

# Měření tvrdosti kovů

Martin Vašinka

---

Bakalářská práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

\*\*\*nascannované zadání s. 1\*\*\*



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně dne 20. 4. 2012

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce pojednává o měření tvrdosti kovů. V teoretické části jsou přiblíženy způsoby a rozdělení měření tvrdosti kovů. Dále jsou zde popsány měřicí přístroje používané k tomuto měření. V praktické části experimentálně zjišťuji tvrdost mat. 19 436, 19 573 a 19 830 metodou HRC v běžném stavu a po tepelné úpravě. Výsledky měření závěrem vyhodnocuji.

Klíčová slova: tvrdost kovů, Rockwell, Brinell, Vickers

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the hardness of metals. The theoretical part and approximated the distribution methods of measuring hardness of metals. There are also described measuring devices used, not to measure this. In the practical part of the experimentally realize hardness mat. 19 436, 19 573 and 19 830 by HRC in normal condition and after heat treatment. Measurement results finally evaluated.

Keywords: hardness of metals, Rockwell, Brinell, Vickers

Poděkování:

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D za odborné vedení, poskytnuté rady, za čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování práce, které mi pomohly úspěšně dokončit mou bakalářskou práci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 20. 4. 2012

.....

podpis

## ÚVOD

Každý kovový materiál má své specifické vlastnosti, které ovlivňují jeho další použití a využití v praxi. Tyto jeho vlastnosti je potřeba určit. K tomu nám slouží několik typů zkoušek. Mezi základní typy zkoušek můžeme zařadit zkoušky tvrdosti. Člověk může sám určit materiály hodně měkké, nebo tvrdé. Toto ovšem v dnešní době nestačí a musí se určit tvrdost přesněji. Z tvrdosti materiálu často usuzujeme jeho další vlastnosti, kterými jsou např. pevnost v krutu, tahu, ohybu a další vlastnosti potřebné k obrábění. K měření tvrdosti se používá několik metod. Tyto metody jsou založeny na podobných principech, ale nejsou stejné. Z toho vyplývá, že různé metody měření tvrdosti budou dosahovat rozdílných hodnot měření stejného materiálu.

Ve své Bakalářské práci se chci zaměřit na tvrdost nástrojové oceli 19 436, 19 573 a 19 830 před a po tepelném zpracování. V teoretické části se zaměřím na nejběžnější druhy měření tvrdosti, jejich využití a rozdělení. Dále seznámení s používanými měřicími tělisky a s jejich geometrií. V praktické části budu analyzovat tvrdost materiálu 19 436, 19 573 a 19 830 po kalení, žíhání na měkko a bez tepelného zpracování. Poté vyhodnotím měření a určím z hlediska tvrdosti vhodnost použití tepelné úpravy na použití materiálu 19 436, 19 573 a 19 830.



## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>11</b>
<b>1 TEORETICKÝ ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
1.1 TVRDOST MATERIÁLU.....	12
1.2. DRUHY ZKOUŠEK TVRDOSTI.....	12
<b>2 STATICKÉ ZKOUŠKY.....</b>	<b>13</b>
2.1 VRYPOVÉ ZKOUŠKY.....	13
2.1.1 Martensova metoda .....	14
2.2 ZKOUŠKY VNIKACÍ .....	14
2.2.1 Zkouška podle Brinella .....	15
2.2.2 Zkouška podle Vickerse .....	20
2.2.3 Zkouška podle Rockwela .....	23
<b>3 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY .....</b>	<b>28</b>
3.1 Metody stlačenou pružinou.....	28
3.1.1 Baumanovo kladívko.....	28
3.2 Porovnávací metody.....	29
3.2.1 Poldi kladívko.....	29
3.3 Metody volným pádem .....	31
3.3.1 Shoreho metoda.....	31
3.3.2 Duroskop .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....</b>	<b>34</b>
<b>5 PŘÍPRAVA VZORKŮ .....</b>	<b>35</b>
5.1 STROJNÍ ORÁBĚNÍ .....	35
5.1.1 Frézování.....	35
5.1.2 Řezání.....	35
5.1.3 Broušení.....	35
5.2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ.....	36
5.2.1 Kalení .....	36
5.2.2 Žihání.....	37
5.2.3 Popouštění.....	38

---

5.3	MATERIÁLY VZORKŮ.....	39
5.3.1	Materiál 19 436.....	39
5.3.1	Materiál 19 573.....	40
5.3.1	Materiál 19 830.....	40
<b>6</b>	<b>MĚŘENÍ TVRDOSTI.....</b>	<b>42</b>
6.1	POSTUP MĚŘENÍ.....	42
6.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	43
<b>7</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>49</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>57</b>

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEORETICKÝ ÚVOD

Testování mechanických vlastností materiálu prošlo velkým historickým vývojem, a v současné době hraje nezastupitelnou roli při kontrole technologie výroby, jakosti a při vývoji nových materiálů. Existuje celá řada materiálových zkoušek. Některé z nich mají uplatnění obecně pro testování jak křehkých tak houževnatých materiálů a jiné se používají jen ve speciálních případech. Tyto tzv. technologické zkoušky se využívají pro posouzení vhodnosti materiálu k určitému speciálnímu způsobu zpracování.

### 1.1 Tvrdość materiálu

Tvrdość materiálu je odpor proti deformaci jeho povrchu vyvolaný mechanickým účinkem tvrdšího tělesa stanovených rozměrů. Z toho vyplývá, že zkoušky tvrdosti patří mezi zkoušky mechanické. Tvrdość se posuzuje podle velikosti deformace při působení stálého zatížení, nebo podle velikosti zatížení potřebného k vyvolání určité deformace. Jelikož se užívá několik metod měření, které používají různou geometrii zkušebních tělísek, nemůžeme přesně určit tvrdost daného zkušebního vzorku. Výsledky měření se budou lišit, podle použité metody měření.

### 1.2 Druhy zkoušek tvrdosti

*Tab. 1 Metody měření*

Zkoušky tvrdosti	Statické	Vrypové	Metoda podle Martense
		Vnikací	Metoda podle Brinella
			Metoda podle Vickerse
			Metoda podle Rockwella
	Dynamické	Plastické nárazové	Metoda stlačenou pružinou
			Porovnávací metoda
		Elastické odrazové	Metoda volným pádem

## 2 STATICKÉ ZKOUŠKY

Jsou zkoušky nejvíce používané. Společným znakem těchto zkoušek je, že tvrdost se hodnotí jako odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa. Jednotlivé metody se od sebe liší použitou geometrií a materiálem zkušebního tělíska (indentoru), velikostí zatěžující síly a číselným vyhodnocením. Dále sem patří zkoušky měření tvrdosti založené na jiných fyzikálních vlastnostech. Často se zde využívá spojitosti mezi tvrdostí a strukturou (všeobecně mají jemnozrnné materiály větší tvrdost než materiály hrubozrnné).

Obecně lze hodnotit statické zkoušky, jako deformaci povrchu vyvolanou vnější silou (zatlačováním kuličky, kuželu, jehlanu, nebo vrypu). Z tohoto důvodu nemůžeme při použití různých metod měření tvrdosti dojít ke stejným výsledkům měření. Tyto měření se budou lišit, i když bude použit stejný zkušební materiál, který musí mít lesklý povrch, a nesmí mít změněné vlastnosti opracováním na tento povrchu.

### 2.1 Vrypové zkoušky

Tato metoda je založena na vlastnostech materiálů způsobit vryp tvrdšího materiálu do měkčího. Při této zkoušce se využívá Mohsovy stupnice, která je stupňována od nejměkčího materiálu k nejtvrděmu a patří sem 10 nerostů. Materiálem s vyšším číslem lze udělat vryp do materiálu s číslem nižším. Určení tvrdosti podle Mohsovy stupnice tvrdosti se provádí vrypem do zkoušeného materiálu.

*Tab. 2 Mohsova stupnice*

1. mastek	6. živec
2. sůl kamenná	7. křemen
3. kalcit	8. topas
4. fluorid	9. korund
5. apatit	10. diamant

Dnes se vrypové zkoušky používá pouze u tvrdých materiálů (sklo, porcelán, aj.). V technické praxi se používá zkouška podle Martense.

### 2.1.1 Martensova metoda

Vrypová tvrdost podle Martense (HMa) se zjišťuje přitlačováním kuželového diamantového hrotu, o vrcholovém úhlu  $90^\circ$ , měnitelným tlakem na leštěný povrch zkoušeného předmětu, který se pohybuje danou rychlostí. Postupně se zatěžuje silou  $F$ , až vznikne vryp o šířce 0,01 mm. Mírou tvrdosti je pak síla  $F$ . Takto zjištěná hodnota tvrdosti je velmi nepřesná a proto se v dnešní době moc nevyužívá.

## 2.2 Zkoušky vnikací

Jsou zkoušky nejznámější a jak v technické praxi, tak i ve výzkumu nejvíce používané. Společným znakem těchto metod je, že tvrdost se hodnotí jako odolnost materiálu proti vnikání cizího tělesa, které je zatlačováno klidnou silou do hladkého povrchu kovu. Proto se nazývají zkoušky vnikací. Při těchto zkouškách dochází k plastické deformaci materiálu v místě vtisku. Naměřené hodnoty tvrdosti jsou pouze orientační a nemají žádnou jednotku. Jako označení tvrdosti se užívá číslo tvrdosti a označení metody. Při těchto zkouškách dochází k trojosému namáhání. Díky tomuto namáhání existuje přibližný vztah mezi pevností ocelí a její tvrdostí. Jednoduché vyjádření poměrů při této zkoušce je obtížné a tvrdost nelze proto vyjádřit jednoduchou fyzikální veličinou. K měření se využívají přístroje (tvrdoměry), které mohou být přenosné nebo stojanové konstrukce. Pro nastavení a následné kontroly slouží kontrolní vzorek (tvrdoměrná destička). Výhodou takového nastavení je, že se nastavení a kontrola provádí na místě obvyklého měření a tím se docílí stejných měřících chyb. Všeobecně je tvrdost funkcí řady činitelů, jako jsou:

- pružné vlastnosti zkoušeného materiálu
- plastické vlastnosti zkoušeného materiálu
- rozměry zkoušeného tělesa
- použité zatížení při zkoušce
- tvar vnikacího tělesa a rychlost vnikání
- mechanické vlastnosti vnikacího tělesa

Do této skupiny zkoušek patří v metalurgii nejběžněji používané metody:

- Brinellova
- Vickersova
- Rockwellova

### 2.2.1 Zkouška podle Brinella

Tuto metodu poprvé představil švédský inženýr J. A. Brinell v roce 1900 na 2. mezinárodním kongresu v Paříži o zkoušení materiálů. Tato metoda se používá pro měření měkkých a středně tvrdých, heterogenních (materiály různorodého složení) materiálů. Zkouška je dána předpisem normy „ČSN EN ISO 6506“.

Princip metody spočívá ve vtláčování ocelové kuličky průměru **D** do zkušební tělesa působením síly **F**, směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu **t** a změření průměru vtisku **d** po odlehčení zatížení. Tvrdost podle Brinella HB je definována jako poměr působícího zatížení **F** k ploše povrchu kulového vtisku **A** dle vztahu [1].

