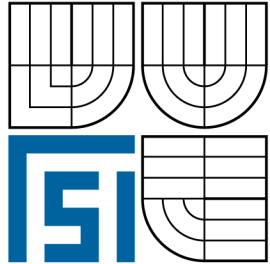


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MĚŘENÍ TVRDOSTI MATERIÁLŮ A ZPRACOVÁNÍ
NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ
MEASURING HARDNESS AND FINAL DATA BASE MANAGEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANTONÍN KOPŘIVA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2009-05-27

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2008/09

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Kopřiva Antonín

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření tvrdosti materiálů a zpracování naměřených výsledků.

v anglickém jazyce:

Measuring hardness and final data base management.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Metody měření tvrdosti. Formáty a archivace naměřených hodnot. Vyhodnocování databází.

Cíle bakalářské práce:

Teoretické a praktické pojednání o metodách měření tvrdosti. Přiblížení problematiky zpracování naměřených dat. Vyvození závěrů ze získaných výsledků.

Seznam odborné literatury:

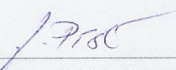
1. KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
2. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

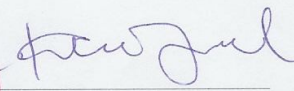
V Brně, dne 20.11.2008 14:51

L.S.



doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: ANTONÍN KOPŘIVA

Bytem: LIPOVEC 283

Narozen/a (datum a místo): 18.9.1986 BRNO

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 616 69 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: MĚŘENÍ TVRDOSTI MATERIÁLŮ A ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH VÝSLEDKŮ

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. MILAN KALIVODA

Ústav: Ústav strojírenské technologie

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

- | | | | |
|--|---|-----------------|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> tištěné formě | – | počet exemplářů | 2 |
| <input checked="" type="checkbox"/> elektronické formě | – | počet exemplářů | 1 |

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 23.4.2009

.....
doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

.....
Autor

ABSTRAKT

Cílem této práce je představení základních zkoušek tvrdosti, se zaměřením na princip vyhodnocování těchto zkoušek. Bude vybráno několik typů druhů materiálu, na kterých budou provedeny vhodné zkoušky tvrdosti.

Klíčová slova

Tvrдост, zkouška tvrdosti, Brinell, Vickers, Rockwell

ABSTRACT

The aim of this thesis is to present basic hardness tests with paying attention to evaluation of these tests. A few kinds of materials will be chosen, on which convenient hardness tests will be realized.

Key words

Hardness, hardness testing, Brinell, Vickers, Rockwell

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPŘIVA, A. *Měření tvrdosti materiálů a zpracování naměřených výsledků..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 34 s., 4 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma měření tvrdosti materiálů a zpracování naměřených výsledků vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Antonín Kopřiva

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a dále Ing. Pavlu Doležalovi za umožnění provedení zkoušek tvrdosti na ÚMVI.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	9
1 VNIKACÍ ZKOUŠKY.....	11
1.1 Zkouška dle Brinella.....	12
1.1.1 Popis zkoušky, něco z historie, princip, schéma.....	12
1.1.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	15
1.2 Zkouška dle Vickerse.....	16
1.2.1 Popis zkoušky, princip, schéma.....	16
1.2.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	17
1.3 Zkouška dle Ludwika.....	17
1.3.1 Popis zkoušky, princip, schéma.....	17
1.3.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	18
1.4 Zkouška dle Rockwella.....	18
1.4.1 Popis zkoušky, princip, schéma.....	18
1.4.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	19
1.5 Zkouška mikrotvrlosti dle Vickerse.....	20
1.5.1 Popis zkoušky, princip, schéma.....	20
1.5.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	20
1.5.3 Příklad využití ve strojírenství.....	21
1.6 Zkouška dle Knoop.....	21
1.6.1 Popis zkoušky, princip, schéma.....	21
1.6.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení.....	22
2 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	22
2.1 Dynamicko-plastické zkoušky tvrdosti.....	23
2.1.1 Stlačenou pružinou.....	23
2.1.2 Porovnávací metoda.....	23
2.1.3 Metoda volným pádem.....	24
2.2 Dynamicko-elastické zkoušky tvrdosti.....	24
2.2.1 Odrazová metoda.....	24
2.2.2 Kyvadlová metoda.....	24
3 VRYPOVÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	25
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	25
4.1 Měření tvrdosti oceli 19 314.....	26
4.1.1 Postup měření tvrdosti oceli dle Rockwella.....	26
4.1.2 Postup měření tvrdosti oceli dle Brinella.....	26
4.1.3 Postup měření tvrdosti oceli dle Vickerse.....	27
4.2 Měření tvrdosti mědi.....	28
4.3 Měření tvrdosti mosazi.....	28
4.4 Měření tvrdosti slitiny hliníku.....	29
4.5 Měření tvrdosti litiny s lupínkovým grafitem.....	29
Závěr.....	31
Seznam použitých zdrojů.....	32
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	33

Seznam příloh	34
---------------------	----

ÚVOD

Tvrdotí se rozumí odolnost povrchu materiálu proti místnímu porušení cizím tělesem (vniku cizího tělesa). Je výslednicí mnoha vlastností zkoumané hmoty, převážně se jedná o vlastnosti elastické, vlastnosti křehkosti a plasticity, fyzikálně – chemické a někdy i jiné . Tvrdot není nijak fyzikálně definována.

