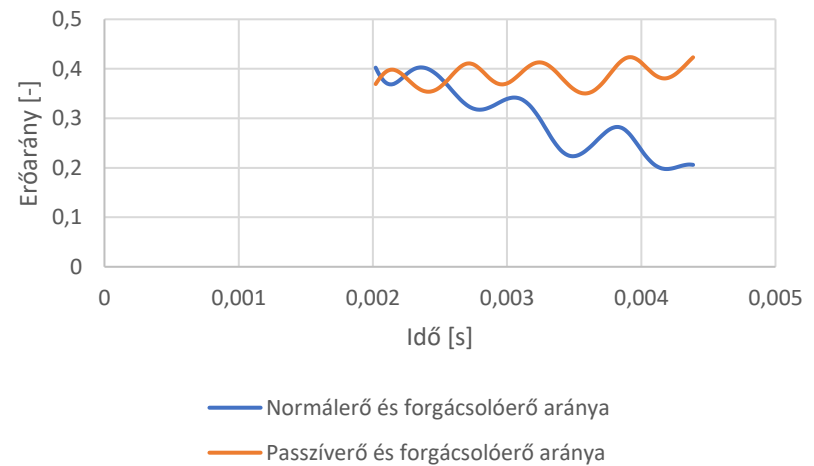
10. Mérés



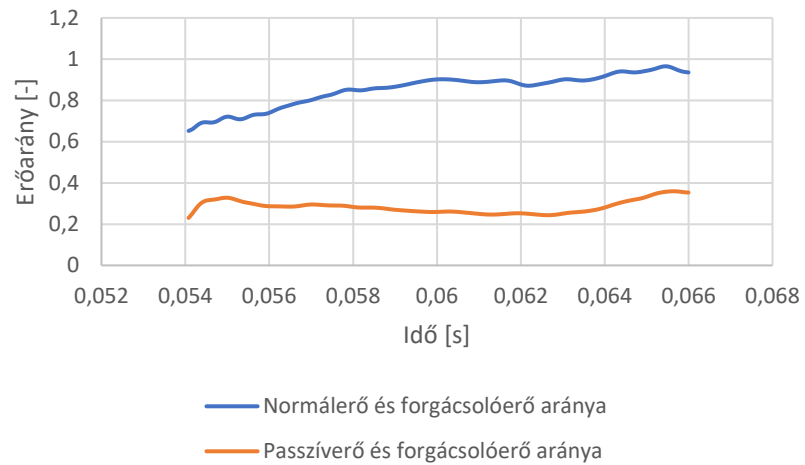
11. Mérés



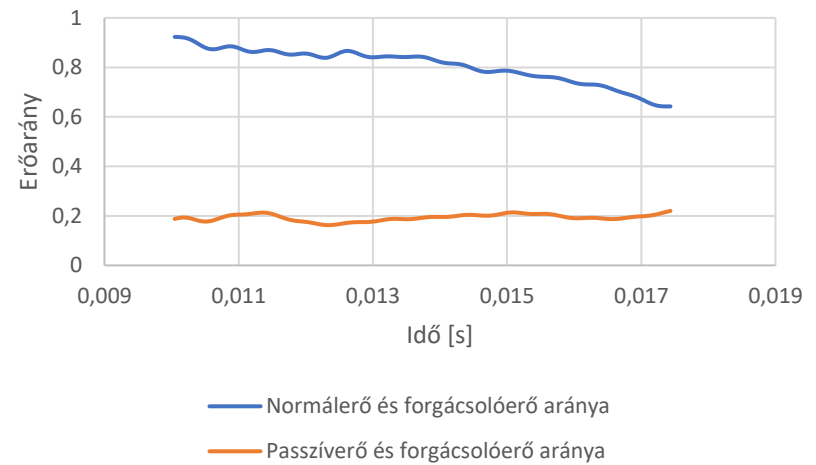
12. Mérés



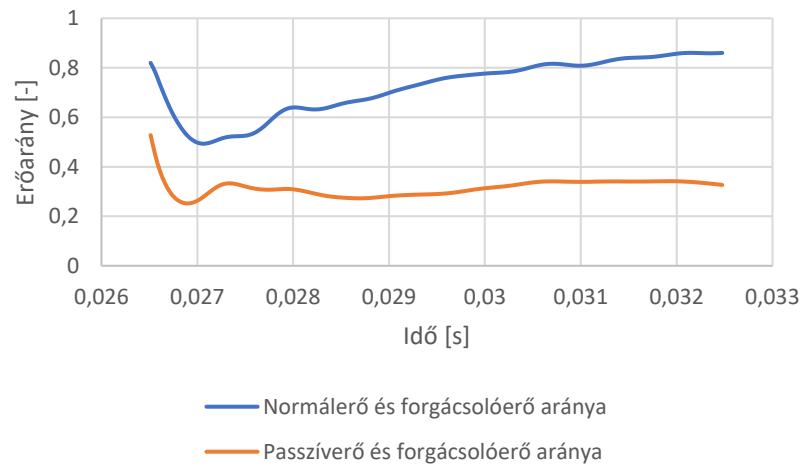
13. Mérés



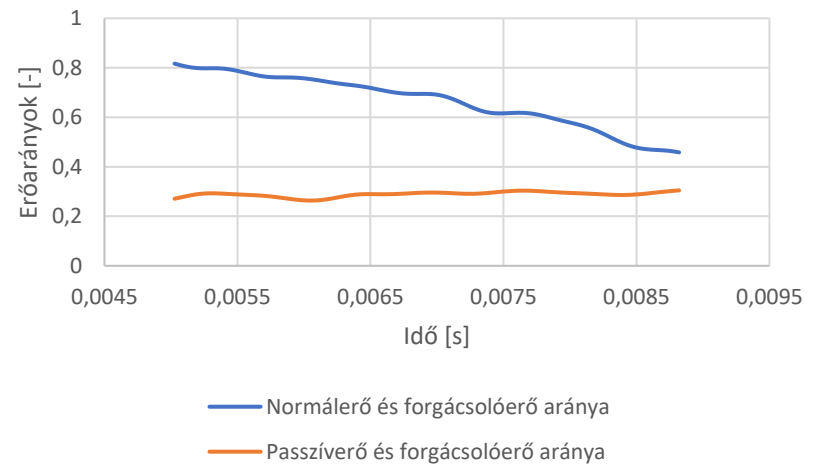
14. Mérés

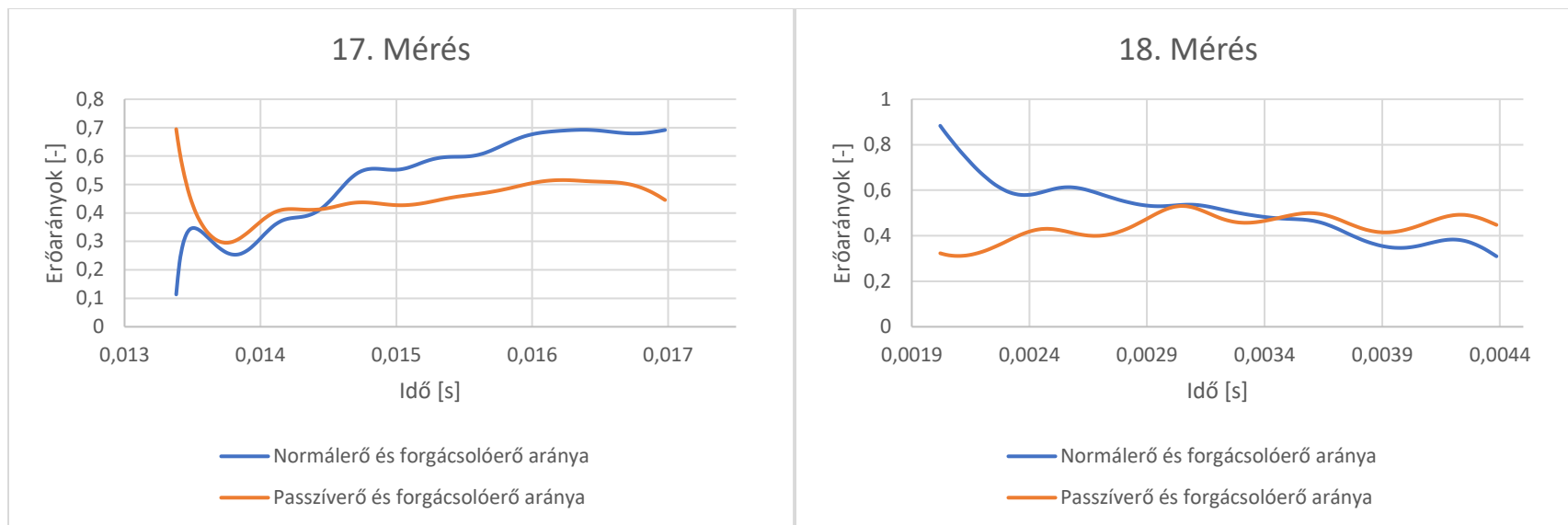


15. Mérés



16. Mérés





17.sz. Melléklet: Forgácsolási folyamatok – GY1 laborgyakorlat útmutató



FORGÁCSOLÁSI FOLYAMATOK

GY1 gyakorlat

Marás erőmérésének statisztikai alapú kiértékelése

A gyakorlat célja: Forgácsolási kísérletek kivitelezési és kiértékelési módszertanának, eszközeinek megismerése marási folyamatmérés végrehajtása során.

