

Metody hodnocení mikrotvrlosti tepelně zpracovaných ocelí

Bc. Martin Vašínska

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

nascannované zadání s. 1

nascannované zadání s. 2

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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. 2014

.....

¹⁾ 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 nevýdělečně 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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 Diplomová práce pojednává o měření mikrotvrlosti kovů. V teoretické části jsou popsány způsoby a rozdělení tvrdosti a mikrotvrlosti kovů a přístroje používané k těmto měřením. V praktické části experimentálně hodnotím mikrotvrlost materiálů materiálů nástrojových oceli EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830) v tepelně nezpracovaném stavu a po tepelné úpravě. Výsledky měření jsou v závěru vyhodnoceny.

Klíčová slova: tvrdost kovů, mikrotvrdot kovů, Rockwell, Brinell, Vickers

ABSTRACT

This thesis discusses the microhardness of metals. In the theoretical part are described and ways of distribution of hardness and micro-hardness of metals and instruments used for these meas-ures. In the practical part experimentally evaluate the micro-hardness materials materials instru-tries steel EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) and EN 1.3339 (ČSN 41 9830) in the heat treated condition and after heat treatment. The measurement results are evaluated at the end.

Keywords: hardness of metals, microhardness of metals, Rockwell, Brinell, Vickers

Poděkování:

Děkuji svému vedoucímu Diplomové práce prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc., dr. h. c. za odborné vedení, poskytnuté rady, za čas a trpělivost, kterou mi věnoval při vypracování práce, které mi pomohly úspěšně dokončit mou Diplomovou práci.

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

Ve Zlíně dne 20. 4. 2014

.....

podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORETICKÝ ÚVOD	12
1.1 TVRDOST MATERIÁLU	12
1.2 DRUHY ZKOUŠEK TVRDOSTI	12
2 MAKROTVRDOST	13
2.1 VRYPOVÉ ZKOUŠKY	13
2.2 ZKOUŠKY VNIKACÍ	13
2.2.1 Zkouška podle Brinella	14
2.2.2 Zkouška podle Vickerse	19
2.2.3 Zkouška podle Rockwella	22
2.3 POROVNÁVACÍ ZKOUŠKY	27
2.3.1 Poldi kladívko	27
2.4 ZKOUŠKY VOLNÝM PÁDEM	28
2.4.1 Shoreho skleroskop	28
2.4.2 Duroskop	28
3 MIKROTVRDOST	29
3.1 MIKROTVRDOST STRUKTURNÍCH SLOŽEK A FÁZÍ	31
3.2 MIKROTVRDOST SVAROVÝCH SPOJŮ	32
3.3 STANOVENÍ A OVĚŘENÍ HLOUBKY CEMENTACE	33
3.4 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI PODLE VICKERSE	33
3.5 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI PODLE KNOOPA	34
4 FORMY	37
4.1 DRUHY FOREM:	37
4.2 MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM:	38
5 ZÁVĚR	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	41
7 PŘÍPRAVA VZORKŮ	42
7.1 STROJNÍ OBRÁBĚNÍ	42
7.1.1 Řezání	42
7.1.2 Frézování	42
7.1.3 Broušení	42
7.1.4 Leštění	43
7.2 TEPelné ZPRACOVÁNÍ	44
7.2.1 Struktury ocelí	44
7.2.2 Žihání	45

7.2.2.1	Žihání bez překrytalizace.....	46
7.2.2.2	Žihání s překrytalizací.....	47
7.2.3	Kalení.....	49
7.2.4	Popouštění.....	50
8	MATERIÁLY VZORKŮ.....	52
8.1	MATERIÁL EN 1.2080 (ČSN 41 9436).....	52
8.2	MATERIÁL EN 1.2379 (ČSN 41 9573).....	53
8.3	MATERIÁL EN 1.3339 (ČSN 41 9830).....	54
9	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ A PRINCIP MĚŘENÍ.....	55
9.1	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	55
9.2	PRINCIP MĚŘENÍ.....	56
10	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ TESTŮ MIKROTVRDOSTI.....	57
10.1	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI PŘI ZATÍŽENÍ 0,5 N.....	57
10.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI PŘI ZATÍŽENÍ 1 N.....	59
10.3	VÝSLEDKY MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTI PŘI ZATÍŽENÍ 5 N.....	61
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	64
	ZÁVĚR.....	67
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	70
	SEZNAM TABULEK.....	72
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

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

Ve své Diplomové práci se chci zaměřit na měření mikrotvrdosti nástrojových oceli EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830) před a po tepelném zpracování. V teoretické části se zaměřím na nejběžnější druhy měření tvrdosti a mikrotvrdosti, jejich využití a rozdělení. Dále provedu seznámení s používanými měřicími tělísky a s jejich geometrií. V praktické části budu analyzovat mikrotvrdost materiálů EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830) po kalení, žíhání bez překrystalizace a bez tepelného zpracování. Poté vyhodnotím měření a určím z hlediska mikrotvrdosti vhodnost použití tepelné úpravy na použití materiálů EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830).

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, fyzikálně zlepšených materiálů. Existuje mnoho materiálových zkoušek. Některé z nich mají uplatnění obecně pro testování jak křehkých tak houževnatých materiálů a jiné se používají jen ve speciálních případech testování materiálů. Tyto tzv. technologické zkoušky se používají pro posouzení vhodnosti materiálu k určitému speciálnímu způsobu zpracování.

1.1 Tvrdost materiálu

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

1.2 Druhy zkoušek tvrdosti

Makrotvrdost	Vrypové zkoušky	Mohseova stupnice
	Vnikací zkoušky	Brinell
		Vickers
		Rockwell
	Porovnávací zkoušky	Poldi kladívko
	Zkoušky volným pádem	Shoreho skleroskop
Duroskop		
Mikrotvrdost	Vickers	
	Knoop	

2 MAKROTVRDOST

Kovové materiály mívají obvykle porézní strukturu. Můžeme je v podstatě považovat za kompozitní kovové, porézní materiály. Při zkouškách makrotvrlosti se určuje přibližná tvrdost, je to makrostrukturální vlastnost, která nám vyjadřuje tvrdost jak pevné fáze tak i pórů měřeného materiálu jako celku. Běžně se využívá zatížení od 10 N do 2 000 N.

2.1 Vrypové zkoušky

Metoda vrypové zkoušky je založena na vlastnostech materiálů způsobit vryp tvrdšího materiálu do měkčího. Při této zkoušce se využívá Mohseovy stupnice, patří sem 10 nerostů, které jsou seřazeny od nejměkčího k nejtvrděmu materiálu. Materiálem s vyšším číslem lze provést vryp do materiálu s číslem nižším. Určení tvrdosti podle Mohsovy stupnice tvrdosti se provádí vrypem do povrchu zkoušeného materiálu.

Mohseova 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.

2.2 Zkoušky vnikací

Zkoušky vnikací patří mezi nejznámější mechanické zkoušky využívané jak v technické praxi, tak i ve výzkumu. *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.[6] K měření vnímacích zkoušek se využívají přístroje (tvrdoměry), které mohou být přenosné nebo stojanové konstrukce. Pro nastavení přístroje a jeho následné kontroly slouží kontrolní vzorek (tvrdoměrná destička). Výhodou takového nastavení měřícího přístroje je, že se nastavení a kontrola provádí na místě obvyklého měření a tím se docílí stejných měřících chyb.

Všeobecně se tvrdost vyjadřuje pomocí řady činitelů, které jsou:

- o Pružné vlastnosti zkoušeného materiálu
- o Plastické vlastnosti zkoušeného materiálu
- o Rozměry zkoušeného tělesa
- o Použité zatížení při zkoušce
- o Tvar vnikacího tělesa a rychlost vnikání
- o Mechanické vlastnosti vnikacího tělesa

K těmto zkouškám v metalurgii se nejběžněji používají metody podle:

- o Brinella
- o Vickerse
- o Rockwella

2.2.1 Zkouška podle Brinella

S touto metodou svět seznámil poprvé na 2. mezinárodním kongresu v Paříži o zkoušení materiálů v roce 1900 švédský inženýr J. A. Brinell. Touto metodou lze měřit měkké a středně tvrdé, heterogenní (materiály různorodého složení) materiály. Zkouška je normována „ČSN EN ISO 6506“.

Princip metody spočívá ve vtlačování ocelové kuličky definovaného průměru D do zkušebního tělesa působením síly F , směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu

t a vyhodnocením průměru vtisku d po odlehčení zatížení. Tvrдость podle Brinella HB (1) je definována jako poměr působícího zatížení F k ploše povrchu kulového vtisku A (2).

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

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

Kde:

HB – tvrдость podle Brinella (bezrozměrné)

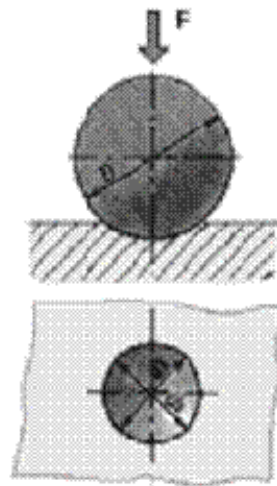
F – zatížení kuličky (N)

D – průměr kuličky (mm)

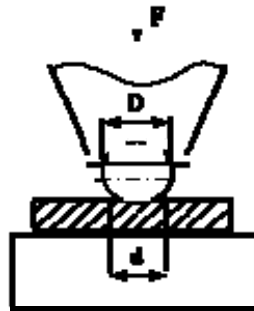
A – povrch vtisku (mm²)

d – aritmetický průměr vtisku (mm)

h – hloubka vtisku (mm)



Obr. 1 Vtisk podle Brinella



Obr. 2 Schéma měření podle Brinella

Zkoušený materiál musí být rovný a hladký. Kulička se používá s průměrem 10, 5, 2.5 a 1 mm. Zatížení musí působit bez rázů, u slitin železa 10 až 30 s a pro neželezné kovy 60 až 180 s, a musí vždy směřovat kolmo k měřenému materiálu. Vzhledem k tomu, že plocha vtisku není přímo úměrná zatížení, je tvrdost podle Brinella závislá na velikosti zatížení. Velikost zatížení (Tab. 1), se volí jako násobek čtverce průměru kuličky ($F = 300 \cdot D^2$).

Zkoušku podle Brinella značíme:

HBS – používá se kalená ocelová kulička

HBW – používá se kulička z tvrdokovu

Hodnota tvrdosti	symbol zkoušky	rozměr vnik.tělesa	doba působení zkušeb. zatížení
 — XXX	 — HBX	 — XX/XXX	 — XX
označení tvrdosti (H)	 — — druh vnikacího tělesa	 — velikost zkušeb. Zatížení	

Tab. 1 Hodnoty zatížení podle Brinella

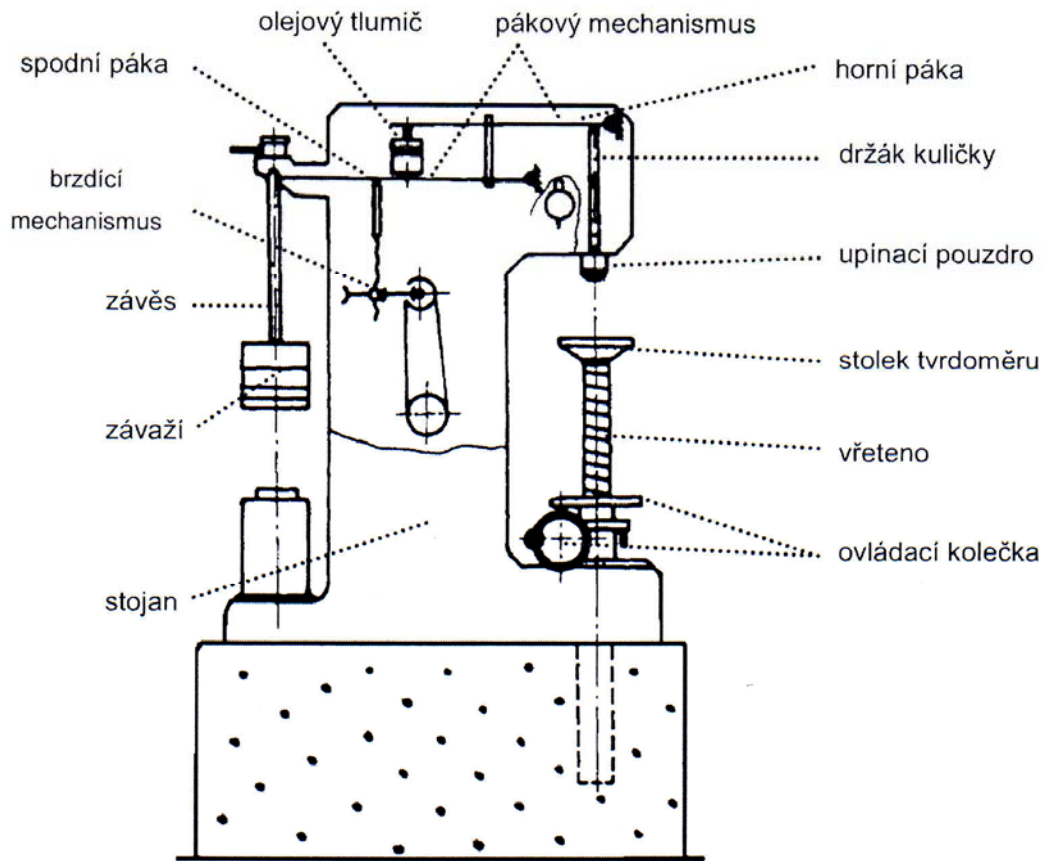
Označení zkoušky	Průměr kuličky D [mm]	$\frac{0.102F}{D^2}$ [$\frac{N}{mm^2}$]	Zatížení	
			F [Kg]	F [N]
HBS (HBW) 1 / 1	1	1	1	9,807
HBS (HBW) 1 / 2,5	1	2,5	2,5	24,52
HBS (HBW) 1 / 5	1	5	5	49,03
HBS (HBW) 1 / 10	1	10	10	98,07
HBS (HBW) 1 / 30	1	30	30	294,2
HBS (HBW) 2,5 / 6,25	2,5	1	6,25	61,29
HBS (HBW) 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 Označuje Brinellovu tvrdost s hodnotou 350, kuličkou z tvrdokovu s průměrem 5 mm a zatížením 7,355 KN po dobu 10 – 15 s.

Příklad 2 :

600 HBS 1/30/20 Označuje Brinellovu tvrdost s hodnotou 600, kalenou ocelovou kuličku s průměrem 1 mm a zatížením 294,2 N po dobu 20 s.



Obr. 3 Měřicí přístroj metody podle Brinella

Měřený materiál musí mít:

- 1) Povrch 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 $0.6 D$ měřicí kuličky.

