



KORSZERŰ, TÖBBRÉTEGŰ, SZUPERKEMÉNY BEVONATOK TRIBOLÓGIAI VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA ÉS FEJLESZTÉSE

Fülöp Fruzsina ARUVT1

Tervezésvezető: Dr. Marosné Prof. Dr. Berkes Mária, egyetemi tanár

Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar
Óbudai Egyetem

Teljesített kreditpontok

Teljesített tantárgyak a képzés kezdetétől		
Tantárgy	Teljesítés féléve	Kredit
<i>Anyagtudomány alapjai</i>	<i>I.</i>	<i>5</i>
<i>Kontinuummechanika</i>	<i>I.</i>	<i>5</i>
<i>Modern analízis</i>	<i>I.</i>	<i>5</i>
<i>Műszaki kerámiák</i>	<i>I.</i>	<i>5</i>
<i>Anyagszerkezetten és anyagismeret</i>	<i>II.</i>	<i>5</i>
<i>Korszerű felületvizsgálatok</i>	<i>II.</i>	<i>5</i>
<i>Numerikus módszerek</i>	<i>II.</i>	<i>5</i>
<i>Tribológia</i>	<i>II.</i>	<i>5</i>
<i>Műszaki polimerek</i>	<i>IV.</i>	<i>0</i>
<i>Tanszéki oktatási tevékenység I-II. félév</i>	<i>I-II.</i>	<i>10</i>
<i>Komplex vizsga</i>	<i>IV.</i>	<i>0</i>
<i>Komplex tervezés</i>	<i>IV.</i>	<i>0</i>
<i>Kutatósze­minárium I-IV. félév</i>	<i>I-IV.</i>	<i>20</i>
<i>Kutatás és beszámoló I-IV. félév</i>	<i>I-IV.</i>	<i>15</i>
<i>Kutatási project V.</i>	<i>V.</i>	<i>10</i>
<i>Kutatási beszámoló V.</i>	<i>V.</i>	<i>10</i>
Összesen		105

1. Jalalova, P., Fülöp, F., Maros, M. B. (2023). Investigation of the Tribological Behaviour of Advanced TiAlN and CrAlN Hard Coatings Deposited on X153CrMoV12 Cold Work Tool Steel. In: Jármái, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15211-5_51
2. Fülöp, F., Maros, M. B. (2023). A Comparative Study on the Tribological Performance of a Monolayer TiBN and Multilayered TiBN/DLC Coating on X210Cr12 Tool Steel. In: Jármái, K., Cservenák, Á. (eds) Vehicle and Automotive Engineering 4. VAE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15211-5_52.
3. P. Jalalova, F. Fülöp, M. Berkes Maros, Some Experiences with Polycrystalline Diamond Coatings on a Steel Substrate during Dry Sliding Ball-on-Disk Wear Test Conditions, in Zs. Koncsik, J. Lukács (Ed.): Research results at the Institute of Material Structure and Materials Technology of the Faculty of Mechanical Engineering and Informatics of the University of Miskolc, University of Miskolc, Faculty of Mechanical Engineering and Informatics, Institute of Material Structure and Materials Technology, pp 97-114, 2022.
4. F. Fülöp, M. Berkes Maros, Növelt hőkapacitású, energiatakarékos beltéri bevonatok kvázi gradiens építőelemek fejlesztéséhez – bazaltszálalás ásványi hidrátok és low-E anyagok, in Zs. Koncsik, J. Lukács (Ed.): Kutatási eredmények a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében, Miskolc, Magyarország, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet, pp 69-86, 2022.
5. Fruzsina Fülöp, Prof. Dr. Maria Berkes Maros: Effect of loading conditions on a TiBN and different DLC top-layered coatings applied on X210Cr12 cold work tool steel, Engineering Symposium at Bánki 2023, Budapest, 16th November 2023. (Publikáció folyamatban)

Megmunkáló szerszámok terhelése és tönkremenetele

Hidegalakító szerszám



Jellemző terhelés:

Mechanikai → Nyomás, súrlódás, kopás

Termikus → Hőterhelés

Kémiai → Korrózió

Jellemző
tönkremenetel:

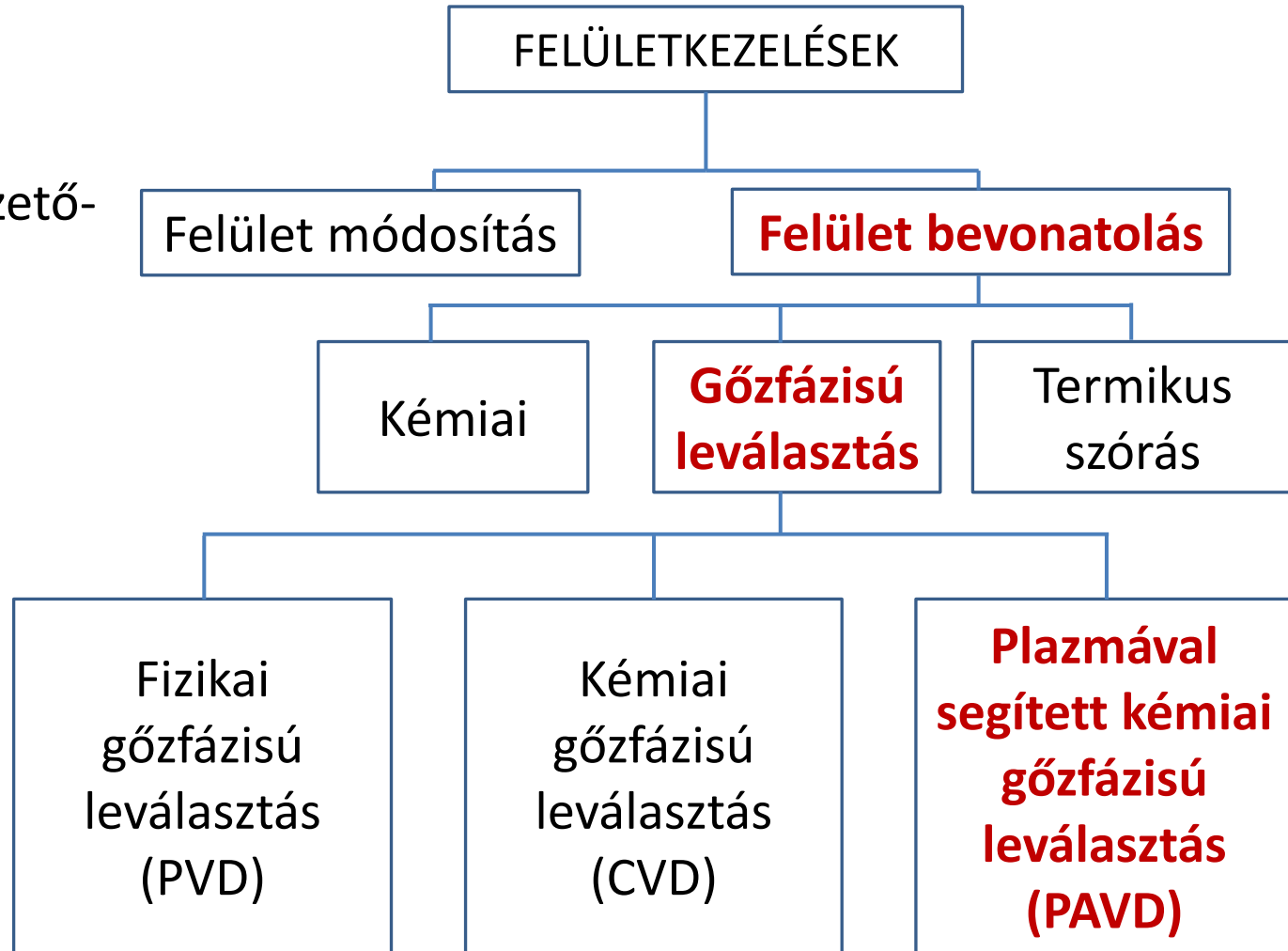
- Törés
- **Kopás**
- Fáradás
- Korrózió
- Leromlás

Megmunkáló szerszámokkal szembeni elvárások

Elvárások

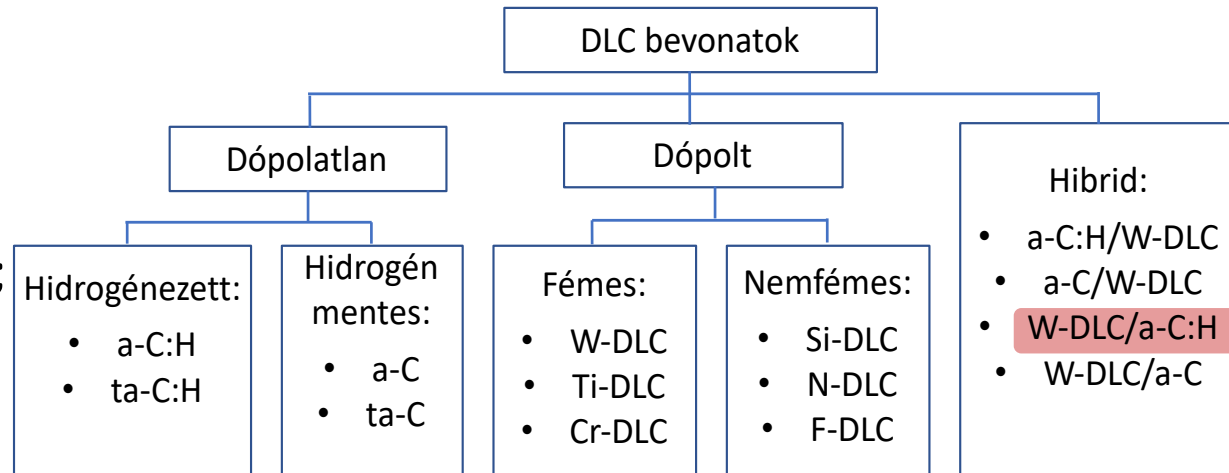
- **Jó kopásállóság**
- Nagy szilárdság
- Megfelelő hővezető-képesség
- Keménység
- Mérettartás
- Korrózióállóság
- Melegszilárdság

Megoldások

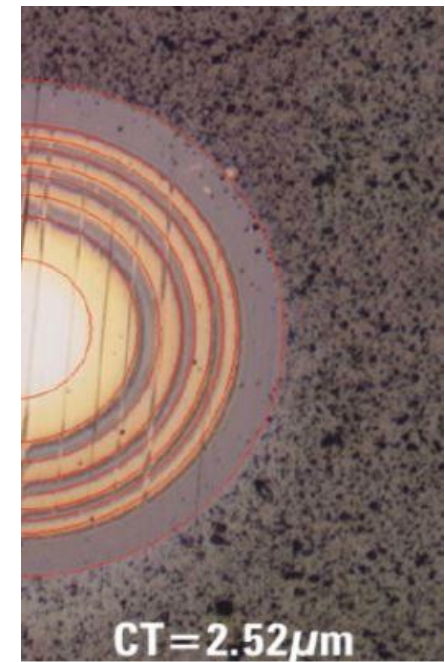
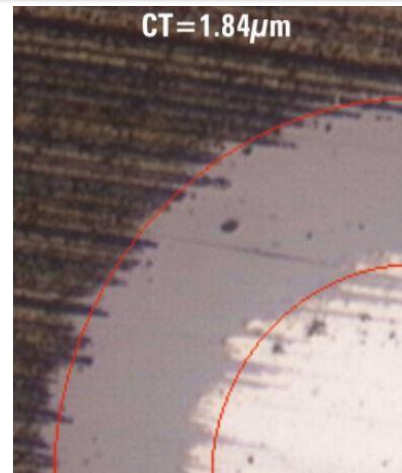
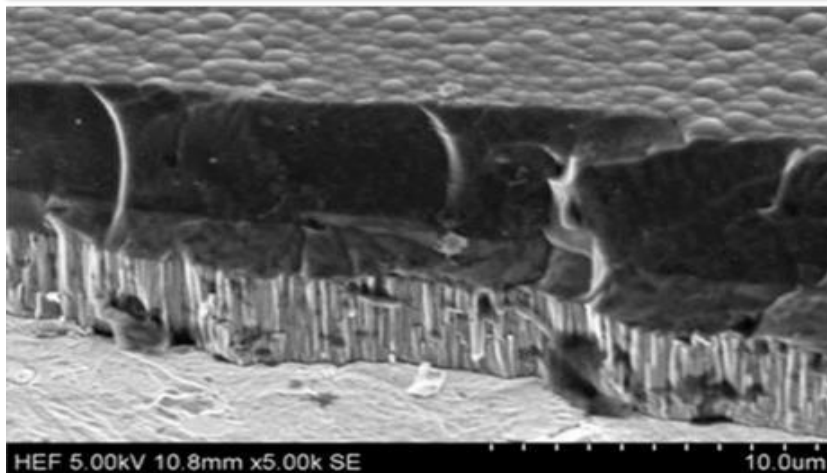