Počátky vývoje zkoušek tvrdosti se dají určit jen stěží. Obecně se jako první zkouška považuje vnikací zkouška Réaumurova (1722). Poté zkoušky tvrdosti procházely svým vývojem a na konci 18. století bylo objeveno několik principů vnikacích zkoušek, ale žádná z nich se nijak moc neujala. Všeobecného rozšíření a užívání se dočkaly až zkoušky z přelomu 18. a 19. století, počínaje vnikací zkouškou tvrdosti dle Brinella (1900) a poté ještě několika dalšími zkouškami, přičemž princip těchto zkoušek se až doposud nikterak zvláště nezměnil (viz. obr. 1 a 2). [2]



Obr. 1 Starší přístroj pro měření tvrdosti dle Brinella [5]



Obr. 2 Novější přístroj na měření tvrdosti dle Brinella

Tvrdot je zjišťována za pomoci druhého tělesa, které nazýváme zkušební indentor. Vlastnosti tohoto indentoru musí být natolik kvalitní, abychom během zkoušky mohli vyloučit jeho plastickou deformaci a co nejvíce omezit deformaci elastickou. Proto se obvykle volí indentor s vysokou hodnotou modulu pružnosti (viz. tab.1)

Tab.1 Materiály vhodné k výrobě indentoru [2]

	Tvrdot HV	Modul pružnosti [MPa]
Diamant	9000 – 13000	$1 \cdot 10^6$
Slinuté karbidy	1450 – 1600	$5 \cdot 10^5$
Kalená ocel	Asi 900	$1,85 \cdot 10^5$

Existuje několik pohledů, podle kterých lze zkoušky tvrdosti obecně rozdělit, nejčastější jsou tato rozdělení:

1) Dle způsobu zatěžování materiálu při zkoušce rozdělujeme metody zkoušek tvrdosti:

- a) **Statické** - zkušební těleso (indentor) je vtlačován do zkoušeného povrchu klidnou silou
- nejčastěji prováděné zkoušky z důvodu jednoduchosti a snadné reprodukovatelnosti při dodržení vysoké přesnosti měření
- b) **Dynamické** – indentor proniká do zkoušeného povrchu kolmým rázem (tzv. rázové zkoušky)

2) Dle způsobu porušení materiálu při zkoušce rozdělujeme tyto metody zkoušek tvrdosti

- a) **Plastické** – při zkoušce vzniká na zkoušeném povrchu trvalý (nevratný) otisk
- b) **Elastické** – v průběhu zkoušky nevzniká žádná plastická deformace (vzniká nám pouze deformace elastická)

Tab.2 Základní rozdělení metod zkoušek tvrdosti

Zkoušky makrotvrdoti	Statické	Vrypové	Martensova metoda
		Vnikací	Metody dle Brinella, Rockwella a Vickerse
	Dynamické	Plastické	Poldiho a Baumanovo kladívko
		Elastické	Shoreho skleroskop a duroskop
Zkoušky mikrotvrdoti	Statické	Vnikací	Použití metod dle Vickerse nebo Knoopu při použití malých zátěží

Jednotlivé metody zkoušek (viz. tab.2) budou přiblíženy v následujících kapitolách.

1 VNIKACÍ ZKOUŠKY

Vnikací zkoušky jsou nejčastěji používané zkoušky tvrdosti, jelikož jsou snadno proveditelné a reprodukovatelné, ale taky ze všech metod nejpřesnější. Tvrdost u vnikacích zkoušek je dána velikostí sil, jimiž jsou mezi sebou vázány atomy zkoušeného prvku. Z tohoto potom vyplývá, že svoji roli zde hraje typ chemické atomové vazby.

Hlavní faktory ovlivňující tyto zkoušky jsou: [2]

- a) Plastické vlastnosti zkoušeného materiálu (rychlost zpevňování a mez kluzu)
- b) Tvar krystalových elementů – zde hrají svoji roli chemické vazby
- c) Moduly pružnosti zkoušeného materiálu (v tahu a ve smyku)
- d) Velikost síly působící na zatěžované těleso
- e) Vlastnosti indentoru
- f) Jemnost krystalizace – struktura jemnozrnná disponuje větší tvrdostí než struktura hrubozrnná (z důvodu většího počtu krystalografických rozhraní, které částečně zamezují vzniku plastických deformací)
- g) Teplota – ta se zde uvažuje relativně, a to vzhledem k teplotě tání, která je pro různé kovy rozdílná (kovy s nízkým bodem tání jsou při stejné teplotě měkčí než kovy s vysokým bodem tání) -> s rostoucí teplotou nám klesá pevnost vazeb
- h) Cizí příměsi – obecně příměsi snižují plasticitu kovu, tudíž zvětšují tvrdost kovu
- i) Vnitřní pnutí – měřenou tvrdost nám ovlivňuje také vnitřní pnutí, které nám může vzniknout při tváření za studena, nestabilitou jednotlivých fází a dalších
- j) Doba a rychlost zatěžování a další

Při vnikacích zkouškách vtlačujeme kolmo do hladkého zkoušeného povrchu indentor definovaného tvaru definovanou silou. Musíme mít na paměti, že k získání naměřených hodnot musíme překročit mez pevnosti zkoušeného materiálu. Když se tak stane, vzniknou nám plastické deformace způsobené skluzou v jednotlivých krystalových zrnech. Velikost této deformace je přímo závislá na dvou materiálových vlastnostech a sice výši meze kluzu a rychlosti zpevňování. Lze si tedy všimnout podobnosti se zkouškou pevnosti v tahu, která se ale liší v principu namáhání, které je u zkoušek tvrdosti trojosé a ještě k tomu v některých místech hodně nestabilní.

Při jakémkoli způsobu vyhodnocování zkoušky nám naměřená hodnota zohledňuje dvě vlastnosti kovu, a to odpor proti elastickým deformacím a odpor proti plastickým deformacím, z kterých má většinou převážný poměr odpor proti plastickým deformacím.

Díky požadavkům z praxe se dále rozšířilo několik principů vnikacích zkoušek, rozdílných zejména tvarem a materiálem indentoru, velikostí zatížení a také principem vyhodnocením celé zkoušky.

