

# Měření nanotvrdosti wolframu

Pavla Béréšová<sup>1</sup>, František Zajíc<sup>2</sup>, Veronika Deketová<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mendelovo gymnázium v Opavě

<sup>2</sup>Gymnázium Nymburk

<sup>3</sup>Gymnázium Velké Meziříčí

[1pavla.beresova@seznam.cz](mailto:pavla.beresova@seznam.cz), [2fandazajic@gmail.com](mailto:fandazajic@gmail.com), [3veronikadeketova@seznam.cz](mailto:veronikadeketova@seznam.cz)

## Abstrakt

*Cílem projektu bylo změřit pomocí mikroindentoru tvrdost wolframového vzorku. Měření probíhalo na dvou různých přístrojích (OPL, CSM Instruments). Naměřené výsledky byly porovnány.*

## 1. Úvod

V současné době se plánuje stavba tokamaku DEMO, prvního tokamaku, který by měl dodávat energii do sítě. Vnitřní stěna jeho komory bude z wolframu. Tento materiál byl vybrán z důvodu vysokého bodu tání, dobré tepelné vodivosti, nízké tepelné roztažnosti a stálosti mřížky při dopadu jiných částic. Má i některé nevýhody, například vysoké atomové číslo (pokud se část stěny dostane do proudu plazmatu, znehodnotí jej), vytváří oxidy, které narušují krystalovou strukturu a má značný odpor záření ionty. Jeho vlastnosti musí být studovány, aby mohly být předvídané případné defekty. My jsme se zaměřili na jeho tvrdost.

## 2. Metody a přístroje

Při určování tvrdosti jsme používali metodu indentace, která spočívá ve vtláčování hrotu indentoru známých parametrů do testovaného materiálu. Základním principem indentace je, že tvrdší materiál (indentor) zanechá v měkčím trvalou deformaci.

Používali jsme Vickersův indentor (Obr. 1), což je diamantový hrot tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu, jehož stěny svírají s vodorovnou rovinou úhel 22°. Tento hrot vytváří v materiálu vtisk čtvercového tvaru.

Z rozměrů tohoto vtisku se počítá tzv. Vickersovu tvrdost.

$$HV = \frac{2P}{u^2} \cos 22^\circ$$

Ta závisí přímo úměrně na zatížení  $P$  [kg] a nepřímo úměrně na kvadrátu délky úhlopříčky vtisku  $u$  [mm].

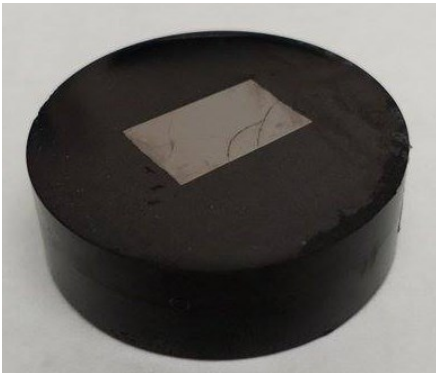


Obrázek 1 - Hrot Vickersova indentoru [1]

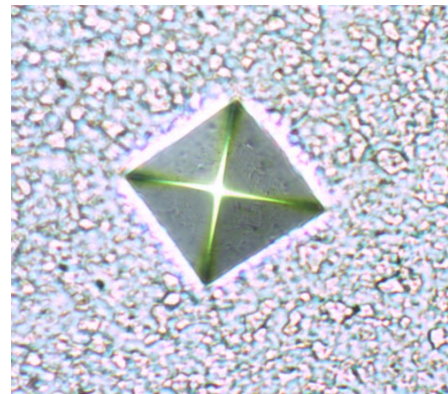
Tuto metodu jsme využili při prvních dvou měřeních. První spočívalo v manuálním odečítání délek úhlopříček na přístroji OPL. Při druhém toto odečítání probíhalo na obrazovce počítače, přičemž i samotný výpočet zpracoval software přístroje CSM Instruments. Měření na přístroji CSM Instruments bylo také zpracováno metodu Oliver-Pharr, která využívá závislost aplikované síly na hloubce vtisku.

### 3. Měření

Náš vzorek byl malý kvádr wolframu, zalitý do pryskyřice (viz. Obr. 2), obroušený a vyleštěný tak, aby byla vidět struktura materiálu v řezu. Vzorek měl na sobě praskliny, proto nebyl vhodný k vědeckým účelům, nicméně pro naše účely naprosto dostačoval, bylo jen nutné najít vhodné místo pro vtisk. To by mělo být bez kazů, příměsí a prasklin.



Obrázek 2 - Vzorek wolframu



Obrázek 3 - Fotografie vtisku

První měření probíhalo na starším přístroji OPL. Nejdříve jsme upevnili vzorek k přístroji, následně bylo nutné mikroskopem najít vhodné místo pro vtisk a to minimálně tři délky úhlopříčky od předchozího vtisku. Když jsme takové místo našli, umístili jsme na přístroj závaží a zapnuli jsme přístroj. Ten poté odaretoval váhy a vtláčil diamantový hrot do vzorku. Přístroj byl vybaven měřítkem na okuláru, pomocí kterého jsme odečítali délky úhlopříček vtisku. Na Obr. 3 je fotografie vtisku.

