



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY



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

Műanyagipari szerszámokhoz alkalmazható korszerű, többrétegű PVD/PACVD bevonatok felülettechnikai és tribológiai viselkedésének vizsgálata és fejlesztése

3. Féléves beszámoló

PhD hallgató: Széll Attila

Témavezetők:

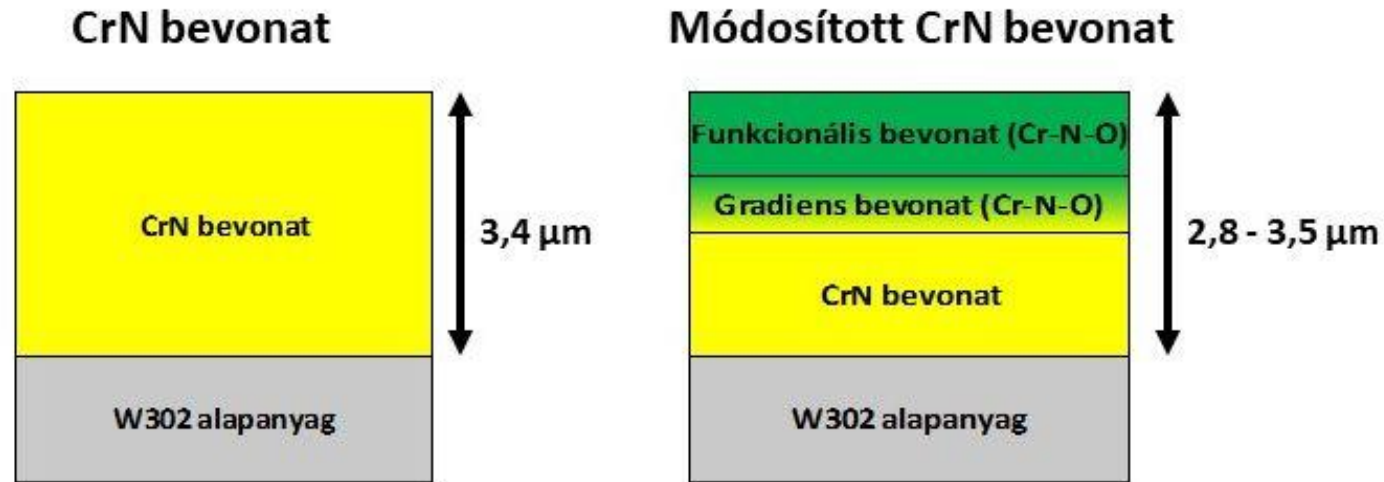
Dr. Marosné Prof. Dr. Berkes Mária

és

Dr. Horváth Richárd

Budapest, 2025. 01. 23

A próbatesteken létrehozott PVD rétegek felépítése és összetétele



Próbatest jele	Kémiai összetétel (atom%)			Bevezetett gázok (sccm)	
	Cr	N	O	N	O
CrN	60	32	7	40	0
Cr25	61	29	10	30	10
Cr50	61	20	18	20	20
Cr75	63	12	24	10	30
Cr100	67	5	28	0	40

Előrehaladás, elvégzett vizsgálatok

Fejezetszám a disszertációban		Feladat	A doktori képzés féléve			
			1.	2.	3.	4.
1.		CÉLKITŰZÉSEK				
2.		SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS				
	2.1	Felülettudományok	■			
	2.2	Bevonat képzési módszerek	■			
	2.3	Szerszámacélokban alkalmazott PVD bevonatok osztályozása	■			
	2.4	A kopásálló bevonatok vizsgálatának legfontosabb módszerei	■	■	■	■
	2.5	A kísérleti eredmények összevetése a szakirodalommal	■	■	■	■
3.		KÍSÉRLETI MUNKA				
	3.1	A vizsgálati minták előállítása				
	3.1.1	A szubsztrátum alapanyaga, kémiai összetétele, geometriája, méretei				
	3.1.1.1	W302 Böhler melegalakító szerszámacél				
	3.1.1.2	Szilícium lapka			■	■
	3.1.2	Felületelőkészítés, tisztítás	■			
	3.1.3	Bevonatkészítés	■			
	3.1.4	A szubsztrátum és a bevonat felületminősége (profilometriai jellemzés)				
	3.2	A bevonatok jellemzése				
	3.2.1	A bevonat vastagsága				
	3.2.1.1	Mikroszkópos vizsgálat a keresztmetszeten		■		
	3.2.1.2	Gömbcsüveg koptatásos vizsgálat	■			
	3.2.2	Felületminőség				
	3.2.2.1	Mikrogeometriai jellemzők, topográfia				
	3.2.2.2	Nedvesítés vizsgálata (nyugócsépp módszeres peremszög mérés)				
	3.2.3	A bevonat integritása				
	3.2.3.1	VDI3198 Rockwell teszt			■	
	3.2.3.2	Vickers teszt			■	
	3.2.4	Keménységmérés				
	3.2.4.1	Mikro-Vickers keménységmérés különböző terhelő erővel				
	3.2.4.2	Nano keménységmérés	■			
	3.2.4.3	Műszerezett keménységmérés	■			
	3.2.5	Anyagszerkezeti vizsgálatok				
	3.2.5.1	Pásztázó elektron mikroszkópia (SEM)		■		
	3.2.5.2	Atomerő mikroszkópia (AFM)				
	3.2.5.3	Röntgendiffrakciós fáziselemzés (XRD)			■	■
	3.3	Tribológiai vizsgálatok				
	3.3.1	Ball-on-disc kopásvizsgálat				
	3.3.2	Műszerezett karcvizsgálat		■		
	3.3.3	Karc és kopásnyomok morfológiai vizsgálata, károsodáselemzés				■
4.		Disszertáció kidolgozása, tézisek megfogalmazása				

SZÍNKÓDOK JELENTÉSE:

- Kijelölés zölddel:** az 1. félév során elvégzett vizsgálatok
- Kijelölés sárgával:** a 2. félév során elvégzett vizsgálatok
- Kijelölés kékkel:** a 3. félév során elvégzett vizsgálatok
- Kijelölés lilával:** a 4. félév során elvégzett vizsgálatok

Az 3. félév során teljesített tárgyak

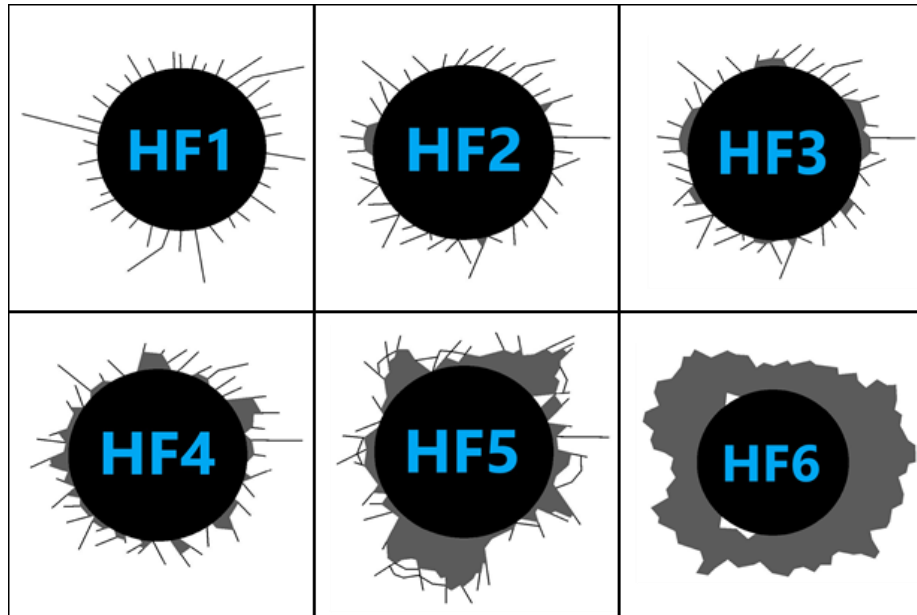
Tantárgy	Tárgykód	Kreditpont
Törésmechanika	OATTMCH1ND	6
Különböző anyagok szerkezeti vizsgálata transzmissziós elektronmikroszkópiával	OATKVTE1ND	6

Publikációk:

- (1) **Széll, Attila** ; Horváth, Richárd ; Berkes, Maros Mária. (2024). CrN bevonatok keménységének változása oxigén dópolás hatására In: Rajnai, Zoltán (szerk.) Mérnöki Szimpózium a Bánkin Előadásai: Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB2023) Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2024) 367 p. pp. 217-225., 9 p.
- (2) Magyar nyelvű szóbeli előadás a XXXI. Hőkezelő és Anyagtudomány a Gépgyártásban Országos Konferencián
Széll Attila: INCONEL 718 nikkkel-króm bázisú szuperötvözet folyadék nitridálása

A DIN 4856 terhelőerőre vonatkozó szabályai:

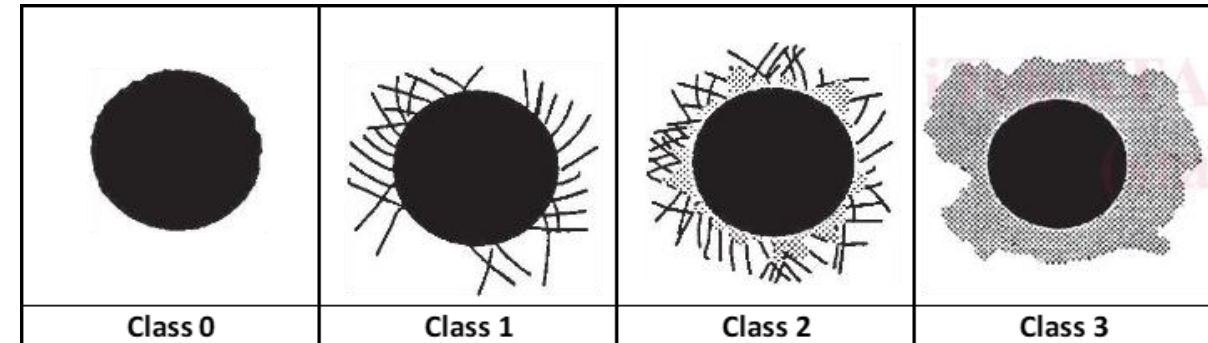
- a legnagyobb megengedett bemélyedés átmérője 600 μm lehet
- fémek, nem betétezett alapanyagokhoz, ≥ 54 HRC: 1471,5 N (HRC);
- ≥ 20 HRC és < 54 HRC keménységű fém alapanyagok: 588,6 N (HRA);
- betétezett acél alapanyagok CHD ≥ 1 mm és > 58 HRC: 588,6 N (HRA);
- minden más alapanyagra, pl. betétezett acél, CHD < 1 mm, keményfémek, tömör kerámiák és Cermetek: 588,6 N (HRA);
- az 5 mm-nél kisebb felületi sugarakat a HRA skála szerint kell ellenőrizni.