1.1 Zkouška dle Brinella

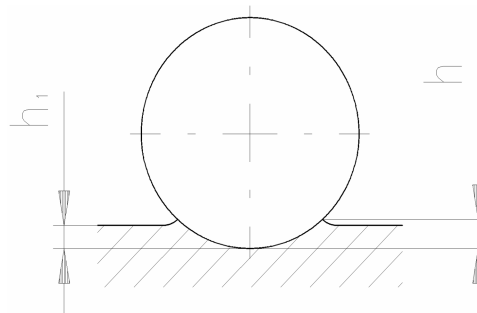
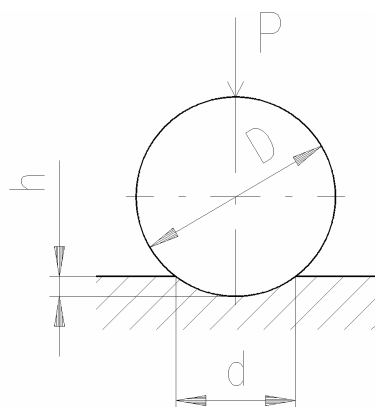
1.1.1 Popis zkoušky, něco z historie, princip, schéma

Podstata Brinellovy metody spočívá v zatlačování leštěné kalené ocelové kuličky, nebo také kuličky z tvrdokovu do zkoušeného povrchu. Tato kulička je vtlačována známým zatížením F a po ukončení zatěžování vznikne vtisk S , jenž má tvar kulové úseče (viz. obr. 1.1). Výsledná tvrdost je potom poměrem zatížení F a plochy vtisku S .

Určení teoretické tvrdosti při Brinellově zkoušce [2]:

$$HB = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

Již u zrodu této metody bylo na výběr dvou principů vyhodnocení a to buď změřením průměru vtisku po odlehčení, nebo rychlejší metody měření hloubky vtisku za použití speciálních tvrdoměrů. Druhá možnost ovšem nemohla být dostatečně přesná (viz. obr. 1.2).



Obr. 1.1 Princip Brinellovy zkoušky [2]

Obr. 1.2 Princip deformace při Brinellově zkoušce [2]

Tvrdoměr při měření hloubky vtisku měřil pouze hloubku vtisku h_1 , ale bylo potřeba změřit celou hloubku h , tedy ještě k naměřené hloubce připočíst hloubku vytlačeného valu. Díky této komplikaci se nakonec dospělo k tomu, že se vytvořila mezinárodní úmluva o tom, že se bude používat pouze princip měření průměru po odlehčení.

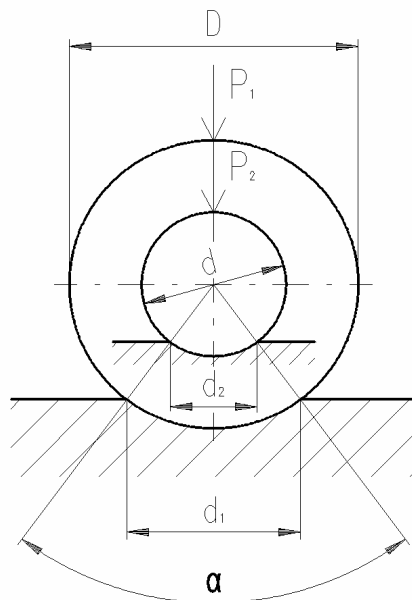
Postupem rozvoje průmyslu a potřeb urychlení výrobních procesů včetně měření tvrdosti výrobků se však měření hloubky vtisku začalo používat. Bylo zavedeno určité předběžné zatížení a vyhodnocení výrobků se posuzovalo dle splnění vymezené tolerance. [2]

Souvislost mezi tvrdostí HB měřenou podle průměru vtisku a zdokonalenou metodou měření hloubky vtisku se dala určit pouze empirickým vztahem a to ještě zvláště pro každý materiál, neboť objem vytlačeného valu se liší dle vlastností zkoušeného materiálu (viz. obr. 1.3).



Obr. 1.3 Rozdílnost valů dle typu materiálu

Z důvodu závislosti tvrdosti na velikosti zatížení se musely začít normovat podmínky zkoušek. První podmínka určila průměr kuličky 10 mm a druhá stanovila zatížení 3000 kp (1 kp = 9,81 N). Průměr vtisku ovšem musí ležet v určitých mezích. Máme-li kov, který je příliš tvrdý, v důsledku převažujícího vlivu elastických deformací vznikne vtisk velice malý s neostrou hranou a vtisk se nedá přesně změřit. Je-li naopak materiál příliš měkký a kulička je zatlačena moc hluboko, vznikne nám vysoký val, jenž zapříčiní značnou nepřesnost zkoušky. Z toho tedy plyne, že pro tvrdé materiály je Brinellova zkouška nevhodná a pro ty měkké je zapotřebí užití menšího zatížení. [2]

Obr. 1.4 Schéma znázorňující nutnost dodržení poměru d/D a zachování úhlu α [2]

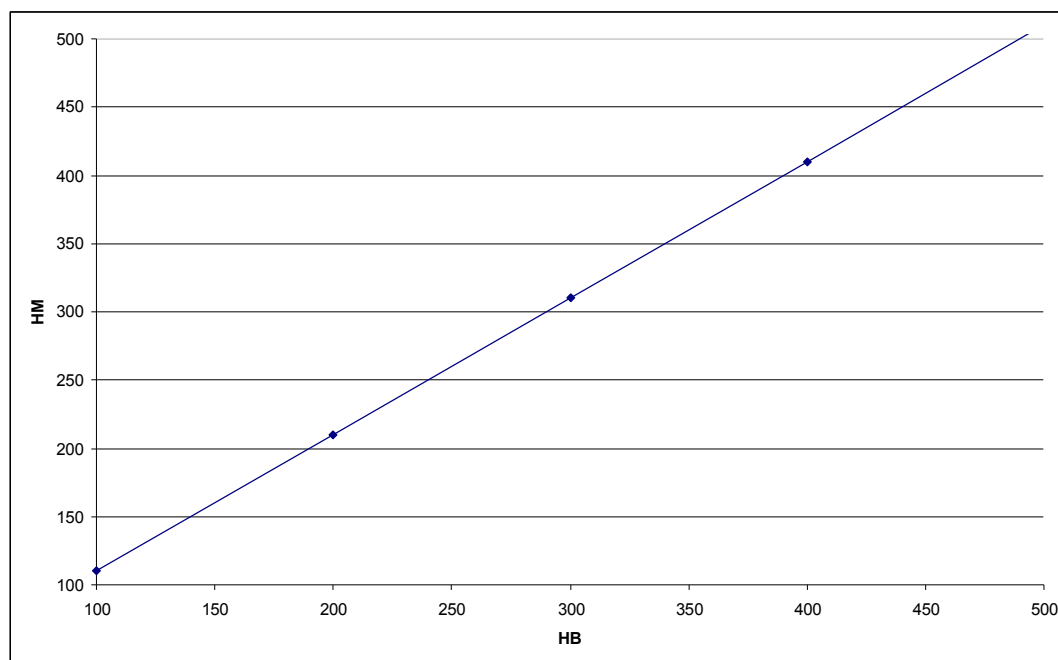
lejší bude vztahovat zatížení na jednotku plochy průmětu vtisku do roviny. Setkáváme se tedy s tzv. Meyerovou tvrdostí [2].

