

Jak nám pomáhají tenké vrstvy

I. Horáková*, V. Kodat**, K. Černá***

*Gymnázium Olgy Havlové, Ostrava-Poruba
ivana.horakova3@gmail.com

**SPŠ strojní a elektrotechnická Dukelská 13, České Budějovice
vitekkodat@gmail.com

***Gymnázium Česká 64, České Budějovice
babocka.cerna@volny.cz

Abstrakt:

Práce se zabývá zjišťováním vlastností tenkých vrstev, konkrétně tloušťky, Youngova modulu a tvrdosti. Pro určení tloušťky byla použita metoda kalotest a pro stanovení tvrdosti a Youngova modulu metoda indentace. Proměřeno bylo pět různých materiálů. Dle očekávání jsme zjistili, že tvrdost ochranných vrstev, jejichž tloušťka byla v řádu jednotek mikrometrů, byla několikanásobně tvrdší než tvrdost substrát.

1 Úvod

Tenkými vrstvami jsou nazývány materiály o tloušťce od desítek nm po desítky μm . V současnosti jsou využívány za účelem zlepšení fyzikálních, chemických a technologických vlastností základního materiálu. Konkrétně se může jednat například o tvrdé povrchy obráběcích nástrojů, tepelné bariéry leteckých motorů, absorpční vrstvy v solárních elektrárnách, atd. [1] Současně vede jejich používání k finančním úsporám, kdy drahý materiál tenké vrstvy tvoří pouze malou část celkového objemu součástky. Cílem miniprojektu je určit tvrdost, Youngův modul a tloušťku tenkých vrstev nanesených různými metodami.

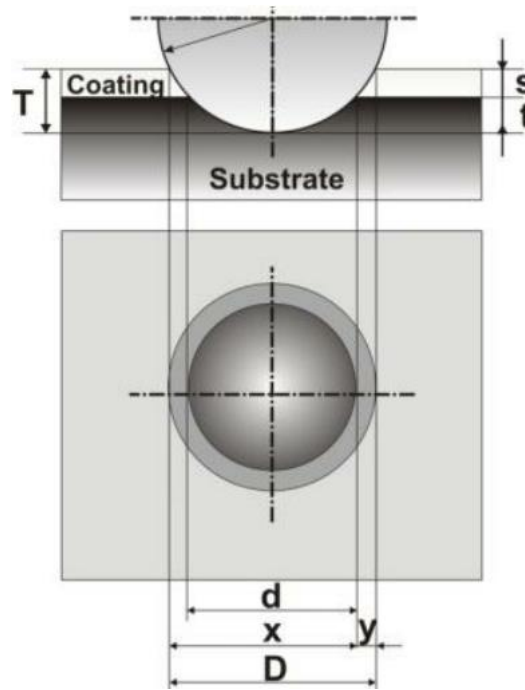
2 Experimentální postup

Byly studovány vrstvy TiN, multivrstvy Ti-TiN a Cr-CrN nanesené metodou fyzikální depozice z plynné fáze a vrstva galvanicky nanesené mědi. Všechny vrstvy byly naneseny na ocelovém substrátu, jehož vlastnosti byly také určeny.

Měření tloušťky vrstev bylo provedeno metodou kalotest [2]. Tato metoda je založena na vybroušení kulové dutiny do tenké vrstvy pomocí rotující kuličky, která materiál otírá. Změřením geometrických charakteristik (obr. 1) vzniklé kulové dutiny můžeme určit tloušťku vrstvy s pomocí vztahu:

$$s = \frac{xy}{2R}$$

Kde R je poloměr použité kuličky a vzdálenosti x a y jsou definovány na obrázku 1.



Obr. 1: Princip metody kalotest [2]

Metodou nanoindentace [3] byla určena tvrdost a Youngův modul studovaných multivrstev a ocelového substrátu. Tato metoda je založena na vtlačování diamantového hrotu (trojboký jehlan) do povrchu materiálu. Vlastnosti materiálů jsou vyhodnoceny z naměřeného záznamu síla – hloubka vtisku. Tvrdost materiálu je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Z naměřených dat je spočítána pomocí vztahu:

$$H = \frac{F_{max}}{A_c}$$

Kde F_{max} je maximální síla a A_c je promítnutá plocha vtisku.

Ze závislosti síla – hloubka vtisku lze určit také hodnoty Youngova modulu, který popisuje elastickou závislost mezi deformací a napětím na vzorku. Maximální aplikovaná síla při těchto testech byla 10 mN.