Postup zkoušky:

Měřený materiál umístíme na hladkou, čistou podložku měřícího přístroje, Obr. 3. Do měřeného materiálu vtlačíme, kolmo, definovaným zatížením F po stanovenou dobu t kuličku definovaného průměru D . Po odlehčení kulička zanechá v povrchu měřeného ma-

teriiálu vtisk (Obr. 1, Obr. 2). Povrch vtisku A kulového vrchlíku v měřeném materiálu je kritériem pro hodnocení materiálu.

Tab. 2 Hodnoty tvrdosti pro 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 je odvozen od firmy, v které byl poprvé sestrojen přístroj (Obr. 5) pro měření touto metodou tvrdosti. Firmou byla brická společnost Vickers. O sestrojení tohoto přístroje požádali R. L. Smith a G. E. Sandland v roce 1922. Touto metodou lze měřit měkké, středně tvrdé i tvrdé materiály a pro svou přesnost a citlivost je využívána především v laboratořích. Zkouška je normována „ ČSN EN ISO 6507 “

Princip této metody spočívá ve vtlačování definovaného pravidelného čtyřbokého diamantového jehlanu s definovanou čtvercovou základnou s vrcholovým úhlem 136° do

povrchu zkoušeného materiálu působením síly F , směřující kolmo k povrchu měřeného materiálu 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 dle vztahu (3).

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1854 \frac{F}{d^2} \quad (3)$$

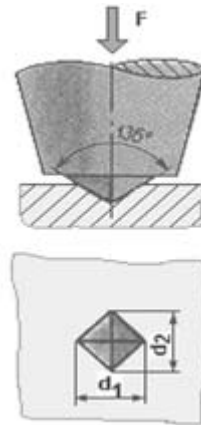
Kde:

HV – tvrdost podle Vickerse

F – zatížení čtyřbokého jehlanu (N)

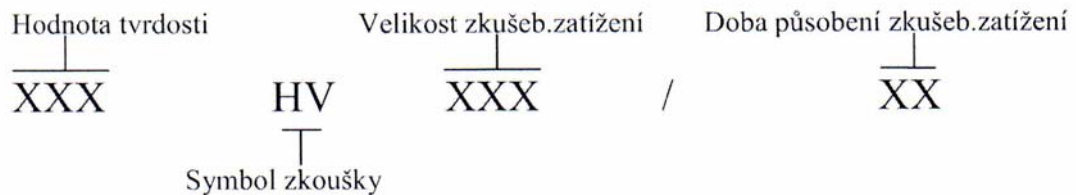
A – povrch vtisku (mm^2)

d – aritmetický průměr úhlopříček vtisku (mm)



Obr. 4 Vtisk podle Vickerse

Zkouška podle Vickerse se značí Hv:

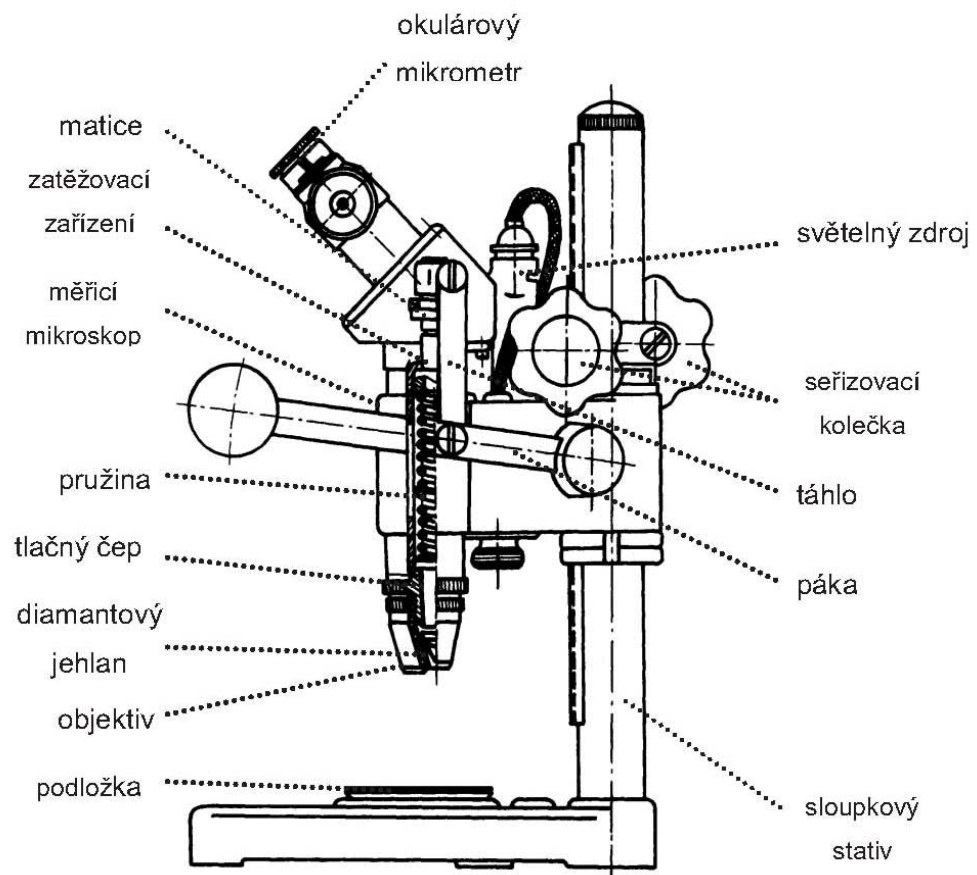


Příklad 1 :

640 HV 30 Označuje Vickersovu tvrdost s hodnotou 640, zkušebním zatížením 294,2 N po dobu 10 – 15s.

Příklad 2 :

640 HV 30/20 Označuje Vickersovu tvrdost s hodnotou 640, zkušebním zatížením 294,2 N po dobu 20s.



Obr. 5 Měřicí přístroj pro měření podle Vickerse

Tab. 3 Hodnoty zatížení podle Vickerse

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 musí mít:

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

Postup zkoušky:

Měřený materiál umístíme na hladkou, čistou podložku měřícího přístroje. Do měřeného materiálu vtlačíme, kolmo na měřenou plochu, zatížením F po dobu t pravidelný čtyřboký diamantový jehlan. Po odlehčení zatížení jehlan zanechá v povrchu měřeného materiálu vtisk (Obr. 4). Povrch vtisku a jehlanu v měřeném materiálu je kritériem pro hodnocení materiálu.

2.2.3 Zkouška podle Rockwella

Tato metoda byla poprvé použita v roce 1922 S. P. Rockwell v Americe. V současné době je nejrozšířenější v technické praxi pro svou jednoduchost. Při této metodě se velikost tvrdosti přímo 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 a velmi tvrdé materiály. Zkouška je normována „ČSN EN ISO 6508“.

Princip této metody spočívá ve vtlačování ocelové kuličky, kuličky z tvrdokovu, nebo diamantového kužele s poloměrem zakřivení r 0,2 a vrcholovým úhlem 120° do zkoušeného tělesa působením síly F na dvakrát, směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu t a změření hloubky trvalého vtisku h (Obr. 6). Tvrdost podle Rockwella HR můžeme vypočítat jako rozdíl smluvní hloubky vnikání (závislé na použité metodě) a hloubky trvalého vtisku h_3 dle vztahu (4,5).

$$HRB = 130 - h \quad (4)$$

$$HRC = 100 - h \quad (5)$$

Kde:

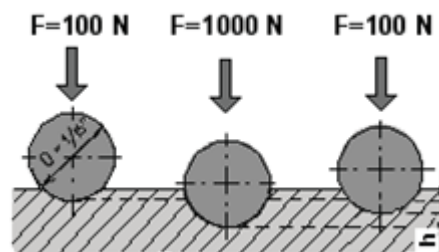
HRB – tvrdost podle Rockwella (jako zkušebního tělíska se používá kulička)

HRC – tvrdost podle Rockwella (jako zkušebního tělíska se používá diamantový kužel)

h_3 – hloubka trvalého vtisku (mm)

100 – smluvní hloubka (mm)

130 – smluvní hloubka (mm)



Obr. 6 Schéma měření podle Rockwella

Zkoušený materiál musí být rovný a hladký. Jako zkušební tělíska se používá 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° . Zatížení je stálé a mění se pouze v závislosti na použité metodě.

Metody zkoušek podle Rockwella:

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

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

a) HRBS – Používá se zde ocelová kalená kulička.

b) HRBS-Používá se zde kulička z tvrdokovu

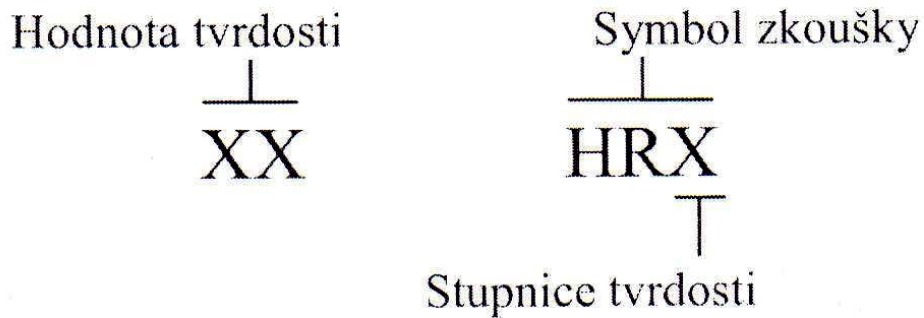
HRC - Tvrdost je zde určena diamantovým kuželem při celkovém zatížení 1500 N (používá se pro měření tvrdých materiálů).

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

- 1) Předběžné zatížení F_0 – toto zatížení slouží pro vyloučení chyb křivosti po vrchu měřeného materiálu.
- 2) Přídavné zatížení F_1 – používá se po dobu 10s

Tab. 4 Zatížení podle Rockwella

	HRA	HRB	HRC
F_0 (N)	98	98	98
F_1 (N)	490	883	1373
Celkové F (N)	588	981	1471
Rozsah použití HR	20 - 88	20 – 100	20 – 70

**Příklad 1 :**

60 HRC Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 60 při použití diamantového zkušebního tělíska 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 tělíska a celkového zatížení 600 N

Příklad 4 :

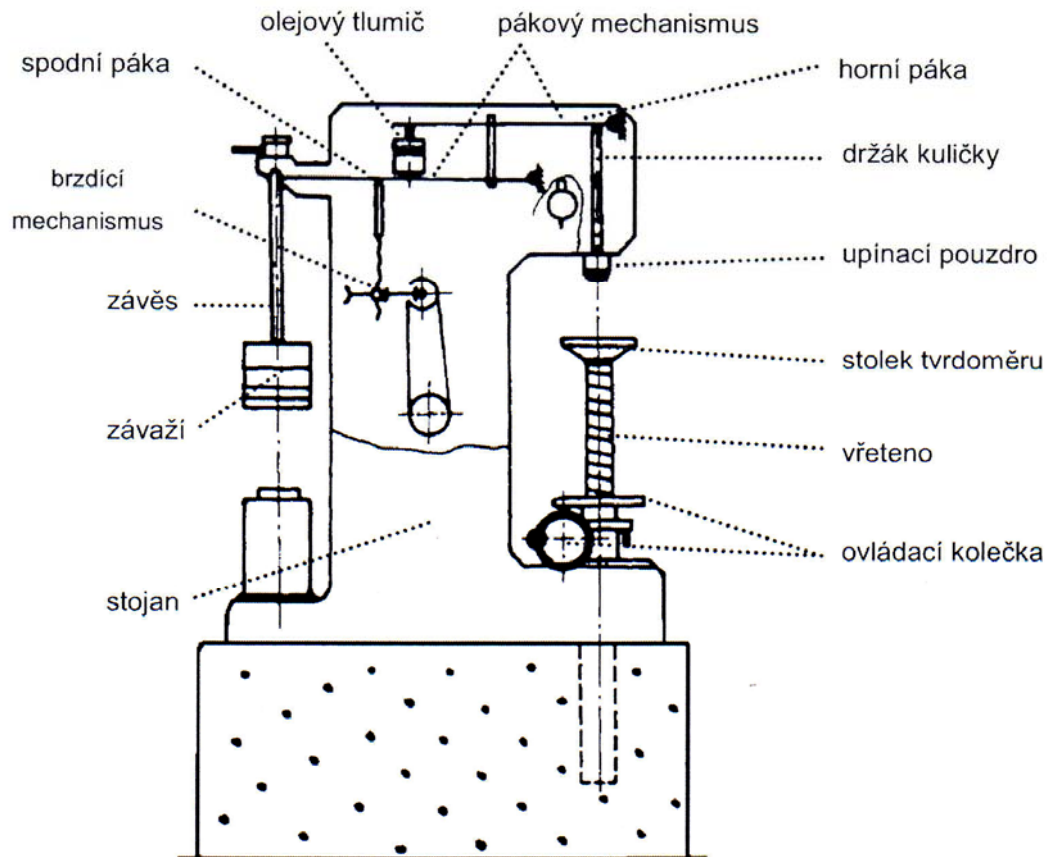
50 HRBW Je označení pro Rockwellovu tvrdost s hodnotou 50 při použití kuličky z tvrdokovu a celkovým zatížením 1000 N.

Měřený materiál musí mít:

- 1) Povrch 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.

Postup zkoušky:

Měřený materiál umístíme na hladkou, čistou podložku měřícího přístroje. Do měřeného materiálu vtlačíme, nejprve předběžným zatížením F_0 zkušební tělísko, vynulujeme stupnici na měřícím přístroji a dále pokračujeme vtlačováním přídatným zatížením F_1 zkušební tělísko po dobu 10s. Po odlehčení na předběžné zatížení F_0 přečteme přímo hodnotu na stupnici tvrdoměru, která určuje přímo tvrdost materiálu podle Rockwella.