DIN 4856 szabvány szerinti
bevonat tapadási kategóriák

Az ISO 26443 terhelőerőre vonatkozó szabályai:

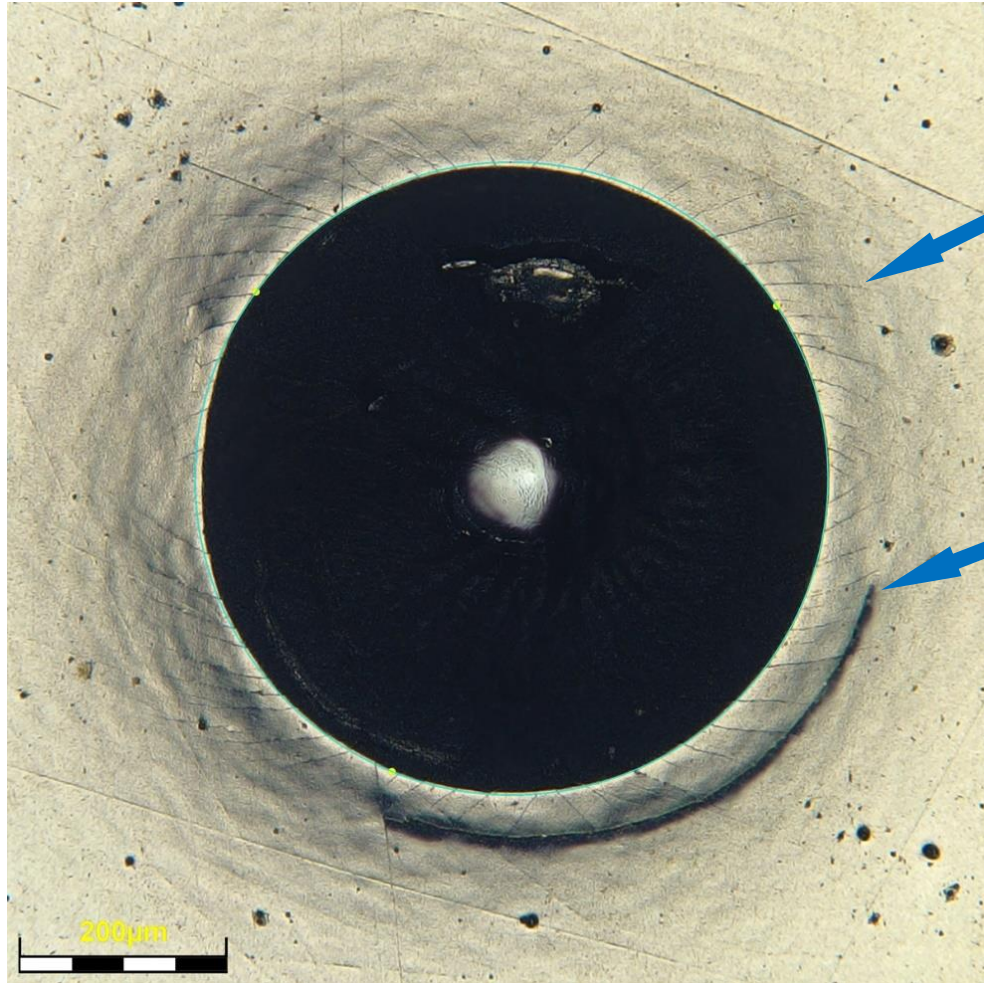
- 54 HRC-nél keményebb fém szubsztrátumok: 1471,5 N (HRC)
- 54 HRC-nél lágyabb fémfelületek és közepes keménységű betétezett acélfelületek: 981 N (HRD)
- minden egyéb alapanyagból készült szubsztrátumhoz, pl. vékony edzett acél, kis rétegvastagságú betétezett acél, cementált karbid, tömör kerámiák és Cermetek: 588,6N (HRA)



ISO 26443:2023 szabvány szerinti
bevonat tapadási kategóriák

Forrás:

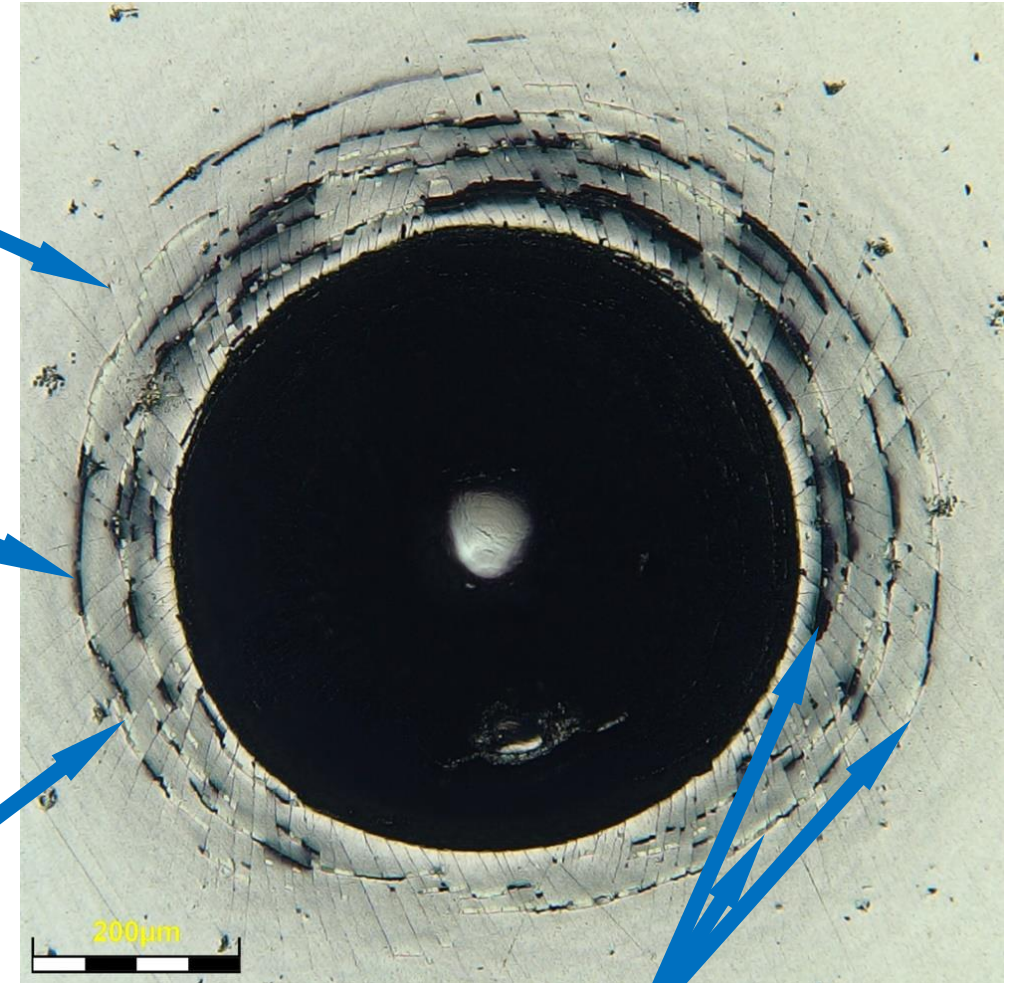
- ISO 26443:2023 *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) — Rockwell indentation test for evaluation of adhesion of ceramic coatings*, Published (Edition 2, 2023)
- DIN 4856 *Carbon-based films and other hard coatings - Rockwell penetration test to evaluate the adhesion standard by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard)*, 02/01/2018