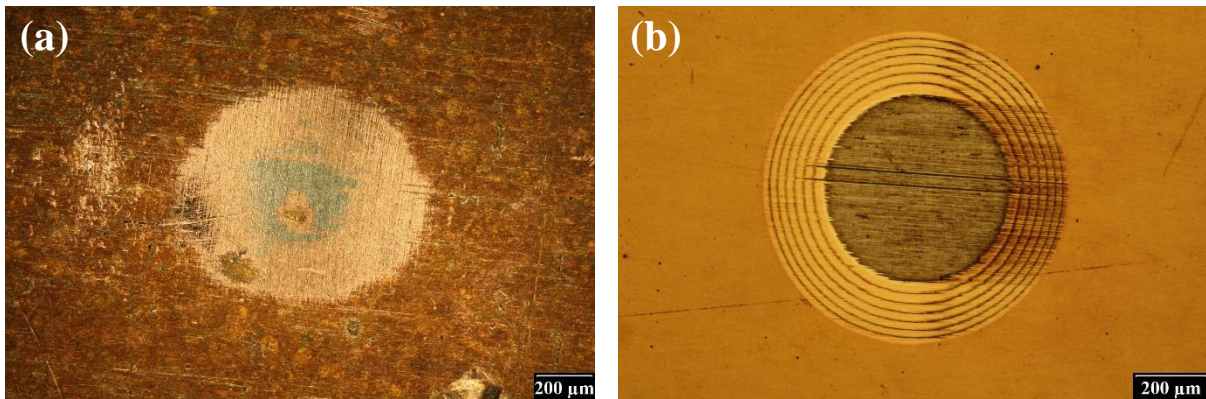
3 Výsledky a diskuze

Výsledky měření tloušťky tenkých vrstev jsou shrnuty v tabulce 1. Celková tloušťka vrstev se pohybuje v rozmezí od 3,63 μm do 6,35 μm . Vrstvy připravené průmyslově (Cu, TiN) měly větší rozptyl výsledků. Tyto vrstvy byly méně pravidelné a zároveň ani substrát nebyl dokonale rovný (obr. 2a). Studované multivrstvy připravené laboratorně byly pravidelnější. Pokusili jsme se změřit i tloušťku jednotlivých vrstev systému Ti-TiN (obr. 2b). Vrstvy titanu měly tloušťku

přibližně 150 nm a vrstvy nitridu titanu přibližně 510 nm. Měření tloušťky těchto vrstev bylo na hraně rozlišitelnosti metody kalotest.

Tabulka 1: Tloušťka tenkých vrstev

	Cu	Ti-TiN			Cr-CrN	TiN
		celkem	TiN	Ti		
tloušťka [μm]	4,72	3,98	0,51	0,15	6,35	3,63
- odchylka	0,73	0,19	0,08	0,02	0,15	0,45

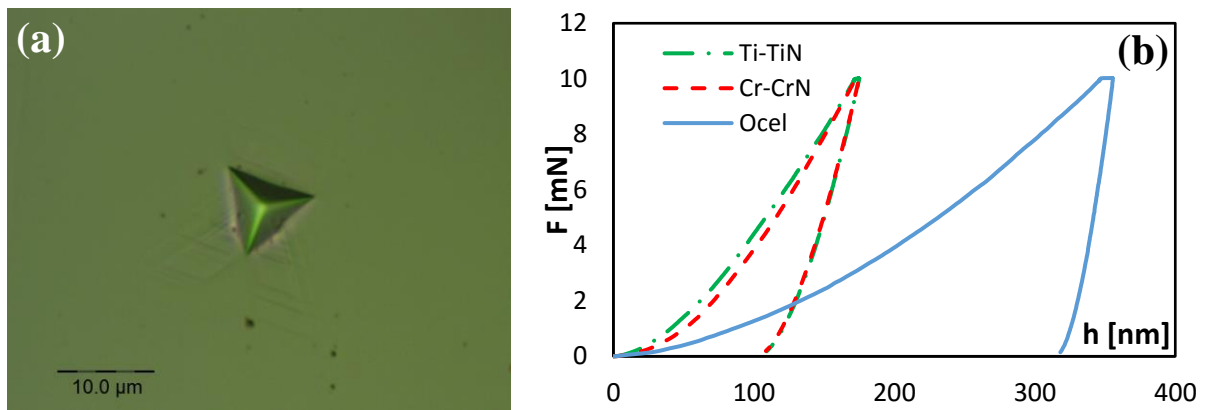


Obr. 2: Vybroušené dutiny v povrchu (a) Cu, (b) multivrstvy Ti-TiN

Tvrdość a Youngův modul multivrstev a ocelového substrátu je v tabulce 2. Ukázka vtisku v ocelovém substrátu a křivky síla – hloubka vtisku jsou na obrázku 3. Mechanické vlastnosti multivrstev jsou vzájemně srovnatelné a výrazně vyšší než vlastnosti ocelového substrátu (tvrdość až pětkrát). Jedná se o očekávaný výsledek, protože účelem multivrstev je ochrana substrátu.

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti multivrstev a ocelového substrátu

	Ti-TiN	Cr-CrN	Ocel
Tvrdość [MPa]	17405	17490	3431
- odchylka	2557	2262	106
Youngův modul [GPa]	294	289	219
- odchylka	32	25	8



Obr. 3: (a) Vtisk v ocelovém substrátu, (b) křivky síla – hloubka vtisku

3 Shrnutí

Metodami kalotest a nanoindentace byla určena tloušťka a mechanické vlastnosti tenkých vrstev. Tloušťka studovaných vrstev se pohybovala okolo $4 \mu\text{m}$ a tvrdost ochranných multivrstev výrazně převyšovala tvrdost ocelového substrátu. Tato měření potvrdila užitečnost tenkých vrstev, které mohou být využity mimo jiné k ochraně substrátu před mechanickým poškozením.

Poděkování

Děkujeme Ing. Jaroslavu Čechovi za vedení našeho projektu a FJFI za umožnění účasti na Týdnu vědy.

Reference:

- [1] http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf [online 20.6.2017]
- [2] *Calotest user manual*. CSM Instruments. 2011. 21p.
- [3] OLIVER, W.C. – PHARR, G.M.: *An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments*. Journal of Materials Research 7, 1992, pp. 1564-1583.