Összeállította: Dr. Biró István
Dr. Czampa Miklós

2019

1. Forgácsolási kísérletekről általában

A forgácsolási kísérletek egyik alapvető célja, hogy a megmunkálandó anyag forgácsolhatóságáról, illetve az azt megmunkáló szerszám forgácsolókéességéről információt szerezzünk. E két fogalom nem szabványosított értelmezéssel bír, így meghatározásuk során mindenképpen figyelembe szükséges venni a gyártóeszköz aktuális állapotát (statikus és dinamikus karakterisztikák, karbantartás mértéke, kalibráció, stb.) és a környezeti feltételeket, behatásokat (pl. hőmérséklet).

A forgácsolási kísérletek faktoriális kísérletek, ahol jellemzően több bemenő paraméter (azaz: faktor) különböző értékeinél (azaz: szintjén) bekövetkező jelenségeket vizsgáljuk. Ennek egyik fő módszere a bemenő és kimenő folyamatjellemzők közötti korrelációk felismerése és modellezése, mely történhet:

- regressziós függvény illesztésével,
- variancia vizsgálat (ANOVA – Analysis of Variance) útján.

Regressziós függvény (avagy válaszfüggvény) esetén olyan függvényalak választandó, mely kielégítő pontossággal közelíti a tényleges folyamat karakterisztikáját. E döntéshez előzetes tapasztalatokra van szükség a vizsgált folyamat lefolyását illetően. Amennyiben ilyen ismeretek nem állnak rendelkezésünkre, az ANOVA jó kiinduló eredményekkel szolgálhat a főhatások és mellékhatások (interakciók) jellegének feltérképezése által.

Mivel a forgácsolás során extrém hatások (erő, sebesség, hőmérséklet) lehetnek jelen, elsődleges szempont a biztonságos munkakörnyezet megteremtése, melynek szintén egyik alapfeltétele a munkacsoport koordináltsága.

2. A gyakorlaton elvégzendő homlokmarási kísérletek célja, a gyakorlat menete

Egy alkatrész gyártását előkészítő technológiatervezés (szűkebb értelemben véve: műveletelem tervezés) során *tapasztalati (avagy empirikus) modellekkel* becsülhetjük a forgácsolási paraméterek hatását a munkadarabra (pl. felületi érdesség, felületintegritás) és a megmunkálási környezetre (pl. terhelő erők, főorsó teljesítmény- és nyomatékgigénye) vonatkozóan. E tapasztalati modellek tehát a forgácsolási folyamat bemenő és kimenő jellemzői közötti korrelációs kapcsolatot szemléltetik analitikus függvények formájában.

E modellek alkalmazásával válik lehetővé a folyamatjellemzők becslése a bemenő paraméterek függvényében, illetve a kívánt kimeneti jellemzők elérése érdekében beállítandó bemenő paraméterek értékei. (Egy gyakorta elhangzó kérdés: Mekkora fordulatonkénti előtolást adjak meg az adott R_z felületi érdességű alkatrész előállításához?) Amennyiben nem ismert az adott forgácsolási környezetre jellemző paraméter-korrelációk jellege, úgy kísérletek és mérések útján új modellek készíthetők.

Jelen gyakorlat a tapasztalati modellek előállításának módszertanába nyújt betekintést a forgácsolástechnológia egyik jellegzetes összefüggése: a Kienzle-Victor-féle forgácsolóerő modell példáján keresztül. A modell a forgácsleválasztás során a szerszámélnél ébredő forgácsolóerő értékét becsüli. Ennek két változatát vizsgáljuk:

a) Egyszerű Kienzle-Victor modell

$$F_{c,a} = k_{c1} \cdot h^{x_{F,a}} \cdot b^{y_{F,b}} \quad (1)$$

b) Bővített Kienzle-Victor modell

$$F_{c,b} = C_F \cdot h^{x_{F,b}} \cdot b^{y_{F,b}} \cdot v_c^{z_F} \quad (2)$$

Feladat a modellek együtthatóinak (k_{c1} , C_F , x_F , y_F , z_F) meghatározása a bemenő forgácsolási paraméterek (h , b , v_c) és mért kimeneti jellemző (F_c) alapján, egyenirányú és ellenirányú marás esetére. A jelen útmutatóban alkalmazott jelölések jegyzéke a 2. sz. mellékletben található.

A laborgyakorlat szubjektív célja, hogy a hallgatók megtapasztalják egy forgácsolási folyamatmérés önálló kivitelezésének és komplex kiértékelésének menetét. A laborgyakorlatok során a hallgatók mérőcsapatokba szerveződve önállóan végeznek homlokmarási kísérleteket a gyakorlatvezető oktató felügyelete mellett. A kísérletek kivitelezésének teendői, menetrendje:

1. Mérőcsapatok kialakítása:

Egy mérőcsapat max. 4 főből áll. Minden csapat megkapja a gyakorlatvezetőtől a beállítandó paraméterek jegyzékét az 1. sz. melléklet táblázata alapján.

2. Mérőcsapatokon belüli feladatkiosztás:

Az alábbi feladatok elvégzésre egy-egy fő jelöltessen ki:

- *Mérésvezető*: feladata a mérőcsoport koordinálása, azaz a feladatok és azok ütemezésének egyértelmű közlése. Ő kezeli a számítógépes mérőszoftvert.
- *Mérőeszköz-kezelő*: feladata az erőmérő szenzor töltéserősítőjének kezelése a mérésvezető utasításainak megfelelően.
- *Gépkezelő*: feladata a szerszámgép kezelése, vagyis a forgácsolási paraméterek beállítása, a megmunkálás indítása és leállítása, illetve a forgácsolási környezet (munkadarab, forgács, szerszám, készülék, szerszámgép) állapotának felügyelete, tisztán tartása.
- *Helyszíni mérő*: feladata a nem szoftveres mérések elvégzése (pl. tolómérővel mérés), a mérőrendszer dokumentálása (eszközök azonosítása, mérőrendszer felépítése), feljegyzések készítése.

3 fős mérőcsoportok esetén a *Helyszíni mérő* feladatát a *Mérőeszköz-kezelő* és a *Gépkezelő* látja el.

3. Kísérletek elvégzése, a kiértékelés megkezdése:

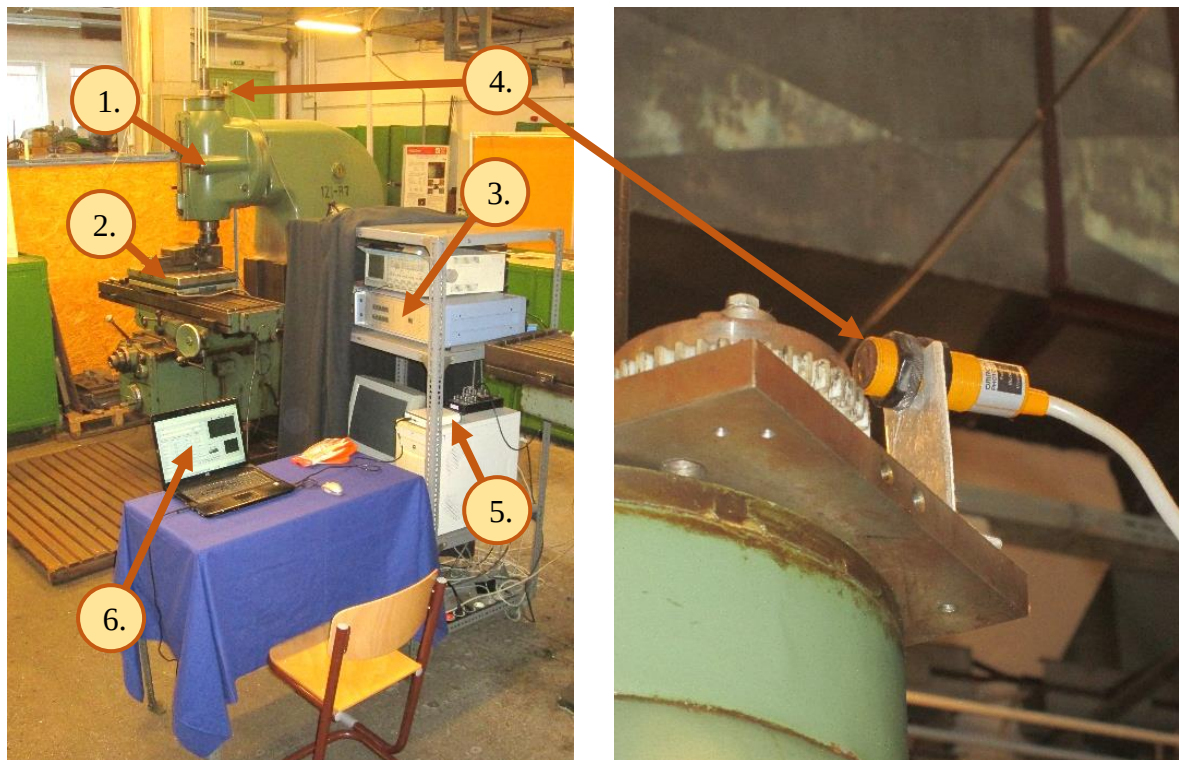
A kísérleteket forgó rendszerben végzik a mérőcsoportok: amíg az egyik csoport forgácsol és mér, addig a többiek előkészítik a kiértékelést a gyakorlatvezető által ismertetett feladatok elvégzésével.