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad [1]$$

$$A = \pi \cdot D \cdot h = \frac{\pi \cdot D^2}{2} - \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot \sqrt{D^2 - d^2} = \frac{\pi \cdot D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Kde:

HB – tvrdost podle Brinella (bezrozměrné)

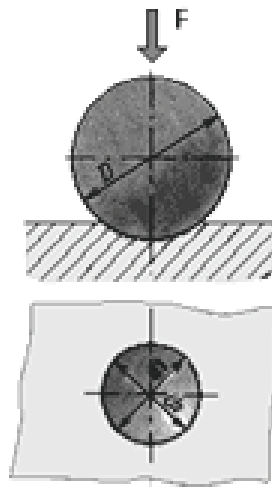
F – zatížení kuličky ( N )

D – průměr kuličky (mm)

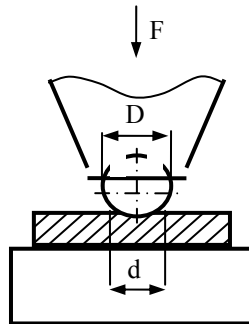
A – povrch vtisku (mm<sup>2</sup>)

d – aritmetický průměr vtisku

h – hloubka vtisku (mm)



*Obr. 1 Vtisk při měření podle Brinella*



*Obr. 2 Schéma měření podle Brinella*

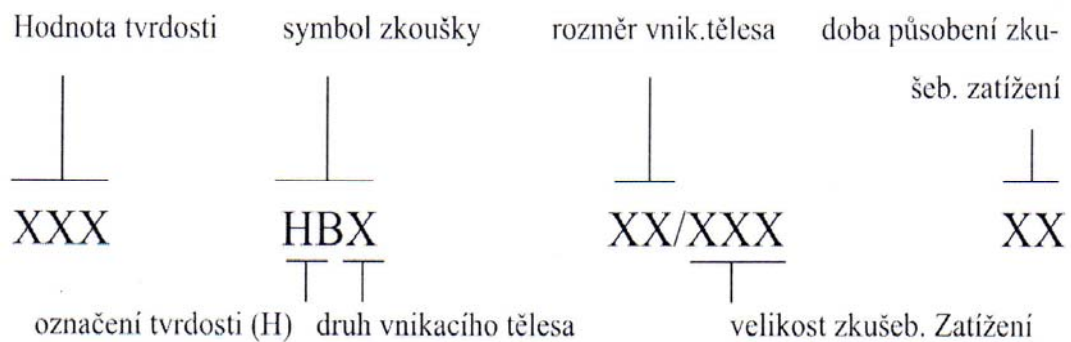
Zkoušený předmět musí být rovný a hladký, Kuličky se používají s průměrem 10, 5, 2.5 a 1mm. Zatížení musí působit bez rázů, u slitin železa 10 až 30s a pro neželezné kovy 60 až 180s, a musí být kolmé k měřenému tělesu. Vzhledem k tomu, že plocha vtisku není přímo úměrná zatížení, je tvrdost podle Brinella závislá na zatížení. Zatížení se volí jako násobek čtverce průměru kuličky ( $F = 300D^2$ ).

**Zkouška podle Brinella se značí:**

HBS – používá se kalená ocelová kulička

HBW-používá se kulička z tvrdokovu





Tab. 3 Hodnoty zatížení pro různé podmínky zkoušení

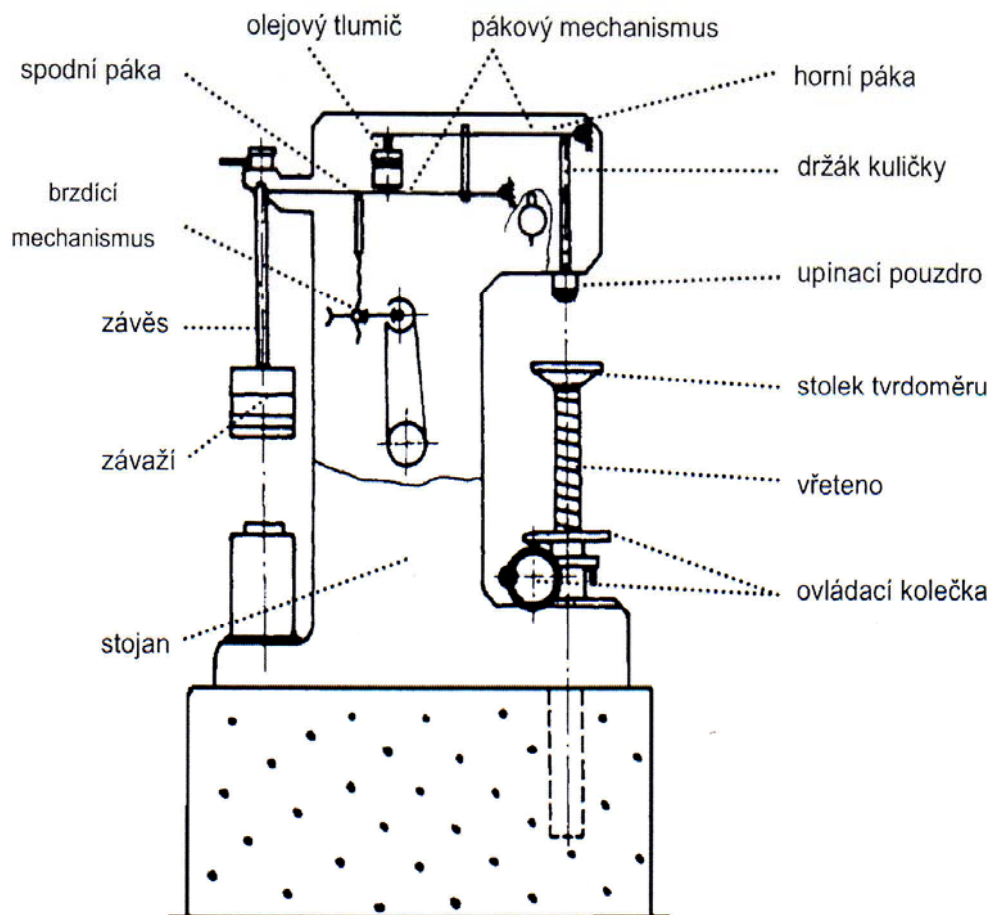
Označení zkoušky	Průměr kuličky D [mm]	$\frac{0.102F}{D^2}$ [ $\frac{N}{mm^2}$ ]	Zatížení	
			F [Kg]	F [N]
HBS (HBW) 1 / 1	1	1	1	9,807
HBS (HBW) 1 / 2,5	1	2,5	2,5	24,52
HBS (HBW) 1 / 5	1	5	5	49,03
HBS (HBW) 1 / 10	1	10	10	98,07
HBS (HBW) 1 / 30	1	30	30	294,2
HBS (HBW) 2,5 / 6,25	2,5	1	6,25	61,29
HBS (HBW) 2,5 / 15,625	2,5	2,5	15,625	153,2
HBS (HBW) 2,5 / 31,25	2,5	5	31,25	306,5
HBS (HBW) 2,5 / 62,5	2,5	10	62,5	612,9
HBS (HBW) 2,5 / 187,5	2,5	30	187,5	1839
HBS (HBW) 5 / 25	5	1	25	245,2
HBS (HBW) 5 / 62,5	5	2,5	62,5	612,9
HBS (HBW) 5 / 125	5	5	125	1226
HBS (HBW) 5 / 250	5	10	250	2452
HBS (HBW) 5 / 750	5	30	750	7355
HBS (HBW) 10 / 100	10	1	100	980,7
HBS (HBW) 10 / 250	10	2,5	250	2542
HBS (HBW) 10 / 500	10	5	500	4903
HBS (HBW) 10 / 1000	10	10	1000	9807
HBS (HBW) 10 / 1500	10	15	1500	14170
HBS (HBW) 10 / 3000	10	30	3000	29420

**Příklad 1 :**

**350 HBW 5/750** Je označení pro Brinellovu tvrdost s hodnotou 350, kuličkou z tvrdokovu o průměru 5 mm se zatížení 7,355 KN po dobu 10 – 15s.

**Příklad 2 :**

**600 HBS 51/30/20** Je označení pro Brinellovu tvrdost s hodnotou 600, kalenou ocelovou kuličku o průměru 1 mm se zatížení 294,2 N po dobu 20s.



*Obr. 3 Měřicí přístroj Brinell*

**Měřený materiál:**

- 1) Povrch musí být rovný, hladký nejlépe broušený a nesmí obsahovat žádná mazadla.
- 2) V materiálu nesmí dojít k místnímu zahřátí a nesmí být ovlivněno deformací za studena.
- 3) Tloušťka vzorku musí být nejméně 0.6 D měřící kuličky.

**Postup zkoušky:**

Měřený materiál je umístěn na hladké, čisté podložce měřícího přístroje. Do měřeného materiálu vtlačíme, kolmo, zatížením **F** po dobu **t** kuličku průměru **D**. Po odlehčení kulička zanechá v měřeném materiálu vtisk obr. 1. Povrch vtisku **A** kulového vrchlíku je kritériem pro hodnocení materiálu.

*Tab. 4 Hodnoty pro různé kovové materiály*

Zkoušený materiál	Brinellova tvrdost HB	$\frac{0,102F}{D^2}$ $\left[ \frac{N}{mm^2} \right]$
Ocel, slitiny niklu a titanu		30
Litiny, D kuličky = 2,5mm 5 mm a 10 mm	<140	10
	>140	30
Měď a její slitiny	<35	5
	35 – 200	10
	>200	30
Lehké kovy a jejich slitiny	<35	2,5 – 5
	35 – 80	10 – 15
	>80	10 – 15
Olovo, cín		1

### 2.2.2 Zkouška podle Vickerse

Název této metody je odvozen od firmy, v které byl poprvé sestrojěn přístroj pro toto měření tvrdosti. Jednalo se o brickou firmu Vickers. O sestrojení tohoto přístroje požádali R. L. Smith a G. E. Sandland v roce 1922. Tato metoda se používá pro měření měkkých i tvrdých materiálů a pro svou přesnost a citlivost je využívána především v laboratořích. Zkouška je dána předpisem normy „ČSN EN ISO 6507“

Princip metody spočívá ve vlačování pravidelného čtyřbokého diamantového jehlanu se čtvercovou základnou s vrcholovým úhlem  $136^\circ$  do zkoušeného tělesa působením síly  $F$ , směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu  $t$  a změřením úhlopříček vtisku  $d$  po odlehčení zatížení. Tvrdost podle Vickerse HV je definována jako poměr působícího zatížení  $F$  k ploše vtisku pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou.

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1854 \frac{F}{d^2} \quad [2]$$

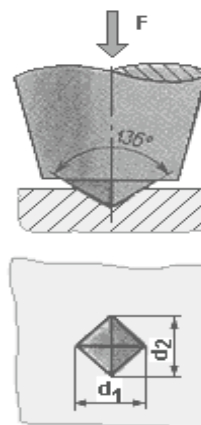
Kde:

HV – tvrdost podle Vickerse (bezrozměrné)

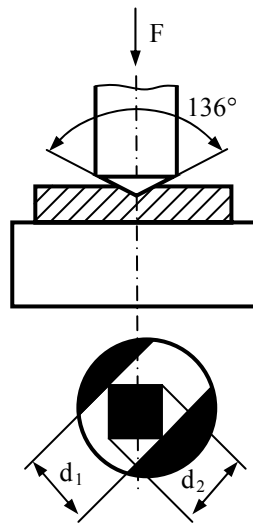
F – zatížení čtyřbokého jehlanu (N)

A – povrch vtisku ( $\text{mm}^2$ )

d – aritmetický průměr úhlopříček vtisku



Obr. 4 Vtisk při měření podle Vickerse



Obr. 5 Schéma měření podle Vickerse

Zkoušený předmět musí být rovný a hladký. Zatížení musí působit bez rázů a kolmo na měřené těleso. Vzhledem k tomu, že plocha vtisku je přímo úměrná zatížení, není tvrdost podle Vickerse závislá na zatížení.