$$HM = \frac{F}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \quad (1.2)$$

Tato tvrdost se dá také lépe teoreticky odůvodnit, je jednodušší a nevyžaduje pro vyhodnocení použití tabulek a přesto se jí v praxi moc nevyužívá. Závislost mezi tvrdostí HB dle Brinella a HM dle Meyera lze spatřit v grafu (viz. obr. 1.5).

Potíž může také nastat při nedostatečných rozměrech zkoušeného vzorku. Pak se musí užit kulička menšího průměru, standardně 5 nebo 2,5 mm, někdy i méně. Volba není nijak extrémně omezena, je ale potřeba dbát na dodržení úhlu α , čehož také plyne nutnost dodržení poměru d/D (viz. obr. 1.4).

Vyhodnocení zkoušky samotným Brinellem se nelíbilo Meyerovi, jenž nepovažoval za dobré vztahovat velikost zatížení na plochu kulové úseče. Domníval se, že



Obr. 1.5 Graf závislosti HB a HM [2]

Přepočítání mezi HM a HB pro střední tvrdosti je určeno rovněž analyticky [2]:

$$HM = HB + 10 \quad (1.3)$$

V poslední době jsou v praxi při měření tvrdosti dle Brinella mikroskopem (viz. obr. 1.6) zjišťovány dva kolmé průměry, jejichž hodnotu poté zprůměrníme a následně výslednou tvrdost HB určíme z tabulek v normách popřípadě vypočteme následujícím vzorcem [4].

$$HB = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.4)$$

Při dobrém přístrojovém vybavení už je tvrdost vypočtena samotným počítačem spojeným s mikroskopem, musíme pouze v programu určit hodnoty dvou průměrů, stanoveného zatížení a času zatížení. Hodnoty tvrdosti se zde pohybují v řádech stovek. Pro přesné měření se doporučuje provést postupně tři vtisky.

1.1.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení



Obr. 1.6 Příklad mikroskopu využívaného k pozorování vtisku u Brinellovi zkoušky tvrdosti

Obecně je Brinellova metoda vhodná pro materiály měkké a středně tvrdé a to z důvodu velkých rozměrů zkušební indenteru (kuličky), tudíž je tato zkouška rovněž vhodná pro materiály lité, heterogenní a také pro měkké slitiny (díky velkému poloměru kuličky mohou změřit více fází najednou).

Jako výhodu lze brát fakt, že za pomoci vysokých zátěžných sil umíme vytvořit vtisk větších rozměrů, který potom lépe změříme a také to, že zde (u Brinellovy zkoušky) nemusí být zcela dodrženy zkušební podmínky. Přístroj není tak citlivý jako přístroje na měření tvrdosti dle Vickerse či Rockwella.

Na druhou stranu se nám použití vysokých sil může jevit jako nevýhoda, zvláště když nechceme poškodit zkoušený předmět. [4]

Příklad obecného značení zkoušky dle Brinella (viz. tab.1.1):

Tab.1.1 Značení zkoušky dle Brinella

Označení tvrdosti	T HBX D / F / t
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	
X – sem se uvede písmeno S, pokud byla použita kulička kalená, nebo písmeno W, pokud byla použita kulička z tvrdokovu	
D – průměr použité kuličky, pokud je použita standardní kulička o průměru 10 mm tak se D neuvádí	
F – zátěžná síla v kilopondech, je-li použita standardní hodnota F=3000 kp, F se rovněž neuvádí	
t – doba zatížení, je-li použita standardní hodnota t=10 – 15 sekund, pak se t neuvádí	

Příklad označení tvrdosti dle Brinella naměřené kuličkou o průměru 5 mm, zátěžnou silou 1000 kp při době zatěžování 8 sekund:

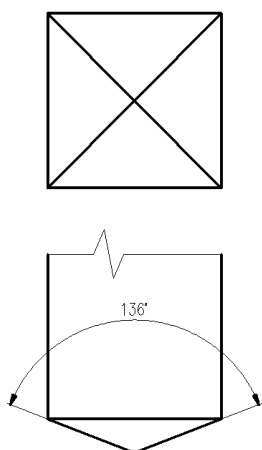
540 HBS 5 / 1000 / 8

Tvrdoměr od firmy Leco používaný ke zkoušce tvrdosti dle Brinella je v příloze 3, 4.

1.2 Zkouška dle Vickerse

1.2.1 Popis zkoušky, princip, schéma

Tato metoda svým principem připomíná zkoušku dle Brinella, přičemž hlavní rozdíl spočívá v rozdílných zkušebních indentorech. Obecně je zkouška dle Vickerse považována za metodu nejpřesnější (vyhodnocujeme ji při velkých zvětšcích). Princip této metody spočívá v zatlačování čtyřbokého diamantového jehlanu (viz. obr. 1.7) s vrcholovým úhlem stěn $\alpha = 136^\circ$, což vede ke vzniku čtyřstěnného vtisku. Tento vtisk ale nebývá čtvercový, nýbrž jeho strany jsou buď vyduuté, nebo vypouklé a to podle toho, jestli materiál zpevňuje, nebo ne. [4]



Obr. 1.7 Indentor užívaný ke zkoušce dle Vickerse

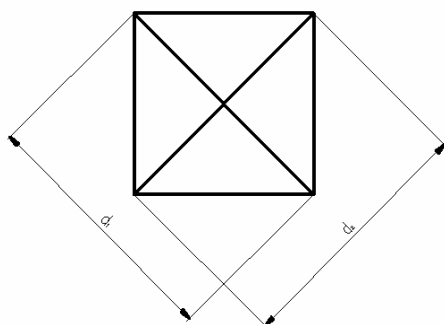
Samotný úhel 136° byl volen z důsledku potřeby co nejmenšího ovlivnění třením při průběhu zkoušky a také proto, aby se při měření materiálů středních tvrdostí naměřená Vickersova tvrdost příliš neodlišovala od tvrdosti Brinellovy.