DLC bevonatrendszer

- *Diamond-Like Carbon*;
- Önkenő bevonatok;
- Nagy keménység;
- Nagyon jó kopásállóság;
- Nagy méretpontosság;
- Biokompatibilitás;



DLC = Aláréteg (Cr, CrN, Si, W) + felső funkcionális (karbonnal dúsított, amorf) réteg

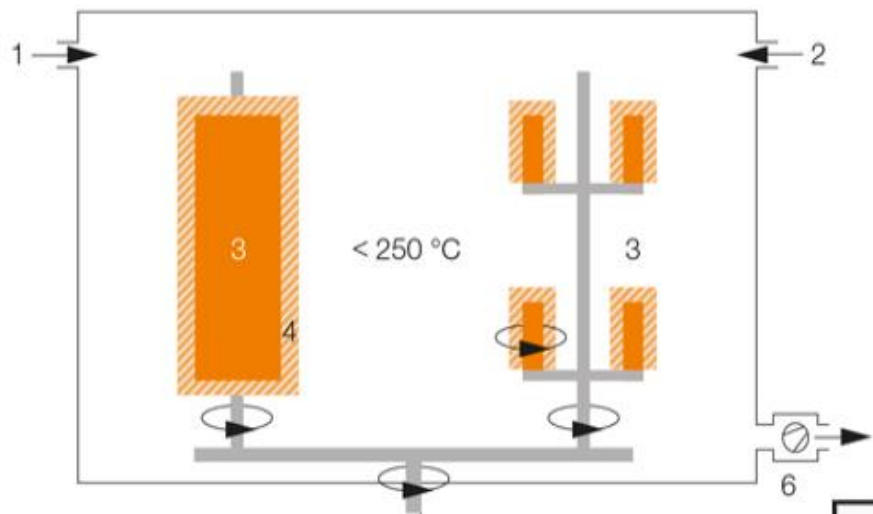


DLC bevonatok létrehozása

PVD

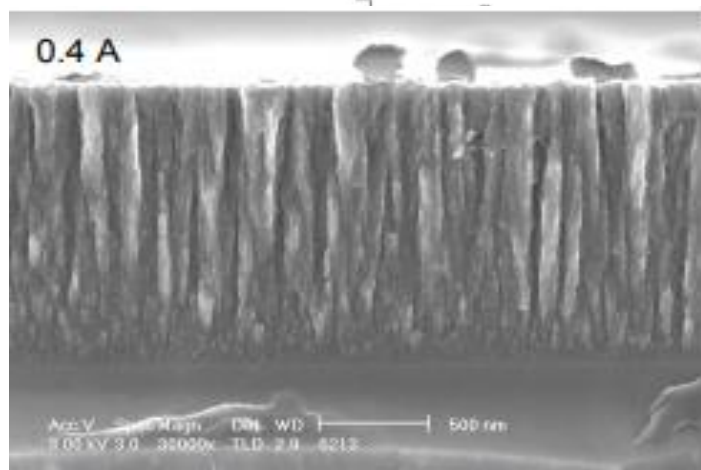
CVD

PACVD



- Beáramoltatott anyagok: gáz halmazáll.
- Bevonatolás hőmérséklete: 300 °C alatt
- Keletkezett réteg: 2-5 μm

70% sp^3 kötés \Rightarrow **40 GPa** keménység



Gyémánt	DLC (Diamond-like carbon)	Grafit
sp^3	$\text{sp}^3 + \text{sp}^2$	sp^2

Kísérleti munka – vizsgálati minták jellemzői

- Alapanyag: K110
- Kiválóan keményített szubsztrát
- Méretek: $d=30$ mm,
 $v=5$ mm
- Felületi minőség: polírozott
- Vizsgált bevonat típusok: TiBN, TiBN+DLC, TiAlN, TiAlN+DLC, CrN, CrN+DLC, CrAlN, CrAlN+DLC
- Bevonatolási technológia: PACVD



Alapanyag – K110

Összetétel forrása	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
EN ISO 4597 szabvány	1,45 - 1,60	1,45 - 1,60	0,2 - 0,6	11,0 - 13,0	0,7 - 1,0	0,7 - 1,0
Böhler anyagadatlap	1,55	1,55	0,30	11,30	0,75	0,75
Alapanyagon mért értékek	1,68	1,68	0,37	10,9	0,68	0,57

EN X153CrMoV12 (Böhler K110):

- Erősen ötvözött hidegalakító szerszámacél;
- 12% Cr tartalom;
- Kiváló abrazív kopásállóság;
- Jó nyomószilárdság és szívósság;
- Ledeburitos szövetszerkezet;
- Levegőn történő megeresztés;
- Kiválóan alkalmas bevonatolásra;

Alapanyag hőkezelése

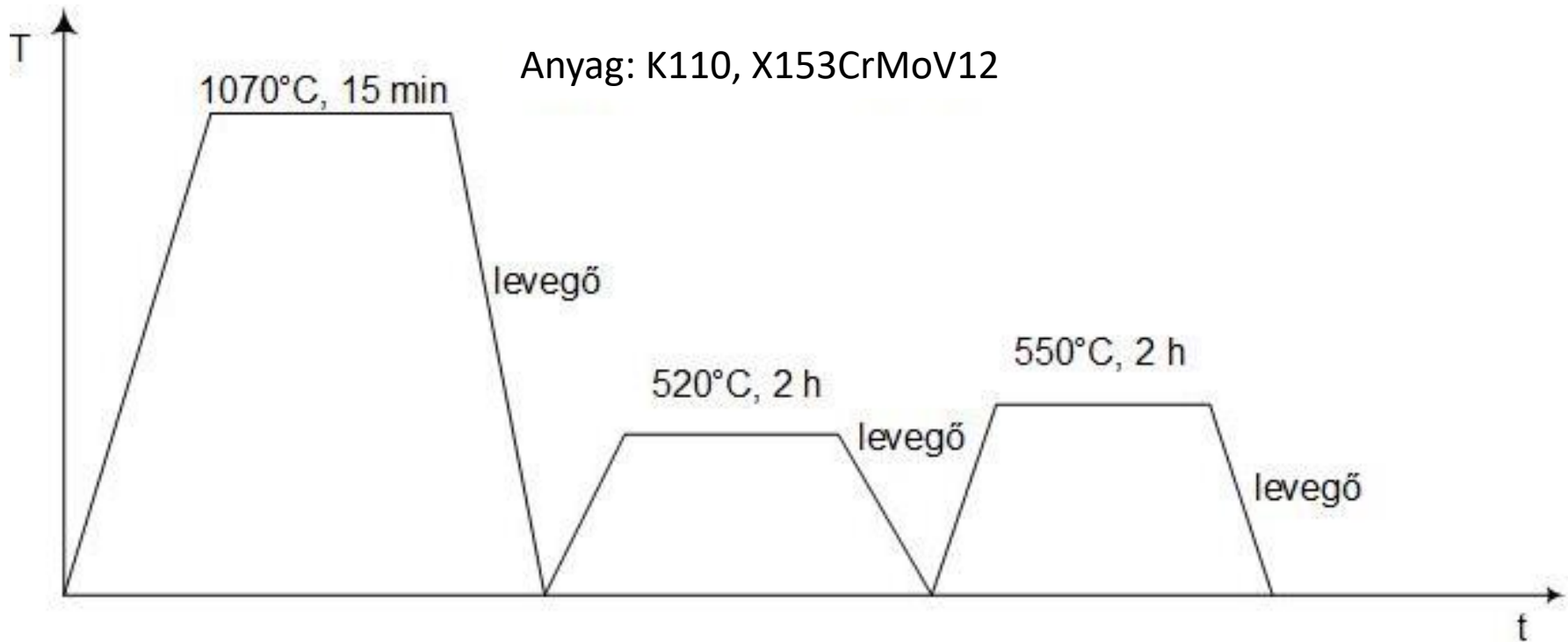
Edzés



Megeresztés
két lépésben

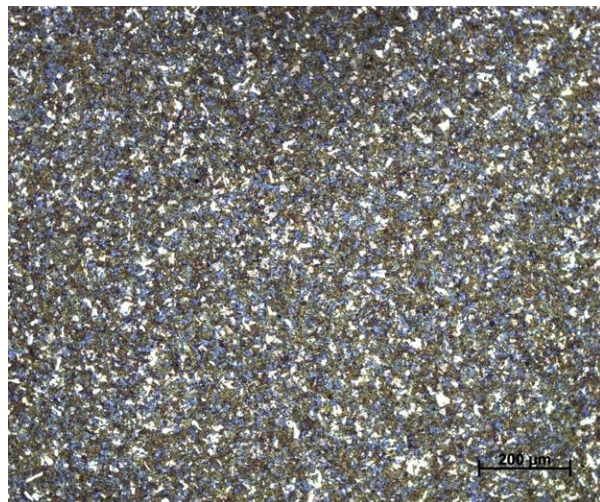


Kiválósos
keményítés

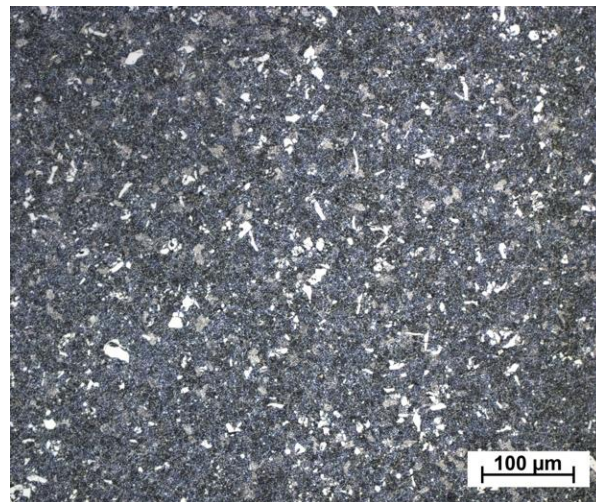


Alapanyag szövetszerkezete — Lágyított állapot

00_Lágyított állapot_100×



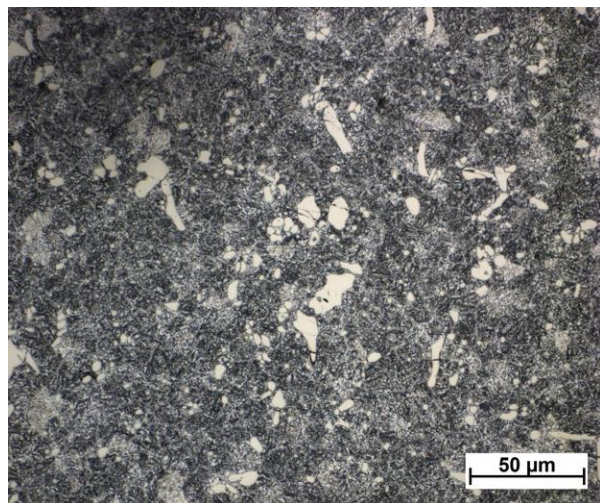
00_Lágyított állapot_200×



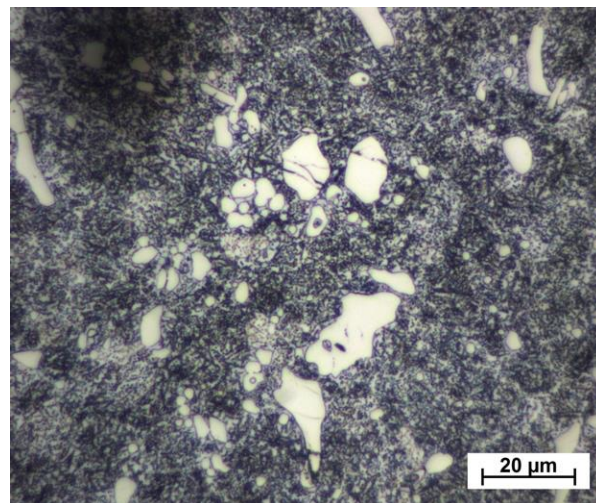
Karbid gömbök+
nagyobb méretű
karbid kiválások