**Zkouška podle Vickerse se značí:**

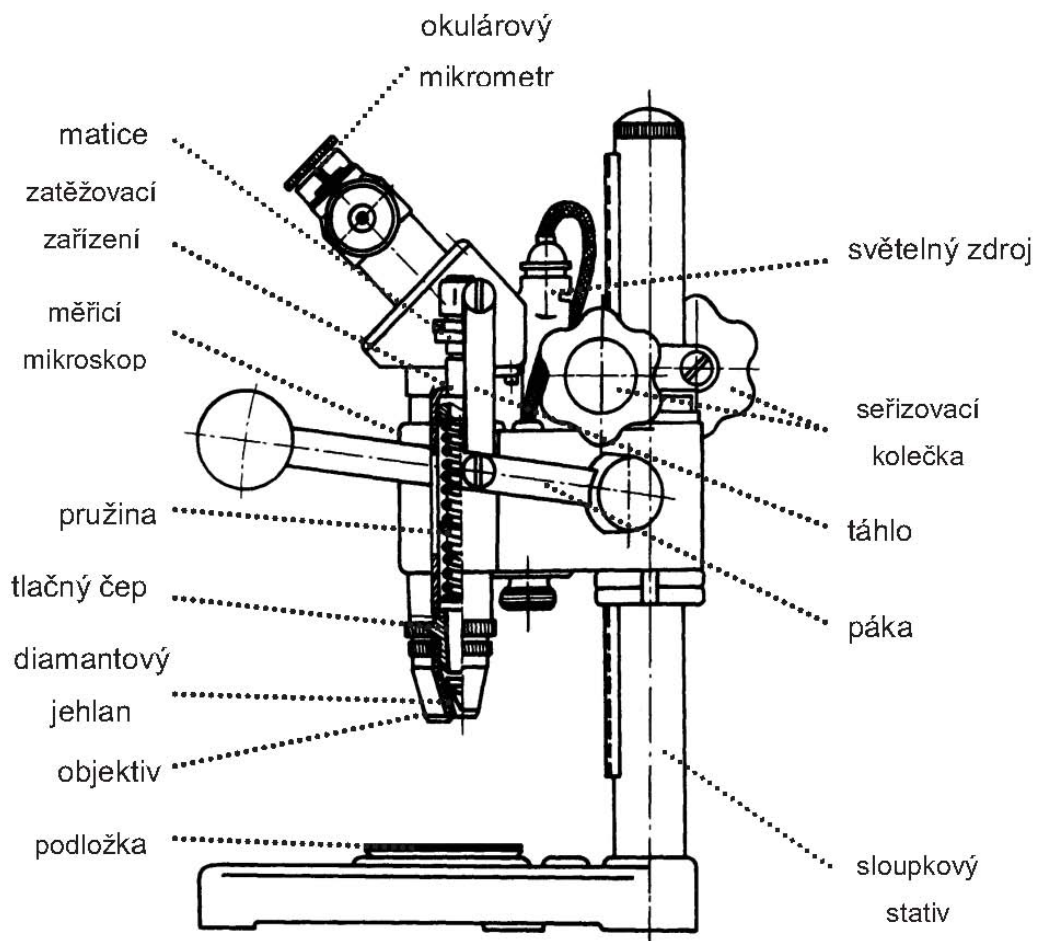
Hodnota tvrdosti	Velikost zkušeb.zatížení	Doba působení zkušeb.zatížení	
$\overline{\text{XXX}}$	HV	$\overline{\text{XXX}}$	/
	Symbol zkoušky	$\overline{\text{XX}}$	

**Příklad 1 :**

**640 HV 30** Je označení pro Vickersovu tvrdost s hodnotou 640, zkušebním zatížením 294,2 N po dobu 10 – 15s.

**Příklad 2 :**

**640 HV 30/20** Je označení pro Vickersovu tvrdost s hodnotou 640, zkušebním zatížením 294,2 N po dobu 20s.



Obr. 6 Měřicí přístroj Vickers

Tab. 5 Hodnoty zatížení pro různé podmínky zkoušení

Označení zkoušky	Zatížení		Označení zkoušky	Zatížení	
	F [N]	F [Kg]		F [N]	F [Kg]
HV 0,2	1,961	0,2	HV 5	49,03	5
HV 0,3	2,942	0,3	HV 10	98,07	10
HV 0,5	4,903	0,5	HV 20	196,1	20
HV 1	9,807	1	HV 30	294,2	30
HV 2	19,61	2	HV 50	490,3	50
HV 3	29,43	3	HV 100	980,7	100

**Měřený materiál:**

- 1) Povrch musí být rovný, hladký, nejlépe broušený a nesmí obsahovat žádná mazadla.
- 2) V materiálu nesmí dojít k místnímu zahřátí a nesmí být ovlivněno deformací za studena.
- 3) Tloušťka vzorku musí být nejméně 1,5 násobek úhlopříčky vtisku.

**Postup zkoušky:**

Měřený materiál je umístěn na hladké, čisté podložce měřicího přístroje. Do měřeného materiálu vtlačíme, kolmo, zatížením  $F$  po dobu  $t$  pravidelný čtyřboký diamantový jehlan. Po odlehčení jehlan zanechá v měřeném materiálu vtisk obr. 4. Povrch vtisku  $A$  jehlanu je kritériem pro hodnocení materiálu.

**2.2.3 Zkouška podle Rockwella**

Tuto metodu poprvé použil v roce 1922 S. P. Rockwell v Americe. Tato metoda je nejrozšířenější v technické praxi pro svou jednoduchost. Při této metodě se neurčuje míra tvrdosti žádným výpočtem, žádným porovnáním z tabulky, ale přímo se odečte na tvrdoměru, protože se zde vyjadřuje hloubka trvalého vtisku. Tato metoda má všestranné využití, protože se s ní dají měřit křehké materiály, tenké povrchové vrstvy, měkké, středně tvrdé a tvrdé materiály. Zkouška je dána předpisem normy „ ČSN EN ISO 6508 “.

Princip metody spočívá ve vtlačování ocelové kuličky, kuličky z tvrdokovu, nebo diamantového kužele s poloměrem zakřivení  $r$  0,2 a vrcholovým úhlem  $120^\circ$  do zkoušeného tělesa působením síly  $F$  na dvakrát, směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu  $t$  a změření hloubky trvalého vtisku  $h_3$ . Tvrdost podle Rockwella HR můžeme vypočítat jako rozdíl smluvní hloubky vnikání (dle použité metody) a hloubky trvalého vtisku  $h_3$  dle vztahu [3,4].

Metoda HRB – jako zkušební tělíska se používá kulička

$$HRB = 130 - h_3$$

[3]

HRC – jako zkušební tělíska se používá diamantový kužel

$$HRC = 100 - h_3$$

[4]

Kde:

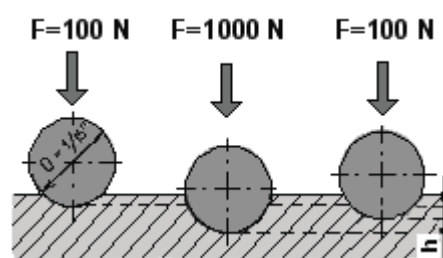
HRB – tvrdost podle Rockwella (bezrozměrné)

HRC – tvrdost podle Rockwella (bezrozměrné)

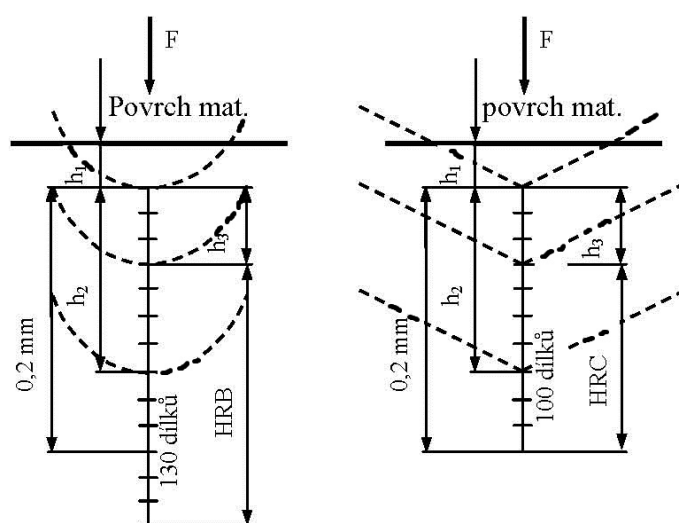
$h_3$  – hloubka trvalého vtisku (mm)

100 – smluvní hloubka (mm)

130 – smluvní hloubka (mm)



Obr. 7 Vtisk při měření podle Rockwella



Obr. 8 Schéma měření podle Rockwella



Zkoušený předmět musí být rovný a hladký. Jako zkušební tělíska se používají kuličky (kalené ocelové, nebo z tvrdokovu) s průměrem  $1/16'' = \text{cca } 1,59 \text{ mm}$  (v některých speciálních případech se užívá také kuliček s průměry  $1/8''$ ,  $1/4''$  a  $1/2''$ , nebo diamantového kužele, jehož vrchol je zaoblen s poloměrem zakřivení  $r = 0,2$  a s vrcholovým úhlem  $120^\circ$ . Zatížení je stálé a mění se pouze v závislosti na použité metodě (dle tvrdosti materiálu).

Při zkoušce tvrdosti podle Rockwella se používá dvojího zatížení a to:

- 1) **Předběžné zatížení F0** – toto zatížení slouží pro vyloučení chyb křivosti povrchu měřeného materiálu.
- 2) **Přídavné zatížení F1** – používá se po dobu 10s

*Tab. 6 Zatížení dle metody*

	HRA	HRB	HRC
F0 (N)	98	98	98
F1 (N)	490	883	1373
Celkové F (N)	588	981	1471
Rozsah použití HR	20 - 88	20 – 100	20 – 70

#### Zkoušky podle Rockwella se značí:

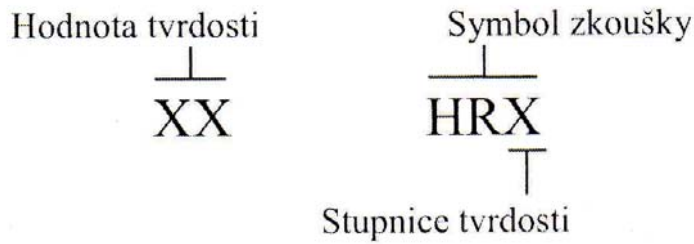
**HRA** – Tvrdost je určena diamantovým kuželem při celkovém zatížení 600 N (používá se pro měření křehkých materiálů a tenkých povrchových vrstev).

**HRB** - Tvrdost je určena kuličkou při celkovém zatížení 1000 N (používá se pro měření měkkých a středně tvrdých materiálů).

a) **HRBS** – Používá se ocelová kalená kulička.

b) **HRBW** – Používá se kulička z tvrdokovu.

**HRC** - Tvrdost je určena diamantovým kuželem při celkovém zatížení 1500 N (používá se pro měření tvrdých materiálů).

**Příklad 1 :**

**60 HRC** Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 60 při použití diamantového zkušebního tělíška a celkové zatížení 1500 N.

**Příklad 2 :**

**50 HRBS** Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 50 při použití kalené ocelové kuličky a celkového zatížení 1000 N.