Po odlehčení měříme na vtisku obě úhlopříčky (viz. obr. 1.8), přičemž pro přesné měření potřebujeme provést až 7 vtisků. Dle naměřených hodnot úhlopříček poté z tabulek určíme hodnotu tvrdosti.

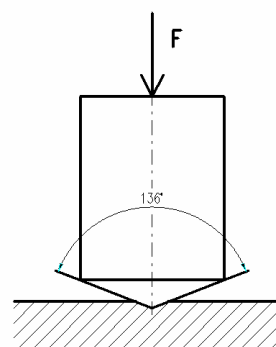
Indentor je vtlačován do zkoušeného předmětu známou silou F (viz. obr. 1.9). Výsledná tvrdost HV má povahu napětí a určí ze vztahu [4]:

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} \cong 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1.5)$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



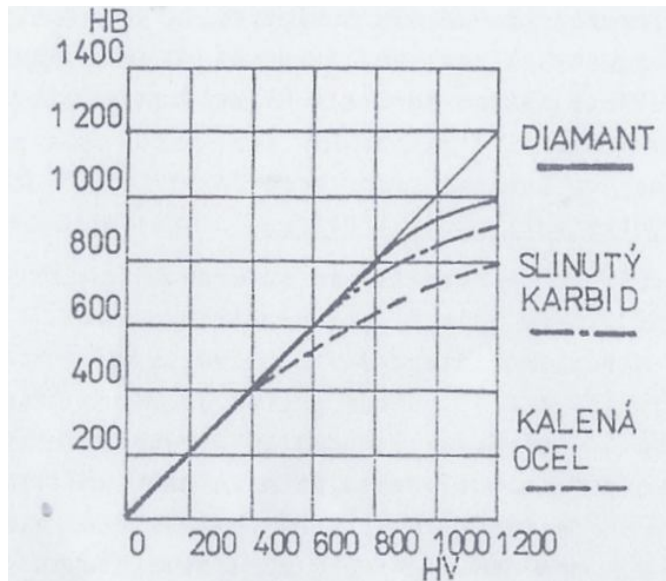
Obr. 1.8 Délky úhlopříček d_1 a d_2



Obr. 1.9 Princip měření tvrdosti dle Vickerse

Mezi Vickersovou a Brinellovou tvrdostí existuje lineární závislost, ale to přibližně jen do hodnoty $HB=400$ (viz. obr. 1.10).

1.2.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení



Obr. 1.10 Závislost mezi Brinellovou a Vickersovou tvrdostí [4]

Tato metoda je vhodná pro velmi tvrdé materiály, které jsou homogenní, dále pak k měření vrstev (nitridační, cementační atd.).

Jedná se o metodu velice přesnou. Nevýhodou u Vickersovy metody je nemožnost využití u litin (mohou zde vznikat staženiny, jež nám ovlivní tvar vtisku).

Příklad obecného značení zkoušky dle Vickerse (viz. tab.1.2):

Tab.1.2 Značení zkoušky dle Vickerse

Označení tvrdosti	T HV F / t
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	
F – zátěžná síla v kilopondech, používané síly se nachází v rozmezí F= 5-100 kp, standardně se používá F=30 kp	
t – doba zatížení, je-li použita standardní hodnota t=10 – 15 sekund, pak se t neuvádí	

Příklad označení tvrdosti dle Vickerse při zátěžné síle 30 kp a době zatěžování 30 sekund:

630 HV 30/30

Tvrdoměr od firmy Leco používaný ke zkoušce tvrdosti dle Vickerse je v příloze 1.

1.3 Zkouška dle Ludwika

1.3.1 Popis zkoušky, princip, schéma

Ke vzniku této metody vedlo hlavně to, že u Brinellovy zkoušky jsou výsledky ovlivněny podmínkami zkoušky. Proto byl tedy Brinellův indentor nahrazen indentorem novým, který měl tvar jehlanu (na jehlanu je jiné rozložení napětí, poměr napětí tangenciálních a normálových je stejný a výsledná tvrdost nám nezávisí na velikosti zatížení). [4]

Samotný indentor má vrcholový úhel 90° a jeho špička je mírně zaoblená, standardně má poloměr zaoblení 0,2 mm.

Nejprve byla u Ludwikovy zkoušky tvrdost zjišťována měřením hloubky vniku indentoru od horní roviny vzorku, později se přešlo ke zjišťování pomocí měření průměru vtisku. Tvrdost je tedy možno určit ze vztahu [4]:

$$HL = 0,9 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1.6)$$

1.3.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení

I přes to, že Ludwik poukázal na to, že použití kuličky není vhodné a jeho metoda s kuželem byla považována za lepší, tak se tato metoda příliš neujala. Ovšem Ludwikova metoda měla pozitivní vliv na rozvoj dalších metod měření tvrdosti. V praxi se s touto zkouškou tvrdosti ale setkáme jen velmi zřídka.

Jak již tedy bylo řečeno, výhody této zkoušky spočívají v tom, že tvrdost zde není závislá na zatížení. Naopak jako nevýhody lze brát to, že při menších vtiscích nám i malý poloměr zaoblení hrotu indentoru ovlivňuje výsledek zkoušky.

