

Jak nám pomáhají tenké vrstvy

R. A. Klem¹, P. Kristen², M. Matoulek³

Gymnázium Brno, Křenová, příspěvková organizace¹

Gymnázium Děčín, příspěvková organizace²

Jiráskovo gymnázium, Náchod, Řezníčkova 451³

klemrobert7@gmail.com¹

petrkristen8@gmail.com²

michal.matoulek1@seznam.cz³

Abstrakt:

Práce krátce seznamuje se smyslem využití tenkých vrstev a popisuje metody využívané v praxi ke zjišťování jejich vlastností. Těmito vlastnostmi jsou tloušťka, tvrdost a Youngův modul. Z měření, která jsme provedli vyplývá, že ochranné tenké vrstvy nanášené na předměty z běžných materiálů mají výrazně větší tvrdost umožňující jejich lepší využití.

1 Úvod

Vrstvu materiálu považujeme za tenkou, pokud má tloušťku mezi desítkami nanometrů až několika mikrometry. V dnešní době jsou hojně využívány za účelem zlepšení vlastností materiálů při zachování přijatelné ceny.

Jako příklad lze uvést optiku, kde nanesením tenké vrstvy na čočku můžeme redukovat nežádoucí odrazy, zvýšit tvrdost či zlepšit odolnost proti nečistotám. Ve zdravotnictví se nanáší např. na kloubní náhrady, v elektrotechnickém průmyslu na konektory, či ve strojírenství na brusné a řezné nástroje [1].

Během našeho miniprojektu jsme využili metodu kalotest pro měření tloušťky vrstev a metodu nanoindentace pro měření tvrdosti a Youngova modulu pružnosti.

2 Materiály a metody

Měření tloušťky byla provedena na vrstvách nitridu titanu na bitu a na galvanicky nanášené mědi na oceli, dále pak na multivrstvách nitridu titanu s titanem a nitridu chromu s chromem. Tloušťka byla zjištěna metodou kalotest (obr. 1), která spočívá ve vybroušení kulového vrchlíku do studované vrstvy pomocí ocelové kuličky po přidání brusné suspenze.

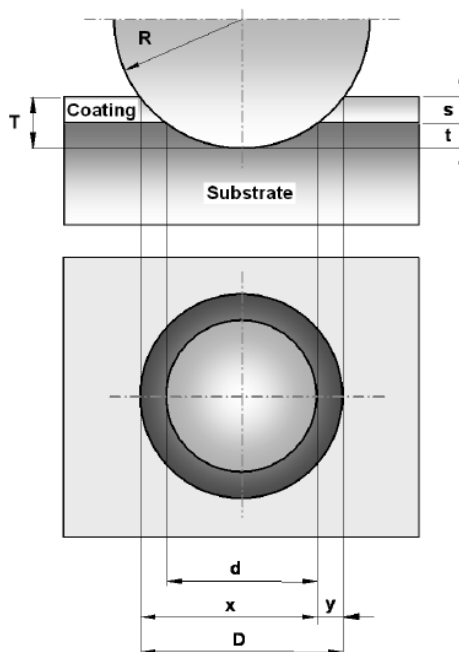


Obr. 1 – Uspořádání metody pro měření tloušťky – Kalotest [2].

Tloušťka vrstvy s se spočítá vztahem:

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

kde R je poloměr kuličky a x a y jsou geometrické rozměry definované na obrázku 2.



Obr. 2 – Geometrie vybroušené dutiny [3].

Tvrдост a modul pružnosti multivrstev nitridu titanu s titanem a nitridu chromu s chromem a substrátu z korozivzdorné oceli AISI 304L byly stanoveny metodou nanoindentace založené na vnikání diamantového hrotu do tenké vrstvy. Hloubka vtisku nesmí být větší, než 1/10 tloušťky vrstvy, jinak by došlo k ovlivnění měření vlastnostmi substrátu. Hrot měl tvar trojbokého jehlanu (Berkovichův indentor).

V průběhu celého testu je zaznamenávána hloubka vtisku a aplikovaná síla. Data byla zpracována metodikou Oliver-Pharr [4]. Tvrдост se dopočítá pomocí vzorce:

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

kde F_{max} je maximální aplikovaná síla a A je promítnutá plocha vtisku spočtená z kontaktní hloubky a přesné znalosti tvaru hrotu.

Redukovaný Youngův modul E_r , který zahrnuje elastické vlastnosti jak měřeného materiálu, tak diamantového hrotu, je stanoven vztahem:

$$E_r = \frac{S \sqrt{\pi}}{2 \beta \sqrt{A}}$$

kde S je kontaktní tuhost (směrnice počátku odlehčující části indentanční křivky), β je konstantní korekční faktor zohledňující geometrii hrotu (pro Berkovichův hrot $\beta = 1,034$). Při znalosti Youngova modulu (E_i) a Poissonova čísla (ν_i) diamantu a Poissonova čísla zkoumaného materiálu (ν) se Youngův modul (E) zjistí dle vzorce:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

3 Výsledky a diskuze

Tloušťka studovaných vrstev se pohybovala v jednotkách mikrometrů a výsledky prezentuje tabulka 1. Vzorek TiN/Ti (obr. 3) byl připraven v laboratoři, zatímco TiN na obrázku 4 pochází z průmyslové výroby, tudíž má, jak je patrné z obrázku, i nižší kvalitu, která se projevila větším rozptylem naměřených hodnot.