Obr. 7 Měřící přístroj pro měření podle Rockwella

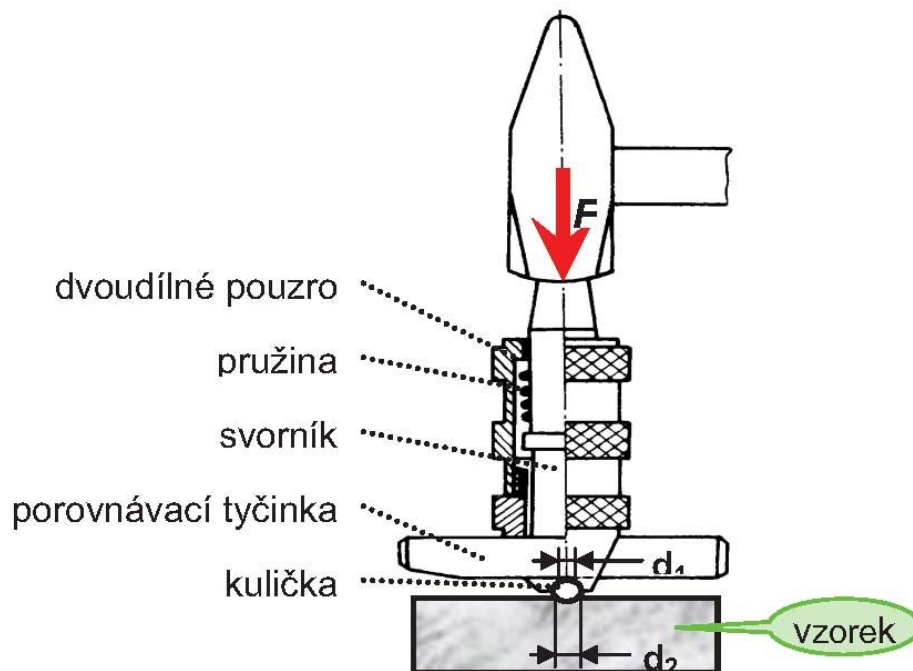
2.3 Porovnávací zkoušky

Tyto mechanické zkoušky patří mezi dynamicko plastické a porovnávají velikosti vtisku indentoru do měřeného materiálu a do kontrolního vzorku s předem danou tvrdostí. Tyto výsledné hodnoty se porovnají s tabulkou, z které se určí výsledná tvrdost zkoušeného materiálu.

2.3.1 Poldi kladívko

Porovnává vtisk kuličky o průměru 10 mm v zkoušeného materiálu a zkušebním vzorku. Tvrdost zkušebního vzorku je cca 200 HBS. Vtisk kuličky do zkoušeného materiálu je proveden pomocí úderu kladiva na horní část tvrdoměru. Velikosti vtisku jsou porovnány s tabulkou, která je součástí tvrdoměru a podle ní se určí výsledná tvrdost měřeného materiálu. Tento výsledek je zapsán se symbolem HB Poldi (příklad: 300 HB Poldi).

Poldi kladívko je považováno za nejmenší měřicí přístroj tvrdosti, a proto se v praxi používá pro měření tvrdosti velkých materiálů a konstrukcí. Poldi kladívko lze používat prakticky v jakékoli poloze. Osa tvrdoměru musí být ale kolmá na povrch měřeného materiálu. Tento tvrdoměr byl vyroben a patentován již v r. 1921.



Obr. 8 Poldi kladívko

2.4 Zkoušky volným pádem

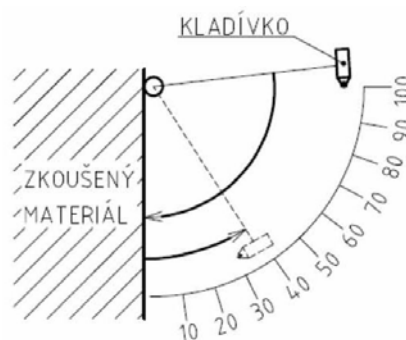
Tyto mechanické zkoušky patří mezi dynamicko – plastické zkoušky a jsou velmi závislé na modulu pružnosti a v tomto důsledku se považují jako měřicí metody nepřesné, a v praxi se jen málo používá. Využívají závislosti odrazu od materiálu a jeho tvrdosti. Kinetická energie dopadajícího indentoru na zkoušený materiál je z části přeměněna na nevratnou plastickou deformaci a zbývající energie je použita k odrazu indentoru. Při určení výsledné tvrdosti je hlavním kritériem poměr přeměněné kinetické energie na nevratnou plastickou deformaci a energie využitou k odrazu indentoru od zkoušeného materiálu. Indentor při těchto zkouškách dopadá volným pádem po definované dráze z definované výšky na měřený materiál. Tvrdost se při tomto měření obvykle přečte přímo na stupnici tvrdoměru.

2.4.1 Shoreho skleroskop

Je to skleněný válec, v kterém se pohybuje indentor, válcový čep s diamantovým hrotem se zaoblením $r = 1 \text{ mm}$. Tato měřicí metoda je značně závislá na modulu pružnosti a dalších faktorech. V důsledku tohoto vylívá, že tato metoda je metodou nepřesnou a lze jí srovnávat pouze materiály s podobným modulem pružnosti. Výsledek měření je porovnán s tabulkou a je zapsán se symbolem HS (např. 100 HSC).

2.4.2 Duroskop

Využívá volného pádu indentoru, kalené kuličky po kružnici z definované výšky. V důsledku, že se indentor pohybuje po kružnici je tato zkouška označována jako zkouška kyvadlová. Toto měření je stejně jako Shoreho skleroskop závislý na modulu pružnosti měřeného materiálu a proto je tato metoda také nepřesná.



Obr. 9 Duroskop

3 MIKROTVRDOST

Mikrotvrdomost je mikrostrukturuální vlastnost materiálu, vyjadřující obecně tvrdost pevné fáze. Tato měřicí metoda se používá ke kontrole chemického složení, tepelného a povrchového zpracování. K použití této metody je nutno zajistit, aby indenter byl dostatečně malý a neobsahoval viditelné póry. Běžně se využívá zatížení od 0,147N do 1.960 N. Dnes se využívá dvou metod měření mikrotvrdomosti a to:

- Měření podle Vickerse
- Měření podle Knoop

Zkoušky mikrotvrdomosti jsou vhodné pro měření:

- Malých, nebo tenkých součástí
- Strukturálních složek a fází
- Tenkých povlaků
- Svárů
- Křehkých materiálů

Měření je ovlivňováno mnoha vnějšími faktory, jako jsou: vibrace přístroje, vnější vibrace, lidský faktor, rozměrech vtisku, přesnosti odečítání, kvalitě povrchu, rovnoměrnosti struktury vzorku, atd. Výsledky měření mikrotvrdomosti jsou také závislé na velikosti zatížení indenteru a z tohoto důvodu jej nelze srovnávat s metodami měření makrotvrdomosti.

V současné době se měření mikrotvrdomosti provádí na mikrotvrdomoměrech (Obr. 10 Mikrotvrdoměr). Tyto měřicí přístroje jsou složitější než zařízení, které se užívají při měření makrotvrdomosti.

Mikrotvrdoměr se skládá z několika částí:

- zatěžovacího zařízení s indenterem
- mikroskopu se 2 objektivy (100 až 400 krát zvětšení)
- digitální kamery
- stolku s posuvem v ose X a Y
- PC



Obr. 10 Mikrotvrdoměr

Tyto mikrotvrdoměry jsou vybaveny posuvným stolem s mikroskopickým posuvem a mikroskopem jehož součástí je digitální kamera. Tato digitální kamera je přímo propojena s PC, kde velikost vtisku je zobrazena na monitoru PC a jeho velikost je změřena pomocí myši (Obr. 11 Vtisk na mikrotvrdoměru). Vyhodnocení měření je provedeno pomocí PC, který je schopen přesně řídit i stůl se vzorkem. Z tohoto důvodu může být celé měření na mikrotvrdoměru plně automatizováno i s rozmístěním vtisků.



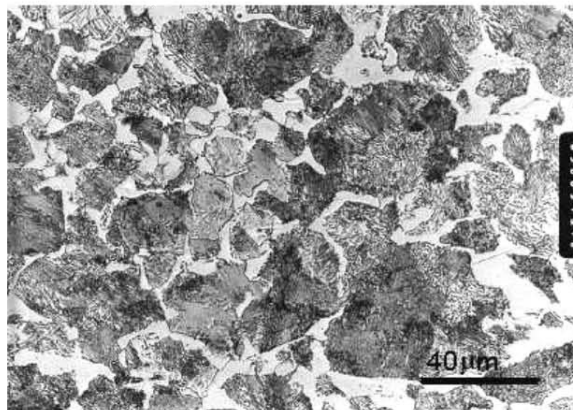
Obr. 11 Vtisk na mikrotvrdoměru

Povrch vzorku musí být pečlivě připraven. Musí být rovný, nesmí obsahovat žádné mastnoty a také, jako u vzorku pro měření makrotvrdomosti nesmí být povrch tepelně ovlivněn. Pro konečnou úpravu se používá dokončovací operace leštění. Toto leštění nemůže být mechanické, neboť by došlo k tepelnému ovlivnění povrchu, ale musí se provádět chemicky, nebo elektroliticky. Výsledek je bezrozměrný, bez uvedení fyzikálních jednotek.

3.1 Mikrotvrdotost strukturních složek a fází

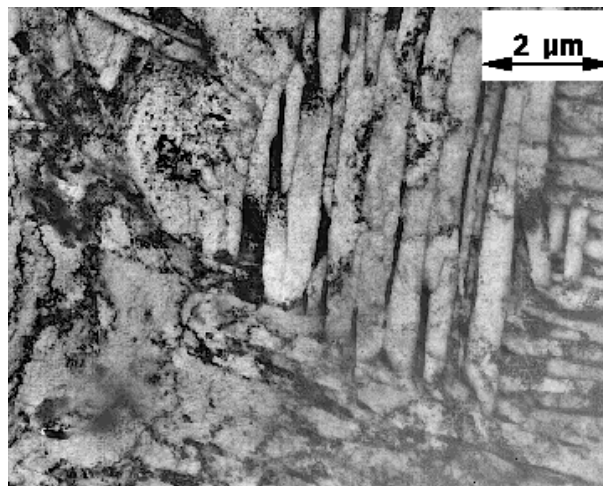
Pomocí mikrotvrdotosti můžeme identifikovat a rozlišit jednotlivé strukturní části jako např. horní a dolní bahnit, nízko a vysokouhlíkový martenzit atd.

Struktura ocelí je závislá na tepelném zpracování a určuje tvrdost materiálu, z čehož vyplývá i její další použití. Materiál, který není tepelně zpracován, dodávaný z oceláren, má strukturu perlitickou (Obr. 12) a tvrdost se pohybuje okolo 200 HV.



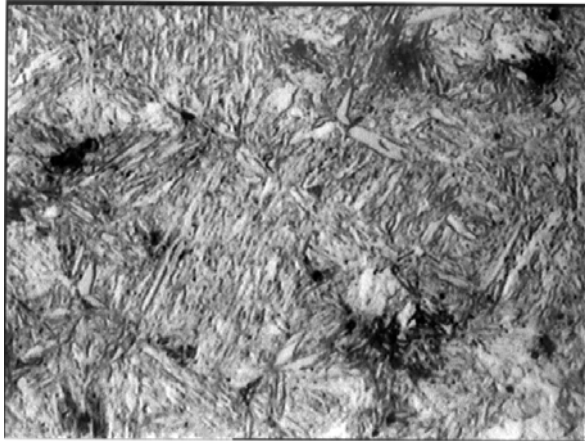
Obr. 12 Perlitická struktura ocelí

Při tepelné zpracování vznikají postupně různé struktury ocelí, které jsou závislé na teplotě a také mají rozdílnou tvrdost. Při teplotě cca 250 °C – 550 °C vznikají Bainitické struktury (Obr. 13) jejichž tvrdost se pohybuje okolo 400 HV.



Obr. 13 Bainitická struktura ocelí

Při teplotě cca 550 °C – 600 °C vznikají Martenzitické struktury (Obr. 14) jejichž tvrdost se pohybuje okolo 800 HV.

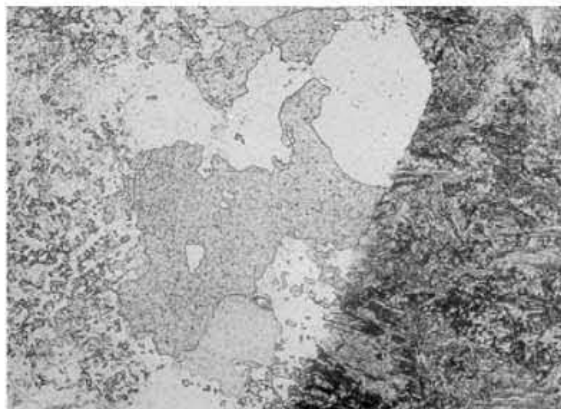


Obr. 14 Martenzitická struktura ocelí

3.2 Mikrotvrдость svarových spojů

Pomocí mikrotvrđosti se určují nejnižší a nejvyšší hodnoty mikrotvrđosti základního materiálu i svarového kovu. Pro přípravu zkušebního vzorku se použije příčný řez, nejlépe mechanicky a poté se povrch upraví jako by šlo o běžný vzorek pro měření mikrotvrđosti. Vyhodnocení mikrotvrđosti se provádí metodami:

- řadou vtisků
- jednotlivými vtisky



Obr. 15 Mikrostruktura rozhraní
svarového spoje

3.3 Stanovení a ověření hloubky cementace

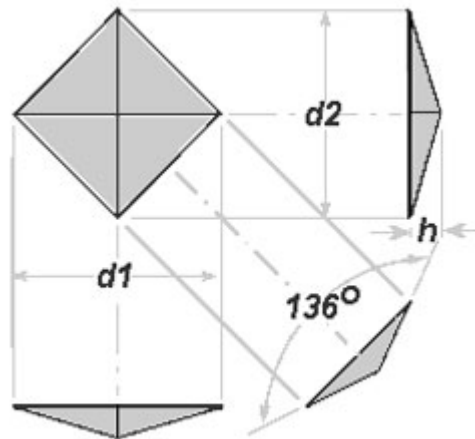
Slouží pro velmi přesné stanovení křivky průběhu tvrdosti v závislosti vzdálenosti od povrchu. Pro přípravu vzorku se použije příčný řez, jehož povrch je upraven broušením. Hloubka cementace je kolmá vzdálenost mezi povrchem a vrstvou, ve které je tvrdost 550 HV1 nebo ekvivalentní tvrdost dle Knoop, která se označuje CHD a udává se v mm.