HV 240

00_Lágyított állapot_500×

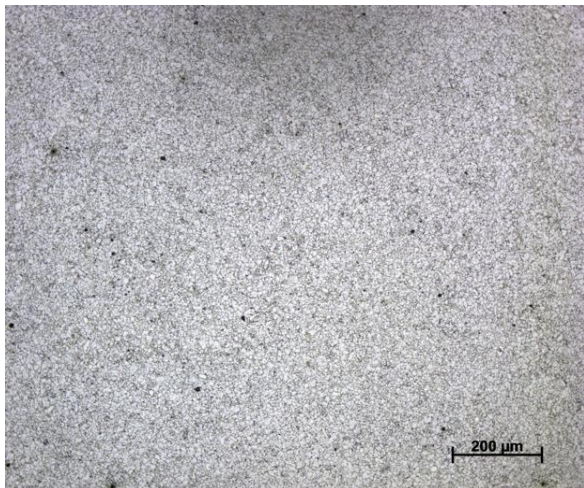


00_Lágyított állapot_1000×

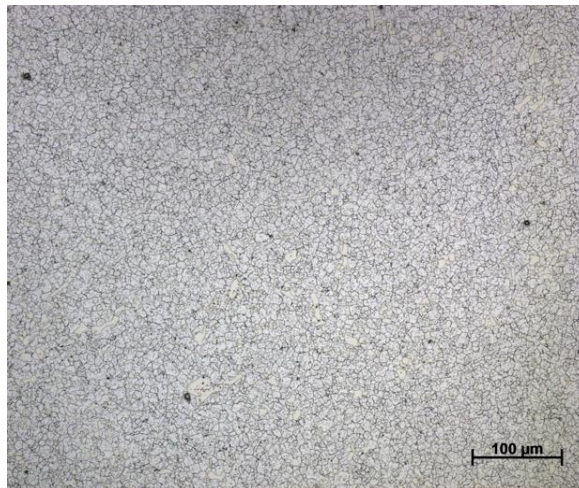


Alapanyag szövetszerkezete — Edzett állapot

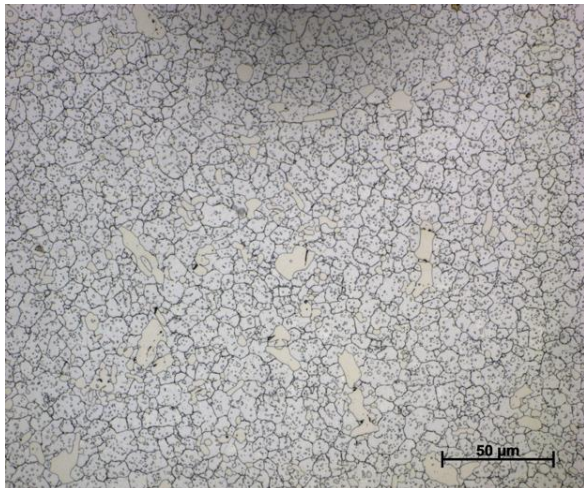
01_Edzett_100×



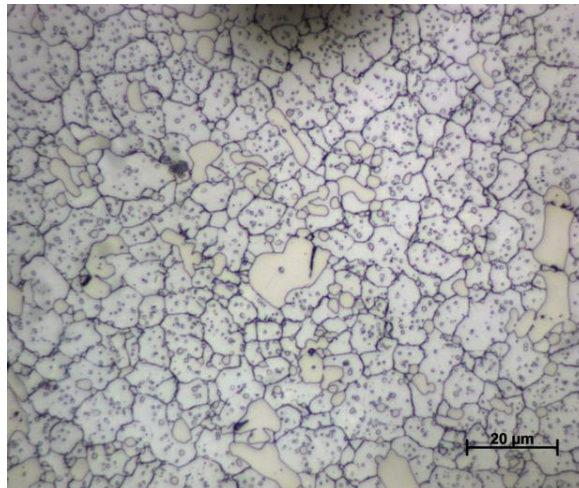
01_Edzett_200×



01_Edzett_500×



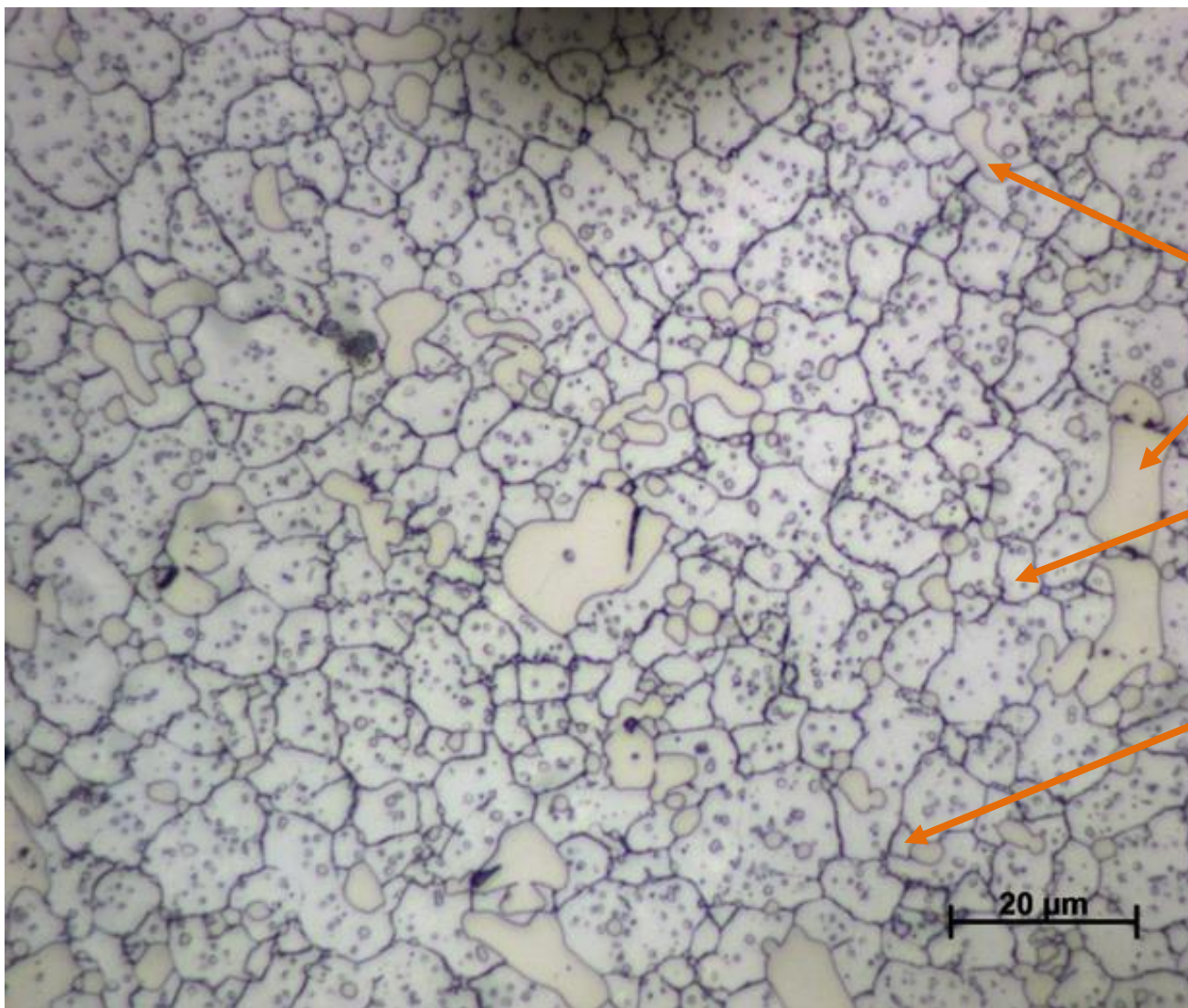
01_Edzett_1000×



Edzési
paraméterek:
T: 1070 °C
(ausztenitesítési
hőmérséklet)
t: 15 min

HV 775

Alapanyag szövetszerkezete — Edzett állapot



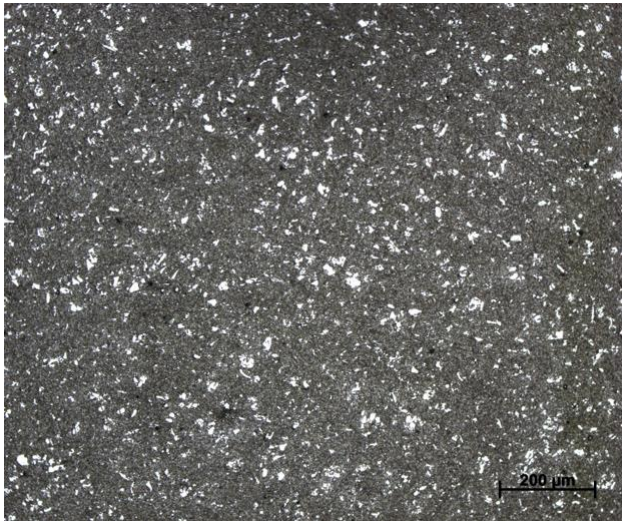
Primer karbidok

Martenzit a szemcsehatáron

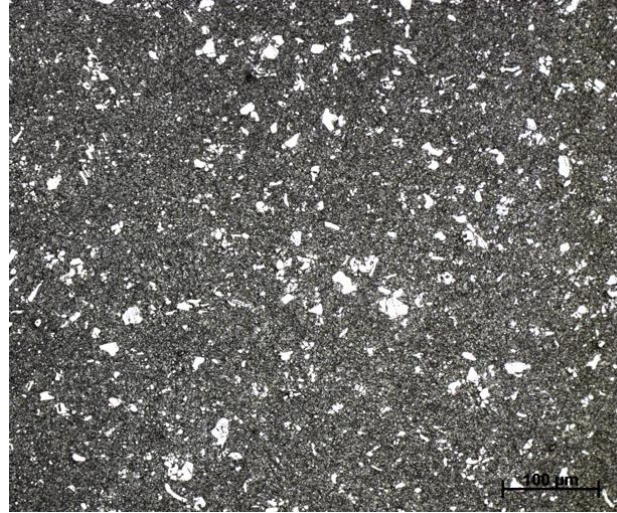
Ausztenit

Alapanyag szövetszerkezete — Edzett+megeresztett állapot