1.4 Zkouška dle Rockwella

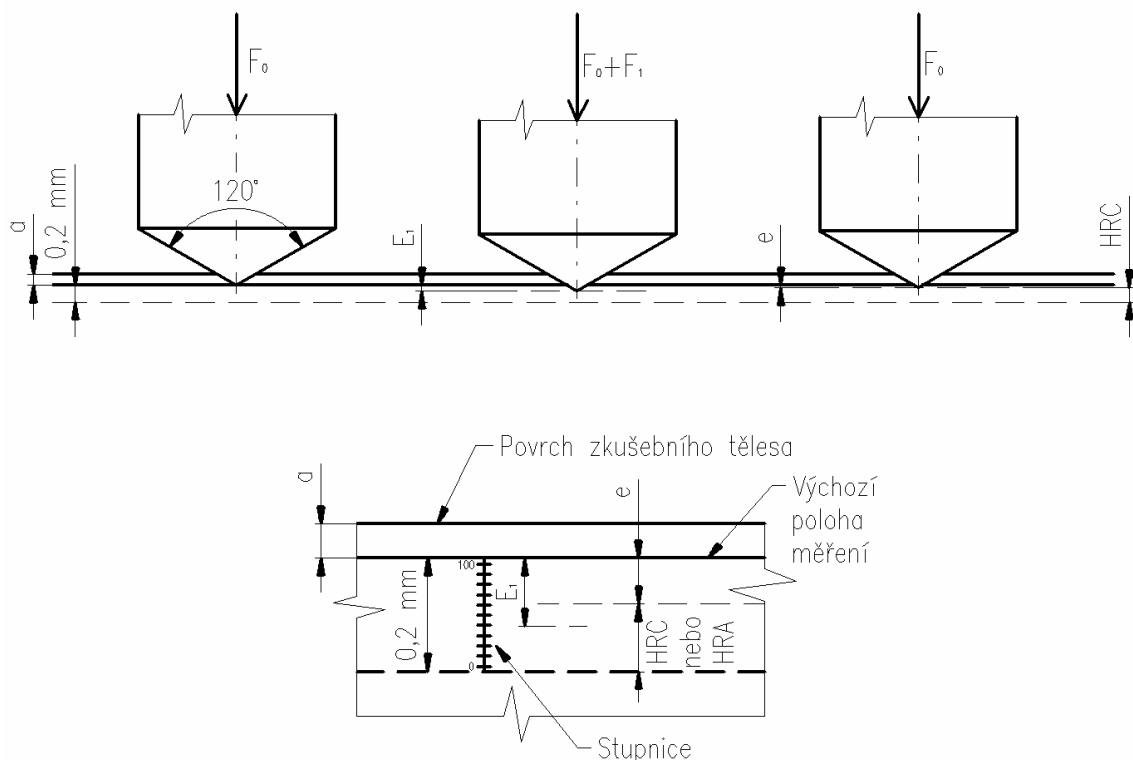
1.4.1 Popis zkoušky, princip, schéma

Tato metoda pochází z USA a je považována za méně přesnou než vnikací metody dle Brinella a Vickerse. K vyhodnocení zkoušky se užívá míra hloubky vtisku, což znamená, že tvrdost již zde nemá povahu napětí.

Původní princip zkoušky (viz. obr. 1.11) spočívá v tom, že zkoušený materiál je zatížen zkušebním indentorem silou F_0 na mez elasticity a vnikne do hloubky a , poté je přidána další síla ($F_0 + F_1$), která zapříčiní vnik hlubší o hloubku E_1 , ta je následně zpět odlehčena na sílu původního zatížení F_0 a vznikne trvalý vtisk o hloubce e . Hodnota tvrdosti je poté určena ze stupnice umístěné přímo na přístroji a nabývá řádu desítek. Stupnice mají dvě barvy – černou při použití diamantového kuželu a červenou při použití ocelové kuličky, přičemž počty dílků pro tyto stupnice se liší (pro diamant má stupnice 100 dílků, u ocelové kuličky potom dílků 130).

V současnosti se princip měření od původního téměř neliší, akorát celé měření dokáže změřit samotný stroj.

Jako zkušební indentor je zde použita buď ocelová kulička (standardně o průměru $d=1,5875$ mm nebo $d=3,175$ mm), nebo diamantový kužel s vrcholovým úhlem $\alpha=120^\circ$. [4]



Obr.1.11 Princip zkoušky dle Rockwella [2]

1.4.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení

Výhody této metody spočívají v tom, že celá zkouška probíhá na jednom přístroji, tudíž se jedná o metodu jednoduchou, rychlou a snadno reprodukovatelnou a v tom, že nepřesnost vtisku už zde nemá vliv na výslednou tvrdost (měříme hloubku vtisku).

Příklad obecného značení zkoušky dle Rockwella (viz. tab.1.3):

Tab.1.3 Značení zkoušky dle Rockwella

Označení tvrdosti	T HRX
Parametry:	
T– naměřená tvrdost	
X- stupnice, u které rozhoduje velikost zatížení, pro kovové kuličky platí stupnice B, E, F, G, H, K, T a pro indentor z diamantu jsou to stupnice A, C, D, N.	

Příklad označení tvrdosti dle Rockwella při použití diamantového indentoru a stupnice zatížení C:

30 HRC

Tvrdoměr od firmy Leco používaný ke zkoušce tvrdosti dle Rockwella je v příloze 2.

1.5 Zkouška mikrotvrlosti dle Vickerse

1.5.1 Popis zkoušky, princip, schéma

Při měření mikrotvrlosti vycházíme z metody Vickersovy, přičemž používaný nástroj je Hanemannův. Využíváme při ní zatížení několikanásobně menší než u zkoušky makrotvrlosti dle Vickerse. Obecně je jako hranice mezi mikrotvrlostí a makrotvrstí uvažována hodnota zatížení $F \approx 20\text{N}$. [4]

Také používaný indentor se nijak zvlášť od indentoru pro Vickersovu makrotvrlost neliší, rozdíl je pouze v jeho velikosti.

Vzhledem k tomu, že výsledná mikrotvrlost je přímo závislá na velikosti zatížení a jakosti povrchu, nemohou být naměřené hodnoty mikrotvrlosti přímo srovnatelné s makrotvrstí dle Vickerse.