A kísérleti helyszín és a mérőrendszer az 1. ábrán, a mérési összeállítás vázlata a 2. ábrán látható. Az alkalmazott berendezések és eszközök listája az 1. táblázatban olvasható.

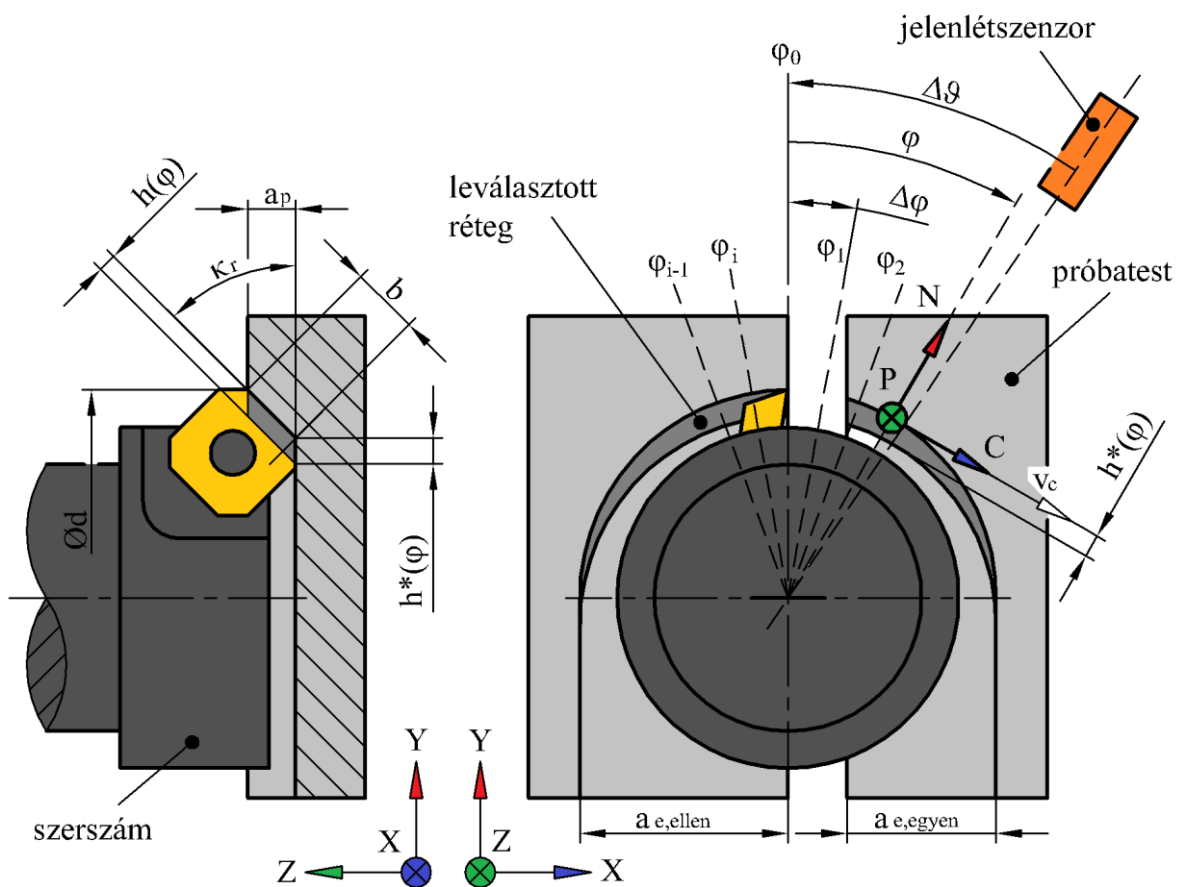
1. táblázat: A laborgyakorlat során használt eszközök

Ssz.	Megnevezés	Típus	Megjegyzés
1.	Marógép	VF-22	függőleges főorsós, egytetemes maró
2.	Erőmérő szenzor	Kistler 9281B	3-komponenses, statikus X-Y-Z koordinátarendszer
3.	Töltéserősítő	Kistler 9863A	±10 V kimenő feszültség
4.	Jelenlét-érzékelő	Omron E3F-DS10B4	reflexiós, kapacitív optikai szenzor
5.	Adatgyűjtő	National Instruments USB-4431	4 db BNC bemenet, 1 db USB kimenet
6.	Laptop		LabView mérőszoftverrel

1111 Budapest, Egry J. u. 1., T épület, IV. emelet	Tel.: +36-18463-2517 Fax.: +36-1/463-3176	www.manuf.bme.hu
--	--	------------------



1. ábra: A mérési helyszín és eszközök



2. ábra: A mérési összeállítás vázlata, paramétereit (a koordináta-rendszerek pozitív irányja példajellegű, nem feltétlenül egyezik meg a valós körülményekkel)

2.2 A mintavételezés beállításairól

A mérések során az alábbi mintavételezési állandókat alkalmazzuk:

- Mintavételezési frekvencia:

A mintavételezési frekvencia az időegység alatt rögzített mérési adatok száma. A kiértékelés módja miatt (ld. 3.1 fejezetben: *Normálás és transzformáció*) minden szerszámfordulat során névlegesen ugyanynyi mérési pont rögzítendő állandó felbontással. Mivel forgómozgásról van szó, a felbontást a $\Delta\varphi$ szöginkremens határozza meg (azaz a szerszám minden egyes $\Delta\varphi$ szögelfordulását követően történik mintavételezés), ami legyen:

$$\Delta\varphi = 0,5^\circ$$

Ezáltal a szükséges frekvencia:

$$f_m = \frac{n}{60} \cdot \frac{360^\circ}{\Delta\varphi} = \frac{n}{60} \cdot \frac{360^\circ}{0,5^\circ} = 12 \cdot n \quad (3)$$

- Mintavételezés időtartama:

Mivel a marás periodikus folyamat, értelmezhető a mérési sorozat fogalma: minden szerszámfordulat azonos névleges körülmények között megy végbe, így az egy-egy fordulathoz tartozó adatok a mérési sorozat ismétlődő szakaszaiként azonosíthatók. Ennek felismerése a statisztikai kiértékelés szempontjából lényeges (ld. 3.1 fejezetben: *Normálás és transzformáció*). Jelen esetben

$$M = 10$$

szerszámfordulat során mérünk, így a mintavételezés szükséges időtartama:

$$t_m = \frac{60 \cdot M}{n} = \frac{60 \cdot 10}{n} = \frac{600}{n} \quad (4)$$

- Maróél szögpozíciója:

A maróél φ szögpozíciója a 2. ábrán bemutatott módon értelmezendő (ennek nagy szerepe van a kiértékelésben, ld. 3.1 fejezetben: *Normálás és transzformáció*). Egy jelenlétszenzor négyszögjelet ad, mely jel felfutó ága a szerszám egy adott szögállását jelzi (φ_{fel}). A $\varphi_0 = 0$ referenciahely a $\Delta\vartheta$ kompenzációs szög ismeretében meghatározható:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega \cdot t = (\varphi_{fel} - \Delta\vartheta) + \omega \cdot t \quad (5)$$

$\Delta\vartheta$ értéke a jelenlétszenzor kalibrálásával állapítható meg.

3. Kiértékelés

A mért adatok kiértékelése első lépésben a „mg01-GY1_Maras-kiertekeles_program.exe” programmal történik a 3.1 fejezetben taglalt lépések szerint. A program futtatásához LabView 2013 (illetve ennél későbbi verzió) keretrendszer szükséges. Az elvégzendő feladatok tételesen:

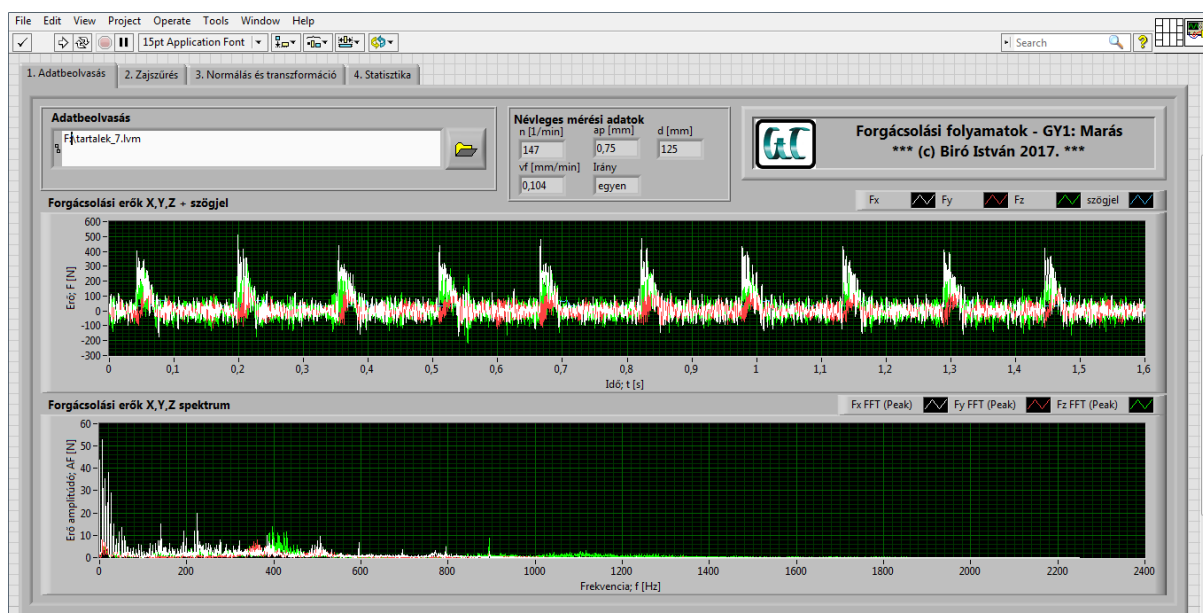
- mért erőadatok frekvencia-alapú (zaj)szűrése,
- normálás (szerszámfordulatra értelmezett átlagos erőkarakterisztika és szórás meghatározása),
- erők vektortranszformációja az élhez kötött koordinátarendszerbe.