Příklad:

CHD = 0,8 mm

3.4 Měření mikrotvrdosti podle Vickerse

Měření mikrotvrdosti podle Vickerse bylo zavedeno v roce 1925 v Anglii. Princip této metody měření je stejný jako u měření makrotvrdosti podle Vickerse. Indentor (Obr. 16 Indentor podle Vickerse) je stejný, rozdíl spočívá ve velikosti jeho zatížení. Tato metoda měření mikrotvrdosti je méně přesné, méně náročné na přípravu povrchu a hodí se na měření tvrdosti menších pravidelných ploch. Doba zatěžování od minima po maximum musí být v intervalu od 2s do 8s, přičemž rychlost zatěžování nesmí překročit $0,2\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 16 Indentor podle Vickerse

Tab. 5 Zatěžující síla při mikrotvrdomosti podle Vickerse

Symbol tvrdosti	Velikost zkušebního zatížení F [N]
HV 0,01	0,09807
HV 0,015	0,1471
HV 0,02	0,1961
HV 0,025	0,2942
HV 0,05	0,4903
HV 0,1	0,9807

Příklad 1:

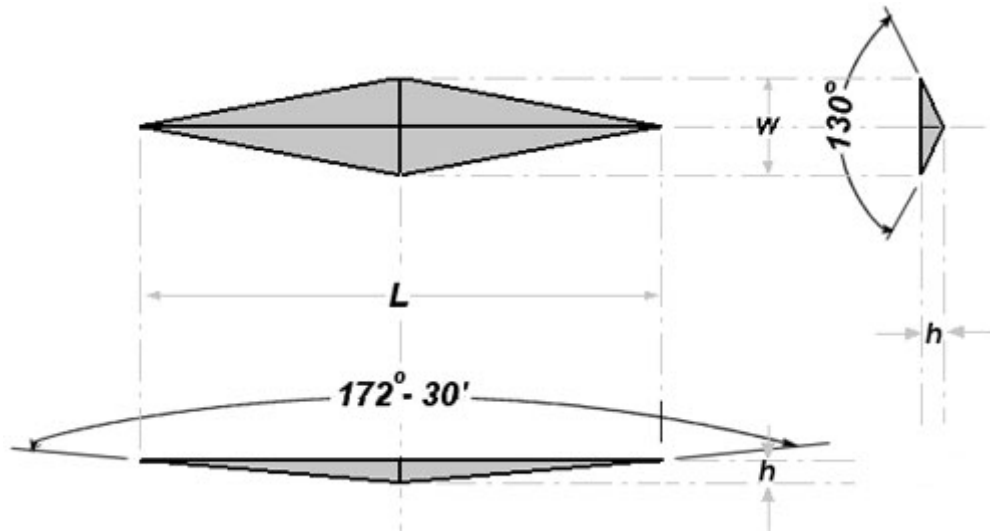
62 HV 0,01 Je označení pro Vickersovu tvrdost s hodnotou 62, zatížením 0,09807 N při působení zatížení po dobu 10s – 15s.

Příklad 2:

273 HV 0,1/30 Je označení pro Vickersovu tvrdost s hodnotou 273, zatížením 0,9807 N a dobou zatížení 30s.

3.5 Měření mikrotvrdomosti podle Knoop

Měření tvrdosti podle Knoop bylo vyvinuto Národním úřadem pro normy v USA v roce 1939. Této metody se používá pro měření tvrdosti malých, podlouhlých, tenkých vzorků z velmi tvrdých a křehkých materiálů a také drátů. Tato metoda měření tvrdosti vychází z metody měření podle Vickerse. Indentorem je diamantový jehlan, který na rozdíl od jehlanu používaného při Vickersově metodě, má protáhlou čtvercovou základnu (Obr. 17 Indentor podle Knoop). Ve srovnání s Vickersovou metodou, metoda podle Knoop vytváří relativně mělký vtisk při ekvivalentním zatížení. Z tohoto důvodu je tato metoda vhodnější pro měření tenkých, povrchových vrstev. Zkouška je normována "ČSN ISO 4545".



Obr. 17 Indentor podle Knoopa

Při měření podle Knoopa vznikají největší deformace a největší odpružení u kratší úhlopříčky. Z tohoto důvodu se měří pouze úhlopříčka delší. S velkým úspěchem lze touto metodou měřit tvrdost drátů, přičemž delší úhlopříčka musí být rovnoběžná s osou drátu. Tvrdost podle Knoopa lze vypočítat podle vztahu (6).

$$HK = \frac{1,451 \cdot F}{L^2} \quad (6)$$

Kde:

HK – Zkouška podle Knoopa

F - Zatěžující síla (N)

L – Délka delší úhlopříčky vtisku (mm)

Příklad1:

620 HK 0,01 Je označení pro Knoopovu tvrdost s hodnotou 620, zatížením 0,09807 N při působení zatížení po dobu 10s – 15s.

Příklad 2:

273 HK 0,1/20 Je označení pro Knoopovu tvrdost s hodnotou 273, zatížením 0,9807 N a dobou zatížení 20s.

Tab. 6 Zatěžující síla při tvrdosti podle Knoopu

	Symbol tvrdosti	Velikost zkušebního zatížení F [N]
Mikrotvrdost	HK 0.01	0,09807
	HK 0,02	0,1961
	HK 0,025	0,2452
	HK 0,05	0,4903
	HK 0,1	0,9807
Makrotvrdost	HK 0,2	1,961
	HK 0,3	2,942
	HK 0,5	4,903
	HK 1	9,807

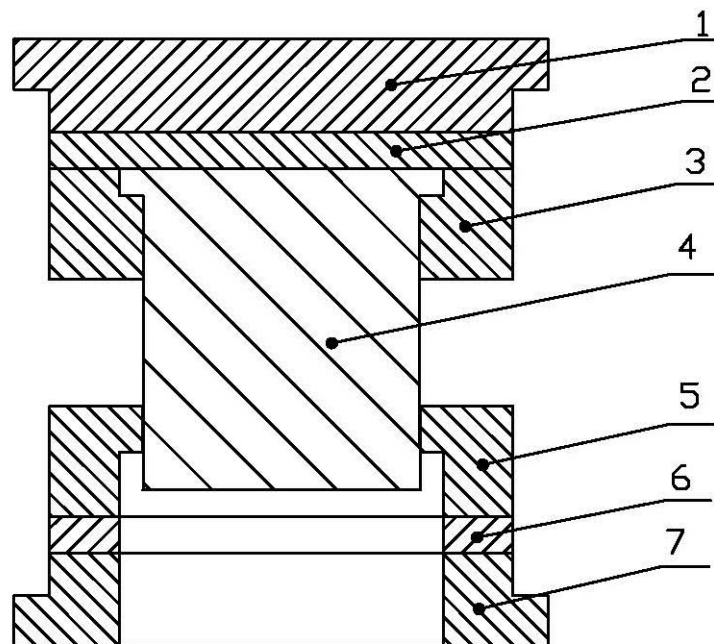
Povrch zkoušeného materiálu musí být připraven jako při měření Vickersovou metodou. Vzorek je umístěn na tuhé podložce, aby bylo zamezeno jeho možnému posunutí. Indentor musí být vtlačován kolmo k povrchu měřeného materiálu. Doba mezi minimálním a maximálním zatížením nesmí přesáhnout 10s. Doba zatížení se pohybuje od 10s do 15s.

4 FORMY

Jsou pracovní nářadí využívané ve strojírenství. Pomocí nich vytváříme finální výrobky, nebo polotovary, které budou součástí větších celků. Dle využití forem je kladena přesnost výroby.

4.1 Druhy forem:

- Na plasty
- Střížné a razící
- Postupové
- Odlévací



Obr. 18 Jednoduchý střížný nástroj

Kde:

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1) Upínací deska | 5) Střížnice |
| 2) Opěrná deska | 6) Opěrná deska |
| 3) Kotevní deska | 7) Základová deska |
| 4) Střížník | |

4.2 Materiály pro výrobu forem:

- Základová a upínací deska: Tyto desky formy jsou namáhány na otlak a přenáší rázy mezi strojním zařízením a pracovní částí nástroje. Pro tyto desky je vhodný běžný materiál bez tepelného zpracování. Vhodné jsou materiály třídy 10 – 11. Jelikož nejsou tepelně zpracované, používají se ve větších tloušťkách.
- Opěrná deska : Tato deska je namáhána na otlacení a kompenzuje tlak mezi střížníkem a upínací deskou a mezi střížnicí a základovou deskou. Z tohoto hlediska je vhodné použít materiály, které je možno tepelně zpracovat. Protože po tepelném zpracování mají větší tvrdost, používají se při malé tloušťce. Používají se Nástrojové oceli a to konkrétně EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2210 (ČSN 41 9421) a pod.
- Střížnice : Tato deska je nejvíce namáhána na stříh, otlak a otupení a proto musí být z kvalitní oceli a tepelně zpracovaná. Z tohoto hlediska se nejvíce používají Nástrojové materiály třídy 19 a to EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2103 (ČSN 41 9452), EN 1.3339 (ČSN 41 9830) apod.
- Střížník: Tato část nástroje je namáhána stejně jako střížnice a proto se také používají podobné materiály. Pro malé série je možno použít nerezových ocelí třídy 17, dále materiály, které jsou vhodné pro cementování třídy 14 a nástrojové oceli třídy 19 jako např. EN 1.2210 (ČSN 41 9421), EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2103 (ČSN 41 9452), EN 1.2379 (ČSN 41 9573), EN 1.3339 (ČSN 41 9830) apod.

5 ZÁVĚR

V teoretické části jsem se zaměřil na popsání metod měření tvrdosti, mikrotvrdosti a jejich využití v praxi. Pro experimentální část své Diplomové práce bylo použito měření na mikrotvrdoměru MicroCombi testeru se zatížením 0,5N ; 1N a 5N.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem Diplomové práce bylo měření mikrotvrdomosti vybraných druhů ocelí. Pro toto měření byly vybrány vzorky materiálů nástrojových ocelí EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830). Z každého materiálu byly zhotoveny tři vzorky. Jeden byl ponechán ve stavu dodávaném dodavatelem, druhý byl vyžihán na měkko a třetí byl zakalen. Měření mikrotvrdomosti proběhlo na mikrotvrdoměru MicroCombi testeru od firmy CSM Instruments, při zatížení 0,5N, 1N a 5N. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Cíle diplomové práce byly následující:

1. Vypracování literární studie na dané téma.
2. Příprava zkušebních vzorků na experimentální část.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených hodnot.

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Zkušební vzorky pro měření mikrotvrlosti musí být připraveny s velkou pečlivostí, protože jakékoli ovlivnění těchto vzorků má za následek ovlivnění výsledných naměřených hodnot. Zejména se jedná o teplotní ovlivnění při strojním opracování, pokud nejsou následně tepelně zpracovány. Velká pozornost je kladena na závěrečné broušení a leštění vzorků pro dosažení co nejhladšího a rovnoběžného povrchu.

7.1 Strojní obrábění

Pomocí strojního obrábění zajistíme potřebné rozměry zkušebních vzorků. Při strojním obrábění využíváme nejrůznějších strojních zařízení, které nám usnadňují a urychlují práci.

7.1.1 Řezání

Jde o dělení materiálu pomocí stroje, nebo nástroje. Při dělení (řezání) materiálu hlavní i vedlejší pohyb vykonává nástroj, pila, která může mít tvar ozubených listů, pásů, kotoučů, nebo řetězů. Obráběný materiál je vždy pevně upnut. Při ručním řezání se materiál upíná pomocí ručních svěrek, svěráků. Při strojním řezání je materiál upnut na upínací část stroje. Při této strojní technologii vzniká prořez, kdy část materiálu se promění na sypký odpad, piliny.

7.1.2 Frézování

Jedná se o třískové strojní obrábění pomocí vícebřitého nástroje. Při tomto strojním obrábění hlavní pohyb vykonává vícebřitý nástroj, fréza, a vedlejší pohyb zde koná obrobek. Obrobek je upnut na upínacím stole stroje, frézky, pomocí upínacích šroubů, svěrek a pomocí jiných upínacích zařízení.

7.1.3 Broušení

Jde o strojní obrábění, které se využívá při dokončovacích pracích. Broušením se docílí velmi přesných rozměrů, nebo požadovaných tvarů s definovanou drsností povrchu. Pomocí broušení se mohou obrábět i materiály, které byly tepelně, nebo chemicko-tepelně zpracovány. Broušení se provádí na strojích, bruskách, kdy jako nástroje se používají brousící kotouče, které se pohybují cca 10 000 ot/min. Hlavní pohyb koná nástroj a

vedlejší pohyb vykonává obrobek. Nesdílnou součástí tohoto broušení je chlazení, protože nástroje, brusné kotouče mají špatnou tepelnou vodivost.

Dalším zařízením jsou metalografické brusky. Pomocí těchto brusek, za mechanického působení, docílíme nejmenší povrchové nerovnosti materiálu. Jako nástroje jsou zde využity kotouče z brusných papírů, které mají různou drsnost. Tyto brusné kotouče se vodorovně rotačně pohybují. Nejčastější je broušení za mokra, kde médium nám chladí povrch broušeného materiálu a také nám z něj odvádí piliny odebrané z materiálu.

7.1.4 Leštění

Je to vyrovnávání nerovnoměrnosti povrchu. V praxi se využívá leštění mechanické, elektrolytické a chemické. Při leštění vzniká na povrchu leštěného materiálu Beilbyho vrstva.

Mechanické leštění

Při tomto leštění povrchu se tlakem zmenšují vyvýšeniny. Mechanické leštění se provádí na leštících kotoučích, které jsou potaženy tkaninou. Na tyto leštící kotouče se nanáší leštící suspenze, nejčastěji Al_2O_3 nebo Cr_2O_3 .

Elektrolytické leštění

Elektrolytické leštění je proces elektrochemického odstraňování materiálu z kovových obrobků za pomoci elektrického napětí. Používá se k leštění, pasivaci a odstraňování otřepů. V praxi se především využívá při leštění měkkých materiálů. Během tohoto procesu je odstraňován materiál z obrobku (anoda) a je rozpuštěn do elektrolytu speciálně určeného pro daný kov a díky tomu výrazně snižuje povrchovou drsnost.

Chemické leštění

Princip chemického leštění je obdobný jako při leštění elektrolytickém. Leštěný materiál je ponořen do elektrolytu vhodného chemického složení. Na povrchu leštěného materiálu vznikají elementární elektrochemické články, které způsobí vyrovnání povrchu, obdobné jako přiváděný proud u elektrolytického leštění.

Leptání

Při leštění je krystalická struktura zakryta tvářenou Beilbyho vrstvou. Tuto vrstvu můžeme odstranit leptáním v kyselinách či elektrolyticky a to na plochu zrn (plošné leptání), hranice zrn (leptání na hranice zrn), nebo na určené strukturní částice (selektivní leptání).

7.2 Tepelné zpracování

Tepelným zpracováním určujeme výsledné vlastnosti materiálu. Fázové přeměny probíhající při změnách skupenství během procesu tuhnutí mají význam pro vznik primárních struktur kovů, slitin jejichž důsledkem je změna struktury a s tím spojených i vlastností materiálu. Tyto změny je možno sledovat pomocí transformačních diagramů. Jde především o perlitické, bainitické a martenzitické přeměny austenitu.

Tepelné zpracování dělíme na:

- Žihání
- Kalení
- Popouštění

Každá metoda tepelného zpracování má své specifické podmínky a také různé druhy použití.