**Příklad 3 :**

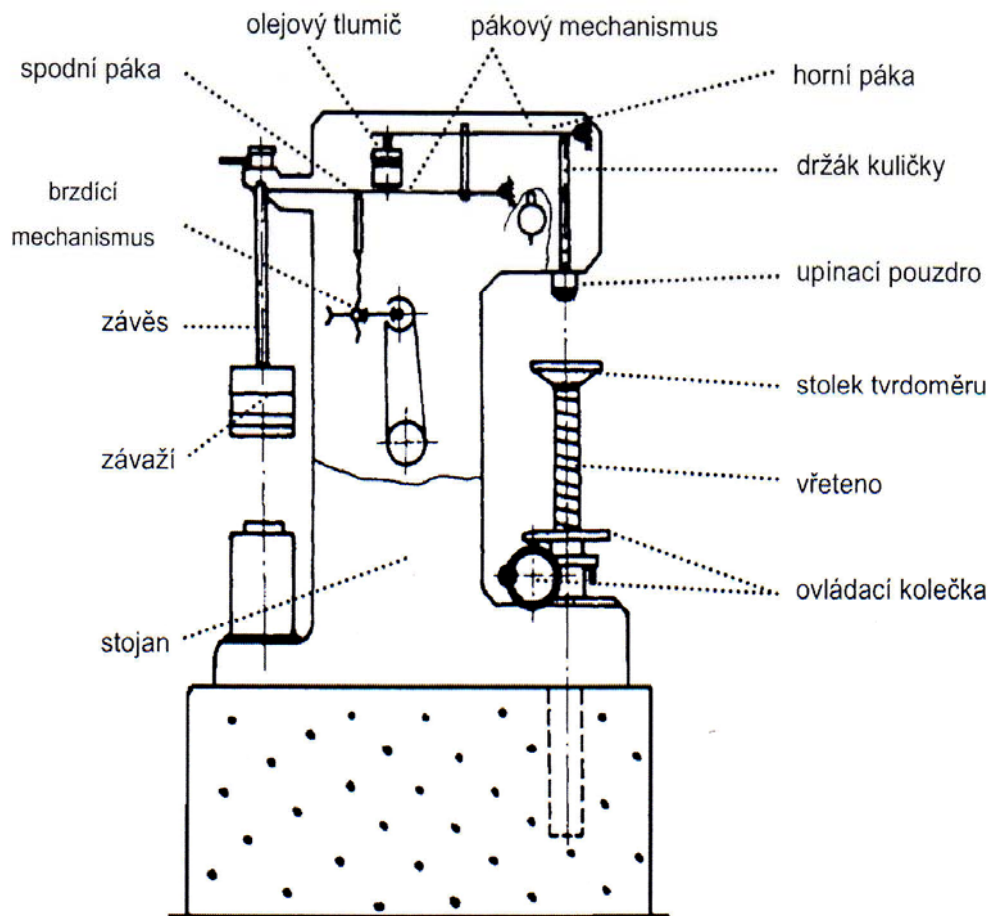
**20 HRA** Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 20 při použití diamantového zkušebního tělíška a celkového zatížení 600 N

**Příklad 4 :**

**50 HRBW** Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 50 při použití kuličky z tvrdokovu a celkovým zatížením 1000 N.

**Měřený materiál:**

- 1) Povrch musí být rovný, hladký nejlépe broušený a nesmí obsahovat žádná mazadla.
- 2) V materiálu nesmí dojít k místnímu zahřátí a nesmí být ovlivněno deformací za studena.
- 3) Tloušťka vzorku musí být nejméně 10 ti násobek hloubky vtisku.



Obr. 9 Měřicí přístroj Rockwell

### Postup zkoušky:

Měřený materiál je umístěn na hladké, čisté podložce měřícího přístroje. Do měřeného materiálu vtlačíme nejprve předběžným zatížením  $F_0$  zkušební tělísko, vynulujeme stupnici na měřícím přístroji a potom vtlačíme přídatným zatížením  $F_1$  zkušební tělísko po dobu 10s. Po odlehčení na předběžné zatížení přečteme hodnotu na stupnici tvrdoměru, která určuje přímo tvrdost materiálu podle Rockwella.

### 3 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY

Dynamickou metodu měření tvrdosti vynalezl v roce 1975 D. Leeb. Princip spočívá ve vystřelení indentoru (kuličky) předem určenou kinetickou energií proti měřenému materiálu. Jsou to zkoušky, kde síla působí nárazově po zlomek sekundy. V podstatě rozlišujeme dvojí rázové dynamické zkoušky tvrdosti materiálu. Jedná se o zkoušky vnikací, kde je klidná zatěžující síla nahrazena rázem, nebo zkoušky založené na principu měření velikosti odrazu indentoru puštěného na zkoušený vzorek určitou energií. Nevýhodou této metody měření je, že výsledky mohou být do značné míry ovlivněny vnějšími vlivy. Uvádí se, že výsledek může být zkreslen až o 15 %.

Dynamické vnikací zkoušky jsou prováděny pomocí Kladívka Poldi nebo Baumanova kladívka a dynamické zkoušky založené na měření velikosti odrazu indentoru jsou prováděny Shoreho skleroskopem nebo Duroskopem.

#### 3.1 Metody stlačené pružiny

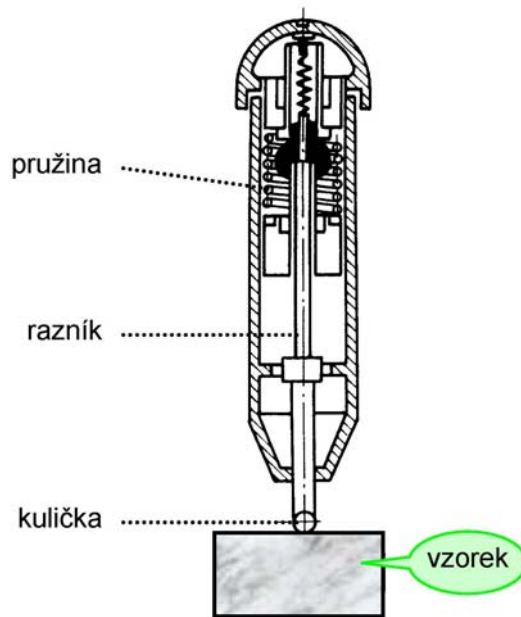
Tyto metody patří mezi dynamicko plastické zkoušky a využívají energie stlačené, cejchované pružiny, pomocí které se vtáčí kulička do zkoušeného materiálu, v kterém zanechá vtisk. Velikost tohoto vtisku je úměrná tvrdosti, neboť energie vtlačování kuličky do měřeného materiálu je konstantní. Významným zástupcem těchto zkoušek tvrdosti je Baumanovo kladívko.

##### 3.1.1 Baumanovo kladívko

Pracuje na principu vtlačování ocelové kuličky průměru 5, nebo 10 mm do zkoušeného materiálu. Toto vtlačování ocelové kuličky je pomocí cejchované, tlačné pružiny, která má dvě základní polohy.

##### **Postup měření:**

Zkoušený materiál je položen na masivní podložku, která zabraňuje pružení. Měřicí přístroj dáme na povrch zkoušeného materiálu tak, aby osa přístroje byla kolmá k povrchu měřeného materiálu. Potom stlačíme pružinu na požadovanou délku a tím odjistíme západku, která vymrští razník s kuličkou, která způsobí vtisk do měřeného materiálu. Tento vtisk změříme a porovnáme s tabulkou, která je součástí měřícího přístroje. Dle této tabulky určíme následně tvrdost daného materiálu. Tento výsledek se zapisuje se symbolem HB Bauman (příklad: 350 HB Bauman).



Obr. 10 Baumanovo kladívko

### 3.2 Porovnávací metody

Tyto metody patří mezi dynamicko plastické zkoušky a porovnávají velikosti vtisku kuličky do měřeného materiálu a do kontrolního vzorku s předem danou tvrdostí. Tyto hodnoty se porovnají s tabulkou, z které se určí výsledná tvrdost zkoušeného materiálu. Významným zástupcem těchto zkoušek tvrdosti je Poldi kladívko.

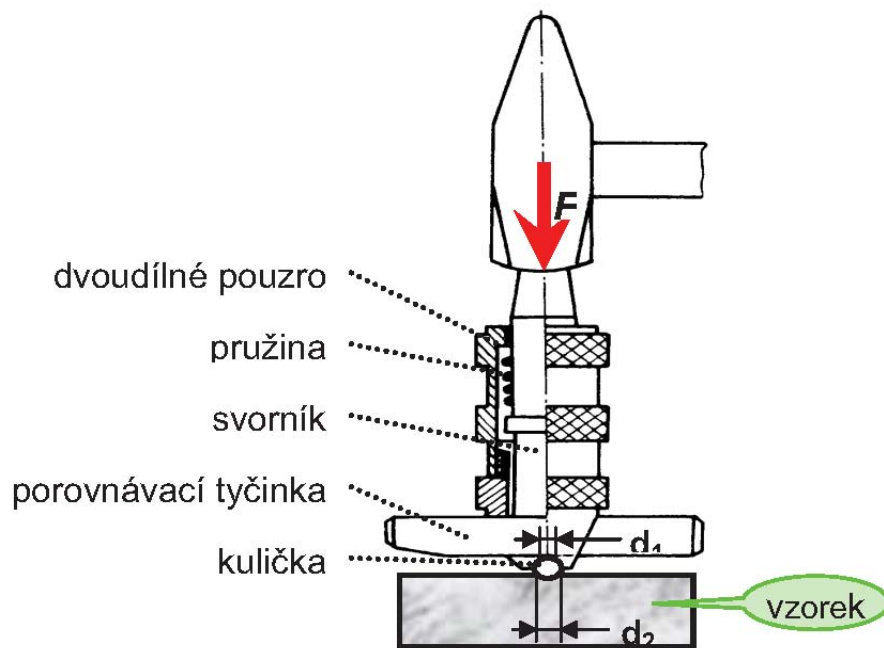
#### 3.2.1 Poldi kladívko

Pracuje na principu porovnávání vtisku kuličky o průměru 10 mm do zkoušeného materiálu a zkušební vzorku s tvrdostí cca 200 HBS. Vtisky kuličky jsou provedeny pomocí úderu kladiva na horní část tvrdoměru. Velikosti vtisku jsou porovnány s tabulkou, která je součástí tvrdoměru a určí se výsledná tvrdost materiálu. Tento výsledek se zapisuje se symbolem HB Poldi (příklad: 300 HB Poldi).

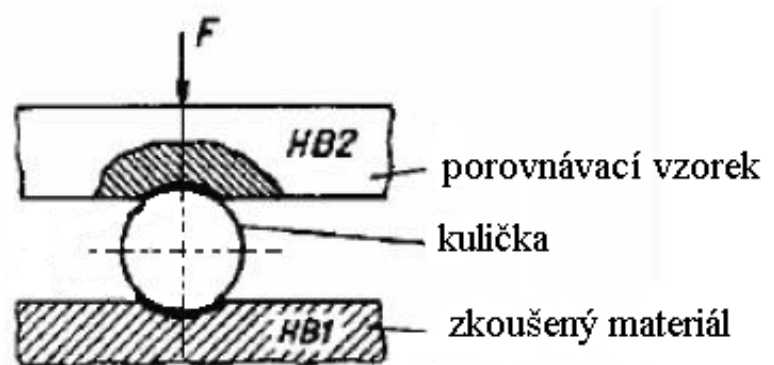
Poldi kladívko je považováno za nejmenší měřicí přístroj tvrdosti, a proto se používá v provozu pro měření tvrdosti velkých materiálů a konstrukcí a může se používat prakticky v jakékoli poloze. Osa tvrdoměru musí být ale kolmá na měřený materiál. Tvrdoměr byl vyroben a patentován již v r. 1921.

#### Postup měření:

Tvrdoměr se položí na měřený materiál tak, aby měřící kulička dosedla z jedné strany kolmo na povrch měřeného materiálu a na druhou stranu kuličky se umístí kolmo, kalibrovaný zkušební vzorek velikosti o průřezu 11 x 11 mm s tvrdostí 200 HBS. Ručním kladivem se udeří na horní část tvrdoměru a vytvoří se vtisk kuličky do měřeného materiálu a zároveň do kalibrovaného zkušební vzorku. Tyto vtisky se porovnávají s tabulkou, která je součástí tvrdoměru, a určí se výsledná tvrdost měřeného materiálu.



Obr. 11 Poldi kladívko



Obr. 12 Schéma měření Poldi kladívkem

### 3.3 Metody volným pádem

Tyto metody patří mezi dynamicko plastické zkoušky a využívají pružného odrazu od druhého tělesa. V tomto případě se jedná o tvrdost, která je dána výškou odrazu zkušebního tělíska od povrchu zkoušeného materiálu, kdy kinetická energie indentoru při dopadu na zkoušené těleso je z části přeměněna na nevratnou plastickou deformaci a zbývající energie je použita k odrazu indentoru. K odrazu indentoru může dojít kolmo, nebo také v úhlu k povrchu měřeného materiálu. Poměr přeměněné kinetické energie na nevratnou plastickou deformaci a energie využitou k odrazu indentoru od zkoušeného materiálu je kritériem pro určení výsledné tvrdosti. Tato metoda je velmi nepřesná a proto se využívá jen málo. Významným zástupcem této metody měření tvrdosti je Shoreho metoda a Duroskop.