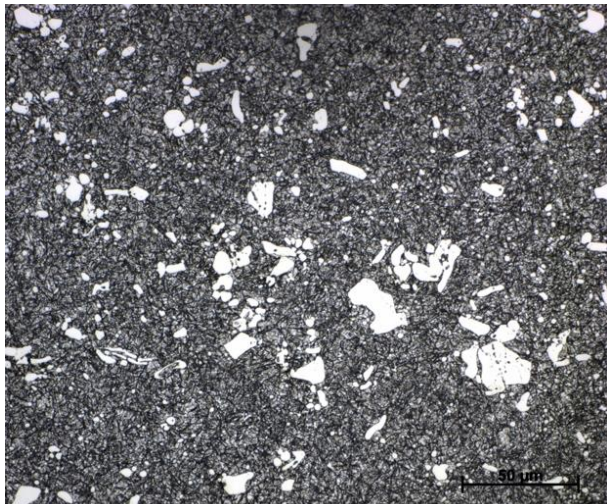
01_Edzett+megeresztett_100×



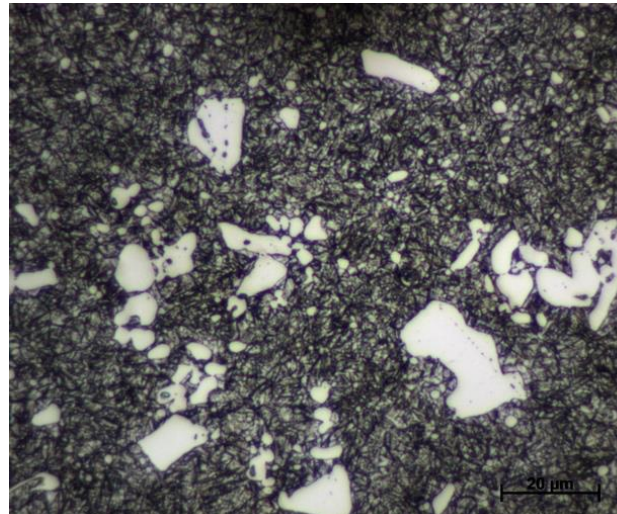
01_Edzett+megeresztett_200×



01_Edzett+megeresztett_500×



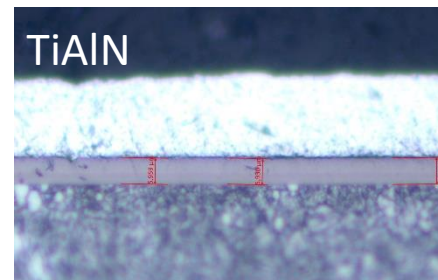
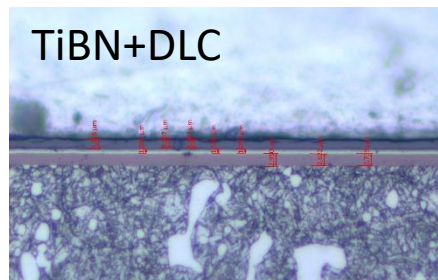
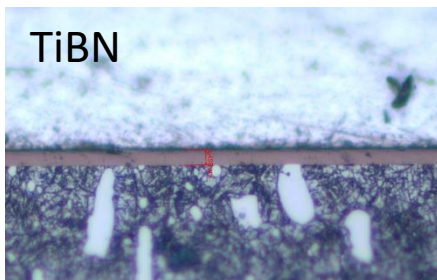
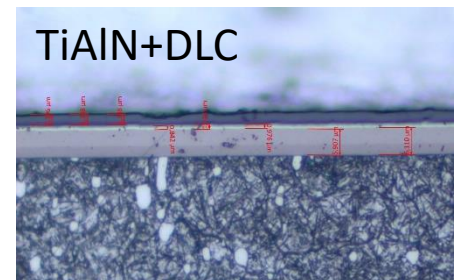
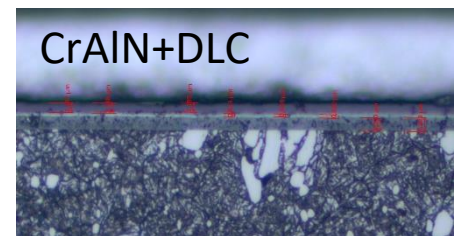
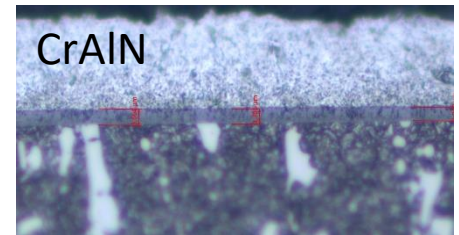
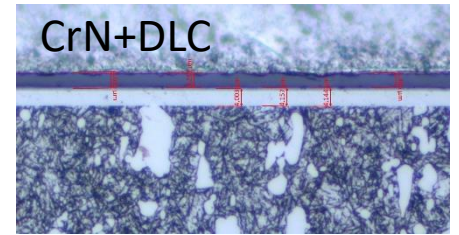
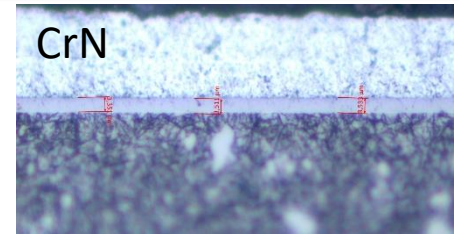
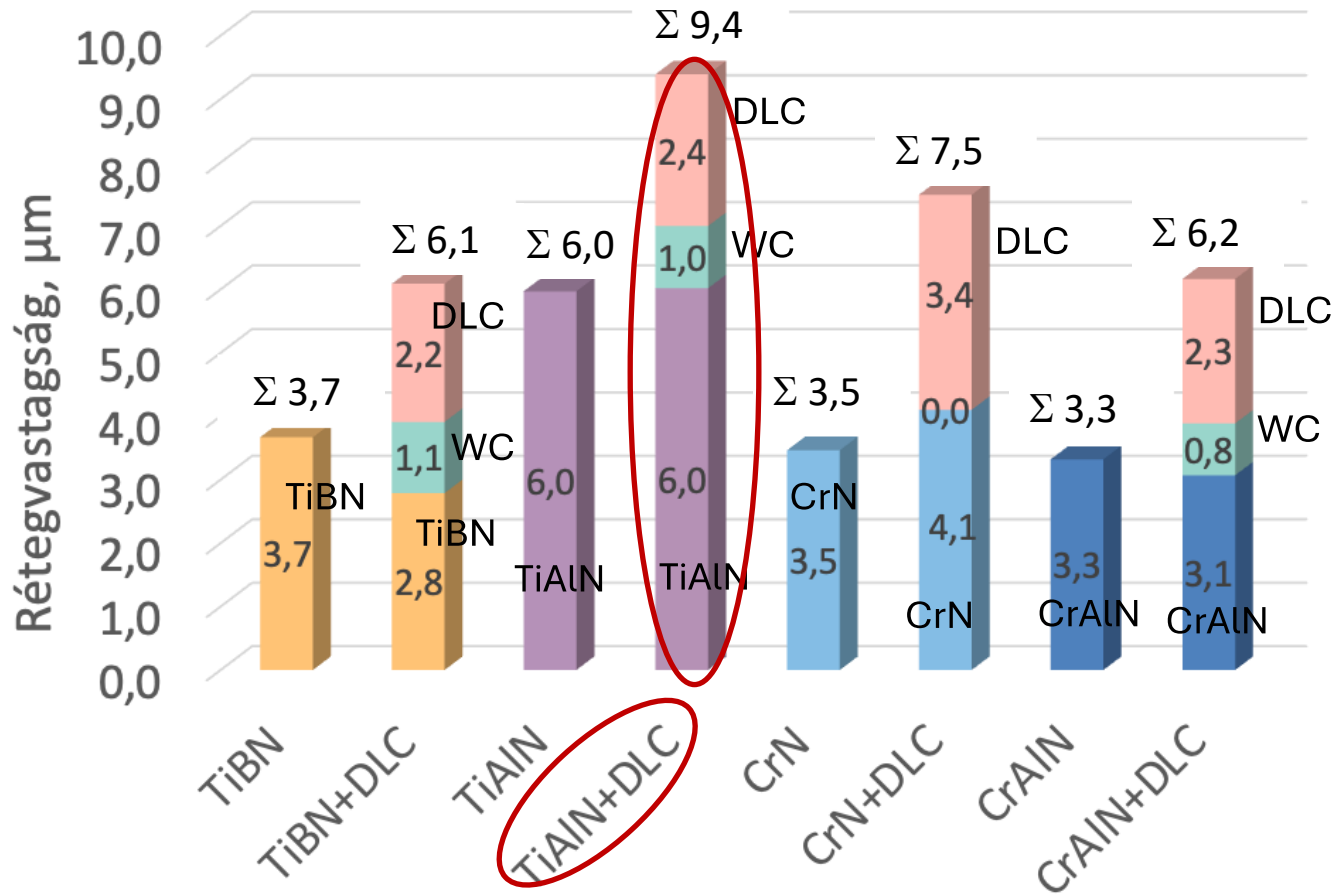
01_Edzett+megeresztett_1000×



Megeresztési
hőmérséklet:
520-570 °C :
másodlagos
keményedéshez
tartozó
hőmérséklet