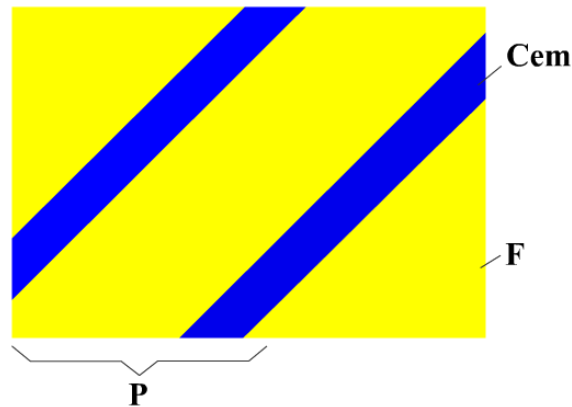
7.2.1 Struktury ocelí

Austenitizace

Začátek austenitizace je vyvolán přeměnou perlitu v austenit nad křivku A_{c1} , kdy zárodky austenitu vznikají na fázovém rozhraní feritu a cementitu. Jejich následný růst dále pokračuje ve feritu. Nově vznikající fáze je řízena difúzí uhlíku, který je získáván z rozpuštěného cementitu do obklopujícího austenitu.

Perlitická přeměna

Perlitická přeměna probíhá pod teplotou 550 °C, kdy se austenit rozpadá na perlit. Pokud se teplota bude blížit k 550 °C, tím jemnější bude vzniklý lamelární perlit. Naopak, čím teplota bude nižší, tím vzniklý lamelární perlit bude mít hrubší zrna. Velikost zrna lamelárního perlitu má vliv na jeho vlastnosti.



obr. 19 Struktura lamerlárního perlitu (základní struktura)

Bainitická přeměna

Při teplotě 250 °C – 550 °C v důsledku snížené difuze probíhá rozpad austenitu odlišně, od perlitické přeměny. Jestliže se teplota izotermického rozpadu bude blížit k 250 °C, bude výrazněji vznikat z austenitu ferit a teprve poté bude vznikat z přesyceného feritu cementit. Bainitická přeměna bude ukončena po určité době, i když určitý podíl austenitu zůstane nepřeměněn. Tento nepřeměněný austenit nazýváme jako zbytkový austenit, který snižuje pevnost bainitu a je závislý na složení oceli.

Martenzitická přeměna

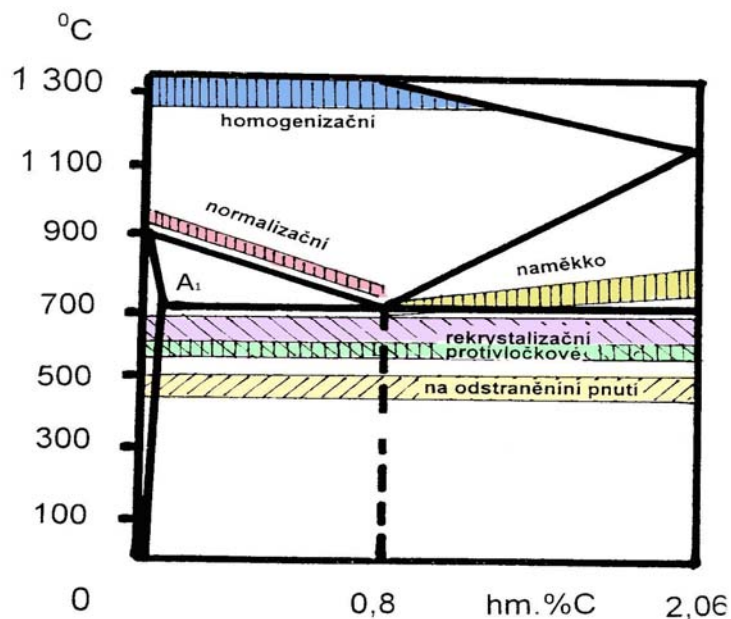
Martenzit je struktura, která vznikne prudkým ochlazením austenitu, kde jsou zcela potlačeny difuzní jevy a proběhne přeměna mřížky gama na mřížku alfa. Takováto struktura se navenek projeví velkou tvrdostí, ale také křehkostí.

7.2.2 Žihání

Jde o tepelné zpracování kovů, které se provádí pro zlepšení některých vlastností, jako jsou povrchová tvrdost, odstranění účinku kalení, tváření, které přímo ovlivnili strukturu materiálu. Cílem tohoto procesu je se co nejlépe přiblížit k rovnovážnému stavu oceli. Provádí se ohřevem na žihací teplotu (500 °C– 1300 °C Obr. 20) a následným pomalým 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



Obr. 20 Druhy žihání

7.2.2.1 žihání bez překrystalizace

Při tomto druhu žihání neprobíhají v materiálu změny, které jsou spojeny s přeměnou fází. Dochází zde pouze ke strukturálním změnám, např. velikost zrn apod.

Rekrystalizační žihání

Používá se pro odstranění důsledků tváření za studena, dosáhneme tak odstranění deformačního zpevnění a částečně obnovíme tvárné vlastnosti oceli převážně s nízkým obsahem uhlíku. Při rekrystalizaci dochází ke změně mezi vnitřními vazbami atomů, nemění se krystalická mřížka a žihací rekrystalizační teplota se pohybuje od 550 °C do 700 °C. Výdrž na této teplotě od 1 hod. do max 5 hod. s následným ochlazením na vzduchu.

Žihání ke snížení pnutí

Tento druh žihání se používá pro snížení vnitřního pnutí u dílců, v kterých vlivem předchozího tepelného, nebo mechanického zpracování, sváření a tuhnutí odlitku ve formě vzniklo vnitřní pnutí. Následuje obvykle po normalizačním žihání. Žihací teplota se pohybuje od 500 °C do 650 °C. Výdrž na této teplotě od 1 hod. do max 10 hod. Ohřev i ochlazování jsou pomalé.

Žihání protivločkové

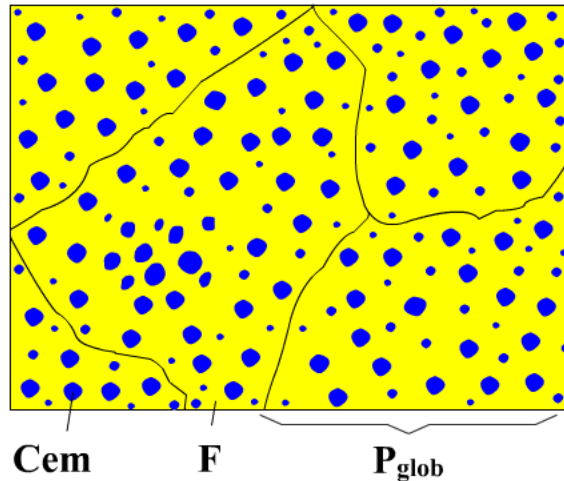
Při tomto žihání se zabráňuje tvorbě trhlin v oceli, kdy pomocí difuzního mechanismu dochází k uvolnění vodíku a to za velmi pomalého ochlazování. Ochlazování trvá až stovky hodin.

7.2.2.2 Žihání s překrystalizací

Při tomto druhu žihání dochází k úplné, nebo částečné přeměně feritickocementické struktury na austenit. Účelem je dosažení větší chemické homogenity a větší rovnoměrnosti struktury.

Žihání na měkko

Tento druh žihání se užívá ke zlepšení obrobitelnosti u ocelí s obsahem uhlíku vyšším jak 0,4 %. Žihací teplota se pohybuje od 650 °C do 720 °C. Výdrž na této teplotě od 3hod. do 8 hod. Ochlazování je pomalé a probíhá v peci. Při tomto žihání dochází k přeměně laminárního perlitu na perlit zrnitý, čímž selepší obrobitelnost materiálu.



obr. 21 Struktura globulárního perlitu (po žihání na měkko)

Normalizační žihání

Používá se k odstranění nerovnosti struktury a na zjemnění hrubých zrn austenitu, které vznikají při lití, nebo tváření za vysokých teplot převážně u podeutektoidních ocelí a tím celkovým zlepšením mechanických vlastností materiálu. Žihací teplota se pohybuje od 750 °C do 900 °C. Výdrž na této teplotě musí dostatečně dlouhý, aby mohlo dojít k požadované přeměně. Chlazení je pozvolné na volném vzduchu.

Izotermické žihání

Používá se pro legované oceli ke snížení pevnosti a zlepšení obrobiteľnosti. Žihání se provádí za teploty těsně nad A_3 , rychlém ochlazení na 600 °C až 700 °C proudícím vzduchem. Pro tento druh žihání je nutná znalost IRA diagramu pro žíhanou ocel.

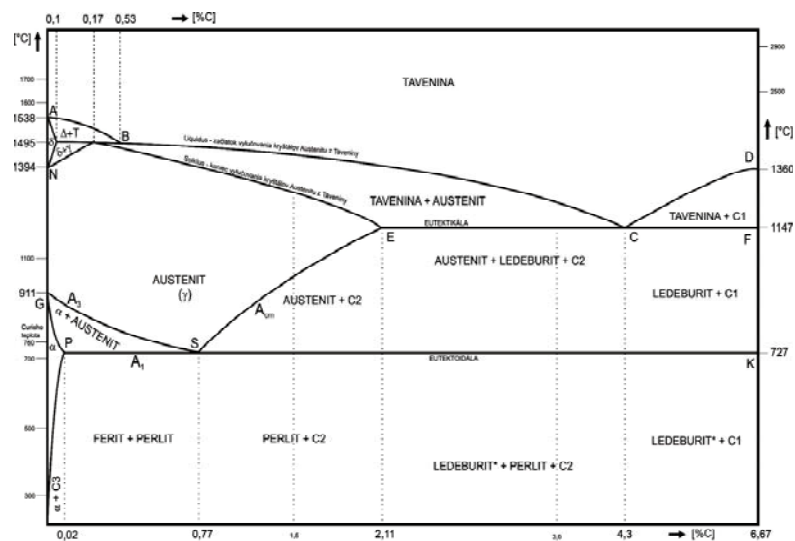
Homogenizační žihání

Využívá se ke snížení heterogenity, která vzniká při tuhnutí odlitků a ingotů. Žihací teplota je od 1100 °C do 1250 °C. Výdrž na této teplotě od 10 hod, do 15 hod., kde musí být v peci použito ochranné atmosféry, aby v důsledku použitých vysokých teplot nedo-

cházelo k velkým ztrátám materiálu okujením. Použitím vysokých teplot má za následek zhrubnutí zrn austenitu a tím i zhoršením vlastností. Tento druh žíhání není konečným tepelným zpracováním.

7.2.3 Kalení

Jedná se o způsob tepelného zpracování feritických ocelí. Účelem tohoto tepelného zpracování je dosažení nerovnovážného stavu ocelí a tím zlepšení odolnosti proti opotřebení, vysoké tvrdosti a lepších mechanických a fyzikálních vlastnosti a pevnosti v tahu. Nežádoucím účinkem kalení je snížení houževnatosti, ocel se stává křehčí. Při kalení dochází u ocelí ke vzniku přesyceného tuhého roztoku uhlíku v železe (tzv. Martenzitu), který má jemnou strukturu. Proces kalení se sestává z několika částí. Nejprve se ocel ohřeje na kalicí teplotu, která se volí dle Fe - Fe₃C diagramu (Obr. 22 diagram Fe - Fe₃C) a je nižší než teplota tavení a je závislá na obsahu uhlíku. Dále výdrží na této teplotě, aby došlo k austenitizaci oceli. Poslední částí je ochlazování nad kritickou rychlostí, kdy dochází k přeměně Austenitu na Martenzit.



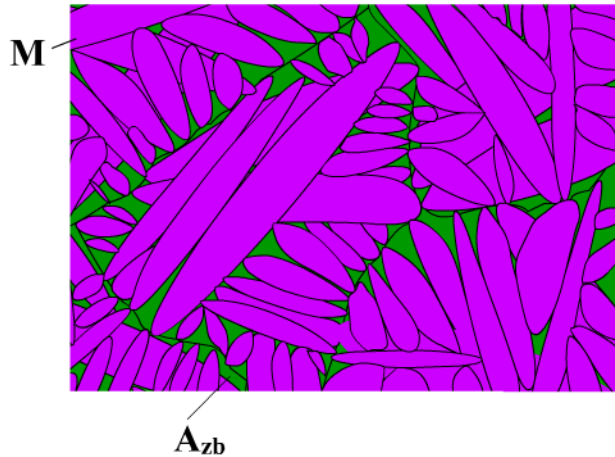
Obr. 22 diagram Fe - Fe₃C

Kalení

- Martenzitické
- Bainitické

Martenzitické kalení

Výsledkem tohoto kalení je struktura, která je tvořena Martenzitem a zbytkovým austenitem. Tohoto kalení se užívá pro získání vysoké tvrdosti a odolnosti proti opotřebení.



obr. 23 Struktura martenzitu + austenizu zbytkového (po kalení a následném popouštění)

Bainitické kalení

Při tomto kalení dochází k transformaci Austenitu na Bainit pomocí plynulého ochlazování. Tohoto kalení se užívá pro nízko, nebo středně legované oceli a součásti s menším, nebo středním průřezem.

7.2.4 Popouštění

Jde o tepelné zpracování, které následuje ihned po kalení. Účelem je získání stavu blížícího se stavu rovnovážnému a odstranění vnitřního pnutí, které vzniká při kalení. Lze jej použít u zakalených ocelí, slitin a neželezných kovů. Provádí se ohřátím na popouštěcí teplotu v tzv. popouštěcích pecích, výdrží na této teplotě a ochlazením na volném vzduchu. Rozlišujeme popouštění při nízkých teplotách a popouštění při vyšších teplotách.

Popouštění při nízkých teplotách

Teploty jsou v rozmezí 100 °C až 300 °C a účelem je snížení vnitřního pnutí, zlepšení houževnatosti a to při zachování vysoké tvrdosti. Používá se převážně u nástrojových ocelí.

Popouštění při vyšších teplotách

Teploty jsou v rozmezí 400 °C až 650 °C a účelem je zlepšení houževnatosti a plasticity avšak s následkem klesající tvrdosti a pevnosti.

8 MATERIÁLY VZORKŮ

Materiály, které byly použity jsou různého složení a také různého použití. Materiály různého složení mají také různé teplotní rozmezí při tepelném zpracování a jiné mechanické a fyzikální vlastnosti.