3.1 A kiértékelő szoftver alkalmazása

1. Adatbeolvasás:

Az „Adatbeolvasás” cellában megadandó a kiértékelni kívánt mérési adatfájl közvetlen elérési útvonala. A munkablak (3. ábra) bal felső sarokban található „Run” ikonra kattintva lefuttatható a program. A diagramokon megjelennek:

- a mért erőjelek az idő függvényében,
- a mért erőjelek Fourier-spektruma,
- továbbá az adott méréshez tartozó forgácsolási paraméterek.



3. ábra: Kiértékelő program „Adatbeolvasás” felülete

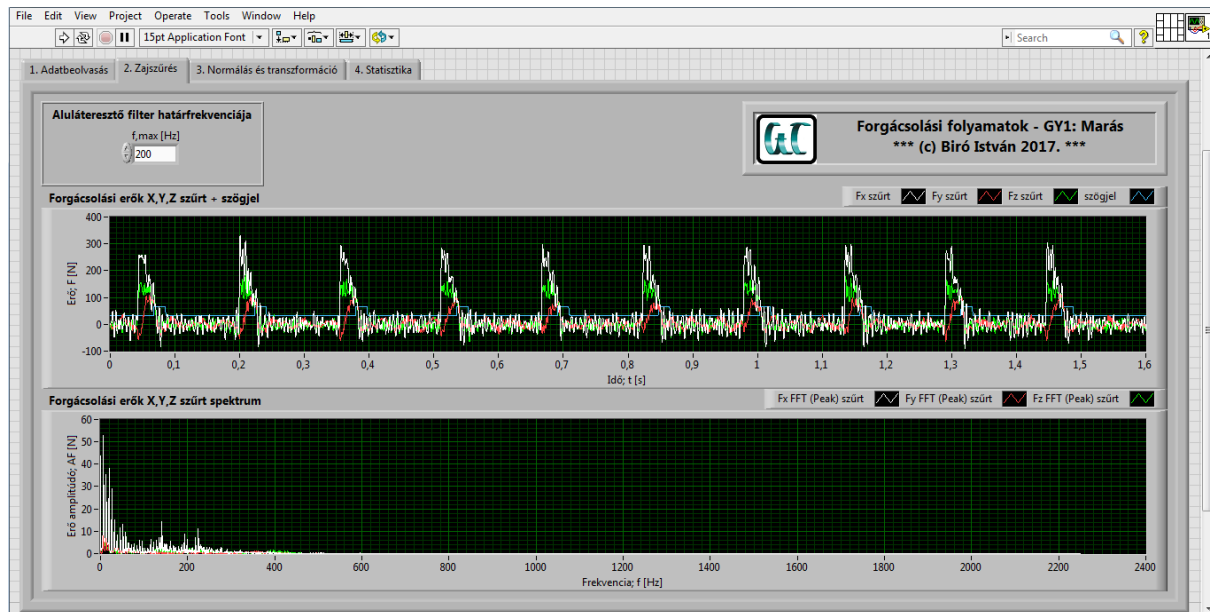
2. Zajszűrés:

A 3. ábrán látható, hogy az erőjelek jelentős mértékű nagyfrekvenciás zajjal, rezgéssel terheltek. A zavarások frekvenciatartománya az erő jelek Fourier-spektruma alapján beazonosíthatók. A spektrum diszkrét Fourier-transzformációval (DFT – Discrete Fourier Transformation) előállítható:

$$X_s = \sum_{w=0}^{W-1} x_w \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot \frac{s}{W} \cdot w} ; \quad s = 0 \dots W-1 \quad (5)$$

ahol: X_s a Fourier-spektrum s -edik eleme; x_w a mintasor w -edik eleme; $W = t_m \cdot f_m$ a minták száma (a (3) és (4) összefüggések alapján). Alul áteresztő szűrő („low-pass filter”) alkalmazásával eltávolítható a spektrumból a nem kívánatos adatmennyiség.

Az f_{LPF} szűrési határfrekvencia megadását követően ismét lefuttatandó a program. A képernyőn megjelenik a szűrt Fourier-spektrum, illetve az abból visszatranszformált időbeli jel. Megfelelő határfrekvenciát választva megfigyelhető, hogy a jel karakterisztikája jó közelítéssel változatlan maradt, miközben a zavarások jelentősen csökkentek (4. ábra).



4. ábra: A mérési adatok frekvencia-alapú szűrése

3. Normálás és transzformáció:

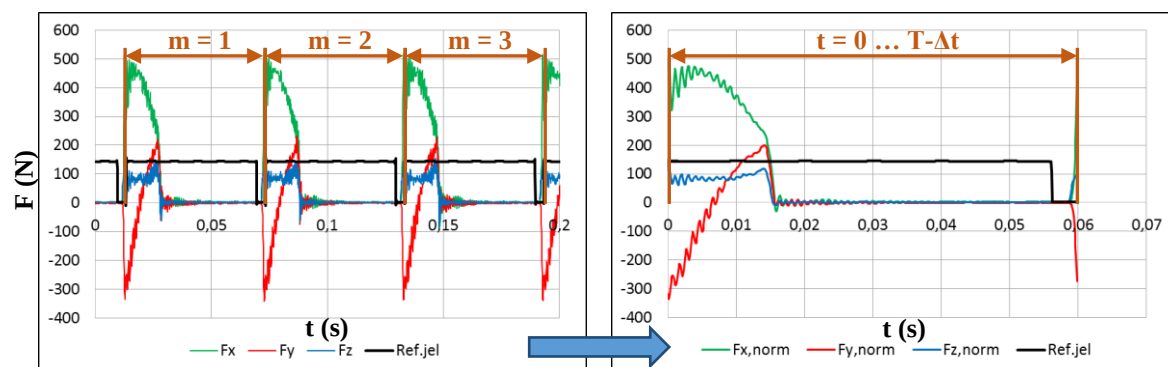
A marási folyamat M számú egész periódusát mértük névlegesen azonos körülmények mellett (ld. (3) és (4) összefüggéseket). Ez értelmezhető úgy is, hogy a mérési sorozatunk M számú ismételt mérésből áll. Ennek tekintetében tehát képezhető a mérési adatok átlaga és szórása. Jelen esetben a periodikus jelek normálása az egyes periódusokhoz tartozó jelekből képzett, egy periódusra jellemző átlagok számítását jelenti a (6) összefüggés és az 5. ábra szerinti értelmezésben.

$$\bar{F}_j(\varphi) = \bar{F}_j(\omega \cdot t) = \sum_{m=1}^M \frac{F_j(\omega \cdot (t + (m-1) \cdot T))}{M}; \quad t = 0 \dots (T - \Delta t_m), \quad j = x, y, z \quad (6)$$

ahol $\Delta t_m = 1/f_m$. A normálást a szerszám a T valós körülfordulási periódusidejéhez szükséges igazítani, így meghatározandó a főorsó n^* tényleges fordulatszáma és ω tényleges szögsebessége:

$$n^* = \frac{60}{T} \quad \text{és} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi \cdot n^*}{60} \quad (7) \text{ és } (8)$$

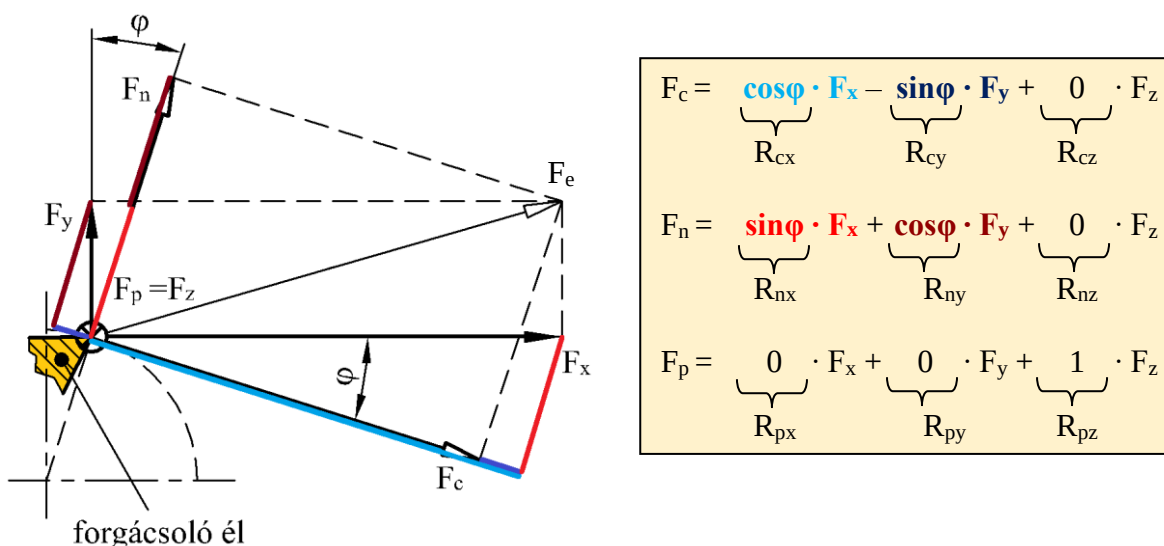
Ezáltal biztosítható, hogy a szerszámél névlegesen ugyanazon szögpozíciójában mért erőértékek átlagolása történik meg. A valós periódusidőt a mérőrendszerbe épített jelenlét-érzékelő négyszögjelének egymást követő felfutó ágai között eltelt idő alapján határozza meg és jelzi ki a kiértékelő szoftver.