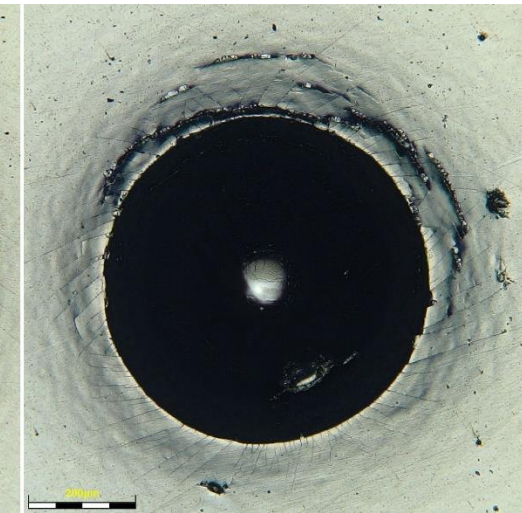
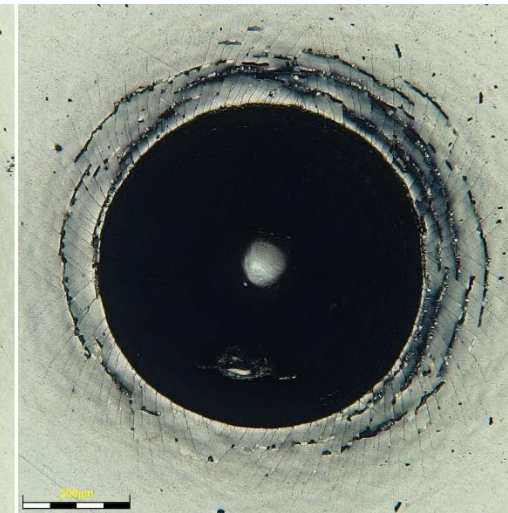
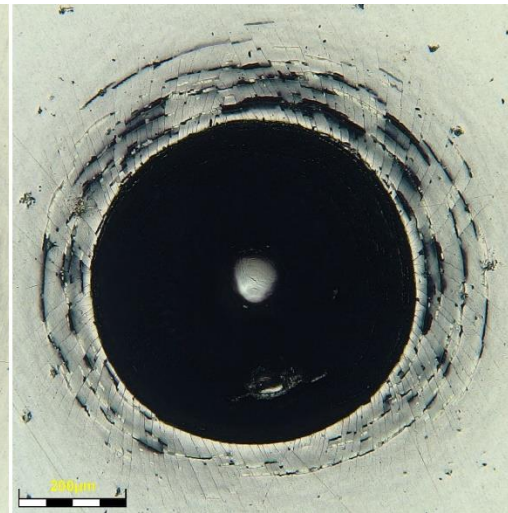
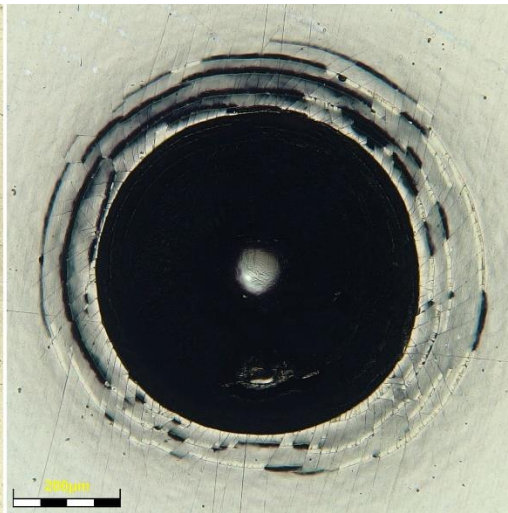
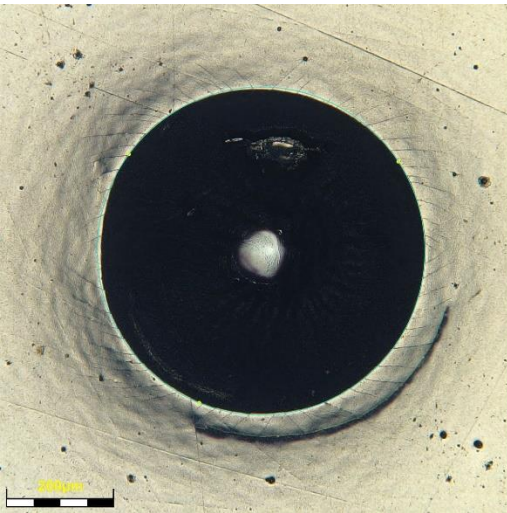
Radiális
repedés