HV 715

Rétegvastagság vizsgálata



Karcvizsgálat— TiBN

Vizsgálati paraméterek

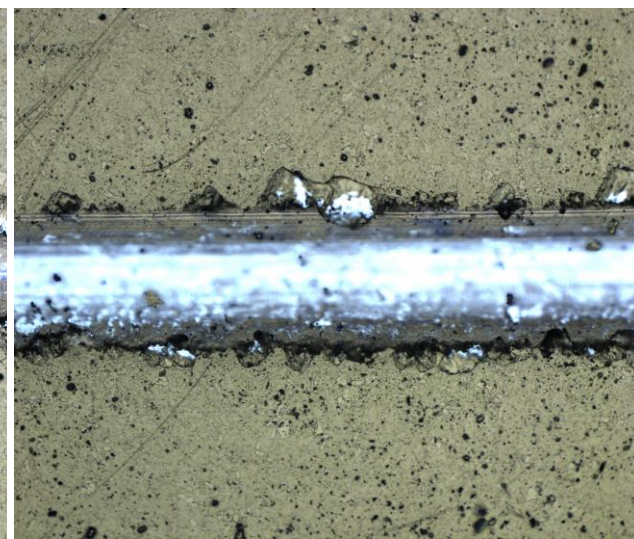
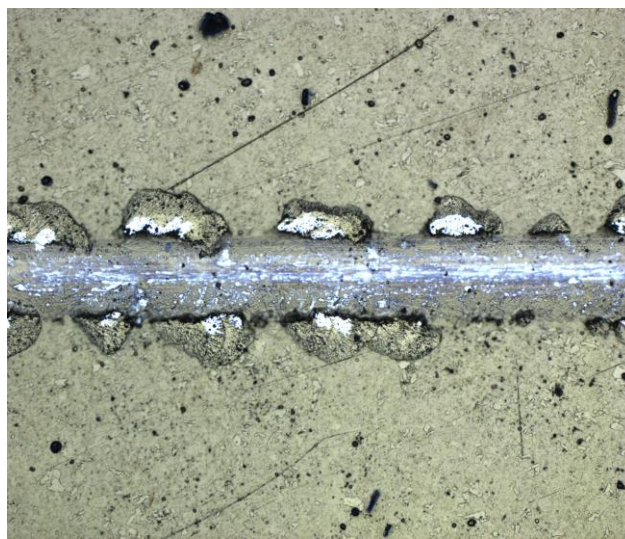
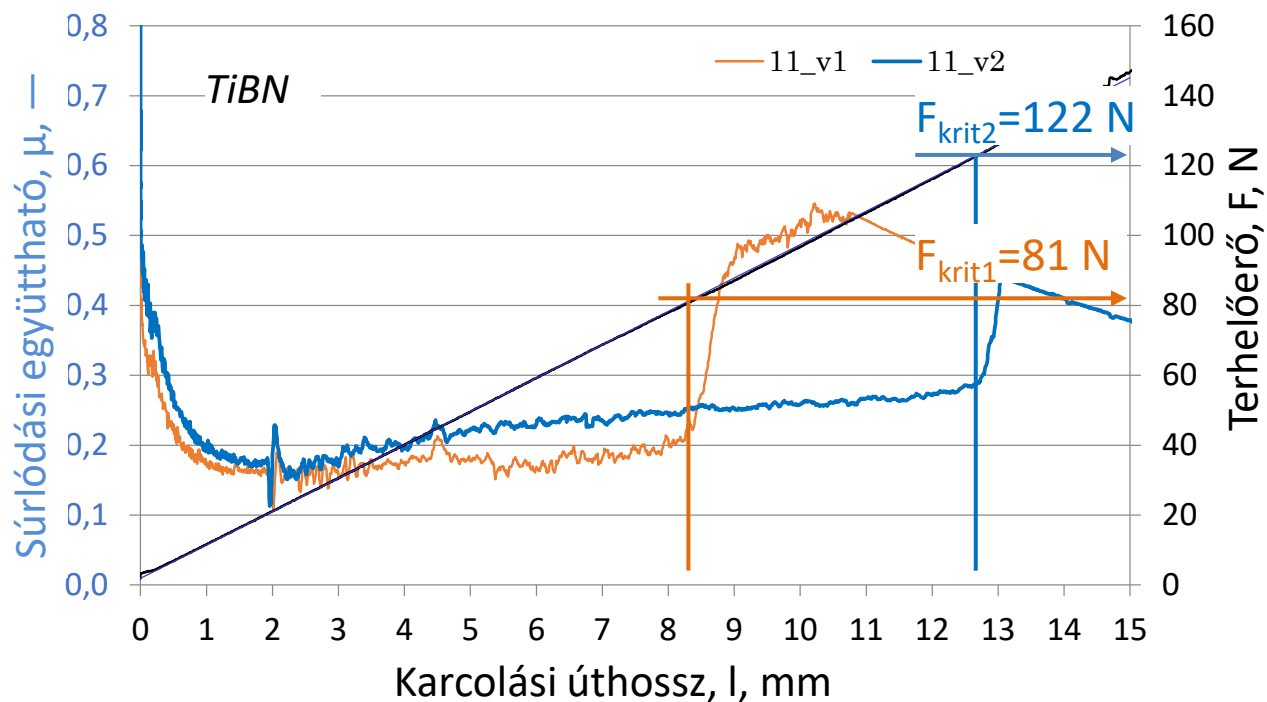
F_{\min} 2 N

F_{\max} 150 N

F_{gradiens} 10 N/mm

V_{asztal} 5 mm/min

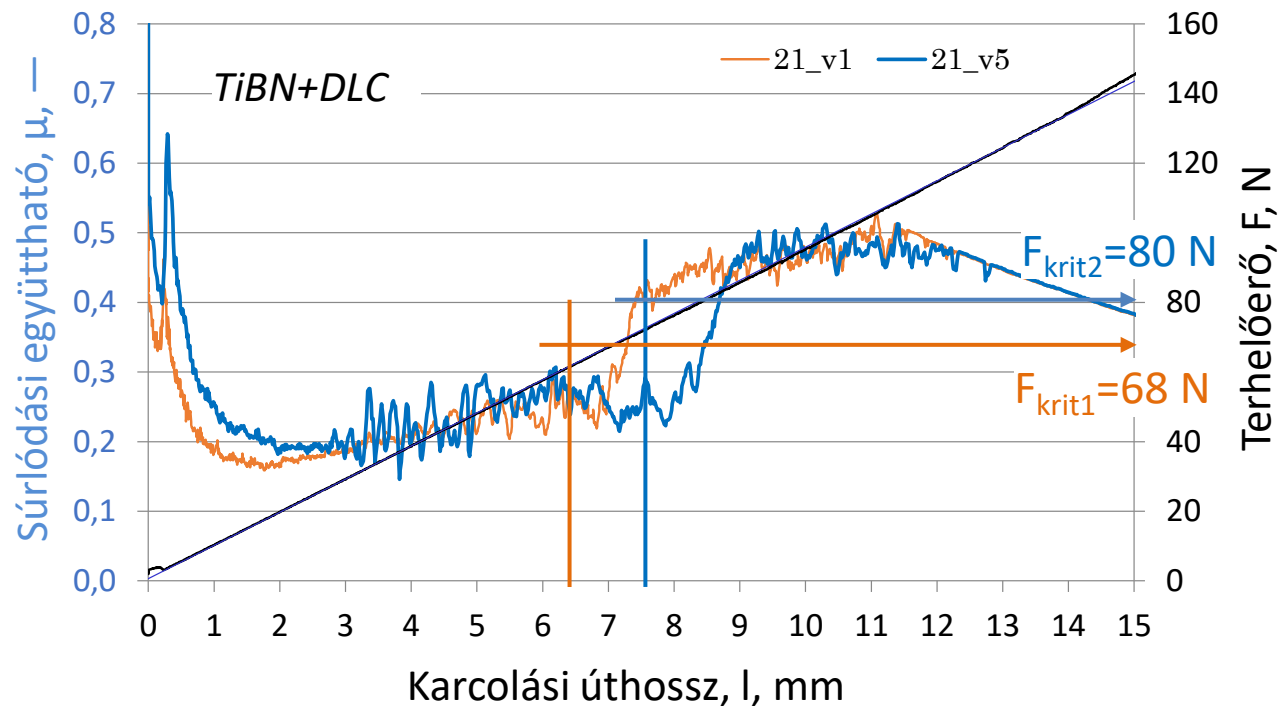
l_{karc} 16 mm



Karcvizsgálat — TiBN+DLC

Vizsgálati paraméterek

F_{\min}	2 N
F_{\max}	150 N
F_{gradiens}	10 N/mm
v_{asztal}	5 mm/min
l_{karc}	16 mm