Velikost zatížení je zde do značné míry ovlivněna tloušťkou vzorku, a to v rozmezí od 0,00981 N (0,001 kp) do 4,905 N (0,5 kp), přičemž vtisk musí být od okraje vzdálen nejméně 1,5 násobek úhlopříčky a vzdálenost 2 vtisků mezi sebou nejméně 2 násobek úhlopříčky. [4]

Mikrotvrlost dle Vickerse se dá určit početně, nebo ji můžeme určit z tabulek přímo podle délky úhlopříčky l .

Vztah pro určení mikrotvrlosti HV [4]:

$$HV = 1,855 \cdot \frac{F}{l^2} \quad (1.7)$$

Vtisk vzniklý po odlehčení je v řádech μm a měří se přímo na přístroji (princip spočívá v tom, že indentor je upevněn do speciálního objektivu vloženého přímo do metalografického mikroskopu). Nové přístroje dokáží určit hodnoty tvrdosti graficky (dle stupňů šedi).

1.5.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení

Výhodou je možnost měření jednotlivých fází ve vícefázových slitinách. Touto zkouškou dokonce dokážeme určit rozdíl tvrdosti na jednotlivém zrně a na jeho hranici. Menší nevýhodou ale je, že u této metody musíme mít důkladně připravený povrch vzorku.

Příklad obecného značení zkoušky mikrotvrlosti dle Vickerse (viz. tab.1.4):

Tab.1.4 Značení zkoušky mikrotvrlosti dle Vickerse

Označení tvrdosti	T HV F / t
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	
F – zátěžná síla v kilopondech	
t – doba zatížení, je-li použita standardní hodnota $t=10 - 15$ sekund, pak se t neuvádí	

Příklad označení tvrdosti dle Vickerse při zátěžné síle 0,981 N a době zatěžování 30 sekund:

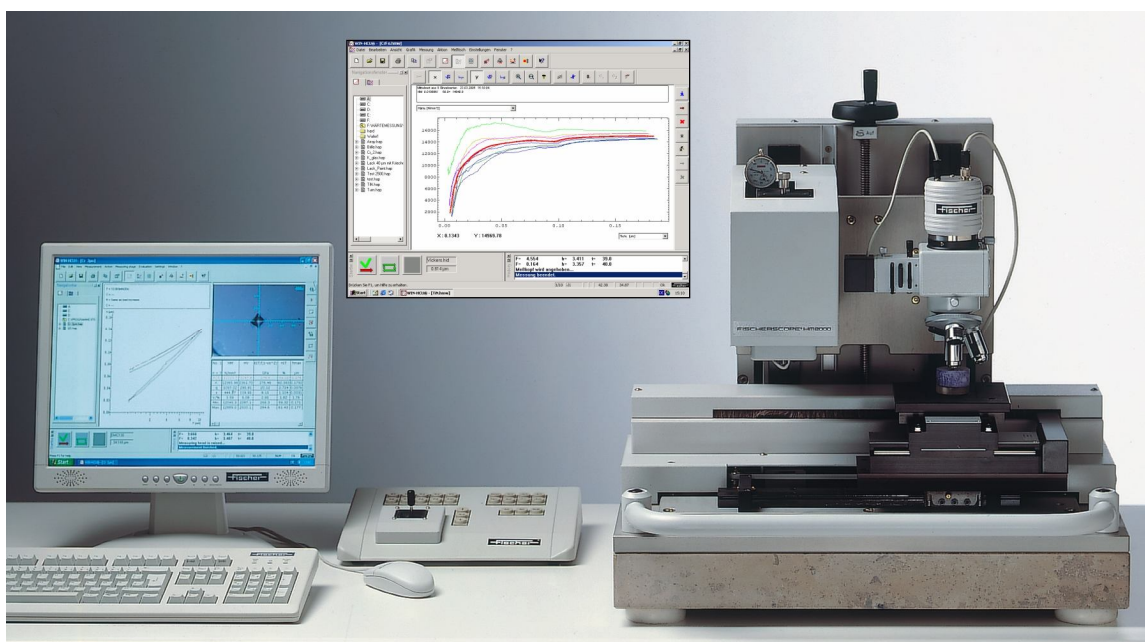
250 HV 0,1/30

1.5.3 Příklad využití ve strojírenství

Jak již bylo řečeno, mikrotvrdot je vhodná k měření různých povrchových vrstev, takže její použití v průmyslu může najít mnohé uplatnění.

Například lze měření mikrotvrdoti využít k měření vlastností povlaků u různých destiček, čímž se ve své knize zabývá doc. Humár. Indentor u tohoto měření nemůže vniknout hlouběji než do 1/8 až 1/10 hloubky povlaku (potřebujeme měřit tvrdost pouze nanesené vrstvy, ne i základního materiálu).

Tvrdot je měřena například na přístroji Fischerscope HM2000 (viz. obr.1.12). Ten dokáže měřit tvrdost povlakové vrstvy v průběhu zatěžování i odlehčování, což nám v důsledku způsobí to, že nedostaneme pouze výsledné číslo tvrdosti, ale ze zatěžovacích a odlehčovacích křivek dokážeme určit i nehomogenitu a vměstky v různých vrstvách povrchu. [1]



Obr. 1.12 Přístroj Fischerscope HM2000 určený k měření mikrotvrdoti [1]

1.6 Zkouška dle Knoop

1.6.1 Popis zkoušky, princip, schéma

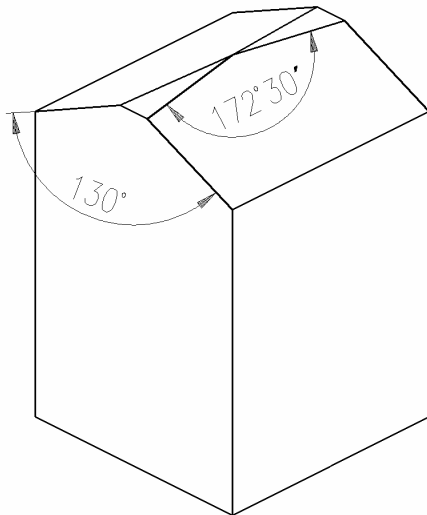
Knoop vychází z principu Vickersovy metody ale je zde použit jiný indentor. Jedná se rovněž o jehlan, který má ovšem rozdílné vrcholové úhly a výsledný vtisk má tedy tvar kosočtverce s poměrem úhlopříček 1:7 (viz. obr. 1.13). [3]

Dalším rozdílem mezi Vickersem a Knoopem je také v tom, že u Knoopu už se neměří délka obou úhlopříček, nýbrž pouze délka té delší úhlopříčky l (viz. obr. 1.14).