Koncentrikus
repedés

Delamináció, majd leválás a radiális és
koncentrikus repedések találkozásánál



Hullámszerűen keletkező
koncentrikus repedések



CrN minta

- Radiális repedés
- Koncentrikus repedés 90°

Cr25 minta

- Radiális repedés
- Koncentrikus repedés hullámok
- Delamináció

Cr50 minta

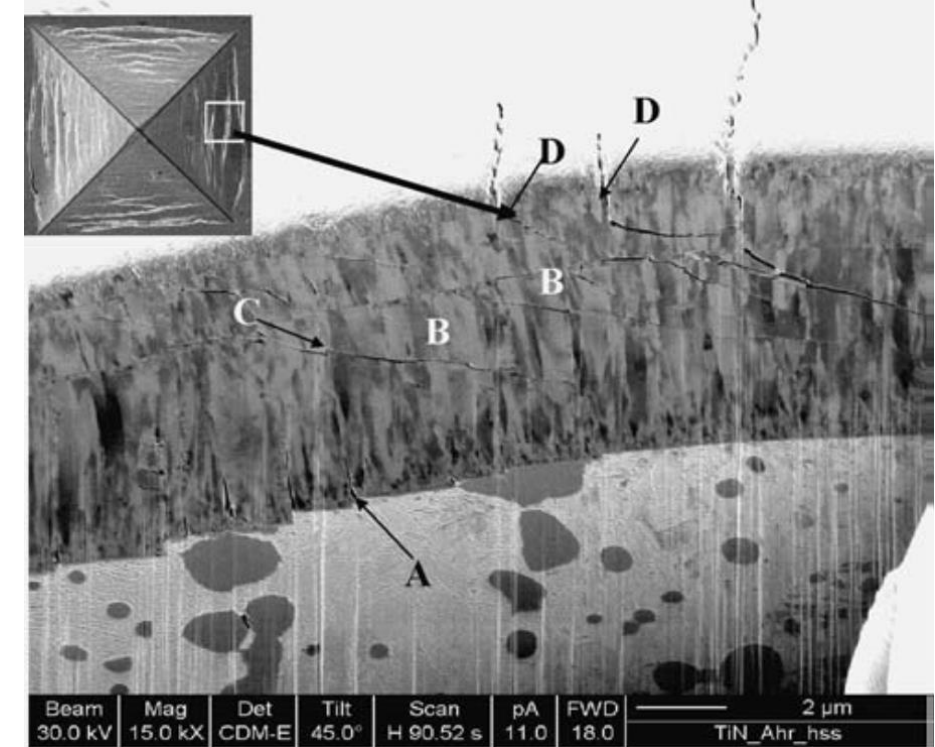
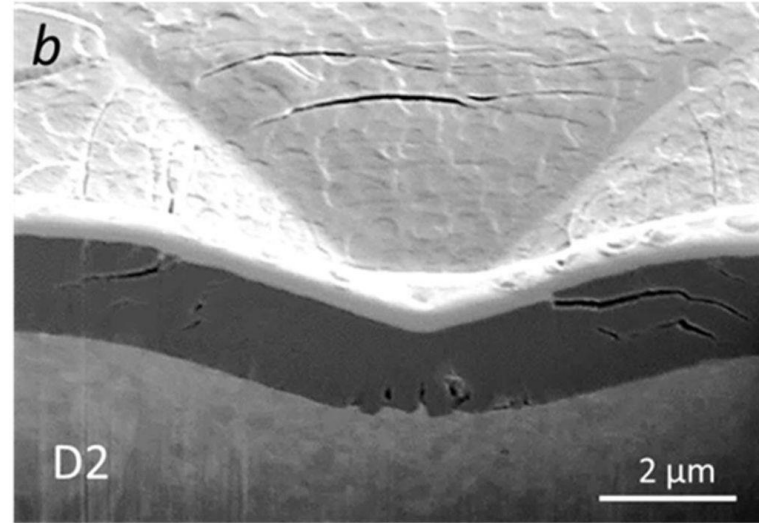
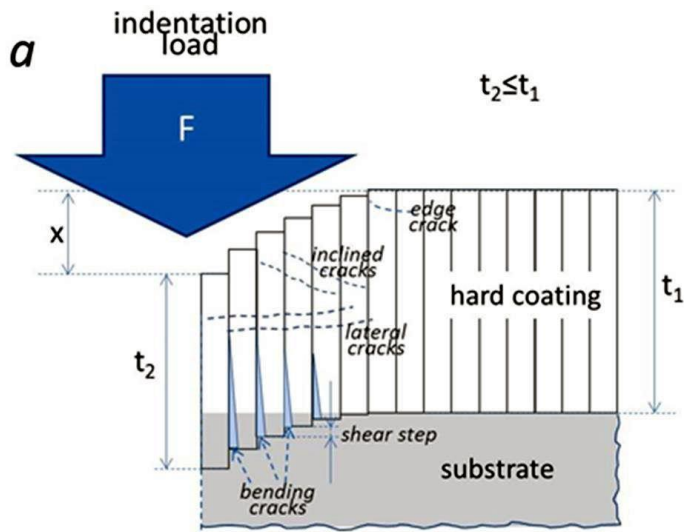
- Radiális repedés
- Koncentrikus repedés hullámok
- Nagy mennyiségű apró delamináció
- Kevés törmelék

Cr75 minta

- Radiális repedés
- Koncentrikus repedés hullámok
- Nagy mennyiségű apró delamináció
- Törmelék mező

Cr100 minta

- Radiális repedés
- Koncentrikus repedés 150°
- Kis mennyiségű, apró delamináció