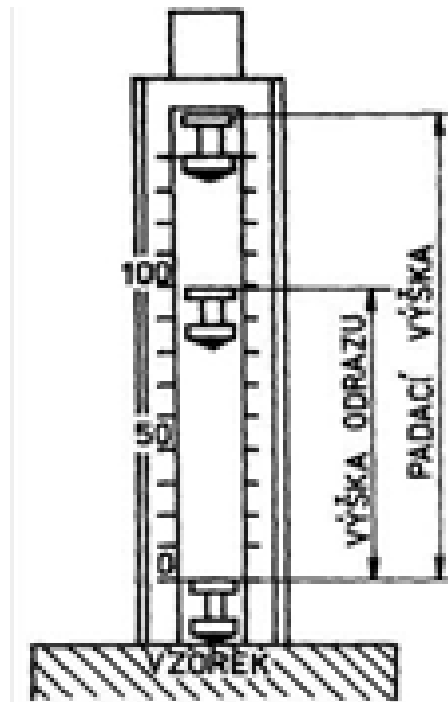
#### 3.3.1 Shoreho metoda

Tato metoda používá skleněný válec, v kterém se pohybuje indenter (válcový čep s diamantovým hrotem, jehož vrchol je zaoblen poloměrem křivosti  $r = 1 \text{ mm}$ ). Tento válec se nazývá Shoreho skleroskop. Tato metoda je závislá na mnoha faktorech, mezi které patří i modul pružnosti. Z tohoto vyplývá, že tato metoda není přesná a lze takto srovnávat pouze materiály s přibližně stejným modulem pružnosti.

Výsledek měření tvrdosti Shoreho metodou se zapisuje se symbolem HS a udáním jakého indentoru bylo použito (příklad: 100 HSH odpovídá zakalené uhlíkové oceli). Výsledky měření se porovnávají s tabulkou, z které se určí výsledná tvrdost měřeného materiálu.

Shoreho skleroskop se používán ve dvou stupnicích:

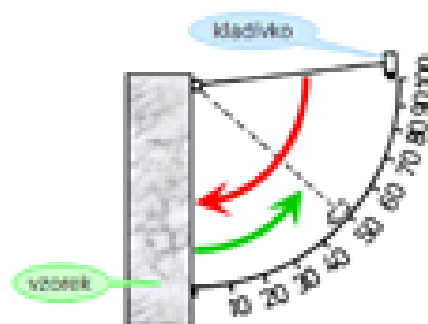
- 1) **HSH** Kde hmotnost indentoru je 2,5 g a výška z které se tento indenter pouští je 254 mm.
- 2) **HSC** Kde hmotnost indentoru je 36,2 g a výška, z které se tento indenter pouští je 19 mm.



Obr. 13 Shoreho skleroskop

### 3.3.2 Duroskop

Tato metoda využívá volného pádu indentoru po kružnici, přičemž indentor je opatřen kalenou kuličkou. Z tohoto důvodu se tato zkouška označuje jako zkouška tvrdosti kyvadlová. Indentor je puštěn v úhlu  $\alpha$  na svislou stěnu zkoušeného materiálu, zde se část kinetické energie přemění na nevratnou plastickou deformaci a zbylá část energie se využije k odrazení indentoru v úhlu  $\beta$ . Tento úhel  $\beta$  je kritériem pro určení výsledné tvrdosti měřeného materiálu. Často bývá stupnice úhlu  $\beta$  vyjádřena přímo hodnotou tvrdosti pro snadnější a rychlé určení hodnoty tvrdosti touto metodou. Stejně jako Shoreho skleroskop i Duroskop je závislý na modulu pružnosti, a proto je i toto měření nepřesné.



Obr. 14 Duroskop



- **PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářská práce bylo měření tvrdosti ocelí třídy 19 (19 436, 19 573, 19 830). Z vybraných materiálů byly připraveny zkušební vzorky, na kterých bylo měření tvrdosti provedeno. Měření tvrdosti bylo realizováno metodami HR15N, HRC a HRA. Každý zkušební vzorek byl změřen vždy 11 krát. Naměřené výsledky byly graficky znázorněny a vyhodnoceny. Cíle bakalářské práce jsou:

- Vypracovat literární studii na dané téma
- Příprava zkušebních těles pro zkoušku tvrdosti
- Provedení experimentu
- Vyhodnocení naměřených dat

## 5 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Přípravě vzorků pro měření tvrdosti se musí věnovat patřičná pečlivost, neboť zde záleží na přesnosti naměřených hodnot, které mohou být ovlivněny špatnou přípravou vzorků. Vzorky nesmí být zejména ovlivněny ohřevem při strojním opracování, pokud nejsou následně tepelně zpracovány. Dále je velmi důležitý povrch měřených vzorků, který musí být co nejhladší a rovnoběžný.

### 5.1 Strojní obrábění

Je velmi důležité pro docílení potřebných rozměrů měřených vzorků. Využíváme zde nejrůznějších strojních zařízení, která nám usnadňují a urychlují práci.

#### 5.1.1 Frézování

Je to strojní třískové obrábění vícebřitým nástrojem. Hlavní pohyb zde koná vícebřitý nástroj, fréza, a vedlejší pohyb koná obrobek, který je upnut na upínacím stole stroje, frézky.

#### 5.1.2 Řezání

Je to dělení materiálu pomocí stroje, nebo nástroje, Pily. K dělení (řezání) materiálu se využívá ozubených listů, kotoučů, pásů, nebo řetězů. Při dělení (řezání) vzniká prořez, protože část materiálu se promění v sypký odpad (piliny). Hlavní i vedlejší pohyb zde vykonává nástroj. Obrobek je upnut na upínací části stroje.

#### 5.1.3 Broušení

Je to strojní obrábění používané při dokončovacích pracích. Broušení se využívá především pro docílení přesných rozměrů, nebo požadovaného tvaru a požadované drsnosti povrchu. Toto strojní obrábění se používá převážně při dokončovacích pracích materiálů, které byly tepelně, nebo chemicko – tepelně zpracovány. Jako nástroj se při broušení nejčastěji používá brousící kotouč, který bývá často jediným nástrojem, kterým lze hospodárně obrábět tvrdé kalené a cementované součásti, slinuté karbidy a jiné tvrdé kovové i nekovové materiály. Broušení se provádí na strojích, bruskách. Obrobek je upnut na upínacím stole stroje, který koná přímočarý pohyb ve dvou osách. Materiál je odebrán točícím

se kotoučem (cca 10 000 ot/min). Hlavní pohyb koná nástroj a vedlejší pohyb koná obrobek.

## 5.2 Tepelné zpracování

Tepelným zpracováním se mění vlastnosti materiálů. Druhy tepelných zpracování nám určují výsledné, požadované vlastnosti materiálu.

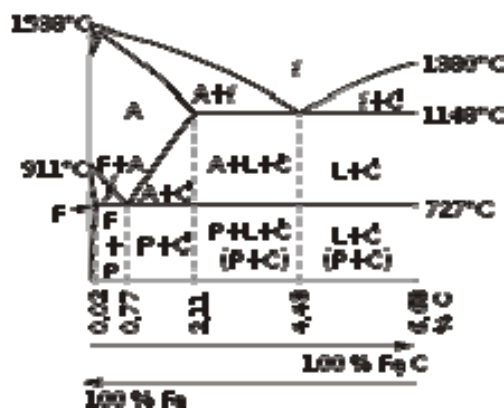
Tepelné zpracování můžeme rozdělit na :

- Kalení
- Žíhání
- Popouštění

Každá tato metoda tepelného zpracování má svá specifika a různé druhy použití.

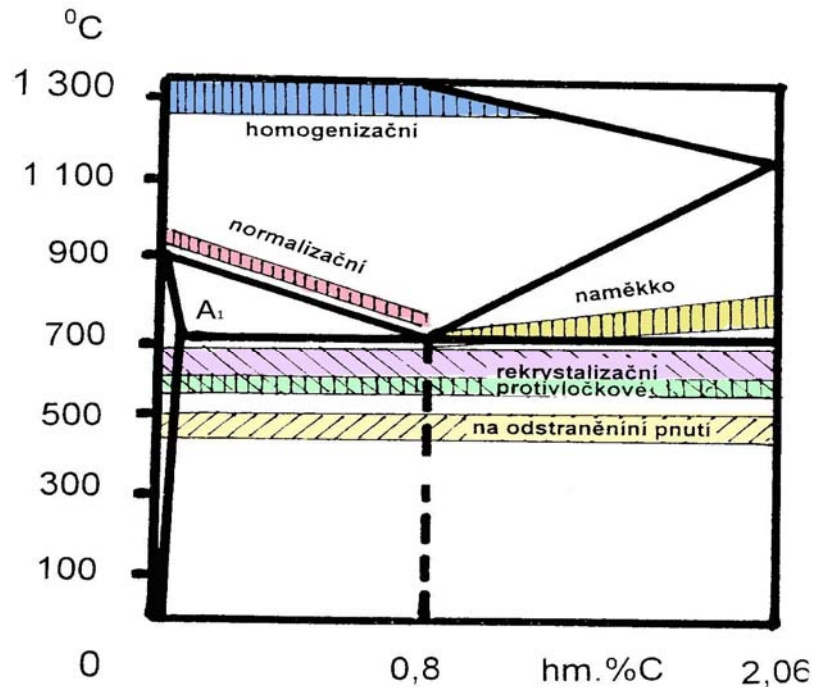
### 5.2.1 Kalení

Je způsob tepelného zpracování feritických ocelí. Při něm se ocel ohřeje na tzv. kalící teplotu a po té se prudce ochlazuje. Tím získává lepší mechanické a fyzikální vlastnosti. V případě oceli dochází ke vzniku přesyceného tuhého roztoku uhlíku v železe (tzv. martenzitu). Ten je charakteristický jemnou strukturou. Kalíme proto, abychom dosáhli vyšší, případně maximální tvrdosti výrobku nebo jeho pracovní plochy. Kalená součást má vyšší tvrdost, ztrácí však houževnatost a proto se stává křehčí. Kalení je spojené se vznikem nerovnovážné struktury a je prováděno pro zlepšení mechanických vlastností. Kalením dosahujeme vysoké tvrdosti, odolnosti proti opotřebení a zvýšení pevnosti v tahu. Čím je rychlost ochlazování vyšší, tím je struktura jemnější. Kalící teplota je nižší než teplota tavení a je závislá na obsahu uhlíku. Kalící teplotu lze vyčíst z diagramu Fe – Fe<sub>3</sub>C.



### 5.2.2 Žihání

Je to druh tepelného zpracování kovů, které se provádí pro zlepšení některých vlastností, jako jsou povrchová tvrdost a odstranění účinků kalení, tváření. Provádí se zahřátím na „žihací teplotu“ (500–1200 °C) a následným ochlazením na volném vzduchu.



**Žihání můžeme rozdělit na:**

#### 1. Bez překrystalizace

- Žihání rekrytalizační
- Žihání na odstranění pnutí
- Žihání protivločkové

#### 2. S překrystalizací

- Žihání naměkko
- Žihání normalizační
- Žihání izotermické
- Žihání homogenizační

### **Rekrystalizační žihání**

Při rekrystalizaci se mění vnitřní vazby mezi atomy, nemění se krystalická mřížka. Žihací teploty jsou mezi 550–700 °C, výdrž na teplotě 1 hodina a více, ochlazení na vzduchu. Používá se jako mezioperační žihání při tváření za studena především u dílců s nízkým obsahem uhlíku.