Karcvizsgálat — TiAlN

Vizsgálati paraméterek

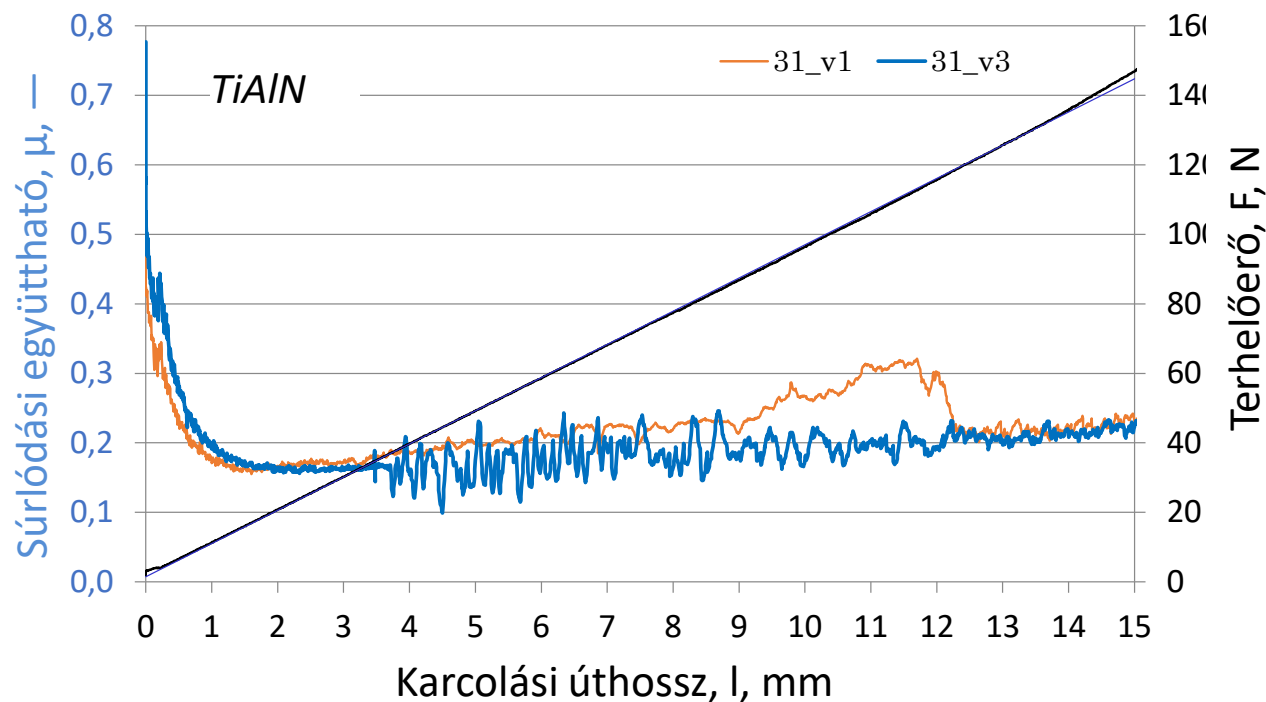
F_{\min} 2 N

F_{\max} 150 N

F_{gradiens} 10 N/mm

V_{asztal} 5 mm/min

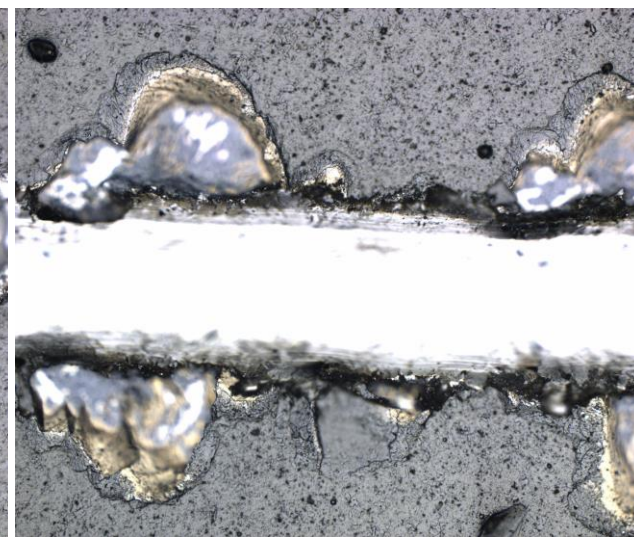
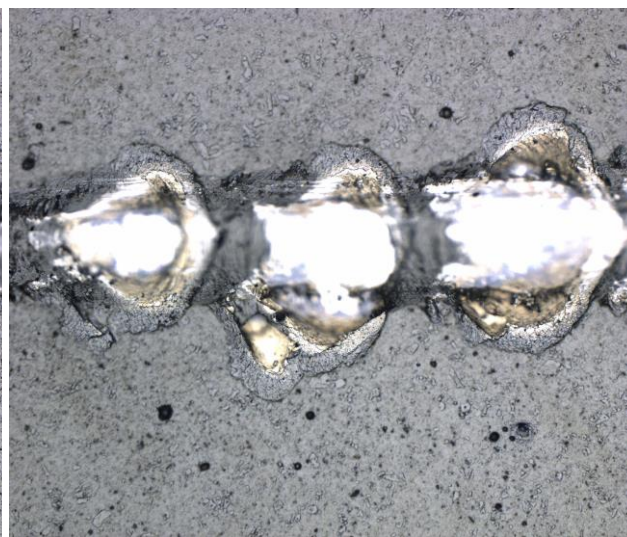
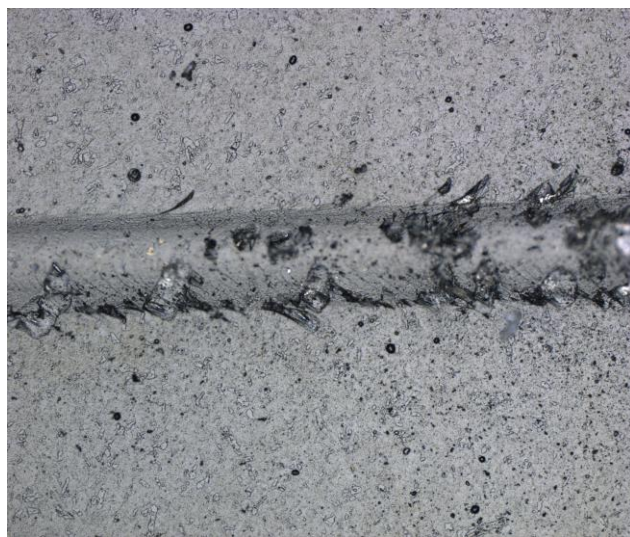
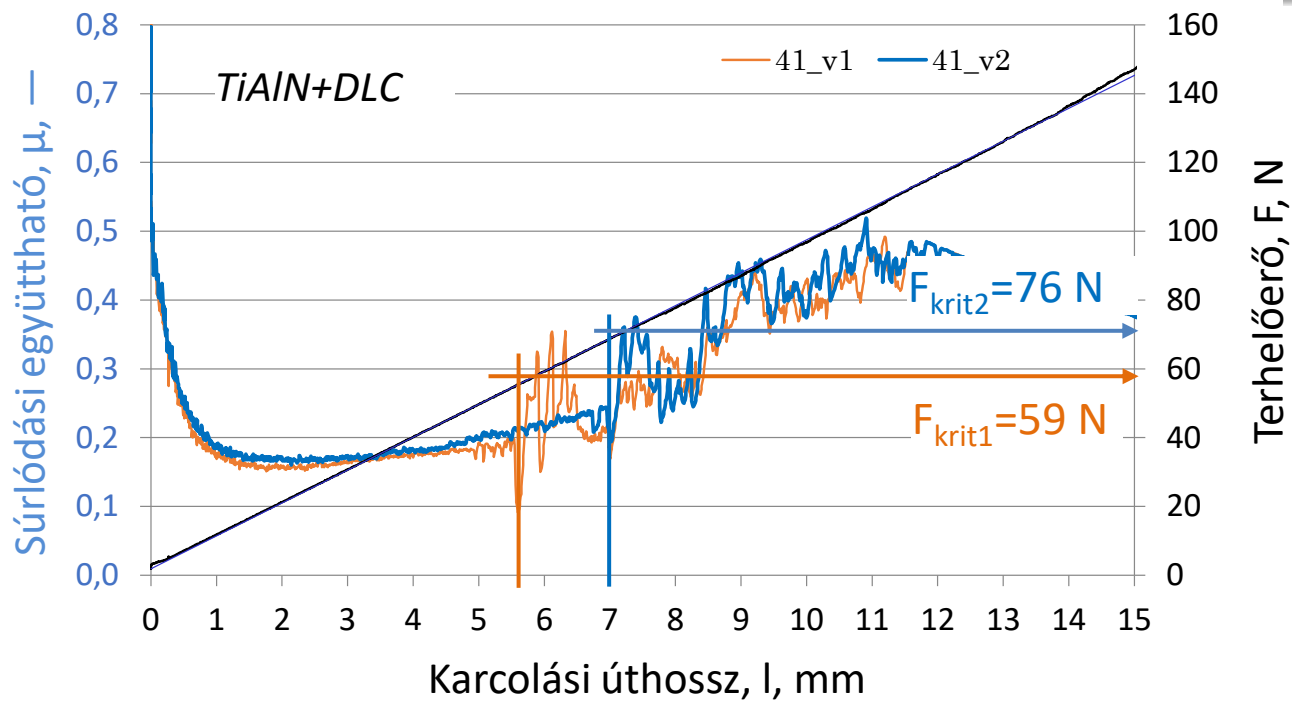
l_{karc} 16 mm



Karcvizsgálat — TiAlN+DLC

Vizsgálati paraméterek

F_{\min}	2 N
F_{\max}	150 N
F_{gradiens}	10 N/mm
V_{asztal}	5 mm/min
l_{karc}	16 mm



Karcvizsgálat — CrN

Vizsgálati paraméterek

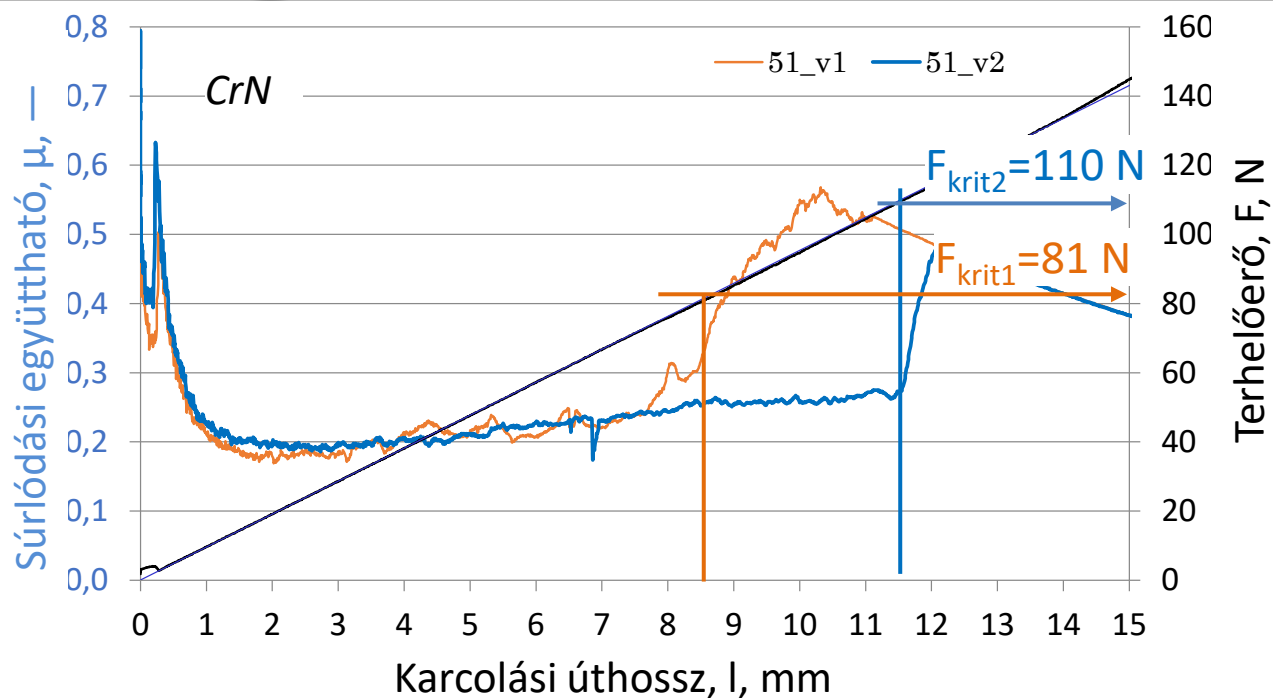
F_{\min} 2 N

F_{\max} 150 N

F_{gradiens} 10 N/mm

v_{asztal} 5 mm/min

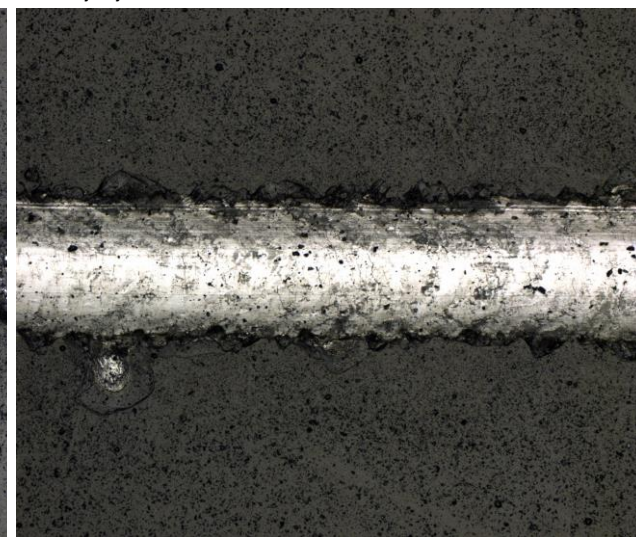
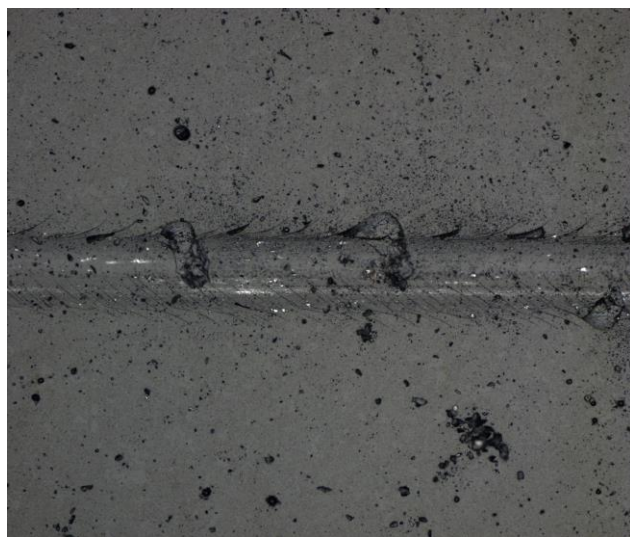
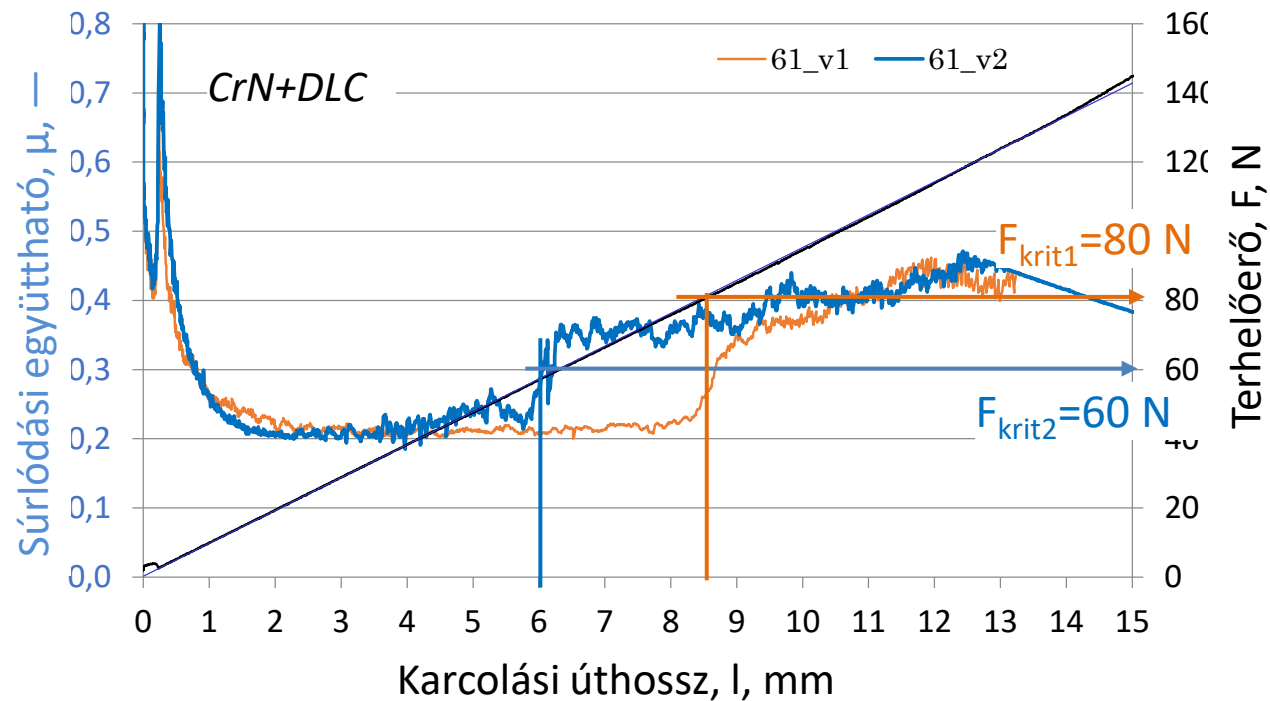
l_{karc} 16 mm