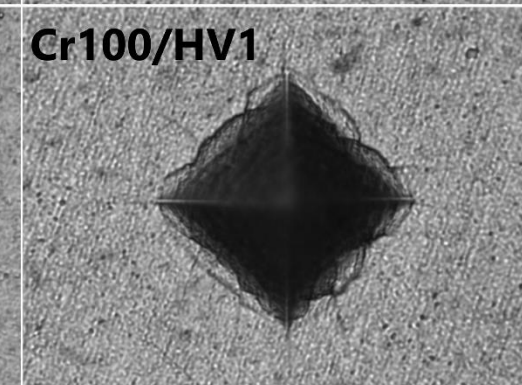
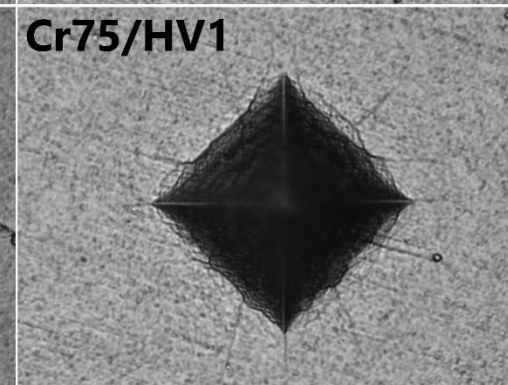
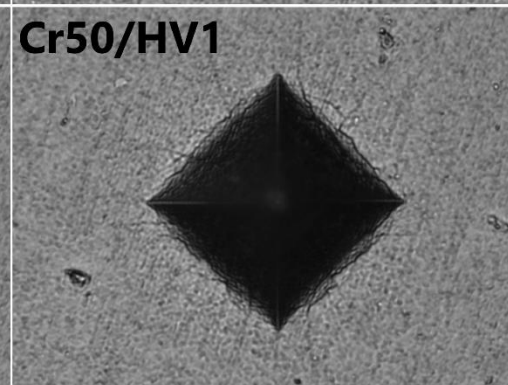
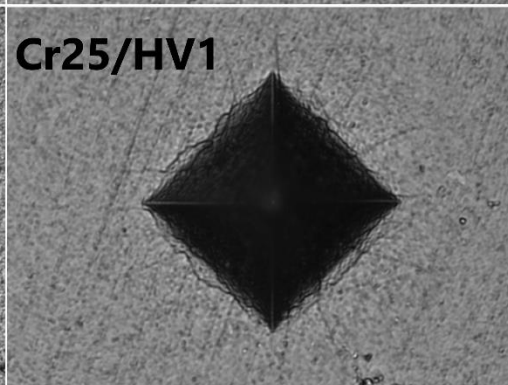
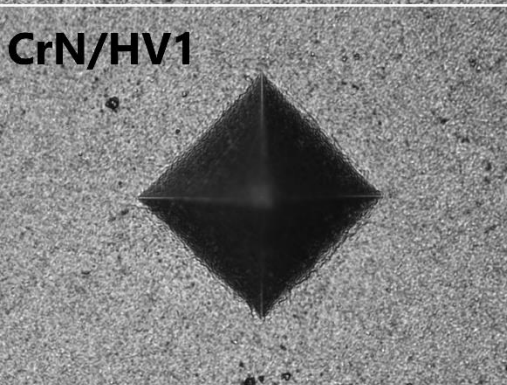
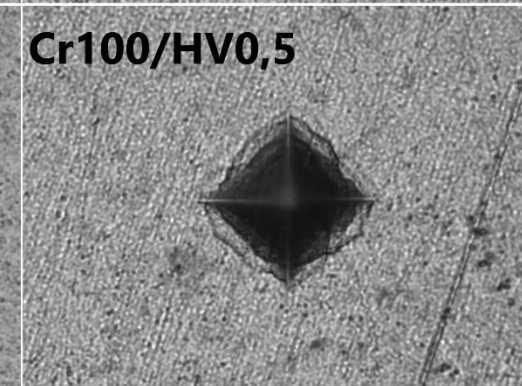
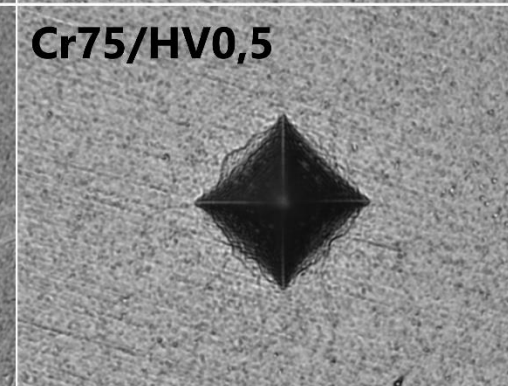
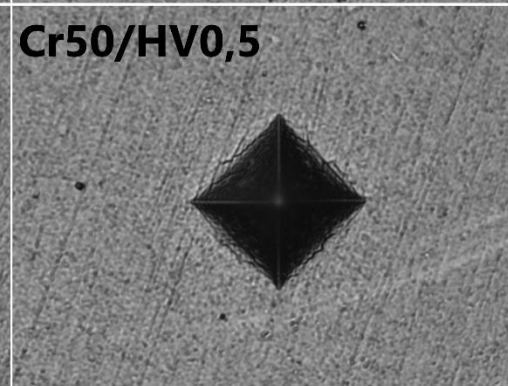
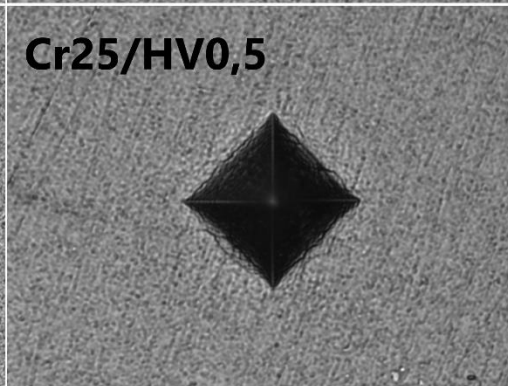
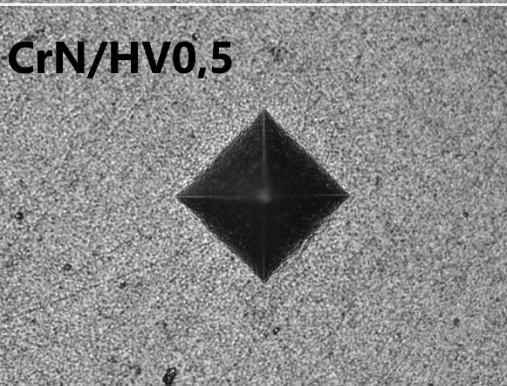
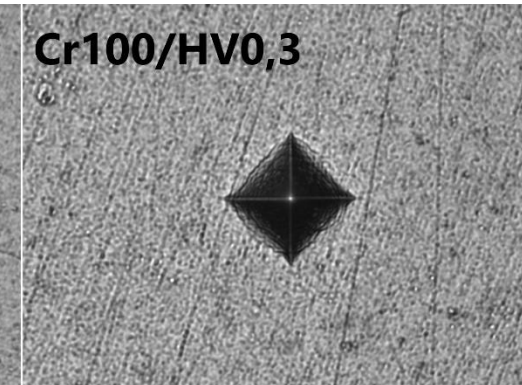
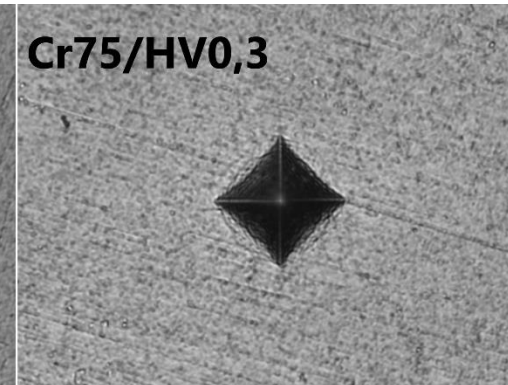
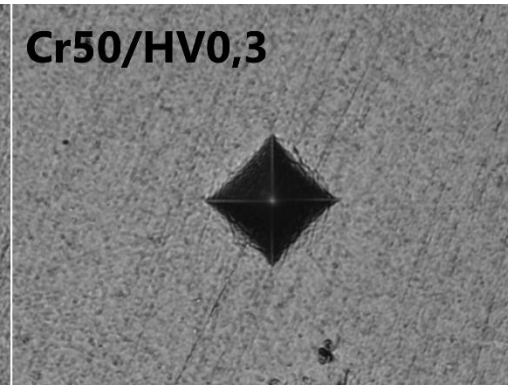
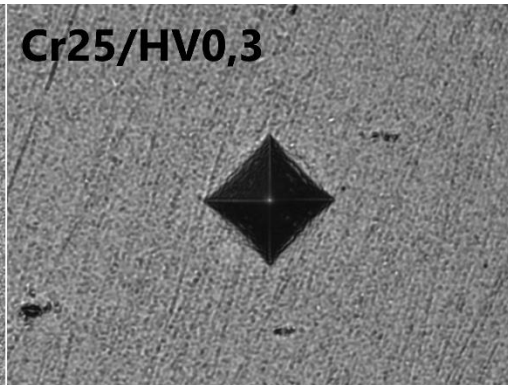
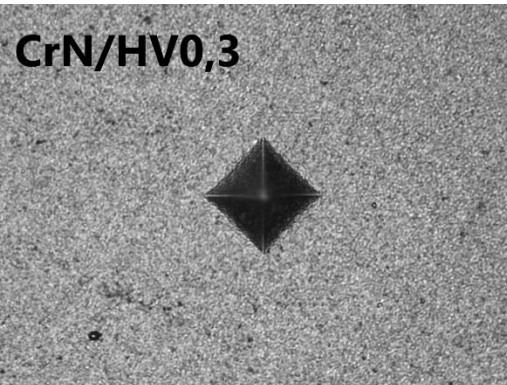
Jellemző károsodási módok (repedés típusok):