8.1 Materiál EN 1.2080 (ČSN 41 9436)

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
- Pevnost 800 - 850 Mpa

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

8.2 Materiál EN 1.2379 (ČSN 41 9573)

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
- Pevnost 750 - 800 MPa

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

8.3 Materiál EN 1.3339 (ČSN 41 9830)

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
- Pevnost 650 - 850 MPa

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

9 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ A PRINCIP MĚŘENÍ

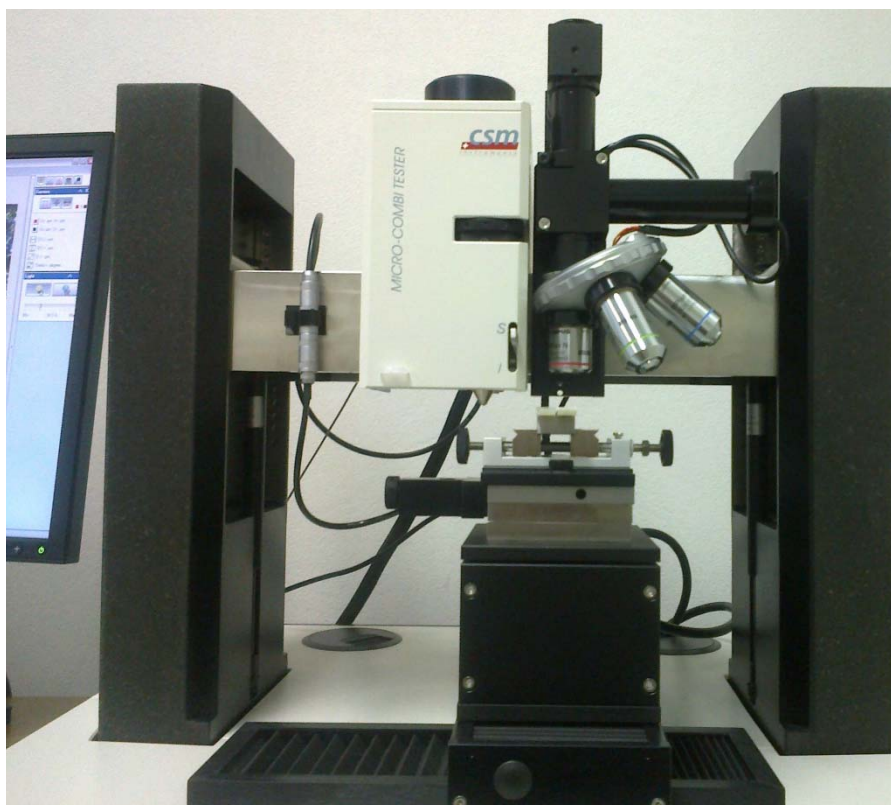
9.1 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Měření mikrotvrdomosti proběhlo na mikrotvrdoměru MicroCombi testeru (obr. 24 MicroCombi) od firmy CSM Instruments, při zatížení 0,5N, 1N a 5N.

Je to stolní přístroj, který je kompaktní a může být použit na libovolném stabilním stole. S jeho kombinovaným ovládáním z počítače a softwarem představuje snadno použitelný nástroj pro všechny laboratoře, které mají zájem o provádění makromechanických testů. Jako vnikací tělísko (Berkovičův indentor) byl použit diamantový čtyřboký jehlan.

Přístroj je umístěný v laboratoři Ústavu výrobního inženýrství UTB ve Zlíně.

Mikrotvrdoměr je určený pro nízké zatížení s hloubkou měření v měřítku nanometrů. Systém může být použit k charakterizaci organických, anorganických, tvrdých a měkkých materiálů. Přístroj je schopen provádět vnikací zkoušky nanotvrdomosti v rozsahu zatížení (od 0 do 30 N) a zkoušky nanotvrdomosti (od 0 do 500 mN).



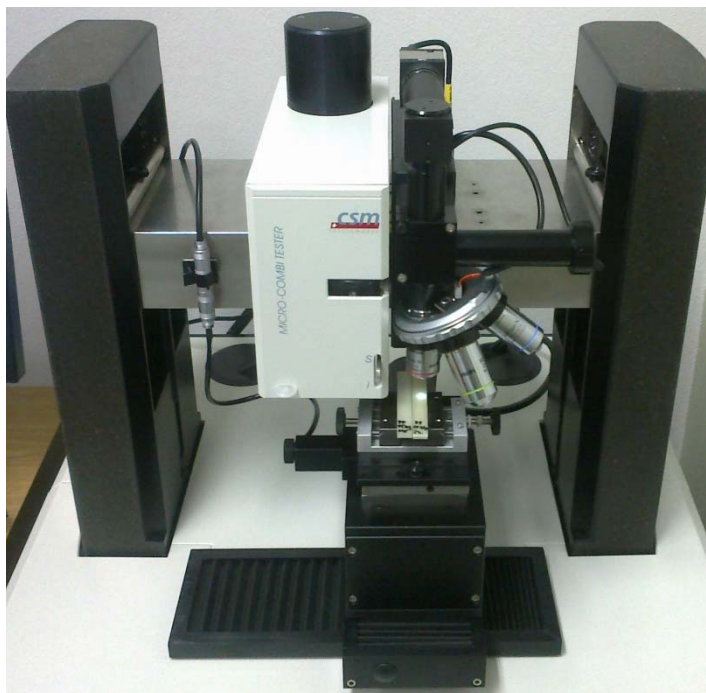
obr. 24 MicroCombi tester

Dva hlavní moduly přístroje:

- Mikroindentační a nanoindentační modul a dále „Scratch Testy”
- Modul opatřený optickým mikroskopem (k pořízení fotografie popřípadě videozáznamu).

9.2 Princip měření

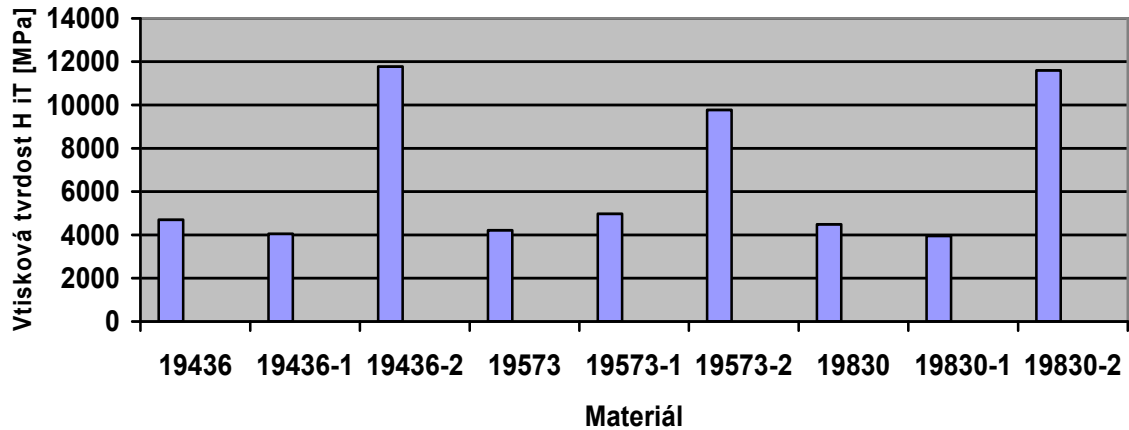
Princip spočívá v přímočarém kolmém pohybu indentoru (Berkovičův indentor) po zkušební vzorku. Indentor vniká do zkušební vzorku a následně zjišťujeme míru deformace tohoto materiálu. Přímým výsledkem měření jsou délky úhlopříček vtisknutého indentoru - jehlanu. Po přiblížení optickým mikroskopem (po testu) lze zjistit velikost dělek úhlopříček a charakter opotřebení indentoru.



obr. 25 Upnutí vzorku při měření

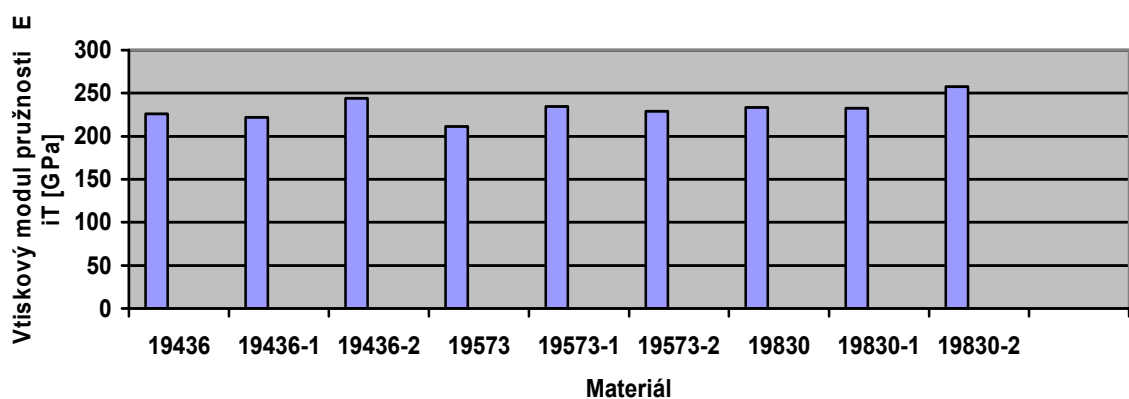
10 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ TESTŮ MIKROTVRDOSTI

10.1 Výsledky měření mikrotvrdomosti při zatížení 0,5 N



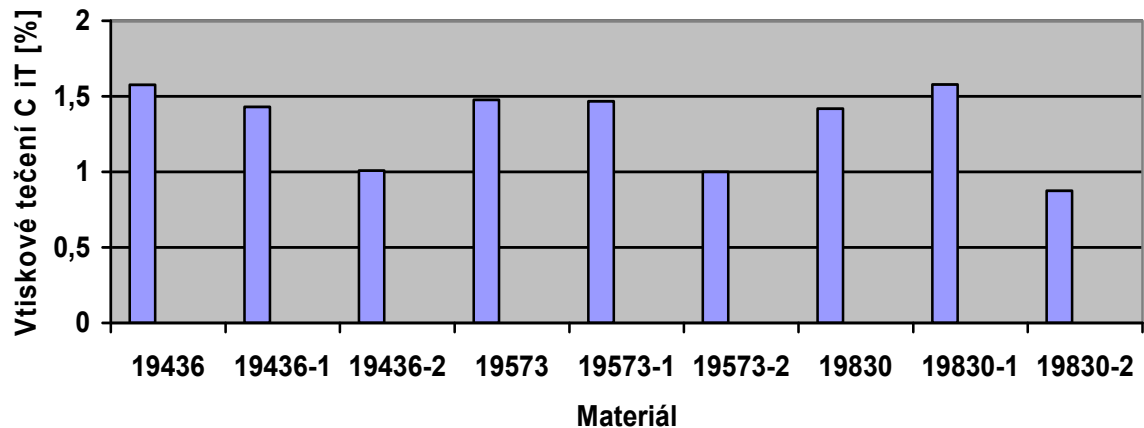
obr. 26 Vtisková tvrdost při zatížení 0,5 N

Z výsledků měření mikrotvrdomosti vyplynulo, že nejmenší hodnota vtiskové tvrdosti byla naměřena u oceli 19830-1. Naopak nejvyšší hodnota vtiskové tvrdosti byla zjištěna u oceli 19436-2, jak je patrné z obrázku 26.



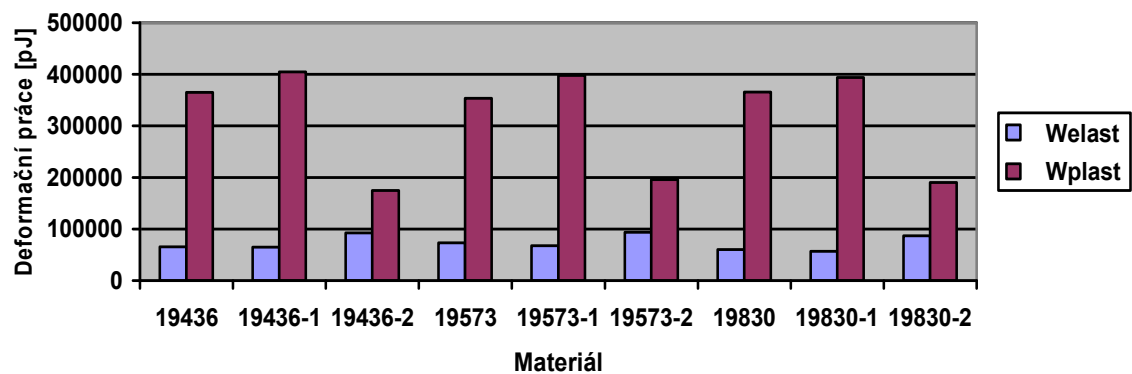
obr. 27 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost) při zatížení 0.5N

Ze zkoušky mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota vtiskového modulu pružnosti, který reprezentuje mikrotuhost testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19830-2. Naopak nejmenší hodnota vtiskového modulu pružnosti (mikrotuhosti) byla zjištěna u oceli 19573, jak je patrné z obr 27.



obr. 28 Vtiskové tečení (kríp) při zatížení 0.5N

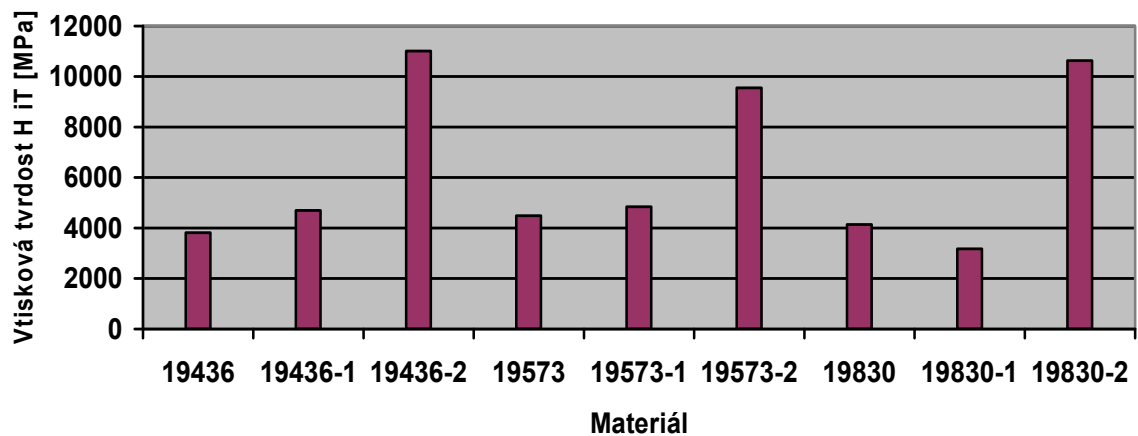
Z výsledků měření mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota vtiskového tečení, které reprezentuje mikrokríp testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19830-2. Nejvyšší hodnota vtiskového tečení vyla naopak zjištěna o oceli 19830-1, jak je patrné z obr 28.



obr. 29 Naměřená deformační práce při zatížení 0.5 N

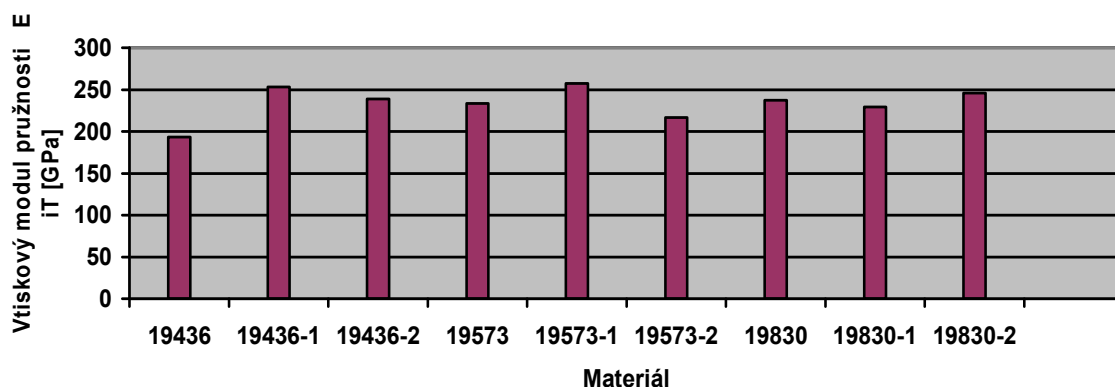
Z výsledků měření mikrotvrdomosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota elastické deformační práce byla naměřena u oceli 19830-1. Nejvyšší hodnota elastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19573-2. Nejmenší hodnota plastické deformační práce byla naměřena u oceli 19436-2. Nejvyšší hodnota plastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19436-1, jak je patrné z obrázku 29.