Karcvizsgálat — CrN+DLC

Vizsgálati paraméterek

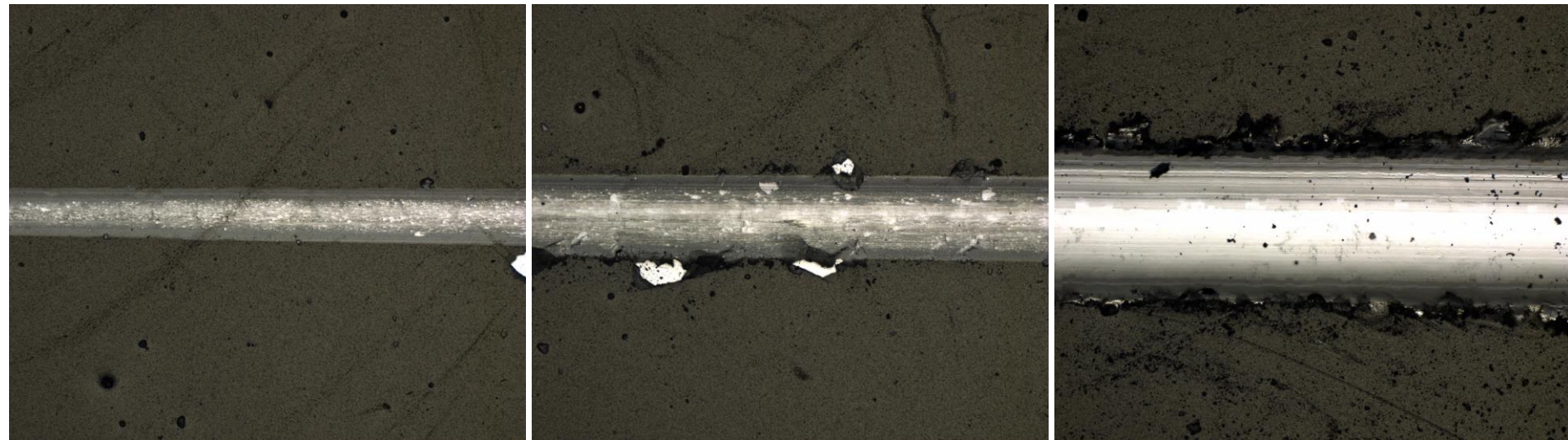
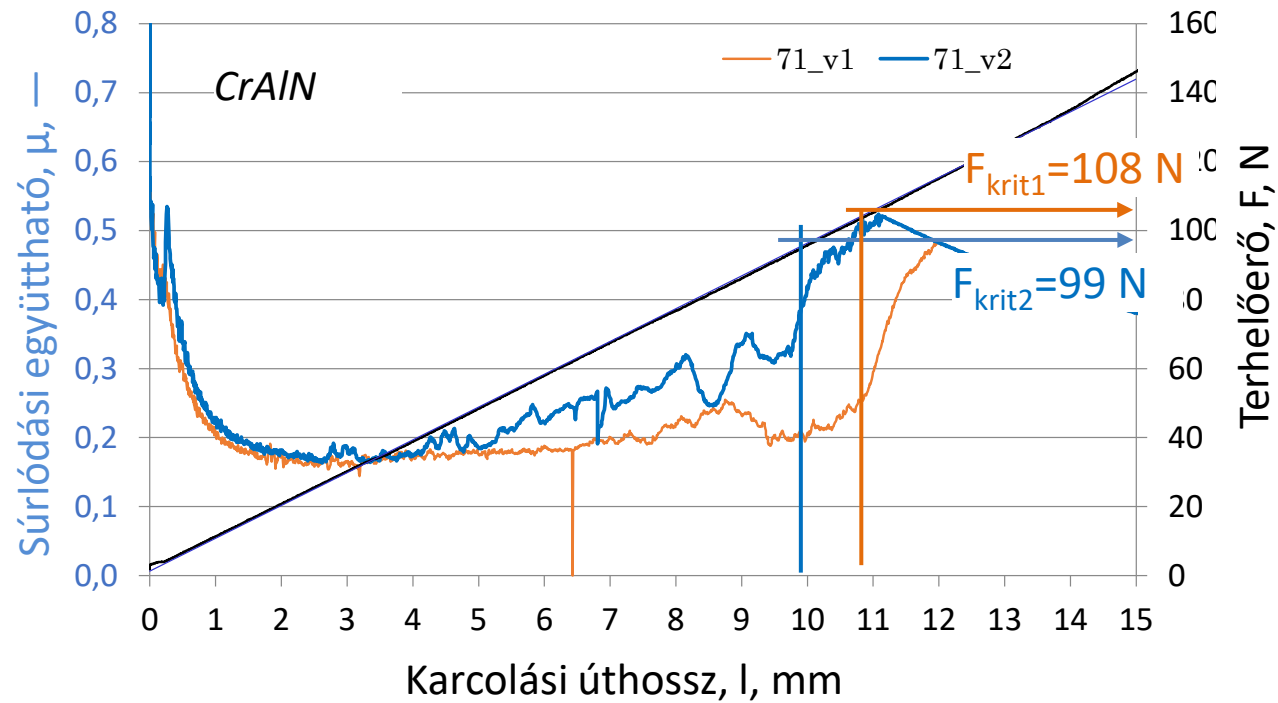
F_{\min}	2 N
F_{\max}	150 N
F_{gradiens}	10 N/mm
V_{asztal}	5 mm/min
l_{karc}	16 mm



Karcvizsgálat — CrAlN

Vizsgálati paraméterek

F_{\min}	2 N
F_{\max}	150 N
F_{gradiens}	10 N/mm
V_{asztal}	5 mm/min
l_{karc}	16 mm



Karcvizsgálat — CrAlN+DLC

Vizsgálati paraméterek

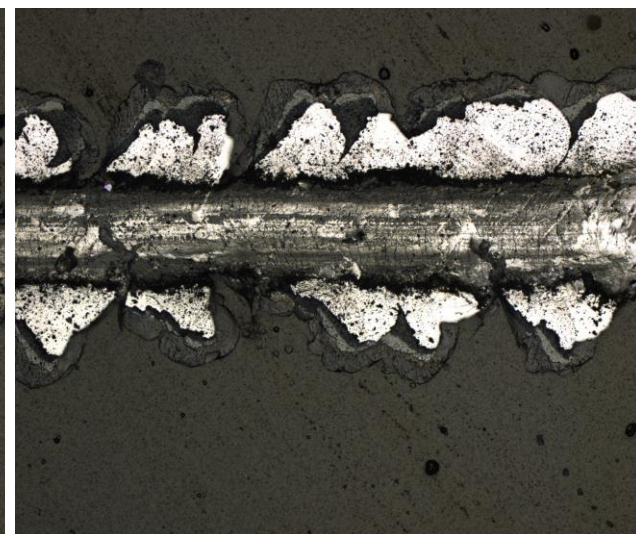
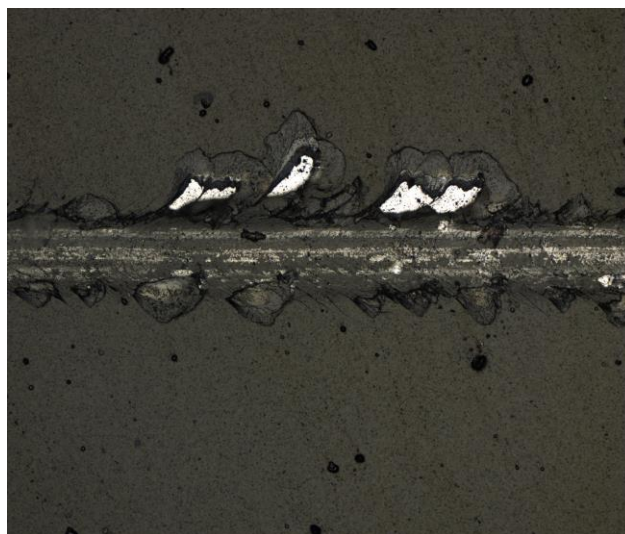
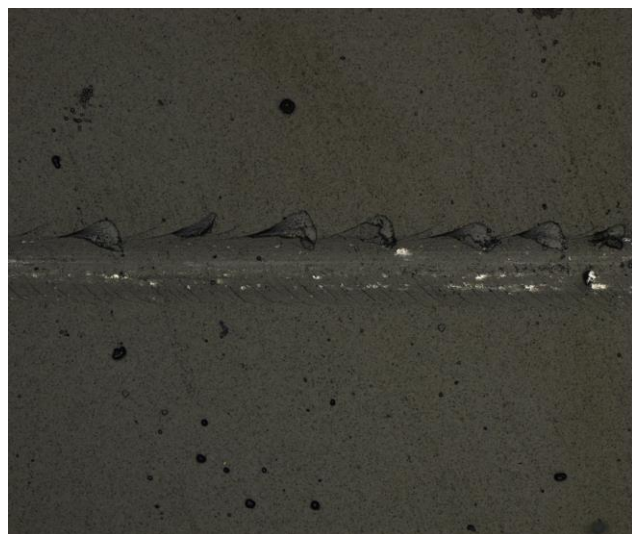
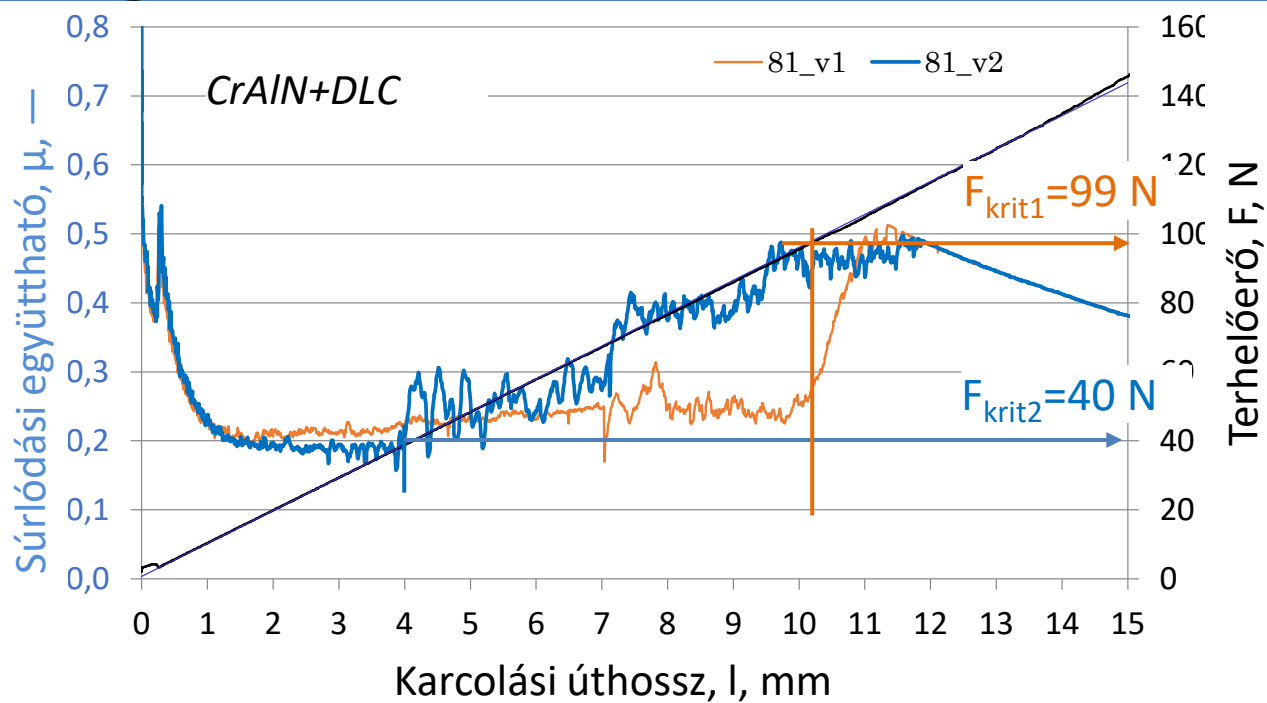
F_{\min} 2 N