5. ábra: Egyenirányú homokmarás során mért erők normálása referencia-jel alapján

Az erőkomponensek mérése a szenzor fix XYZ koordináta rendszerében történt. Azonban a marási folyamat, azon belül a konkrét forgácsleválasztást jellemző forgácsolóerő (F_c), normálerő (F_n) és passzív erő (F_p) alkotta rendszer a szerszámélhez kötött CNP koordinátarendszer értelmezettek az (1) és (2) modelleknek megfelelően. A mozgásviszonyokból adódóan a CNP-rendszer együtt forog a marószerszámmal az XYZ statikus mérési rendszerben (2. ábra). Ezért a CNP-rendszerben értelmezett erők értékeinek meghatározásához az XYZ erővektorok transzformálására van szükség. A vektortranszformáció grafikus megoldása a 6. ábra példáján szemléltetett elv szerint:

1. Az F_e eredő erővektor meghatározása az XYZ-rendszerben mért komponensek alapján.
2. A CNP-rendszer erővektor-hatásvonalainak és a CNP-rendszerben értelmezett erőkomponensek pozitív irányítottságának definiálása.
3. Az eredő erővektor felbontása a CNP-rendszerben értelmezett komponensekre.
4. Az XYZ-rendszer erővektorainak vetítése a CNP-rendszer vektorainak hatásvonalaira.
5. A vetítéssel kapott vektorok irányhelyes összegzése (skaláris összegzés).



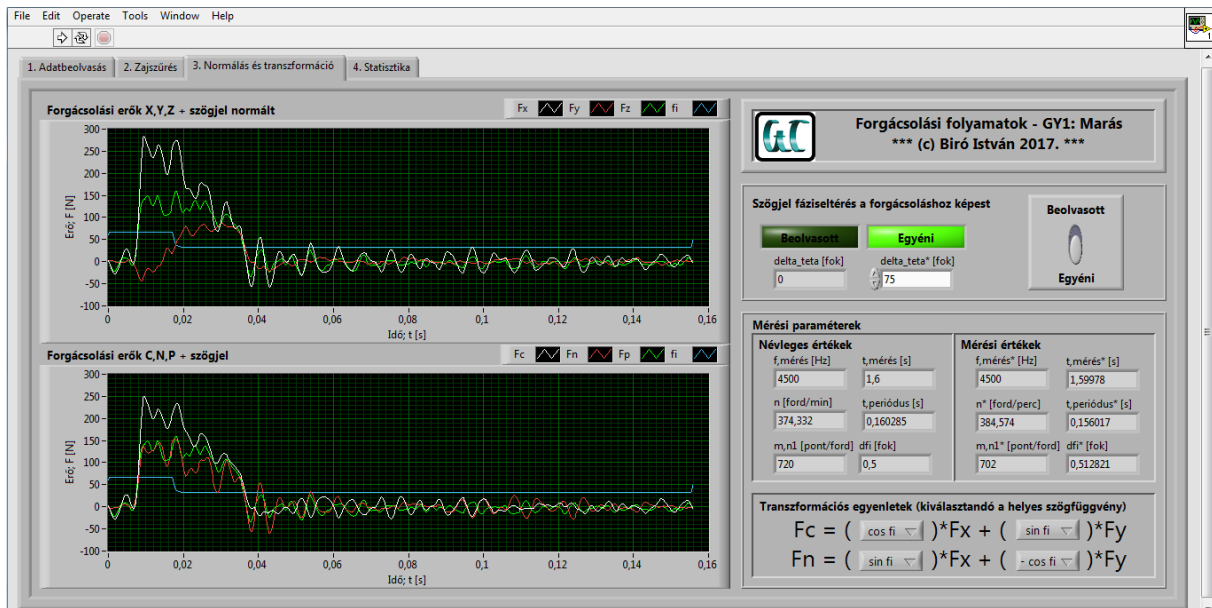
6. ábra: Erővektorok transzformációja (példa)

A transzformációs egyenletek vektoregyenlet formájában összegezhetők. Ennek általános alakját a (8) kifejezés szemlélteti, ahol $\underline{R}$ a forgatómátrix (jelölések a 6. ábra szerint).

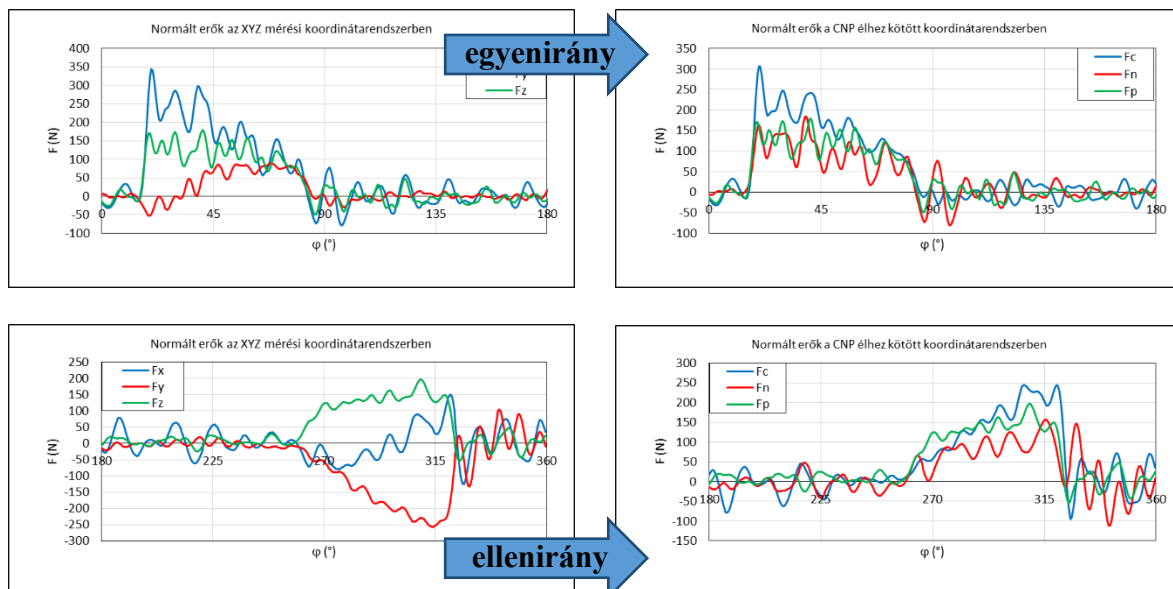
$$\underline{F}_{CNP} = \underline{R} \cdot \underline{F}_{XYZ} \rightarrow \begin{bmatrix} F_c \\ F_n \\ F_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{cx} & R_{cy} & R_{cz} \\ R_{nx} & R_{ny} & R_{nz} \\ R_{px} & R_{py} & R_{pz} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

A 2. és 6. ábrák szerinti φ szögérték meghatározása a (8) kifejezésben felírt tényleges szögsebesség alapján történik.

A kiértékelő szoftverben a $\Delta\theta$ kalibrációs szög értéke megadható automatikusan (mérési jegyzőkönyvből beolvasva), illetve egyedi adatként manuálisan (7. ábra). Megadandók továbbá a vektortranszformációhoz szükséges helyes szögfüggvények a legördülő menüből. Amennyiben az adatokat helyesen adjuk meg, a 8. ábrával jellegre megegyező diagramokat kapunk, melyeken a $\varphi_0 = 0$ referenciapozíció a $t = 0$ időpillanathoz tartozik (ld. (5) összefüggést).