### **Žihání ke snížení pnutí**

Provádí se za účelem snížení vnitřního pnutí u dílců, které vznikají při předchozím tepelném zpracování, mechanickém zpracování, sváření, nebo tuhnutí odlitku ve formě. Zařazuje se obvykle po normalizačním žihání. Teplota žihání je mezi 600 – 630 °C, s výdrží na teplotě 1–10 hodin. Ohřev i ochlazování musí být pomalé.

### **Žihání naměkko**

Používá se ke zlepšení obrobitelnosti u ocelí s obsahem uhlíku nad 0,4 %. Žihání naměkko spočívá v ohřevu oceli na teplotu mezi 650 – 720 °C, výdrž na této teplotě 3 – 4 hodiny a pomalém ochlazování v peci. Tento postup má za následek přeměnu laminárního perlitu na perlit zrnitý, a tím zlepšení obrobitelnosti.

### **Normalizační žihání**

Ohřev na teplotu mezi 750 - 900 °C, do oblasti austenitu, dostatečně dlouhá doba na této teplotě a ochlazování na klidném vzduchu. Slouží k odstranění nerovnosti struktury vzniklé předchozím zpracováním (výkovky, odlitky). Dochází ke zjemnění zrn austenitu a tím ke zlepšení mechanických vlastností.

### **Homogenizační žihání**

Slouží k vyrovnání chemických nestejnorodostí (nehomogenity), které vznikají při tuhnutí odlitků. Žihací teplota bývá vysoká, obvykle mezi 1100 – 1250 °C, výdrž na teplotě 10–15 hodin, v peci musí být ochranná atmosféra, aby nedocházelo k velkým ztrátám materiálu okujemi. Vlivem vysoké teploty velmi zhrubne zrno austenitu, což má za následek zhoršení vlastností, nikdy není konečným tepelným zpracováním.

### **5.2.3 Popouštění**

Je tepelné zpracování materiálu, během něhož se vhodným ohřevem ovlivňují jeho vlastnosti, zejména se odstraňuje vnitřní pnutí. V praxi se používá u zakalené oceli, slitin a

neželezných materiálů. Provádí se pomalým ohřátím materiálu na tzv. popouštěcí teplotu, která je nižší než teplota tání, a to v tzv. popouštěcích pecích.

### 5.3 Materiály vzorků

Všechny materiály jsou různého složení, a s tím spojené i různého použití. Kovové materiály se dělí do tzv. tříd ocelí, přičemž, každá třída oceli má své teplotní rozmezí pro tepelné zpracování.

#### 5.3.1 Materiál 19 436

*Tab. 7 Chemické složení v %*

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
1.8 – 2.05	0.2 – 0.45	0.2 – 0.45	max 0.03	max 0.035	11 – 12.5	max 0.5

#### **Použití:**

Je používán pro nástroje na obrábění měkkých kovových materiálů menšími rychlostmi (soustružnické nože, výhrubníky, závitníky), velmi namáhané nástroje pro stříhání a děrování kovových materiálů síly do 4 mm, velmi namáhané, tvarově jednoduché nástroje (razidla, protlačovadla, profilové a závitové válce), malé, velmi namáhané formy pro tváření plastů, nástroje pro drcení a mletí.

#### **Technologické údaje:**

- Tvářitelnost – obtížná, teploty tváření 850 – 1050 °C
- Svařitelnost – obtížná
- Tepelné zpracování:
  - Žihání na měkko: 750 – 780 °C, ochlazovat v peci
  - Žihání ke snížení pnutí: 600 – 650 °C, ochlazovat v peci
  - Kalení: 930 – 960 °C, ochlazovat v oleji
  - Popouštění: 150 – 300 °C

### 5.3.2 Materiál 19 573

Tab. 8 Chemické složení v %

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
1.6	0.3	0.3	12	0.7	1

#### Použití:

Je používán pro nástroje ke stříhání materiálů síly do 10 mm, nástroje pro protlačování a tlačení (nástroje ke tváření závitů, hladké a profilové válce, razidla a kovadla), velmi namáhané formy pro tváření plastů, nástroje pro obrábění materiálů nízké pevnosti, dřeva a ostatních nekovových materiálů (frézy, nože).

#### Technologické údaje:

- Tvářitelnost – obtížná, teplota tváření 850 – 1050 °C
- Svařitelnost – velmi obtížná
- Tepelné zpracování:
  - Žihání na měkko: 820 – 850 °C, ochlazovat v peci
  - Žihání ke snížení pnutí: 600 – 650 °C, ochlazovat v peci
  - Kalení: 1020 – 1050 °C, ochlazovat v oleji
  - Popouštění: 180 – 570 °C, 3 x 1 hod

### 5.3.3 Materiál 19 830

Tab. 9 Chemické složení v %

C	Si	Mn	Cr	P	S	Mo	W	V
0.8 – 0.9	0.45	0.45	3.8 – 4.6	0.035	0.035	4.5 – 5.5	5.5 – 7	1.5 – 2.2



**Použití**

Je používán pro nástroje na obrábění kovových materiálů (frézy, vrtáky, výhrubníky, závitníky, pilové kotouče), velmi namáhané nástroje pro stříhání a děrování za studena materiálů síly do 2 mm, velmi tepelně a mechanicky namáhané vložky lisovacích stojů za tepla.

**Technologické údaje:**

- Tvářitelnost – obtížná, teplota tváření 900 – 1100 °C
- Svařitelnost – obtížná
- Tepelné zpracování:
  - Žihání na měkko: 800 – 840 °C, ochlazovat v peci
  - Žihání ke snížení pnutí: 700 – 750 °C, ochlazovat v peci
  - Kalení: 1200 – 1250 °C, ochlazovat v oleji
  - Popouštění: 150 – 580 °C, 3 x 2 hod

## 6 MĚŘENÍ TVRDOSTI

Pro měření byly použity metody HRC, HRA a HR15N. Tyto metody měření tvrdosti podle Rockwella se liší svou předzatěžující a zatěžující silou. Všechny tyto druhy měření podle Rockwella mají stejný indentor, kterým je diamantový kužel s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  a s poloměrem zaoblení špičky  $r = 2\text{mm}$ . Měření bylo realizováno v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství na tvrdoměru Affri Integral 2E.

### 6.1 Postup měření

Na monitoru tvrdoměru se nastavila požadovaná metoda měření. Měřený vzorek se umístil na podložku stroje pod indentor. Stisklo se tlačítko start a stroj sám započal měření. Nejprve předzatěžující silou  $F_0$  zatížil měřený vzorek, aby odstranil nerovnosti na povrchu, a poté zatížil silou na celkové zatížení  $F$ . Na tomto zatížení zůstal 4 sekundy a opět se vrátil do předzatěžující síly  $F_0$ . Vyhodnotil měření a výsledek zobrazil na svém monitoru, kde byla uvedena naměřená tvrdost, použitá metoda a hloubka vtisku. Tento proces měření se opakoval 11 krát a výsledky byly vždy pečlivě zapsány.

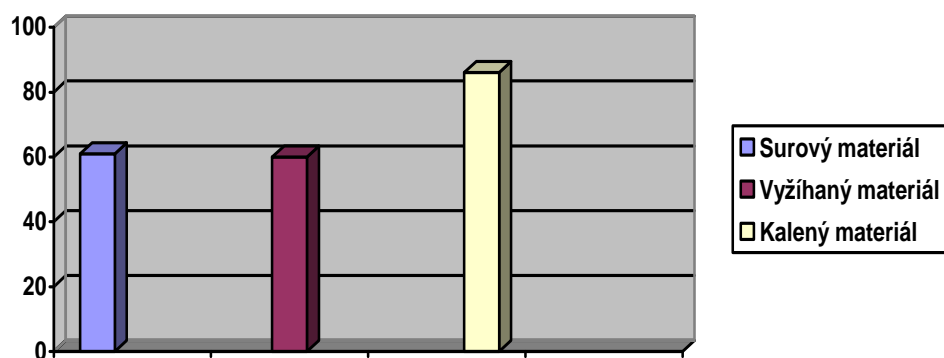
*Tab. 10 Hloubka a síla vtisku*

Metoda	Hloubka vtisku [ $\mu\text{m}$ ]			$F_0$ [N]	F [N]
	Surový materiál	Vyžíhaný materiál	Kalený materiál		
HRA	70	70	30	98,07	588,4
HRC	150	150	60	98,07	1471
HR15N	20	20	10	29,42	147,1

## 6.2 Výsledky měření

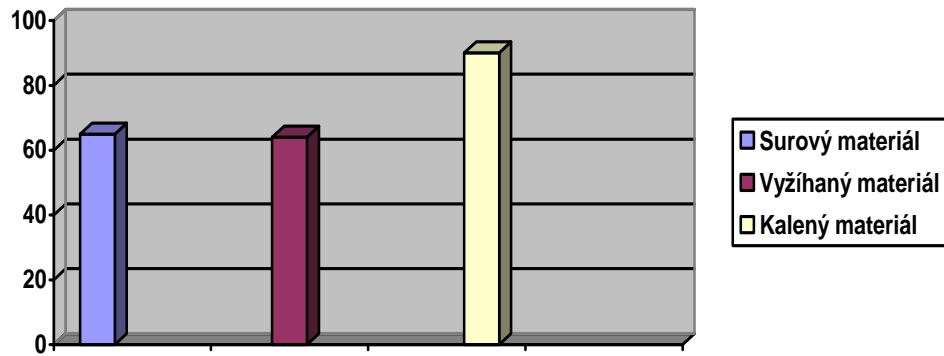
Tab. 11 Materiál 19 436

Surový materiál			Po žíhání na měkko			Po kalení			
HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	
14,21	59,23	62,23	11,85	58,92	60,57	63,13	84,13	78,77	
14,35	59,49	62,85	12,37	59,58	63,51	63,61	84,48	85,97	
14,95	59,67	64,27	12,67	60,08	63,03	63,92	84,70	89,20	
15,13	60,15	64,69	13,08	60,10	63,34	64,05	84,91	90,14	
15,31	60,24	64,80	13,24	60,32	64,58	64,16	85,43	90,24	
15,45	60,96	65,60	13,38	60,43	64,10	64,20	86,02	90,89	
16,18	60,98	66,35	13,64	61,19	64,81	64,73	86,64	91,05	
16,55	61,86	68,54	13,71	61,62	65,05	65,08	87,24	92,04	
16,78	61,95	69,95	13,91	62,92	65,09	65,27	87,75	93,50	
16,86	62,38	76,54	14,12	64,37	65,14	65,39	88,25	94,03	
17,27	63,37	77,68	14,38	66,00	65,94	65,42	89,43	99,86	
<b>15,45</b>	<b>60,96</b>	<b>65,60</b>	<b>13,38</b>	<b>60,43</b>	<b>64,10</b>	<b>64,20</b>	<b>86,02</b>	<b>90,89</b>	X
<b>1,00</b>	<b>1,26</b>	<b>4,97</b>	<b>0,73</b>	<b>2,07</b>	<b>1,40</b>	<b>0,74</b>	<b>1,65</b>	<b>4,97</b>	S



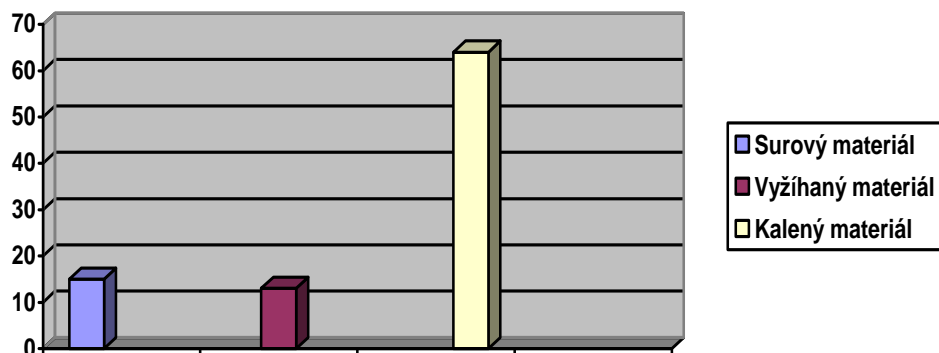
Obr. 15 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HRA

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 436 měřené metodou HRA vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 15).