Tab. 1 – Výsledky měření tloušťky.

	TiN/Ti	TiN	CrN/Cr	Cu
celková tloušťka [μm]	3.97 ± 0.13	2.13 ± 0.98	5.90 ± 0.03	3.82 ± 0.55
tloušťka jedné vrstvy TiN [μm]	0.58 ± 0.01	–	–	–



Obr. 3 – Vybroušená dutina v multivrstvě TiN/Ti.

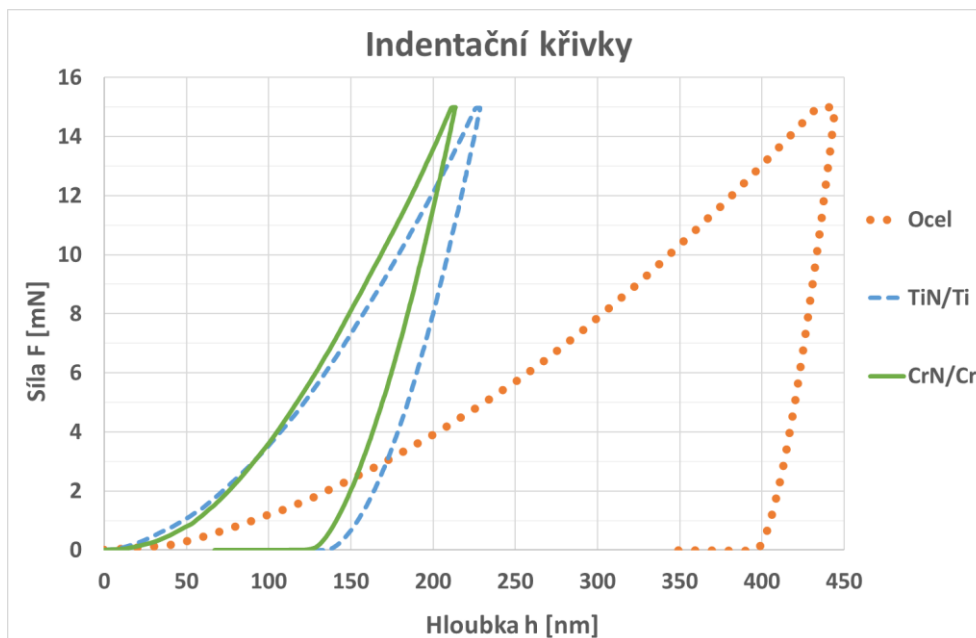


Obr. 4 – Vybroušená dutina v průmyslově vyrobené vrstvě TiN.

Ukázka indentačních křivek síla-hloubka vtisku je na obrázku 5 a výsledky měření tvrdosti a Youngova modulu jsou shrnuty v tabulce 2. Ověřili jsme, že nanášené tenké vrstvy, konkrétně TiN/Ti a CrN/Cr jsou výrazně tvrdší než substrát (ocel) a mají větší modul pružnosti. Při porovnání TiN/Ti a CrN/Cr jsme zjistili mírně větší tvrdost i modul pružnosti u multivrstvy CrN/Cr.

Tab. 2 – Výsledky měření tvrdosti (H) a Youngova modulu (E)

	TiN/Ti	CrN/Cr	ocel
H [GPa]	15.56 ± 3.50	17.98 ± 2.97	3.28 ± 0.12
E [GPa]	268.01 ± 41.09	290.07 ± 31.52	203.21 ± 12.41



Obr. 5 – Typické indentační křivky.

4 Shrnutí

V miniprojektu jsme změřili vlastnosti několika tenkých vrstev a prokázali, že tenké vrstvy prokazatelně zlepšují mechanickou odolnost běžně používaných materiálů, což vede k prodloužení životnosti zařízení a jejich využití je ekonomicky výhodné.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Jaroslavu Čechovi, Ph.D. za čas, který nám ochotně věnoval, a především pak za odborné vedení naší skupiny.

Reference:

- [1] http://www.ateam.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf (ONLINE 18. 6. 2019)
- [2] <http://www.directindustry.com/prod/anton-paar/product-16352-1866864.html> (ONLINE 18. 6. 2019)
- [3] *Calotest User manual*, CSM Instruments, 2011, 21 p.
- [4] OLIVER, W. C. – PHARR G. M.: *Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology*. Journal of Materials Research 19, 2004, pp. 3–20.