7. ábra: Erőkomponensek normálása és transzformációja



8. ábra: XYZ erők transzformálása a CNP koordináta rendszerbe

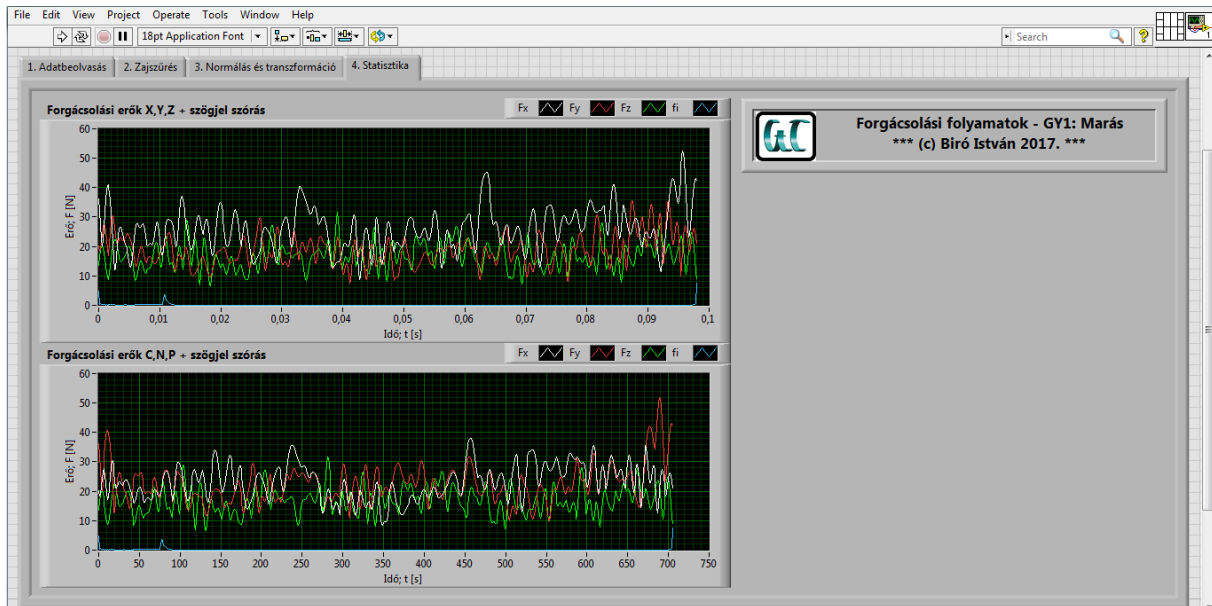
4. Statisztika:

A (6) összefüggés szerint képzett, az erőmérő XYZ-rendszerében értelmezett átlagos erőértékek szórása a (9) kifejezéssel meghatározható. Mivel a CNP-rendszer erői függő paraméterek (azaz nem közvetlenül mért, hanem a mért független jellemzőkből meghatározott mennyiségek), az F_c , F_n és F_p erők szórása a független paraméterek eredő szórásaként állapítható meg a (10) összefüggésnek megfelelően.

$$s_{F,j}(\varphi) = s_{F,j}(\omega t) = \sqrt{\frac{1}{M} \cdot \sum_{m=1}^M (F_{j,m}(\omega t) - \bar{F}_j(\omega t))^2}, j = x, y, z \quad (9)$$

$$s_{F,l}(\varphi) = \sqrt{\sum_j \left(s_{F,j}(\varphi) \cdot \frac{\partial F_l}{\partial F_j} \right)^2}, j = x, y, z; l = c, n, p \quad (10)$$

A számításokat a kiértékelő szoftver végzi a mérési adatok és a (8) összefüggés forgatómátrixának elemei alapján. Az értékek diagramokon láthatók (9. ábra).



9. ábra: A normált erők szórása

3.2 A regressziós modellek együtthatóinak meghatározása

A további számítások tetszőlegesen megválasztott, matematikai műveletek végzésére alkalmas szoftverben történnek (pl. Excel, Maple, Mathematica). A kiértékelő szoftver által számított adatsorok a következő módon exportálhatók .xlsx (Excel) formátumba:

1. „Jobb-klikk” az exportálni adatokat tartalmazó diagramra.
2. A legördülő menüből kiválasztani az „Export” opciót.
3. Excel táblázatba történő exportáláshoz kiválasztani az „Export Data to Excel” parancsot. Az adatokat tartalmazó .xlsx táblázat automatikusan megnyílik.

Mint az (1) és (2) összefüggésekben látható, hogy az F_c forgácsolóerő alakulását a h elméleti forgácsvastagság, b elméleti forgácsszélesség és v_c forgácsoló sebesség függvényében jellemezzük. Az elméleti forgácskeresztmetszetet a 2. ábra szerint paralelogrammával közelítve, a vastagság és szélesség az alábbi geometriai modellekkel határozható meg (az (5) összefüggéssel együtt alkalmazva):

$$h(\varphi) = h^*(\varphi) \cdot \sin \kappa_r \cong f_z \cdot \cos \varphi \cdot \sin \kappa_r \quad (11)$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (12)$$

A (11) összefüggéshez szükséges f_z élenkénti előtolás a v_f előtoló sebesség és az n^* tényleges fordulatszám alapján számítható az egyélű marószerszámmra:

$$f_z = \frac{v_f}{n^*} \quad (13)$$

A tényleges fordulatszám alapján a forgácsoló sebesség (2. ábra alapján):

$$v_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n^*}{1000} \quad (14)$$

A továbbiakban a (2) kifejezéssel prezentált bővített Kienzle-Victor-modell példáján keresztül kerül részletezésre a regressziószámítás módja. A jelölések értelmezésének egyszerűsítése végett, a mérési adatokból számított normált erőértékek jelölése a továbbiakban:

$$\bar{F}_c(\varphi) = F_{c,mért,i}$$

ahol i a φ_i szögpozíció azonosítása a 2. ábrának megfelelően, a (6) szerint meghatározott normált erőadatokban.

A regressziószámítás a *legkisebb négyzetek módszerével* történik. Ennek értelmében keressük a modell együtthatóinak azon konfigurációját, ahol a D négyzetes hibaösszeg, azaz a méréssel kapott adathalmaz ($F_{c,mért}$) és a modell által szolgáltatott becslés ($F_{c,b}$) közötti D négyzetes eltérés minimális:

$$D = \sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N (F_{c,mért,i} - F_{c,b,i})^2 \rightarrow \min \quad (14)$$

ahol i a mérési pontok sorszáma, e_i a mért érték és regressziós érték közötti eltérés az i -edik vizsgált pontban, N a mérési pontok száma. Egy adott i indexhez adott névleges bemeneti modellparaméterek (h , b , v_c) tartoznak. A minimális négyzetes eltérés helye a (14) kifejezés értelmében:

$$\frac{\partial D}{\partial \xi_i} = 0 \quad (15)$$

ahol ξ_q a modell q -edik együtthatója. Belátható, hogy a (14) és (15) összefüggések alapján nemlineáris egyenletrendszer oldandó meg, melynek nem feltétlenül létezik analitikus, zárt alakú megoldása. Ugyanakkor a (2) modell hatványfüggvénye linearizálható a logaritmus-tartományba történő transzformálással. A (14) kifejezés értelmében felírható (és egy oldalra rendezve az ismeretlen tényezőket tartalmazó tagokat):

$$\begin{aligned} e_{\log,i} &= \lg F_{c,mért,i} - \lg F_{c,b,i} = \\ &= \lg F_{c,mért,i} - (\lg C_F + x_{F,b} \cdot \lg h_i + y_{F,b} \cdot \lg b_i + z_{F,b} \cdot \lg v_{c,i}) \end{aligned} \quad (16)$$

Regressziós modell csak olyan mérési adathalmazra illeszthető, melyben a faktorok szintje változik. A homlokmarási kísérletek során állandó a_p fogásmélységgel dolgozunk, melyből – és a (12) kifejezésből – következően a b elméleti forgácsszélesség is állandó. Ebben az esetben hipotézissel élünk, és a szakirodalmi, tapasztalati ismeretek alapján az (1) és (2) modellek y_F értékét becsüljük. Ez legyen egységesen:

$$y_{F,a} = y_{F,b} = 1$$

Figyelembe véve, hogy b értéke ismert és konstans a (12) összefüggés alapján, továbbá $y_{F,b} = 1$, vezessük be az alábbi változókat:

$$E_i = \lg F_{c,mért,i} - y_{F,b} \cdot \lg b \Big|_{y_{F,b}=1} = \lg \frac{F_{c,mért,i}}{b} \quad K = \lg C_F \quad H_i = \lg h_i \quad V_i = \lg v_{c,i}$$

Ennek értelmében a (16) összefüggés alakja:

$$e_{\log,i} = \frac{\lg F_{c,mért,i}}{b} - \frac{\lg F_{c,b,i}}{b} = E_i - K - x_{F,b} \cdot H_i - z_{F,b} \cdot V_i \quad (17)$$

A (17) hibaértéket illesztve a (14) kifejezésbe, majd alkalmazva a (15) műveletet, a regressziós modell legjobb illeszkedését biztosító együttható-halmaz meghatározására szolgáló egyenletrendszer:

$$\frac{\partial D}{\partial K} = \frac{\partial D}{\partial x_{F,b}} = \frac{\partial D}{\partial z_{F,b}} = 0 \quad (18)$$

Kifejtve a (18) egyenletrendszert:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial K} = 0 &= -2 \cdot \sum_{i=1}^N (E_i - K - x_{F,b} \cdot H_i - z_F \cdot V_i) \\ \frac{\partial D}{\partial x_{F,b}} = 0 &= -2 \cdot \sum_{i=1}^N (E_i - K - x_{F,b} \cdot H_i - z_F \cdot V_i) \cdot H_i \\ \frac{\partial D}{\partial z_{F,b}} = 0 &= -2 \cdot \sum_{i=1}^N (E_i - K - x_{F,b} \cdot H_i - z_F \cdot V_i) \cdot V_i \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

A (19) kifejezés lineáris egyenletrendszer, melyre alkalmazható a *legkisebb négyzetek módszerének* speciális változata: a *lineáris regresszió*. Ennek előnye, hogy létezik analitikus, zárt alakban felírható megoldása. Elvégezve az egyszerűsítéseket és összevonásokat, a (19) egyenletrendszer vektoregyenlet alakja:

$$\underline{\underline{A}} \cdot \underline{\alpha} = \underline{a} \quad (20)$$

ahol:

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} N & \sum_{i=1}^N H_i & \sum_{i=1}^N V_i \\ \sum_{i=1}^N H_i & \sum_{i=1}^N H_i^2 & \sum_{i=1}^N H_i V_i \\ \sum_{i=1}^N V_i & \sum_{i=1}^N H_i V_i & \sum_{i=1}^N V_i^2 \end{bmatrix} \quad \underline{\alpha} = \begin{bmatrix} K \\ x_{F,b} \\ z_{F,b} \end{bmatrix} \quad \underline{a} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N E_i \\ \sum_{i=1}^N E_i H_i \\ \sum_{i=1}^N E_i V_i \end{bmatrix}$$

A Kienzle-Victor-modell együtthatónak meghatározására szolgáló lineáris egyenletrendszer a (20) kifejezés átrendezésével:

$$\underline{\underline{A}}^{-1} \cdot \underline{a} = \underline{\alpha} \quad (21)$$

3.3 A regressziós modellek illeszkedésének értékelése

A (21) egyenletből meghatározott együtthatók (2) kifejezésbe való behelyettesítésével rendelkezésünkre áll a Kienzle-Victor-féle bővített forgácsolóerő modell. A modell illeszkedési „jószágának” értékelése történhet szemrevételezéssel (pl. diagramon való ábrázolással), továbbá az ANOVA standardizált mérőszámai segítségével. Utóbbiak jellegzetes képviselője a determinációs együttható (R^2).

A R^2 determinációs együttható megmutatja, hogy a mért adatok varianciájának hány százalékát magyarázza meg a modell varianciája. A 10. ábra szemléltetése alapján ez annyit jelent, hogy:

1. Legyen:

- y_i : regresszióban részt vevő, mérésből származó adat az i mérési helyen
- $\bar{y}$: az y_i pontok átlaga
- f_i : a regressziós modell (behelyettesítéssel kapott) értéke az i mérési helyre.

2. A mérésből származó pontok és a regresszió varianciája:

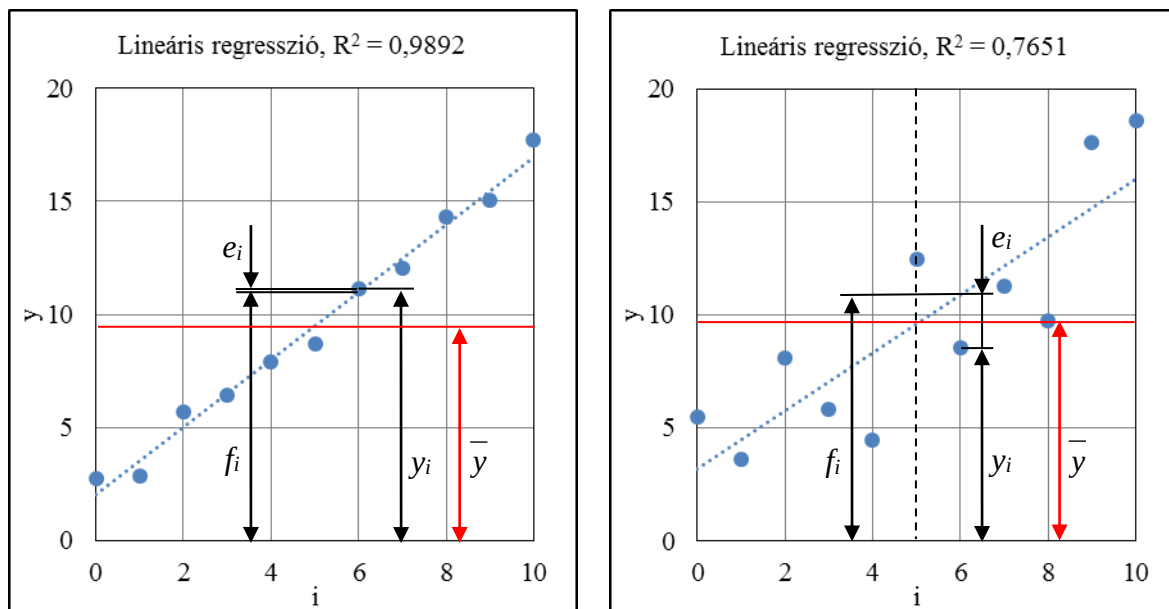
- VAR_y : az y_i pontoknak az $\bar{y}$ átlaghoz képest vett átlagos eltéréseinek (azaz szórásának) négyzete.
- VAR_f : az f_i pontoknak az $\bar{y}$ átlaghoz képest vett átlagos eltéréseinek (azaz szórásának) négyzete.

$$VAR_y = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad \text{és} \quad VAR_f = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{y})^2 \quad (22) \text{ és } (23)$$

3. Determinációs együttható: az f_i és y_i pontok varianciájának aránya, vagyis megmutatja, hogy az y_i pontok varianciájának hányad részét reprodukálják („utánozzák”) az f_i regressziós pontok.

$$R^2 = \frac{VAR_f}{VAR_y} = \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{y})^2}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \Rightarrow R^2 = 0 \dots 1 \quad (24)$$

A (24) kifejezésből belátható, hogy $R^2 = 1$ esetén a regressziós modell tökéletesen leírja a mérésből származó pontok átlagos viselkedését, $R^2 = 0$ esetén pedig egyáltalán nem.



10. ábra: A determinációs együttható értelmezése

Az ANOVA fogalmi körében az alábbi módon jelennek meg a (24) kifejezés elemei:

- **SST (Total Sum of Squares)**: a mérésből származó pontoknak az átlaguktól vett négyzetes eltéréseinek összege, vagyis a mérési adathalmaz teljes varianciáját arányos mennyiség.

$$SST = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (25)$$

- **SSR (Regression Sum of Squares):** a regressziós pontoknak a mérésből származó pontok átlagától vett négyzetes eltéréseinek összege, vagyis a regressziós modell varianciájával arányos mennyiség.

$$SSR = \sum_{i=1}^N (f_i - \bar{y})^2 \quad (26)$$

- **SSE (Residual Sum of Squares):** a mérésből származó pontoknak a regressziós pontoktól vett négyzetes eltéréseinek összege, vagyis a mérésből származó pontoknak a regresszió által nem magyarázható („maradék”) varianciájával arányos mennyiség. Ez nem más, mint a (14) kifejezésben szereplő eltérésnégyzet-összeg.

$$SSE = SST - SSR = \sum_{i=1}^N (y_i - f_i)^2 = \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (27)$$

A (24) összefüggésből kiindulva, alkalmazva a (25)-(27) kifejezéseket, a determinációs együttható meghatározása:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (28)$$

A (25)-(27) kifejezéseket felírva a (17) összefüggésnek megfelelően:

$$SST = \sum_{i=1}^N \left(E_i - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N E_i \right)^2 \quad (29)$$

$$SSR = \sum_{i=1}^N \left(\lg \frac{F_{c,b,i}}{b} - \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N E_i \right)^2 \quad \text{és} \quad SSE = \sum_{i=1}^N e_{\lg,i}^2 = \sum_{i=1}^N \left(E_i - \lg \frac{F_{c,b,i}}{b} \right)^2 \quad (30) \text{ és } (31)$$

3.4 Erőkomponensek értékelése

A normálerő és passzív erő alakulását a forgácsolóerőhöz viszonyítva értékeljük. Ehhez határozzuk meg az alábbi arányszámokat a (6) kifejezés szerint meghatározott normált erők alapján.

$$\eta_{n,i} = \frac{\bar{F}_{n,i}}{\bar{F}_{c,i}} \quad \text{és} \quad \eta_{p,i} = \frac{\bar{F}_{p,i}}{\bar{F}_{c,i}} \quad (32) \text{ és } (33)$$

4. Kiértékelés jegyzőkönyve

A kiértékelés eredményei a „mg01-GY1_Maras-kiertekeles_jegyzokonyv.xlsx” fájlban közzétehető. A munkafüzet színezett cellái töltendők fel értelemszerűen az egyedi mérési és kiértékelési adatokkal az „mg01-GY1_Maras-kiertekeles_jegyzokonyv-minta.xlsx” munkafüzet mintájára. A jegyzőkönyv munkalapjai és tartalma a következők:

- **Címoldal:** mérés és kiértékelés dátuma, mérőcsoport tagjainak adatai
- **1.1 Erő, spektrum (egyenirányú):** az egyenirányú marások forgácsolási paraméterei, a kísérlet során rögzített eredeti mérési adatok az idő függvényében ($F_{x,y,z}(t)$), továbbá a mérési adatok Fourier-spektruma ($A_{F_{x,y,z}}(f)$).
- **1.2 Erő, spektrum (ellenirányú):** az ellenirányú marások forgácsolási paraméterei, a kísérlet során rögzített eredeti mérési adatok az idő függvényében ($F_{x,y,z}(t)$) és azok Fourier-spektruma ($A_{F_{x,y,z}}(f)$).