Obr. 16 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HR15N

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 436 měřené metodou HR15N vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 16).

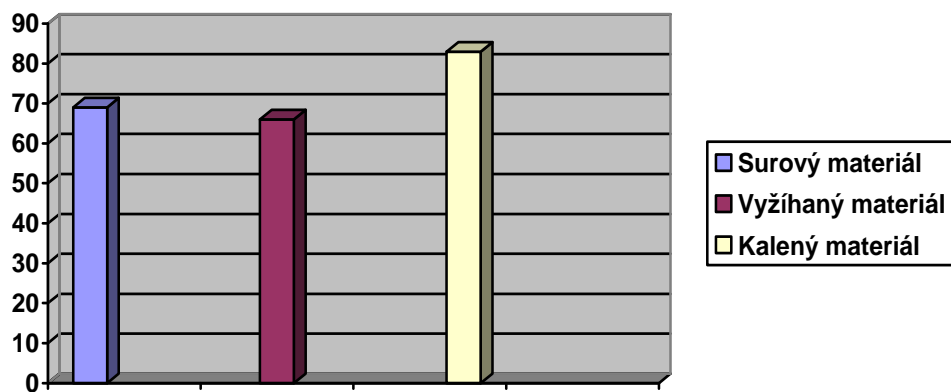


Obr. 17 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HRC

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 436 měřené metodou HRC vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 17).

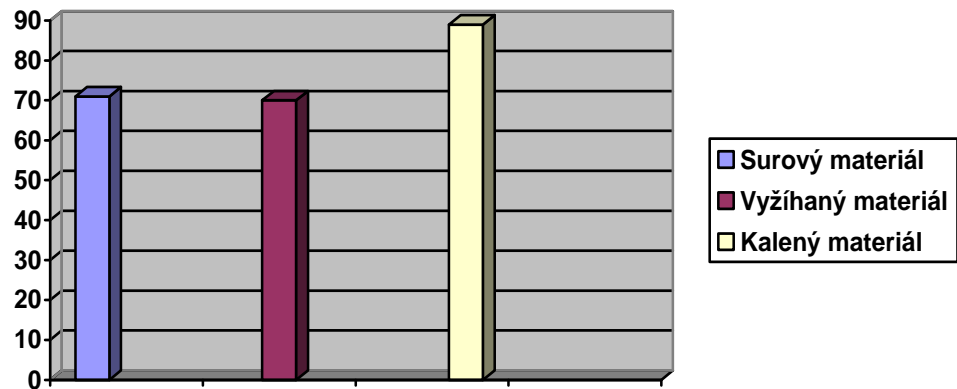
Tab. 12 Materiál 19 573

Surový materiál			Po žíhání na měkko			Po kalení			
HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	
30,98	66,65	66,50	27,67	63,85	69,57	63,08	81,71	87,82	
31,08	67,52	66,61	27,83	65,29	69,72	63,12	82,23	88,06	
31,31	67,82	68,69	27,95	65,69	69,19	63,18	82,66	88,07	
31,68	68,02	68,73	28,05	66,26	69,64	63,35	82,69	88,20	
31,87	68,24	69,58	28,12	66,29	70,27	63,73	82,85	88,35	
32,14	68,77	71,23	28,28	66,36	70,28	64,32	83,27	89,44	
32,38	69,15	71,57	28,35	67,35	71,89	64,38	83,72	90,45	
32,59	69,89	72,13	28,42	67,35	72,13	64,49	84,15	91,18	
33,02	70,12	72,73	28,48	68,35	73,02	64,61	84,25	91,71	
33,09	70,67	73,98	28,86	69,77	73,20	65,08	85,17	91,92	
33,27	70,74	74,36	29,02	70,60	74,78	65,26	87,37	92,56	
<b>32,14</b>	<b>68,77</b>	<b>71,23</b>	<b>28,28</b>	<b>66,36</b>	<b>70,28</b>	<b>64,32</b>	<b>83,27</b>	<b>89,44</b>	X
<b>0,78</b>	<b>1,29</b>	<b>2,60</b>	<b>0,95</b>	<b>1,65</b>	<b>1,77</b>	<b>0,76</b>	<b>1,51</b>	<b>3,21</b>	S



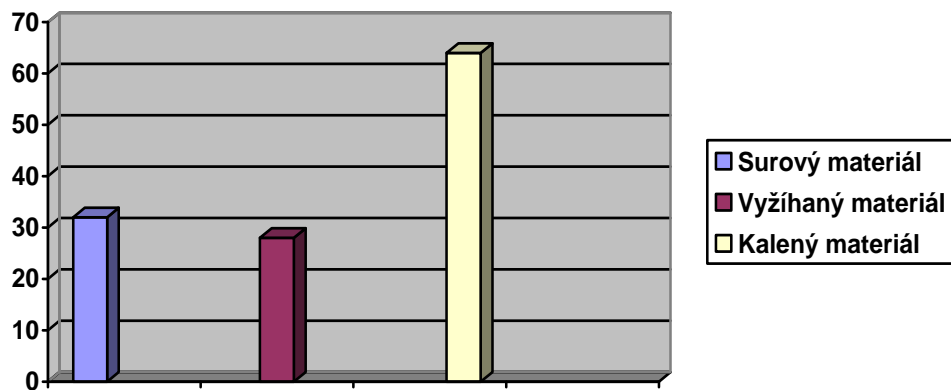
Obr. 18 Tvrdość materiálu 19 573 metodou HRA

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 573 měřené metodou HRA vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 18).



Obr. 19 Tvrdość materiálu 19 573 metodou HR15N

Z výsledků měření zkoušky tvrdości materiálu 19 573 měřené metodou HR15N vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdości bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 19).

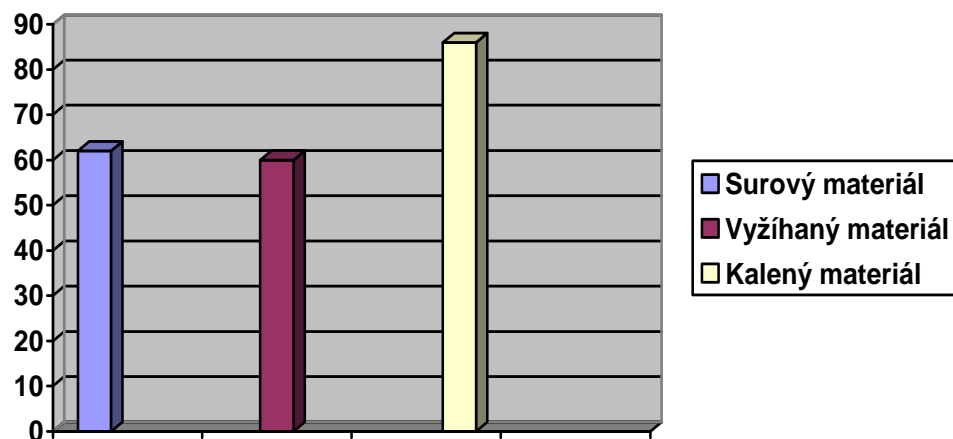


Obr. 20 Tvrdość materiálu 19 573 metodou HRC

Z výsledků měření zkoušky tvrdości materiálu 19573 měřené metodou HRC vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdości bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 20).

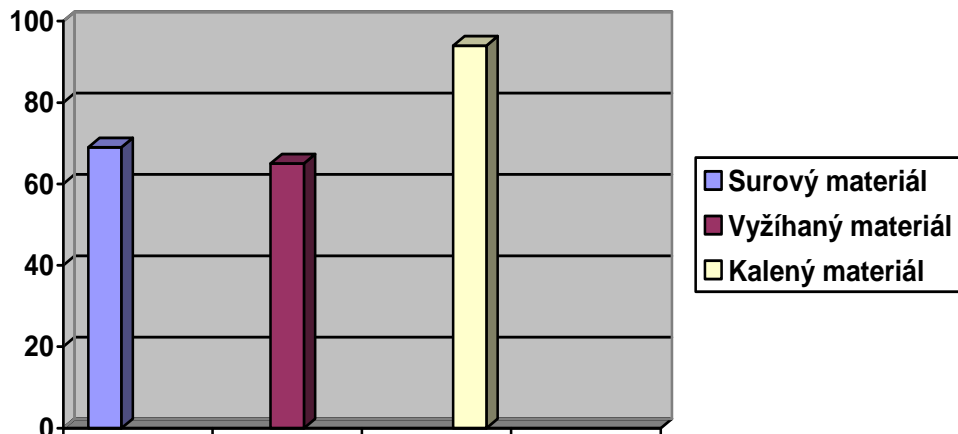
Tab. 13 Materiál 19 830

Surový materiál			Po žíhání na měkko			Po kalení			
HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	HRC	HRA	HR15N	
14,21	59,23	62,23	11,85	58,92	60,57	63,13	84,13	78,77	
14,35	59,49	62,85	12,37	59,58	63,51	63,61	84,48	85,97	
14,95	59,67	64,27	12,67	60,08	63,03	63,92	84,70	89,20	
15,13	60,15	64,69	13,08	60,10	63,34	64,05	84,91	90,14	
15,31	60,24	64,80	13,24	60,32	64,58	64,16	85,43	90,24	
15,45	60,96	65,60	13,38	60,43	64,10	64,20	86,02	90,89	
16,18	60,98	66,35	13,64	61,19	64,81	64,73	86,64	91,05	
16,55	61,86	68,54	13,71	61,62	65,05	65,08	87,24	92,04	
16,78	61,95	69,95	13,91	62,92	65,09	65,27	87,75	93,50	
16,86	62,38	76,54	14,12	64,37	65,14	65,39	88,25	94,03	
17,27	63,37	77,68	14,38	66,00	65,94	65,42	89,43	99,86	
<b>15,45</b>	<b>60,96</b>	<b>65,60</b>	<b>13,38</b>	<b>60,43</b>	<b>64,10</b>	<b>64,20</b>	<b>86,02</b>	<b>90,89</b>	X
<b>1,00</b>	<b>1,26</b>	<b>4,98</b>	<b>0,73</b>	<b>2,08</b>	<b>1,40</b>	<b>0,74</b>	<b>1,65</b>	<b>4,97</b>	S



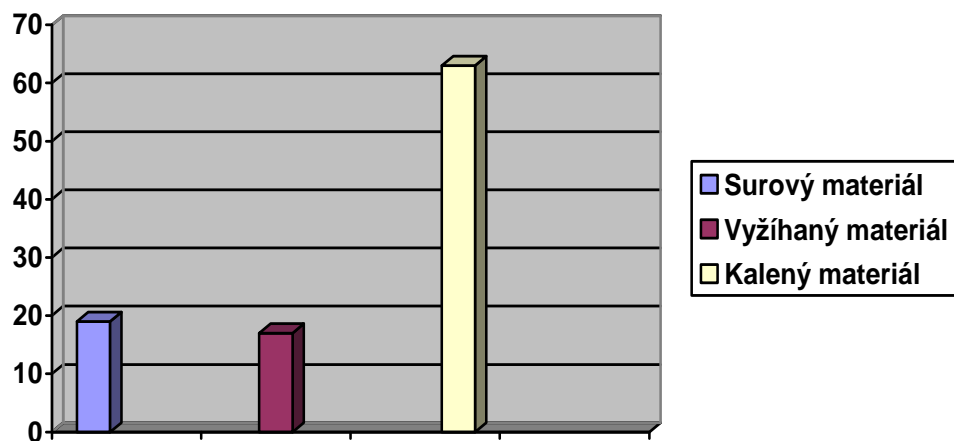
Obr. 21 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HRA

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 830 měřené metodou HRA vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 21).



Obr. 22 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HR15N

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 198 30 měřené metodou HR15N vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 22).