F_{\max} 150 N

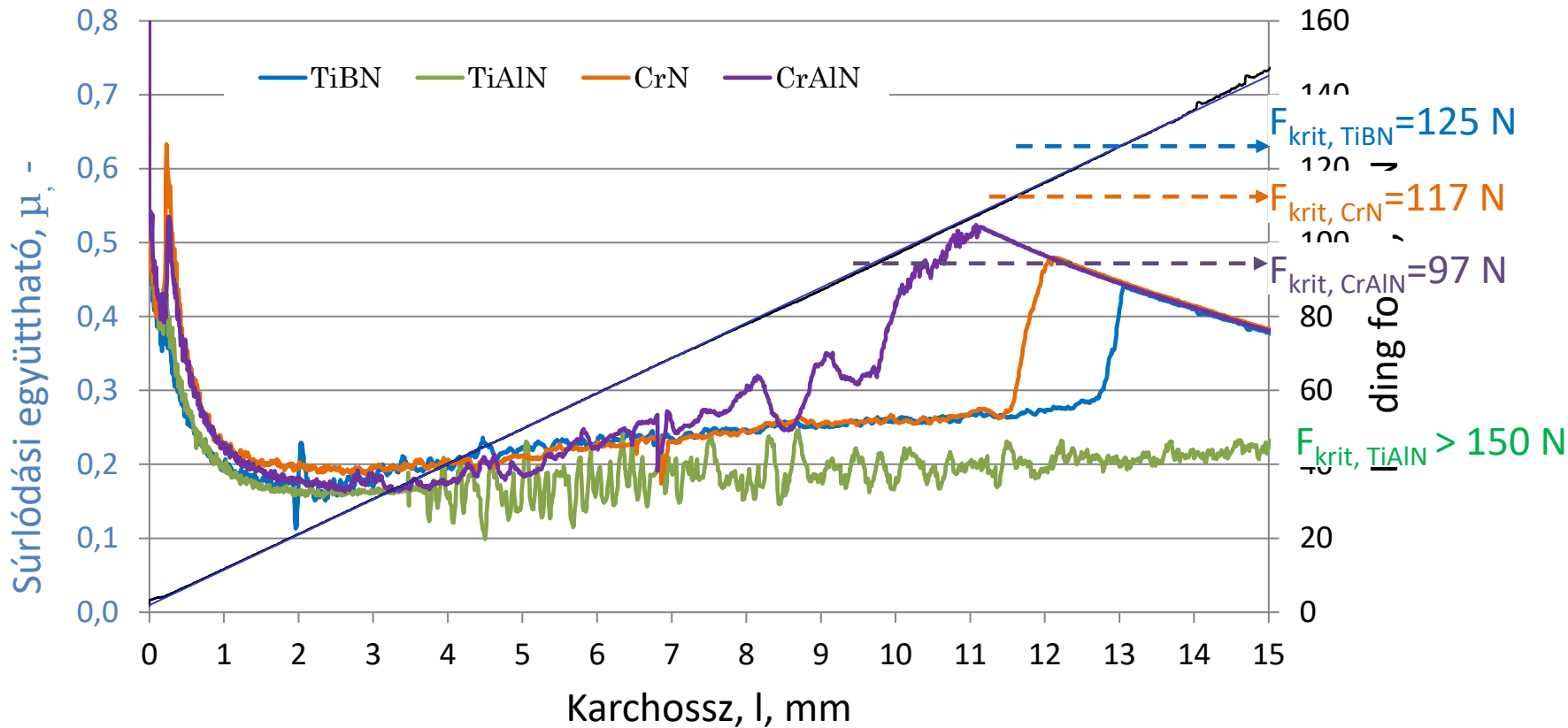
F_{gradiens} 10 N/mm

V_{asztal} 5 mm/min

l_{karc} 16 mm

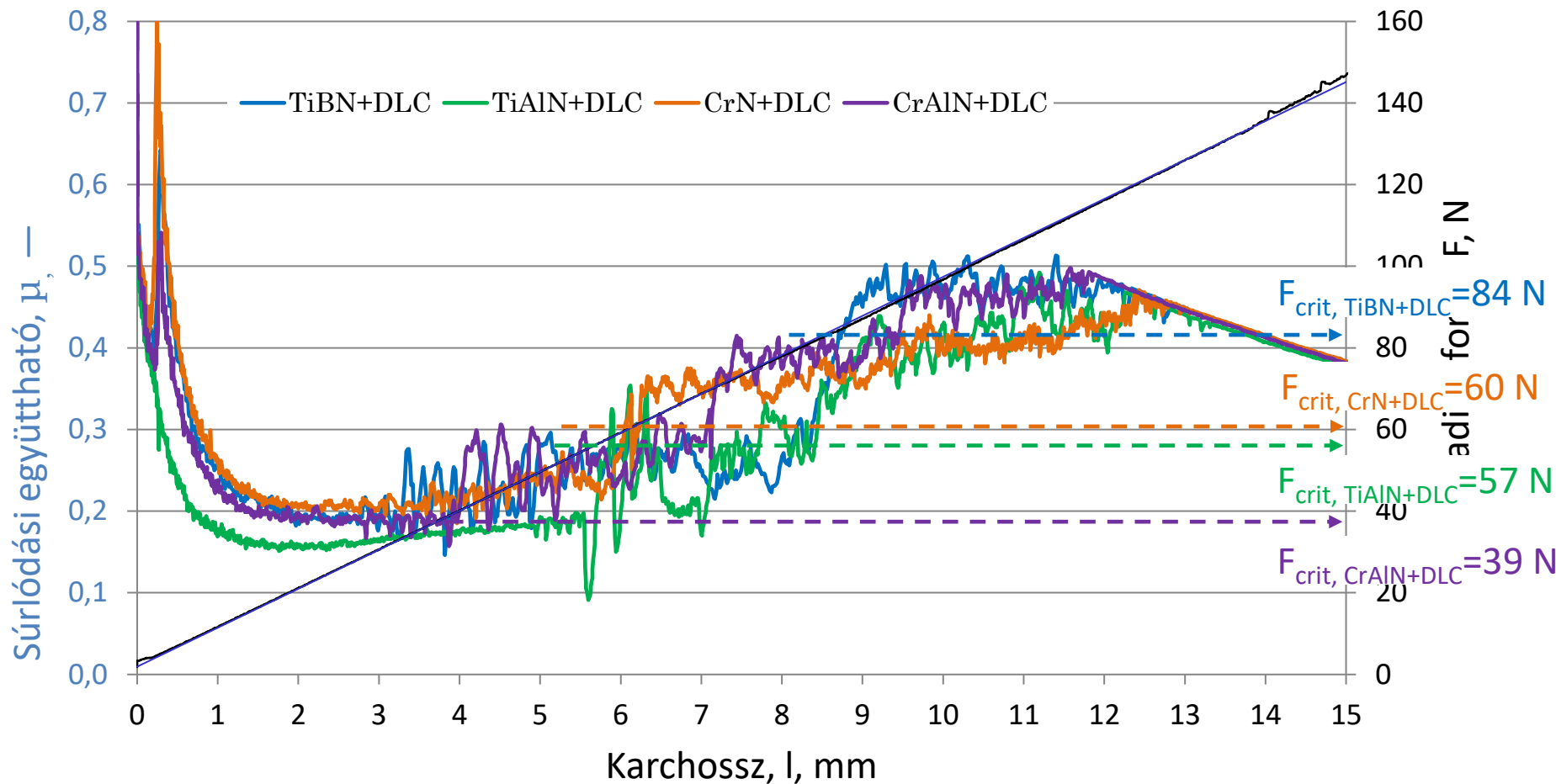


Karcvizsgálati eredmények I.



- TiAlN: F_{krit} nagyobb, mint 150N.
- CrAlN: jelentősen alacsonyabb kisebb kritikus terhelőerő.

Karcvizsgálati eredmények II.



- Minden vizsgált DLC fedőréteges bevonatrendszer hasonló viselkedést mutat karcvizsgálat során.
- TiBN+DLC már kis terhelésnél korai károsodást mutat (32N), de a bevonatrendszer teljes tönkremeneteléhez tartozó kritikus terhelőerő a legnagyobb a vizsgált bevonatok közül.

- A növekvő terhelőerejű vizsgálatok során a különböző bevonatrendszerek különböző kritikus terhelőerőt mutattak. A legjobb karcállóság a TiAlN bevonat esetén volt megfigyelhető.
- Minden vizsgált bevonattípus esetén jelentős hatása van a maradófeszültségnek a karcállóságra.
- A többrétegű bevonatrendszerek esetében a TiBN+DLC rendszerre volt jellemző a legjobb karcállóság.

Kutatás további iránya

Kutatási tevékenység, feladat		2023/24	2024/25	
		2.	1.	2.
Irodalomkutatás – DLC fedőréteges bevonatok kopási- és karckárosodási mechanizmusai		X		
Golyókoptatásos (Calotest) vizsgálat				
Rockwell C tapadásvizsgálat				
Karcvizsgálat	Szubkritikus terhelőerők azonosítása			
	Szubkritikus károsodási módok azonosítása	X		
	Karckárosodási térkép készítése	X		
Publikáció készítése a karcvizsgálat eredményeiből (Q1, Q2)		X		
Ball-on-disc kopásvizsgálatok	$v = 10 \text{ mm/s}$, $F = 10 \text{ N}$	X		
	$v = 30 \text{ mm/s}$, $F = 10 \text{ N}$	X	X	
	$v = 10 \text{ mm/s}$, $F = 50 \text{ N}$	X		
	$v = 30 \text{ mm/s}$, $F = 50 \text{ N}$	X	X	
	Kopási tényező számítása	X	X	
Publikáció készítése a kopásvizsgálatok eredményeiből (Q1, Q2)			X	
Maradófeszültség vizsgálatok végrehajtása, kiértékelése			X	
Profilometriai vizsgálatok végrehajtása, kiértékelése			X	
SEM vizsgálatok végrehajtása, kiértékelése			X	X
Előadás doktori szemináriumon (Publ. Tev.)		X		
Tézisek megfogalmazása			X	X
Disszertáció kidolgozása		X	X	X
Disszertáció véde				X

KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!