- 2.1 Normált erő (egyenirány): az egyenirányú marásokra jellemző átlagos (normált) erőértékek és a szerszámélhez kötött CNP koordinátarendszerbe transzformált erők a szerszám szögelfordulásának függvényében ($F_{x,y,z}(\varphi)$, $F_{c,n,p}(\varphi)$), a 2. ábra értelmében.
- 2.2 Normált erő (ellenirány): az ellenirányú marásokra jellemző átlagos (normált) erőértékek és a szerszámélhez kötött CNP koordinátarendszerbe transzformált erők a szerszám szögelfordulásának függvényében ($F_{x,y,z}(\varphi)$, $F_{c,n,p}(\varphi)$), a 2. ábra értelmében.
- Mért erő és erőmodell: a Kienzle-Victor modellek ((1) és (2) kifejezések szerint) együtthatói, illetve a modellek megjelenítése a regresszióanalízis alkalmazott normált forgácsolóerőn, az elméleti forgácsvastagság függvényében ($F_c(h)$), a normált erők szórásával és a regressziós modellek determinációs együtthatójával.
- Sebességfüggő erőmodell: a bővített Kienzle-Victor modell ábrázolása a 3 különböző forgácsoló sebességre az elméleti forgácsvastagság függvényében, egyen- és ellenirányú marásra ($F_c(h, v_c)$).
- Erőarányok: a normálerő és passzív erő arányai a forgácsolóerőhöz képest az elméleti forgácsvastagság függvényében ($\eta_{n,p}(h)$).

5. A labor teljesítésének feltételei

Az alábbi teendők szükségesek a laborgyakorlat teljesítéséhez:

- Mérőcsoportonként egy-egy nyomtatott jegyzőkönyv és 1. sz. melléklet a laborgyakorlatra.
- A laboron való részvétel (hiányzás esetén írásbeli és szóbeli beszámolóval pótolható előre a gyakorlatvezetővel egyeztetett módon).
- Mérések kiértékelése mérőcsoportonként a közzétett segédanyagok alapján.
 - o Beadás módja: elektronikusan a biro@manuf.bme.hu e-mail címre.
 - o A beküldött anyag tartalmazza:
 - szkennelt, kitöltött mérési jegyzőkönyvet,
 - eredeti mérési adatfájlokat,
 - az adatokkal, szöveges konklúziókkal feltöltött kiértékelési jegyzőkönyvet,
 - a számításokhoz használt programfájlokat (Excel munkafüzet, Maple fájl, stb.).
 - o Beadás határideje: szorgalmi időszak utolsó munkanapja, 12.00.
 - o Pótdíjköteles beadás határideje: pótlási időszak utolsó munkanapja, 12.00
 - o Értékelés módja: A beadott kiértékelési anyag összesen 10 pontot ér a féléves számonkérések összesen 100 pontjából. Az értékelésnél figyelembe vett jellemzők:
 - Korrekt, szabatos adatfeldolgozás, számítások részletes követhetősége.
 - Szöveges konklúziók szakmaisága, teljessége.

Konzultáció a szorgalmi időszakban:

Dr. Biró István, adjunktus

Fogadó óra: lásd https://manuf.bme.hu/?page_id=1104

E-mail: biro@manuf.bme.hu

Ajánlott irodalom:

1. Dr. Horváth Mátyás – Dr. Markos Sándor: Gépgyártástechnológia. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1995. (Jegyzet azonosító: 45018)
2. Adler, Markova, Granovszkij: Kísérletek tervezése optimális feltételek meghatározására, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
3. Halász Gábor, Huba Antal: Műszaki mérések, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2003.
4. Koris Kálmán (szerk.): Hidrológiai számítások, Linograf Kft., 2003.

1111 Budapest, Egry J. u. 1., T épület, IV. emelet	Tel.: +36-18463-2517 Fax.: +36-1/463-3176	www.manuf.bme.hu
--	--	--



FORGÁCSOLÁSI FOLYAMATOK

Mérési jegyzőkönyv – GY1 gyakorlat Marás erőmérésének statisztikai alapú kiértékelése

Laborgyakorlati csoport betűjele:

Mérőcsoport sorszáma:

Mérőcsoport tagjai és feladatai:

1. Név: Neptun kód: Feladat:
2. Név: Neptun kód: Feladat:
3. Név: Neptun kód: Feladat:
4. Név: Neptun kód: Feladat:

1. táblázat: Homlokmarási kísérlet paraméterlistája (gépi, mért és számított paraméterek)

Ssz.	Konfig. szám	Gépi paraméterek			Mért paraméterek				Számított par.	
		Marás iránya	n 1/min	v_f mm/min	a_p mm	a_e mm	$\Delta\theta$ fok	t_m (s)	v_c m/min	f_z mm/(1·1)
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										
6.										

2. táblázat: Marószerszám adatai

Megnevezés	Szerszámtest	Váltólapka
Típus, kód		
Névleges átmérő, d (mm)		---
Forgácsoló éllek száma, z (1)		---
Főélelhelyezési szög, κ_r (fok)	---	

3. táblázat: Specifikációk

Megnevezés	Specifikáció		
Próbatest anyaga			
Töltéserősítő méréshatára	$F_x =$ N	$F_y =$ N	$F_z =$ N

Vázolják fel a teljes mérési és mintavételezési rendszer blokkdiagramját! Pontosan azonosítsák az egyes elemeket, eszközöket!



Vázolják fel jellegre helyesen a marószerszám éléhez rögzített CNP koordináta-rendszert az erőmérő XYZ koordináta-rendszerében egyen- és ellenirányú marásra! Határozzák meg az erők transzformációjához szükséges $\underline{\underline{R}}$ forgatómátrix komponenseit!



$$\begin{aligned} \underline{\underline{R}}_{\text{egyen}} &= \left[\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right] \\ \underline{\underline{R}}_{\text{ellen}} &= \left[\begin{array}{c} \\ \\ \end{array} \right] \end{aligned}$$

A laborgyakorlaton való részvételt igazolom.

.....
gyakorlatvezető

1111 Budapest, Egry J. u. 1., T épület, IV. emelet	Tel.: +36-18463-2517 Fax.: +36-1/463-3176	www.manuf.bme.hu
--	--	------------------



FORGÁCSOLÁSI FOLYAMATOK

1. sz. melléklet – Paraméter-konfigurációk listája

Konfig. szám	Marás iránya	Ford.szám	Előtoló seb.	Fogásmély.	Frekvencia	Időtartam
		n (1/min)	v_f (mm/min)	a_p (mm)	f_m (Hz)	t_m (s)
1.	egyen	235	39	0,75	2820	2,6
2.	egyen	235	50	0,75	2820	2,6
3.	egyen	235	78	0,75	2820	2,6
4.	egyen	300	39	0,75	3600	2,0
5.	egyen	300	50	0,75	3600	2,0
6.	egyen	300	78	0,75	3600	2,0
7.	egyen	375	39	0,75	4500	1,6
8.	egyen	375	50	0,75	4500	1,6
9.	egyen	375	78	0,75	4500	1,6
10.	egyen	475	39	0,75	5700	1,3
11.	egyen	475	50	0,75	5700	1,3
12.	egyen	475	78	0,75	5700	1,3
13.	egyen	600	39	0,75	7200	1,0
14.	egyen	600	50	0,75	7200	1,0
15.	egyen	600	78	0,75	7200	1,0
16.	ellen	235	39	0,75	2820	2,6
17.	ellen	235	50	0,75	2820	2,6
18.	ellen	235	78	0,75	2820	2,6
19.	ellen	300	39	0,75	3600	2,0
20.	ellen	300	50	0,75	3600	2,0
21.	ellen	300	78	0,75	3600	2,0
22.	ellen	375	39	0,75	4500	1,6
23.	ellen	375	50	0,75	4500	1,6
24.	ellen	375	78	0,75	4500	1,6
25.	ellen	475	39	0,75	5700	1,3
26.	ellen	475	50	0,75	5700	1,3
27.	ellen	475	78	0,75	5700	1,3
28.	ellen	600	39	0,75	7200	1,0
29.	ellen	600	50	0,75	7200	1,0
30.	ellen	600	78	0,75	7200	1,0



FORGÁCSOLÁSI FOLYAMATOK

2. sz. melléklet – Jelölések jegyzéke

Jel	Mértékegység	Megnevezés
a_e	mm	fogásszélesség
a_p	mm	fogásmélység
b	mm	forgácsszélesség
d	mm	maró névleges átmérője
F_c	N	forgácsolóerő
f_m	Hz (= minta/s)	mintavételezési frekvencia
F_n	N	normálerő
F_p	N	passzív erő
f_z	mm/(1·1) (= „mm/(ford·él)”)	élenkénti előtolás
h	mm	forgácsvastagság
i	1	diszkrét minta sorszáma egy T perióduson belül
k_{c1}, C_F	-	empirikus erőállandó
M	1	mért szerszámfordulatok száma
m	1	mért szerszámfordulat sorszáma
n	1/min (= „ford/perc”)	névleges főorsó fordulatszám
n^*	1/min (= „ford/perc”)	főorsó (valós) fordulatszáma
s_F	N	mért erő szórása
T	s	marószerszám körbefordulásának periódusideje
t_m	s	mintavételezés időtartama
v_c	m/min	forgácsoló sebesség
v_f	mm/min	előtoló sebesség
x_F	-	elméleti forgácsvastagság empirikus kitevője
y_F	-	elméleti forgácsszélesség empirikus kitevője
z_F	-	forgácsoló sebesség empirikus kitevője
Δt	s	diszkrét mintavételezési időtartam
$\Delta \varphi$	°	mintavételezés szöginkremense
κ_r	rad	főélelhelyezési szög
φ	rad	marófej szögelfordulása
ω	1/s	főorsó szögsebessége