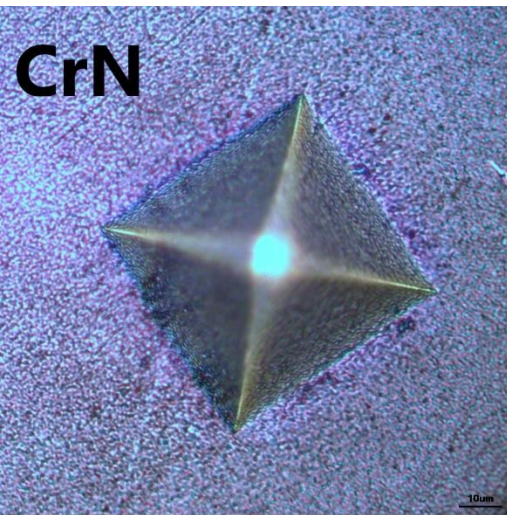
- kerületi vagy élrepedések (edge crack): a felületen jelenik meg, párhuzamos a lenyomat élével
- elhajló repedések (bending cracks): a bevonat/hordozó határfelületen
- oldalirányú repedések (lateral cracks): párhuzamos a bevonattal, tehermentesítéskor keletkezik
- ferde repedések (inclined cracks): szemcsén átmenő terjedés, nem terjed ki a felületig
- nyírási lépcső (shear step): oszlopkristály határokon, nagy nyomófeszültségi zónában, nem terjed a felületre

Bevonat/hordozó
alakváltozási
inkompatibilitás

Forrás:

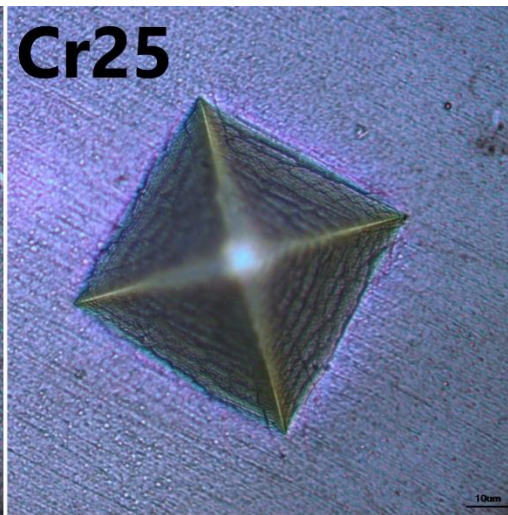
- Panjan, P., Miletić, A., Drnovšek, A., Terek, P., Čekada, M., Kovačević, L., & Panjan, M. (2024). Cracking Resistance of Selected PVD Hard Coatings. *Coatings*, 14(11), 1452. <https://doi.org/10.3390/coatings14111452>
- Math, S., Suresha, S.J., Jayaram, V. et al. Indentation of a hard film on a compliant substrate: film fracture mechanisms to accommodate substrate plasticity. *J Mater Sci* 41, 7830–7837 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10853-006-0455-3>