10.2 Výsledky měření mikrotvrdomosti při zatížení 1 N



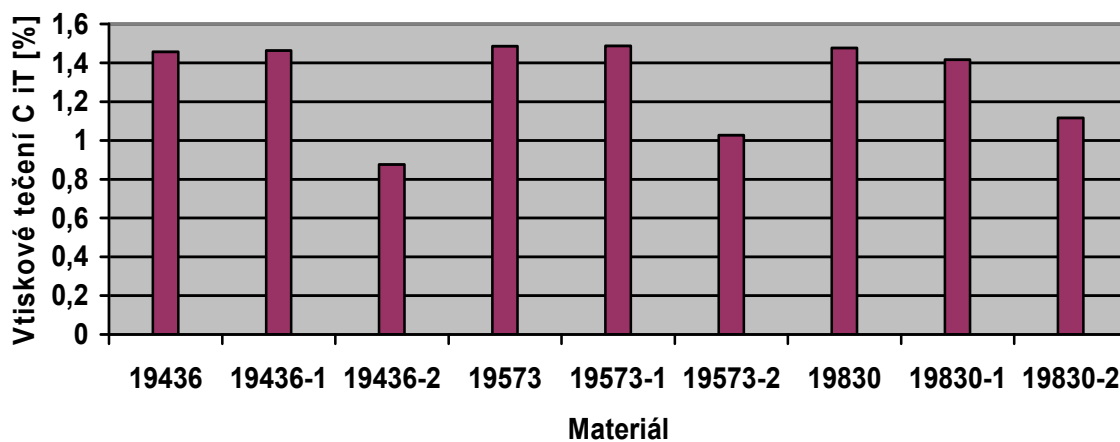
obr. 30 tisková tvrdost při zatížení 1 N

Z výsledků měření mikrotvrdomosti vyplynulo, že nejmenší hodnota vtiskové tvrdosti byla naměřena u oceli 19830-1. Naopak nejvyšší hodnota vtiskové tvrdosti byla zjištěna u oceli 19436-2, jak je patrné z obrázku 30.

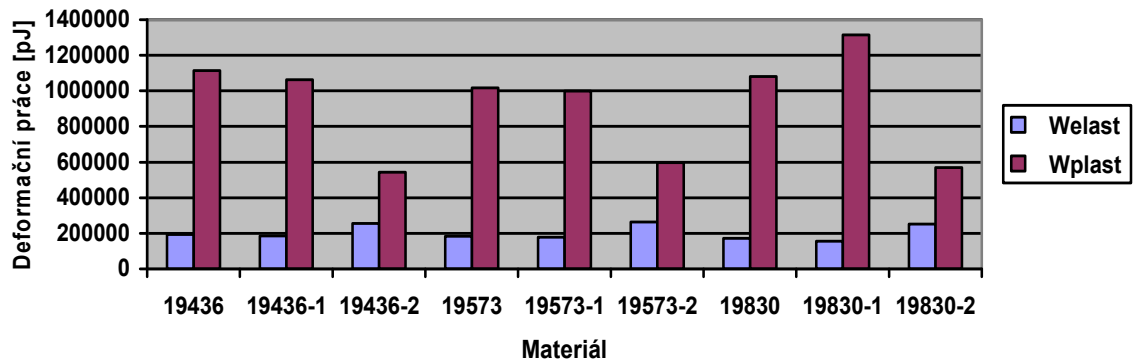


obr. 31 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost) při zatížení 1 N

Ze zkoušky mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota vtiskového modulu pružnosti, který reprezentuje mikrotuhost testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19573-1. Naopak nejmenší hodnota vtiskového modulu pružnosti (mikrotuhosti) byla zjištěna u oceli 19436, jak je patrné z obr 31.

obr. 32 Naměřené vtiskové tečení C_{iT} při zatížení 1N

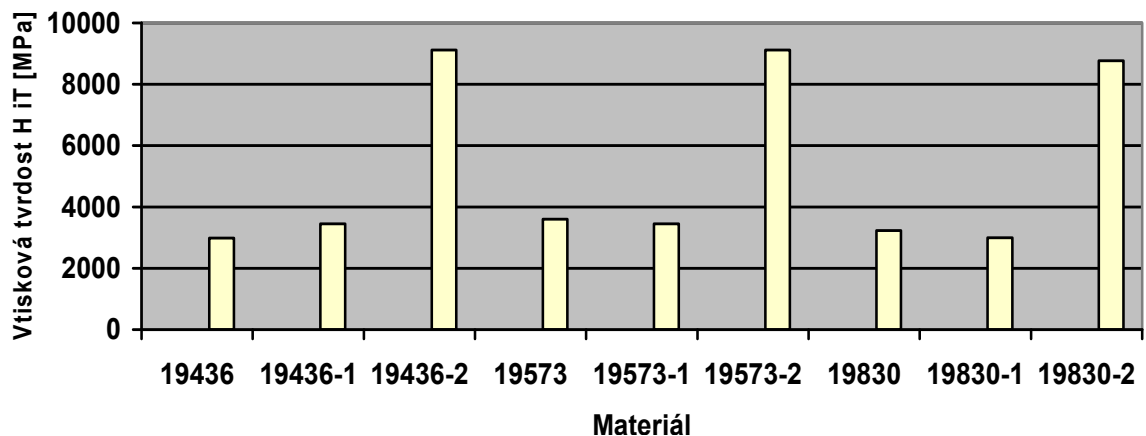
Z výsledků měření mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota vtiskového tečení, které reprezentuje mikrokríp testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19436-2. Nejvyšší hodnota vtiskového tečení vyla naopak zjištěna o oceli 19573-1, jak je patrné z obr 32.



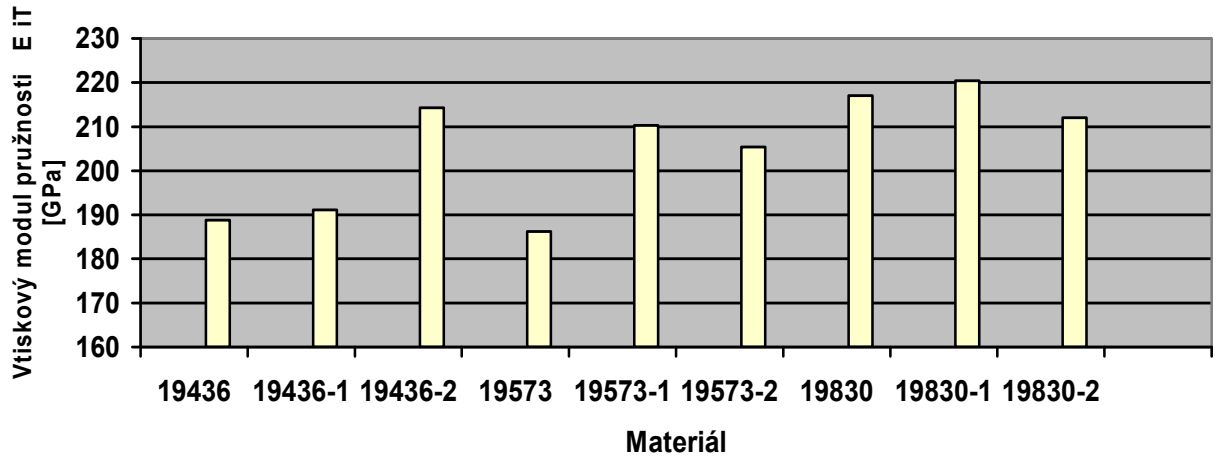
obr. 33 Naměřená deformační práce při zatížení 1 N

Z výsledků měření mikrotvrdomosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota elastické deformační práce byla naměřena u oceli 19830-1. Nejvyšší hodnota elastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19573-2. Nejmenší hodnota plastické deformační práce byla naměřena u oceli 19436-2. Nejvyšší hodnota plastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19830-1, jak je patrné z obrázku 33.

10.3 Výsledky měření mikrotvrdomosti při zatížení 5 N

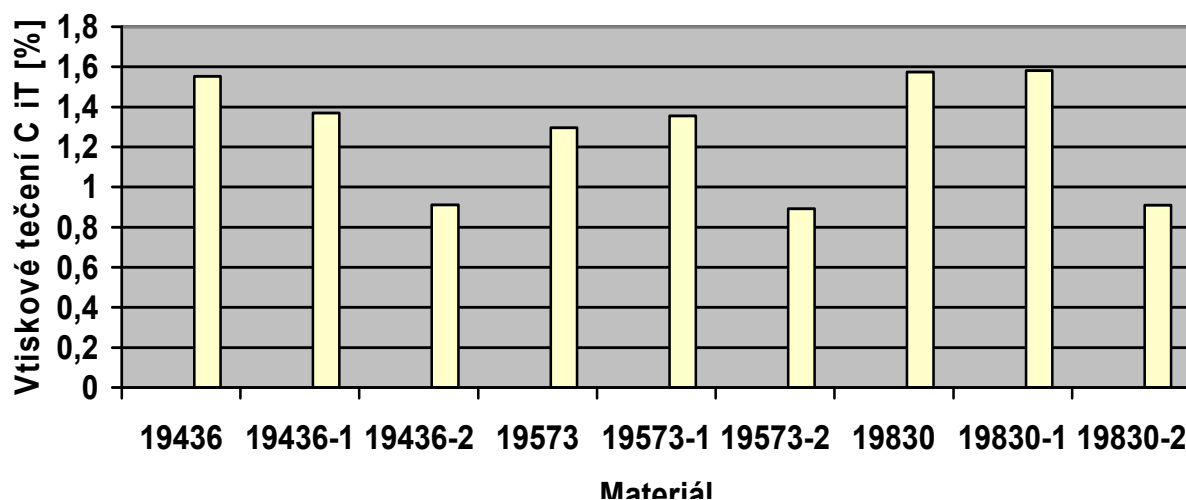
obr. 34 Naměřená vtisková tvrdost H_{IT} při zatížení 5 N

Z výsledků měření mikrotvrdomosti vyplynulo, že nejmenší hodnota vtiskové tvrdosti byla naměřena u oceli 19436. Naopak nejvyšší hodnota vtiskové tvrdosti byla zjištěna u oceli 19436-2, jak je patrné z obrázku 34.

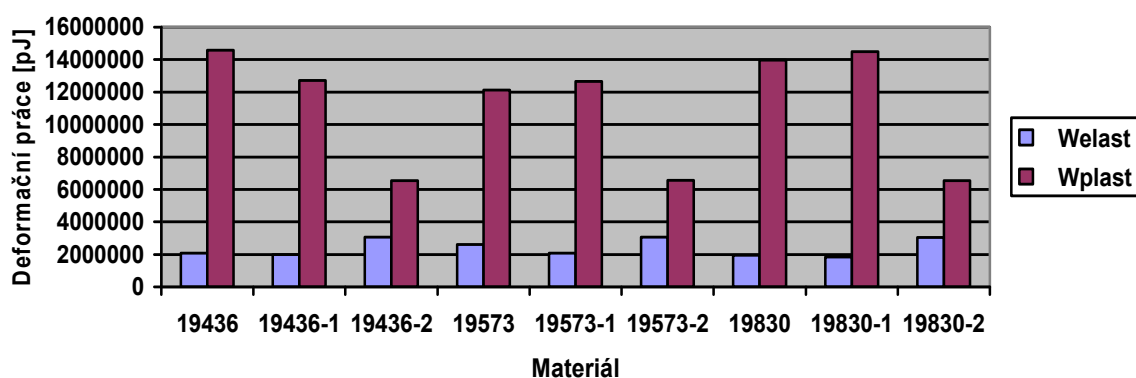


obr. 35 Naměřený vtiskový modul pružnosti E_{iT} při zatížení 5N

Ze zkoušky mikrotvrdomosti bylo zjištěno, že nejvyšší hodnota vtiskového modulu pružnosti, který reprezentuje mikrotuhost testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19830-1. Naopak nejmenší hodnota vtiskového modulu pružnosti (mikrotuhosti) byla zjištěna u oceli 19573, jak je patrné z obr 35.

obr. 36 Naměřené vtiskové tečení C_{IT} při zatížení 5N

Z výsledků měření mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota vtiskového tečení, které reprezentuje mikrokríp testované povrchové vrstvy byla naměřena u oceli 19573-2. Nejvyšší hodnota vtiskového tečení byla naopak zjištěna u oceli 19830-1, jak je patrné z obr 36.