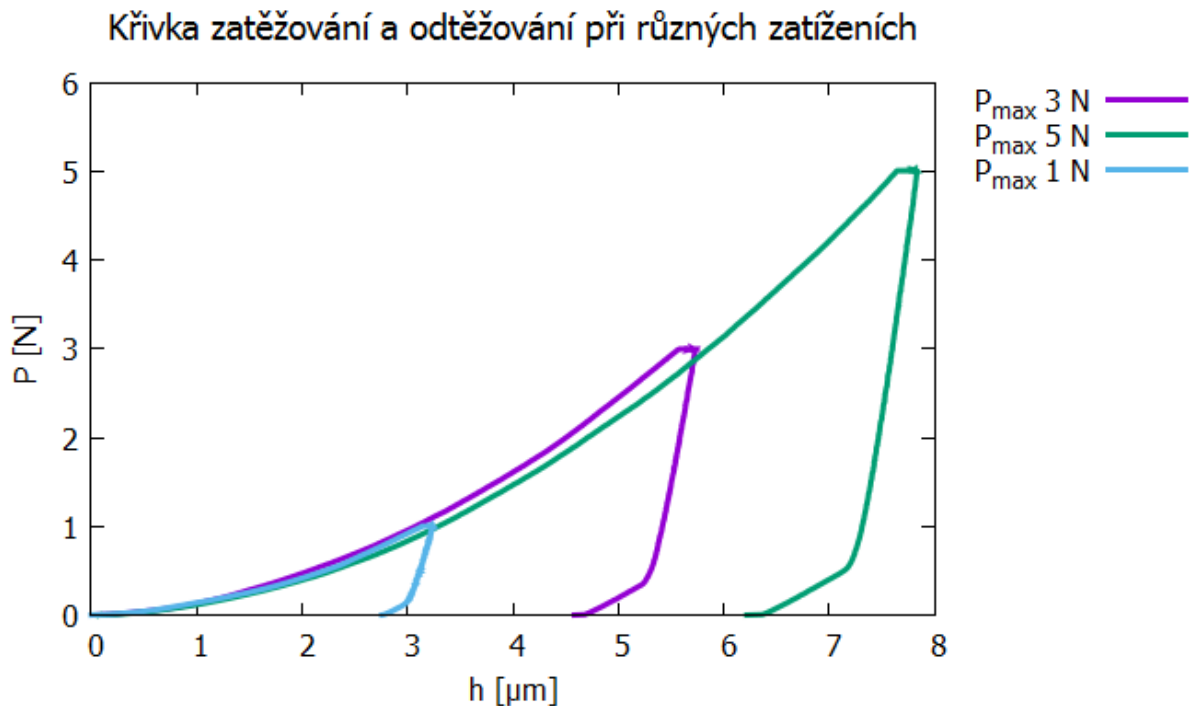
Provedli jsme tři série měření, pro váhy závaží 500g, 300g a 100g, v každé sérii jsme měřili úhlopříčky sedmi vtisků kvůli dobré statistice. Hodnoty se zapisovaly ručně do připravené tabulky. Následně se z průměrné hodnoty vypočítávala Vickersova tvrdost.

Druhé měření probíhalo na přístroji CSM Instruments obdobně, odečítání údajů však probíhalo na obrazovce počítače, který nám také Vickersovu tvrdost sám vypočítal.

Třetí měření prováděl počítač metodou Oliver-Pharr na základě grafu závislosti hloubky vtisku na zátěži. Tato metoda je ze všech nejpřesnější, neboť bere v úvahu nejen plastické, ale i elastoplastické vlastnosti materiálu.

Tab. 1 Výsledky měření

P [g]	Měření č. 1 [HV]	Měření č. 2 [HV]	Měření č. 3 [HV]
100	401,92	394,82	459,99
300	366,89	375,73	422,49
500	394,99	360,22	408,50



Obr. 4 Závislost aplikované síly na hloubce vtisku.

Z měření číslo tři jako výstup vycházejí také zátěžové křivky. Na nich je vidět, že materiál má i elastické vlastnosti, část deformace je vratná. Na Obr. 4 můžeme vidět průběh zatížení v závislosti na hloubce vtisku ( $h$ ) pro 3 různé maximální hodnoty zatížení ( $P_{\max}$ ). Výsledky všech měření jsou v Tab. 1.

## 4. Shrnutí

Všechna tři měření nám vyšla srovnatelně, při třetím měření vyšly o něco vyšší hodnoty, než při prvních dvou. Bylo to způsobeno tím, že jsme používali metodu Oliver-Pharr, která bere v úvahu i elastickou složku. Nicméně všechny hodnoty jsou v tabelovaném rozmezí 350HV – 470 HV. Můžeme si povšimnout rozdílu tendencí tvrdosti, jež jsme naměřili na různých přístrojích. Pro přístroj CSM Instruments je tato tendence klesající. Může to být způsobeno uchycením vzorku v přístroji, pod kterým nebyla umístěna podložka, proto se mohl prohýbat a tím snížit hodnotu tvrdosti.

## 5. Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat všem, kteří se přičinili na uskutečnění našeho miniprojektu, především naší supervisorce Ing. Lence Kocmanové a hlavnímu organizátorovi TV@J Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc.

## 6. Zdroje

[1] [http://www.flickr.com/photos/fluor\\_doublet/6864844960/](http://www.flickr.com/photos/fluor_doublet/6864844960/)

[2] Constantinides, G., et al, Grid indentation analysis of composite microstructure and mechanics: Principles and validation, Materials Science and Engineering A 430 (2006) 187-202

[3] W.C. Oliver, G.M. Pharr, An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments, J. Mater. Res., Vol. 7, No. 6 (1992) 1564-1583.