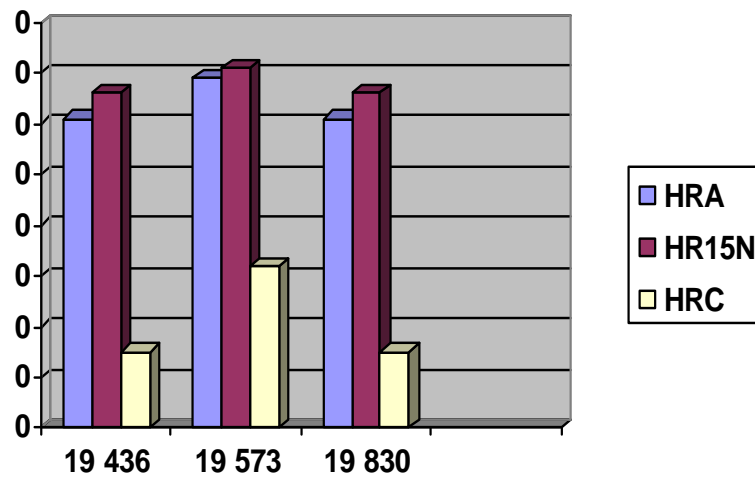
Obr. 23 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HRC

Z výsledků měření zkoušky tvrdosti materiálu 19 830 měřené metodou HRC vyplývá, že nejvyšší hodnoty tvrdosti bylo dosaženo u kaleného materiálu, naopak nejmenší hodnota byla zjištěna u materiálu žíhaného na měkko (obr. 23).



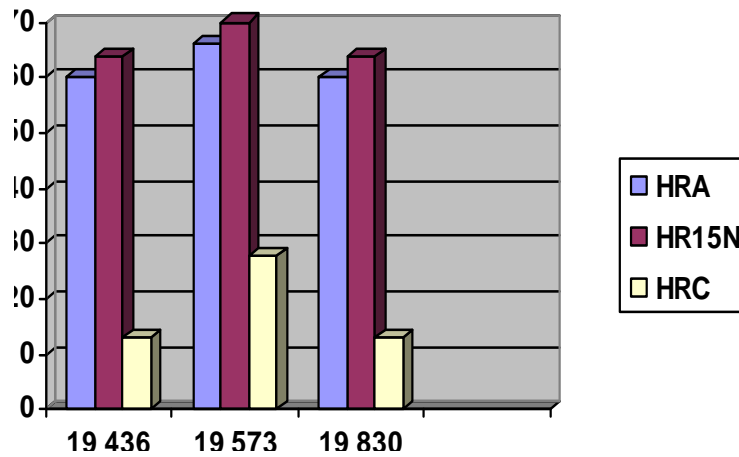
## 7 DISKUZE

Předložená bakalářská práce se zabývá měřením tvrdosti ocelí třídy 19 (19436, 19573, 19830). Z vybraných materiálů byly připraveny zkušební vzorky, na kterých bylo měření tvrdosti provedeno. Měření tvrdosti bylo realizováno metodami HR15N, HRC a HRA. Každý zkušební vzorek byl změřen vždy 11 krát. Naměřené výsledky byly graficky znázorněny a vyhodnoceny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly u kovových materiálů použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.



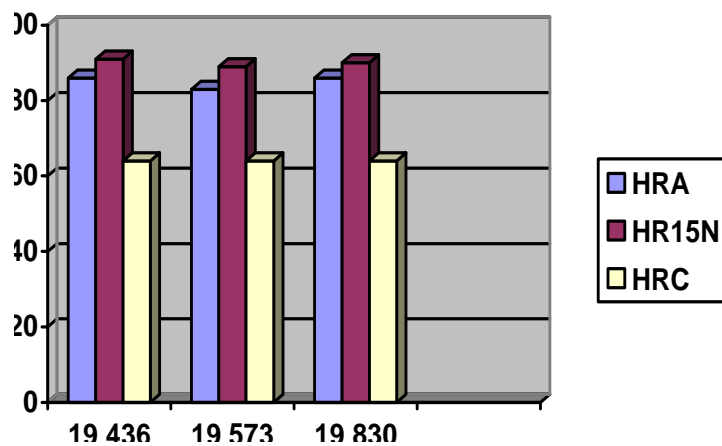
Obr. 24 Surový materiál

U surového materiálu, který nebyl tepelně zpracován, ukázaly výsledky tvrdosti, že nejmenší hodnoty byly dosaženy u materiálu 19 436. Naopak nejvyšší hodnoty tvrdosti byly zjištěny u materiálu 19 573. Tento materiál, vykazoval ze všech tří testovaných, největší odolnost proti vnikání indentoru do jeho struktury.



Obr. 25 Vyžiháný materiál

Oceli, které byly žihány na měkko vykazovaly podobné výsledky tvrdosti jako tomu bylo u surového materiálu. Zde dosáhla ocel 19 573 rovněž nejvyšších hodnot tvrdosti, měřenými všemi třemi metodami. Naopak nejmenší hodnoty byly zjištěny u materiálu 19 436. Nejvyšší rozdíly ve tvrdosti vykazovala metoda HRC, která využívá největší zatěžující sílu.



Obr. 26 Kalený materiál

Zajímavých výsledků měření tvrdosti bylo dosaženo u zakalených vzorků. Zde byly hodnoty tvrdosti u ocelí 19 436 a 19 573 zjištěny stejné. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u oceli 19 830. Tvrdosti měřena metodou HRC nevykazovala výraznější rozdíly. Naopak metody HRA a HR15N vykazovaly mírný nárůst tvrdosti právě u oceli 19 830.

## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá měřením tvrdosti materiálu 19 436, 19 573 a 19 830 ve stavu, v kterém je dodávána dodavatelem a po tepelném zpracování (žihání na měkko a kalení). Měření tvrdosti bylo realizováno v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství na tvrdoměru Affri Integral 2E. Zvolena byla metoda Rockwell (HRA, HR15N a HRC). Měření bylo prováděno vždy 11x na různých místech plochy zkušebního tělesa.

Z naměřených výsledků tvrdosti vyplynulo, že nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny u tepelně nezpracovaných ocelí a u ocelí žiháných na měkko u materiálu 19 573. Nejmenší hodnoty tvrdosti byly zjištěny u materiálu 19 436. Největší rozdíly v naměřených hodnotách tvrdosti byly zjištěny u výsledků, měřených metodou HRC.

U zakalených zkušebních vzorků byla nejvyšší hodnota tvrdosti zjištěna u materiálu 19 830, měřená metodami HRA a HR15N. Naopak hodnoty tvrdosti měřené metodou HRC byly zjištěny stejné u všech testovaných typů ocelí.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] HLUCHÝ, M. – KOLOUCH, J.: Strojírenská technologie I. Scientia, spol. s.r.o, pedagogická nakladatelství, 1999. ISBN 80-7318-150-6
- [2] LUKOVICS, I.: Konstrukční materiály a technologie. Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 272p. ISBN 80-214-0399-3
- [3] PÍŠEK, F.: Nauka o materiálu II (1.svazek). vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1959
- [4] VELES, P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. Nakladatelství technické literatury Praha, 1999
- [5] SKÁLOVÁ, J. – KOVAŘÍK, R. – BENEDIKT, V.: Základní zkoušky kovových materiálů. Západočeská univerzita v Plzni, 2005. 178p. ISBN 80-7043-417-1
- [6] PLUHAŘ, J.: Nauka o materiálech, Nakladatelství technické literatury Praha 1989.
- [7] PLUHAŘ, J., KORATTA, J.: Strojírenské materiály, Nakladatelství technické literatury Praha 1977
- [8] JAREŠ, V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie, Nakladatelství technické literatury Praha 1966.
- [9] QUIDO. [online]. 2003 Dostupné z: [www.quido.cz/mereni/brinell.htm](http://www.quido.cz/mereni/brinell.htm)
- [10] Vysoké učení technické v Brně [online]. Dostupné z: [www.ime.fme.vutbr.cz](http://www.ime.fme.vutbr.cz)
- [11] DORAZIL, E. – a KOLEKTIV: Nauka o materiálu I. Vysoké učení technické v Brně, 1976
- [12] HLAVAČKA, T.: Zkoušení tvrdosti kovů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

HMa	Tvrдость podle Martense
HB, HBS, HBW	Tvrдость podle Brinella
HV	Tvrдость podle Vickerse
HR, HRA, HRB, HRC	Tvrдость podle Roskwella
HB Bauman	Tvrдость Baumanovým kladívkem
HB Poldi	Tvrдость Poldi kladívkem
HS, HSH, HSC	Tvrдость Shoreho metodou
F	Síla (zatížení)
F0	Předběžná síla (zatížení)
F1	Přídavná síla (zatížení)
ČSN, EN, ISO	Normy
D	Průměr
d	Průměr úhlopříček
t	Čas
A	Povrch
h, h1, h2, h3	Hloubky
r	Poloměr křivosti
$\alpha$	Výchozí úhel
$\beta$	Úhel odrazu
X	Aritmetický průměr
S	Směrodatná odchylka

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Vtisk při měření podle Brinella</i> .....	16
<i>Obr. 2 Schéma měření podle Brinella</i> .....	16
<i>Obr. 3 Měřicí přístroj Brinell</i> .....	18
<i>Obr. 4 Vtisk při měření podle Vickerse</i> .....	20
<i>Obr. 5 Schéma měření podle Vickerse</i> .....	21
<i>Obr. 6 Měřicí přístroj Vickers</i> .....	22
<i>Obr. 7 Vtisk při měření podle Rockwella</i> .....	24
<i>Obr. 8 Schéma měření podle Rockwella</i> .....	24
<i>Obr. 9 Měřicí přístroj Rockwell</i> .....	27
<i>Obr. 10 Baumanovo kladívko</i> .....	29
<i>Obr. 11 Poldi kladívko</i> .....	30
<i>Obr. 12 Schéma měření Poldi kladívkem</i> .....	30
<i>Obr. 13 Shoreho skleroskop</i> .....	32
<i>Obr. 14 Durosokop</i> .....	32
<i>Obr. 15 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HRA</i> .....	43
<i>Obr. 16 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HR15N</i> .....	44
<i>Obr. 17 Tvrdost materiálu 19 436 metodou HRC</i> .....	44
<i>Obr. 18 Tvrdost materiálu 19 573 metodou HRA</i> .....	45
<i>Obr. 19 Tvrdost materiálu 19 573 metodou HR15N</i> .....	46
<i>Obr. 20 Tvrdost materiálu 19 573 metodou HRC</i> .....	46
<i>Obr. 21 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HRA</i> .....	47
<i>Obr. 22 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HR15N</i> .....	48
<i>Obr. 23 Tvrdost materiálu 19 830 metodou HRC</i> .....	48
<i>Obr. 24 Surový materiál</i> .....	49
<i>Obr. 25 Vyžíhaný materiál</i> .....	50

---

*Obr. 26 Kalený materiál* .....50

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Metody měření</i> .....	12
<i>Tab. 2 Mohsova stupnice</i> .....	13
<i>Tab. 3 Hodnoty zatížení pro různé podmínky zkoušení</i> .....	17
<i>Tab. 4 Hodnoty pro různé kovové materiály</i> .....	19
<i>Tab. 5 Hodnoty zatížení pro různé podmínky zkoušení</i> .....	22
<i>Tab. 6 Zatížení dle metody</i> .....	25
<i>Tab. 7 Chemické složení v %</i> .....	39
<i>Tab. 8 Chemické složení v %</i> .....	40
<i>Tab. 9 Chemické složení v %</i> .....	40
<i>Tab. 10 Hloubka a síla vtisku</i> .....	42
<i>Tab. 11 Materiál 19 436</i> .....	43
<i>Tab. 12 Materiál 19 573</i> .....	45
<i>Tab. 13 Materiál 19 830</i> .....	47



## SEZNAM PŘÍLOH

CD            BP – Martin Vašinka