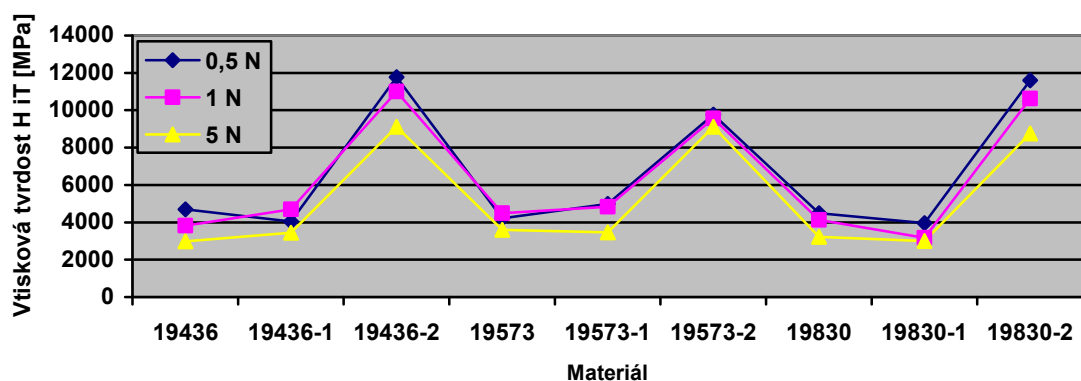


obr. 37 Naměřená deformační práce při zatížení 5 N

Z výsledků měření mikrotvrdosti bylo zjištěno, že nejmenší hodnota elastické deformační práce byla naměřena u oceli 19830-1. Nejvyšší hodnota elastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19573-2. Nejmenší hodnota plastické deformační práce byla naměřena u oceli 19830-2. Nejvyšší hodnota plastické deformační práce byla naopak zjištěna u oceli 19436, jak je patrné z obrázku 37.

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

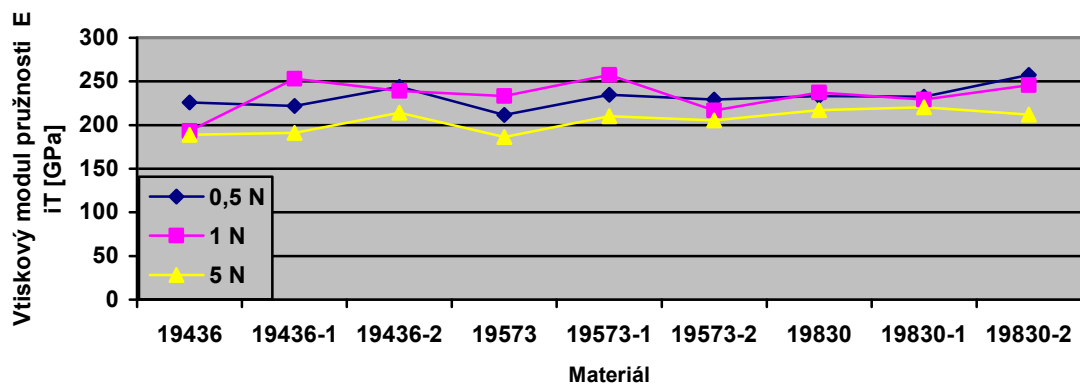
Diplomové práce se zabývala měřením mikrotvrdomosti vybraných druhů ocelí. Pro toto měření byly vybrány zkušební vzorky materiálů nástrojových ocelí EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830). Z každého materiálu byly zhotoveny tři vzorky. Jeden byl ponechán ve stavu dodávaným dodavatelem, druhý byl vyzhán na měkko a třetí byl zakalen. Měření mikrotvrdomosti proběhlo na mikrotvrdoměru MicroCombi testeru od firmy CSM Instruments, při zatížení 0,5N, 1N a 5N. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.



obr. 38 Vtisková tvrdost

Z výsledků měření mikrotvrdomosti (obr. 38), bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty vtiskové tvrdosti byly naměřeny u oceli 19436-2 a 19830-2. Jedná se o oceli, které byly zakaleny a následně popuštěny. Výsledná struktura po zakalení a popuštění byla tvořena martenzitem a austenitem zbytkovým (obr. 23 Struktura martenzitu + austenizu zbytkového (po kalení a následném popuštění)). Naopak nejmenší hodnoty byly naměřeny u všech testovaných ocelí, které byly žháný na měkko. Po žhání na měkko byla zjištěna struktura odpovídající globulárnímu perlitu jak je patrné z obr. 21 Struktura globulárního perlitu (po žhání na měkko). Podobných hodnot vtiskové tvrdosti po zakalení a následném popouštění bylo dosaženo i materiálu 19573-2, kde byla výsledná struktura tvořena rovněž martenzitem a austenitem zbytkovým.

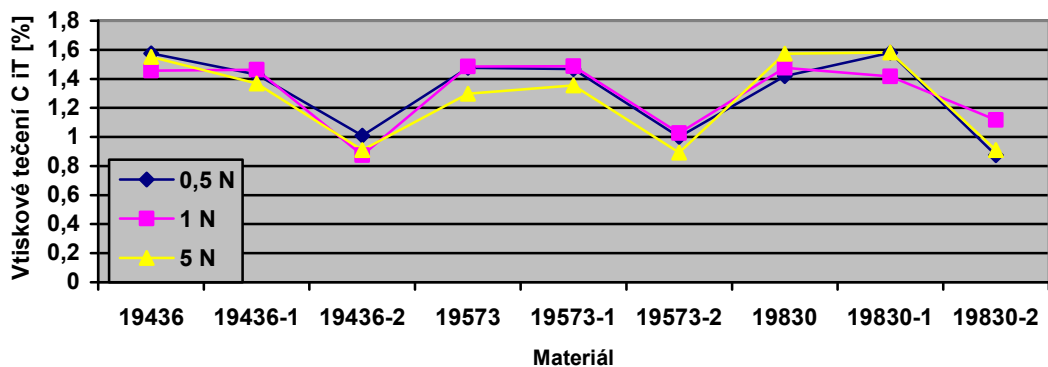
Při aplikaci rozdílného zatížení při testu mikrotvrdomosti bylo zjištěno, že s rostoucím zatížením klesaly hodnoty vtiskové tvrdosti u všech testovaných typů materiálů.



obr. 39 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost)

Hodnoty vtiskového modulu pružnosti, obrázek 36, který reprezentuje mikrotuhost testované povrchové vrstvy byly naměřeny nejvyšší u zakalených a následně popuštěných testovaných ocelí. Jednalo se o oceli 19436-2, 19573-2 a 19830-2. Zde byla zjištěna výsledná struktura martenzitu a austenitu zbytkového obr. 23 Struktura martenzitu + austenitu zbytkového (po kalení a následném popuštění). Nejmenší hodnoty mikrotuhosti testované povrchové vrstvy byly zjištěny u testovaných ocelí, které byly žíhány na měkko. Zde byla výsledná struktura tvořena lobulárním perlitem (obr. 21 Struktura globulárního perlitu (po žíhání na měkko)). Tato struktura umožňuje lepší pohyb dislokací strukturou a tím snadnější plastickou deformaci. Tomu také odpovídají hodnoty mikrotuhosti.

Pokud byl sledován vliv zatížení v průběhu testu, nebyl zjištěn výrazný rozdíl. Hodnoty mikrotuhosti při zatížení 0.5N a 1N nevykazovaly výrazné rozdíly. Mírný pokles vtiskové tvrdosti vykazovalo pouze zatížení 5N.



obr. 40 Vtiskové tečení (mikrokríp)

Při měření vtiskového tečení, které nám reprezentuje mikrokríp testované povrchové vrstvy bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty mikrokrípu vykazovaly oceli, které byly žíhány na měkko. Zde byla výsledná struktura tvořena lobulárním perlitem (obr. 21 Struktura globulárního perlitu (po žíhání na měkko)) Tato struktura, jak již bylo řečeno, umožňuje snadný pohyb dislokací a tím menší energii nebo sílu k vytvoření plastické deformace. Nejmenší hodnoty krípu byly zjištěny u zakalených a následně popustěných ocelí (19436-2, 19573-2, 19830-2). Zde je výsledná struktura tvořena martenzitem a austenitem zbytkovým (obr. 23 Struktura martenzitu + austenitu zbytkového (po kalení a následném popuštění)). Tato struktura je velmi odolná proti pronikání indentoru (vnikacího tělesa) do struktury v průběhu času.

Aplikace různých zatížení pro testy mikrotvrlosti ukázalo, že nejvyšší hodnoty mikrokrípu byly zjištěny u nejmenšího zatížení 0.5N, zatímco nejmenší hodnoty mikrokrípu byly naměřeny u největšího zatížení 5N.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala měřením mikrotvrlosti vybraných druhů ocelí. Pro toto měření byly vybrány zkušební vzorky materiálů nástrojových oceli EN 1.2080 (ČSN 41 9436), EN 1.2379 (ČSN 41 9573) a EN 1.3339 (ČSN 41 9830). Z každého materiálu byly zhotoveny tři vzorky. Jeden byl ponechán ve stavu dodávaným dodavatelem, druhý byl vyžihán na měkko a třetí byl zakalen. Měření mikrotvrlosti proběhlo na mikrotvrdoměru MicroCombi testeru od firmy CSM Instruments, při zatížení 0,5N, 1N a 5N. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Z výsledků měření zkoušky mikrotvrlosti bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty mikromechanického chování byly zjištěny u zakalených a následně popustěných testovaných ocelí. Vůbec nejvyšších hodnot vtiskové tvrdosti, mikrotuhosti a mikrokrípu byly naměřeny u oceli 19830-3. Výsledná struktura u těchto povrchových vrstev byla tvořena martenzitem a austenitem zbytkovým, které všeobecně vykazují dobré mechanické vlastnosti. Naopak mnohem horší mikromechanické vlastnosti byly naměřeny u testovaných povrchových vrstev, které byly žihány na měkko. Zde byly zjištěny nejmenší hodnoty vtiskové tvrdosti, mikrotuhosti a mikrokrípu. Výsledná struktura zde byla tvořena lobulárním perlitem. Tato struktura umožňuje snadný pohyb dislokací a tím snadnou plastickou deformaci.

Při sledování vlivu různých druhů zatížení při testu mikrotvrlosti bylo zjištěno, že nejlepší mikromechanické vlastnosti byly zjištěny u nejmenšího zatížení 0.5N. Pokles mikromechanických vlastností byl naopak zaznamenán u nejvyššího zatížení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ashby, F. M. aj.: Engineenng materiále, Pergamen Přes 1989
- [2] Grim, W. aj.: Handbuch der kunststoff – formenstähle, Buderus AG, Wetzler 2002
- [3] Píšek, F. aj.: Nauka o materiálu, Accademic Praha 1973
- [4] Ptáček, L. aj.: Nauka o materiálu, CERM Brno 2005 ISBN 80-7204-193-2
- [5] Poldi Kladno n.p.: Ušlechtilé nástrojové oceli, SO Kladno 1979
- [6] Vašinka, M.: Měření tvrdosti kovů, Bakalářská práce (Bc.), Univerzita Tomáše Bati ve zlíně, Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství, 2012-09-05
- [7] ČSN EN ISO 14271: 2003. Zkoušení tvrdosti podle Vickerse odporových bodových, výstupkových a švových svarů (nízké zatížení a mikrotvrdost). Praha: český normalizační institut, 2003.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HMa	Tvrdost podle Martense
HB, HBS, HBW	Tvrdost podle Brinella
HV	Tvrdost podle Vickerse
HR, HRA, HRB, HRC	Tvrdost podle Roskwella
HB Bauman	Tvrdost Baumanovým kladívkem
HB Poldi	Tvrdost Poldi kladívkem
HS, HSH, HSC	Tvrdost 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
α	Výchozí úhel
β	Úhel odrazu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vtisk podle Brinella.....	15
Obr. 2 Schéma měření podle Brinella.....	16
Obr. 3 Měřicí přístroj metody podle Brinella	18
Obr. 4 Vtisk podle Vickerse	20
Obr. 5 Měřicí přístroj pro měření podle Vickerse	21
Obr. 6 Schéma měření podle Rockwella	23
Obr. 7 Měřicí přístroj pro měření podle Rockwella	26
Obr. 8 Poldí kladívko.....	27
Obr. 9 Duroskop	28
Obr. 10 Mikrotvrdoměr.....	30
Obr. 11 Vtisk na mikrotvrdoměru.....	30
Obr. 12 Perlitická struktura ocelí.....	31
Obr. 13 Bainitická struktura ocelí.....	31
Obr. 14 Martenzitická struktura ocelí.....	32
Obr. 15 Mikrostruktura rozhraní svárového spoje.....	32
Obr. 16 Indentor podle Vickerse	33
Obr. 17 Indentor podle Knoopu	35
Obr. 18 Jednoduchý střížný nástroj	37
obr. 19 Struktura lamerlárního perlitu (základní struktura).....	45
Obr. 20 Druhy žihání	46
obr. 21 Struktura globulárního perlitu (po žihání na měkko).....	48
Obr. 22 diagram Fe - Fe ₃ C.....	49
obr. 23 Struktura martenzitu + austenizu zbytkového (po kalení a následném popuštění).....	50
obr. 24 MicroCombi tester.....	55
obr. 25 Upnutí vzorku při měření	56
obr. 26 Vtisková tvrdost při zatížení 0,5 N.....	57
obr. 28 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost) při zatížení 0.5N Chyba! Záložka není definována.	
obr. 29 Vtiskové tečení (kríp) při zatížení 0.5N	58
obr. 30 Naměřená deformační práce při zatížení 0.5 N.....	58
obr. 31 tisková tvrdost při zatížení 1 N.....	59

obr. 32 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost) při zatížení 1 N	60
obr. 33 Naměřené vtiskové tečení C_{iT} při zatížení 1N	60
obr. 34 Naměřená deformační práce při zatížení 1 N.....	61
obr. 35 Naměřená vtisková tvrdost H_{iT} při zatížení 5 N	61
obr. 36 Naměřený vtiskový modul pružnosti E_{iT} při zatížení 5N	62
obr. 37 Naměřené vtiskové tečení C_{iT} při zatížení 5N	63
obr. 38 Naměřená deformační práce při zatížení 5 N.....	63
obr. 39 Vtisková tvrdost	64
obr. 40 Vtiskový modul pružnosti (mikrotuhost)	65
obr. 41 Vtiskové tečení (mikrokríp)	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Hodnoty zatížení podle Brinella.....	17
Tab. 2 Hodnoty tvrdosti pro kovové materiály.....	19
Tab. 3 Hodnoty zatížení podle Vickerse.....	22
Tab. 4 Zatížení podle Rockwella.....	24
Tab. 5 Zatěžující síla při mikrotvrdosti podle Vickerse.....	34
Tab. 6 Zatěžující síla při tvrdosti podle Knoopu.....	36
Tab. 7 Chemické složení v %.....	52
Tab. 8 Chemické složení v %.....	53
Tab. 9 Chemické složení v %.....	54

SEZNAM PŘÍLOH

CD DP – Bc. Martin Vašínska