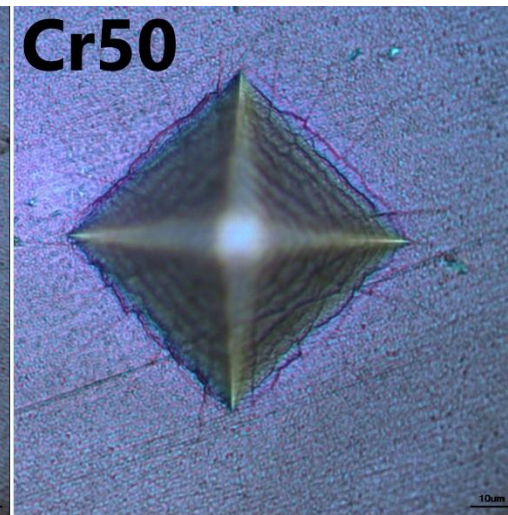
CrN minta

- Repedések nem észlelhetők
- Fémekre jellemző



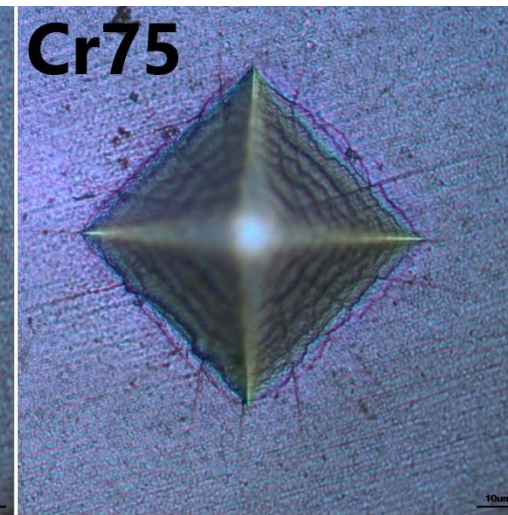
Cr25 minta

- Élrepedés a gúla felszínén
- Radiális repedés az éleknél



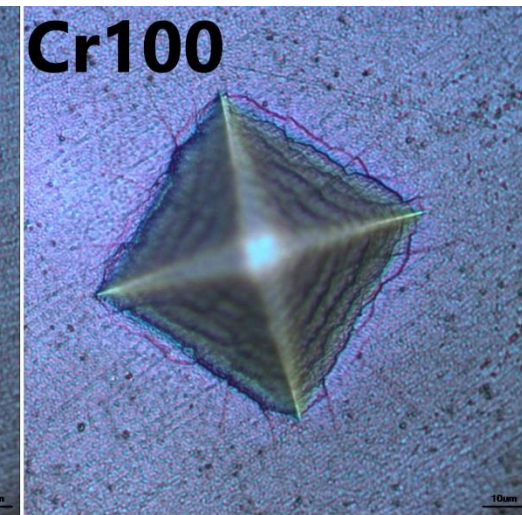
Cr50 minta

- Élrepedés a gúla felszínén
- Radiális repedés az éleknél
- Radiális repedés a gúla lapjánál



Cr75 minta

- Élrepedés a gúla felszínén
- Radiális repedés az éleknél
- Radiális repedés a gúla lapjánál



Cr100 minta

- Élrepedés a gúla felszínén
- Radiális repedés az éleknél
- Radiális repedés a gúla lapjánál

- A félév során a **szakirodalmi kutatások** keretében főként a bevonatintegritási vizsgálatok tárgykörébe sorolható **Rockwell nyomódási teszttel** és a **repedésérzékenység megítélésének Vickers keménységi lenyomatok vizsgálatával** foglalkozó cikkek áttekintését végeztem el.
- **Mindkét vizsgálati módszerrel előkísérleteket** hajtottam végre a bevonatolt mintákon. Ennek során elsajátítottam a tervezett **szisztematikus sorozatmérésekhez szükséges mérés technikai ismeretek alapjait**, megismerve ezzel a mérési metódusokban rejlő hiányosságokat, és az esetlegesen fellépő rendszeres és véletlenszerű mérési hibákat is.
- A Rockwell-nyomódási-, és a Vickers lenyomatos vizsgálatok során a bevonat **rideg/szívós viselkedését** és a bevonat **tapadását** illetően a **CrN bevonat** teljesített **legjobban**.
- **Egyik vizsgált bevonatnál sem** tapasztaltam **nagy területre kiterjedő bevonat delaminációt, vagy lepattanást**, ami a bevonat és hordozóanyag közti inkompatibilitást jelenthetné.
- A bevonatok **repedéskeletkezéssel szembeni ellenállása** a **Rockwell-nyomódási tesztnél** a **Cr50 és Cr75** (azaz **oxigénnel közepesen és erősebben dúsított** atmoszférában készült) **bevonattípusnál volt a leggyengébbnek** mondható, ami **jó egyezést mutat az előző félévben elkezdett karcvizsgálatok eredményeivel** is.
- A **Vickers** nyomódási vizsgálatoknál a **CrN bevonatnál nem tapasztalható sem élmenti repedés, sem radiális repedés**, ami a bevonaton belüli erős kohéziós szilárdságra utal. A **Cr25** mintánál az élmenti repedések már **hangsúlyosan látszanak**. A Cr50; Cr75 és Cr100 mintáknál a **radiális repedések a sarkok mellett már a gúla lapoknál** is megjelennek.

Bevonatok készítése

- Si wafer (Siegert - P/B-dópolt - <100>)
- W302 acél próbatestek

Tribológiai vizsgálatok

- Karcteszt teljes kiértékelése + Q1 cikk

Kémiai összetétel, finomszerkezet vizsgálat

- XRD vizsgálat (ME MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport – Nagy Erzsébet)
Cr-N-O összetételű fázisok azonosítása

A bevonat integritása

- VDI3198 Rockwell teszt – különböző terhelőerők esetén
- Vickers keménységmérés – tapadás-bevonat repedés különböző terhelőerők esetén