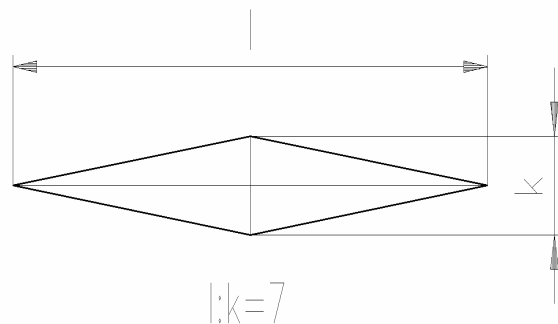
Jelikož byla tato zkouška vyvinuta v Americe, dlouho měla největší zastoupení právě tam, avšak zřídka se už také objevuje na ostatních kontinentech.

Knoopova tvrdost se zde tedy určí ze vztahu [3]:

$$HK = 1,451 \cdot \frac{F}{l^2} \quad (1.7)$$



Obr. 1.13 Indentor na Knoopovu metodu



Obr. 1.14 Měřená délka vtisku l a poměr úhlopříček

1.6.2 Použití, výhody a nevýhody, příklad označení

Jako výhodu lze u Knoopova uvažovat to, že rozdílná délka úhlopříček mění poměry odpružení na nich (většinu odpružení nám pozře kratší úhlopříčka). Dále nám také tvar vtisku umožňuje měření tenkých vzorků (drátů apod.) Tato metoda je navíc vhodná k měření cementačních a nitridačních vrstev.

Standardně volená zatížení (viz. tab.1.5). [3]

Tab.1.5 Označení tvrdosti dle Knoopova při standardně volených zatíženích

Zvolené zatížení [N]	1,962	2,943	4,905	9,81
Označení tvrdosti	HK 0,2	HK 0,3	HK 0,5	HK 1

2 DYNAMICKÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI

Zatížení je u dynamických zkoušek vyvozeno rázem (na rozdíl od zkoušek statických). Tyto zkoušky se dále ještě podle porušení vzorku dělí na:

- Plastické - výsledná tvrdost se určí analýzou vtisku
- Elastické - výsledná tvrdost se určí z elastických vlastností vzorku

Přesnost dynamických zkoušek je obecně považována za nižší než přesnost zkoušek statických. Základní rozdělení dynamických zkoušek (viz. tab.2.1).

Tab.2.1 Rozdělení dynamických zkoušek

Dynamické zkoušky	Plastické	Metody: stlačenou pružinou (Baumannovo kladívko), porovnávací (Poldino kladívko) a metoda volným pádem
	Elastické	Metody: odrazová (Shoreho skleroskop) a kyvadlová (Duroskop)

2.1 Dynamicko-plastické zkoušky tvrdosti

2.1.1 Stlačenou pružinou

Postup u této metody je takový, že na začátku zkoušky je napnutá pružina, ta se poté uvolní a její působení na indentor (kuličku) způsobí vtisk. Tvrdost je zde úměrná velikosti vtisku (průběh vtlačování indentoru do vzorku je konstantní). Tohoto principu využívá například Baumannovo kladívko. [4]

Po odlehčení pružiny a provedení vtisku na Baumannově kladívku určíme tvrdost dle tabulek, jako poměr zatížení a plochy vzorku.

Tato zkouška je vhodná pro použití v průmyslu, zejména třeba u těžkých odlitků. Nevýhodou ale je již výše uvedená menší přesnost zkoušky.

Jako indentor je zde použita ocelová kulička o průměru 10 mm.

Příklad obecného značení zkoušky tvrdosti Baumannovým kladívkem (viz. tab.2.2):

Tab.2.2 Značení zkoušky Baumannovým kladívkem

Označení tvrdosti	T HB BAUMANN
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	

2.1.2 Porovnávací metoda

U porovnávací metody je používáno tzv. Poldiho kladívko, jehož princip je v tom, že úderem kladiva na ně (Poldiho kladívko) nám indentor v kladívku (ocelová kulička průměru 10 mm) vytvoří vtisk jak na zkoušeném vzorku, tak i na etalonu známé tvrdosti HB. Změří se průměry obou vtisků a z empiricky sestavených hodnot v tabulkách určíme výslednou tvrdost. [4]

Použití Poldiho kladívka je téměř totožné s použitím kladívka Baumanna, tudíž například u těžkých odlitků.

Příklad obecného značení zkoušky tvrdosti Poldiho kladívkem (viz. tab.2.3):

Tab.2.3 Značení zkoušky Poldiho kladívkem

Označení tvrdosti	T HB POLDI
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	

2.1.3 Metoda volným pádem

Kulička je u této metody umístěna v beranu, který je puštěn na zkoušený materiál z určité výšky. Výsledná tvrdost se potom určí jako podíl spotřebované práce a objemu vtisku (měrná deformační práce).

2.2 Dynamicko-elastické zkoušky tvrdosti

2.2.1 Odrazová metoda

Odrazovou metodu představil Shore. Využívá se zde volného pádu indentoru (kulovitě zabroušený diamant) z výšky h_1 umístěného v ocelovém válečku na zkoušený materiál (viz. obr. 2.1). Tvrdost se potom určí z výšky odrazu h_2 válečku od plochy zkoušeného vzorku a empiricky sestavených hodnot v normách. [4]

Tvrdoměr (Shoreho skleroskop) má stupnici o 140 dílcích a jeho přesnost není moc velká. Tato metoda se používá jen zřídka, zejména u velmi tvrdých materiálů.

Příklad obecného značení zkoušky tvrdosti Shoreho skleroskopem (viz. tab.2.4):

Tab.2.4 Značení tvrdosti při zkoušce Shoreho skleroskopem

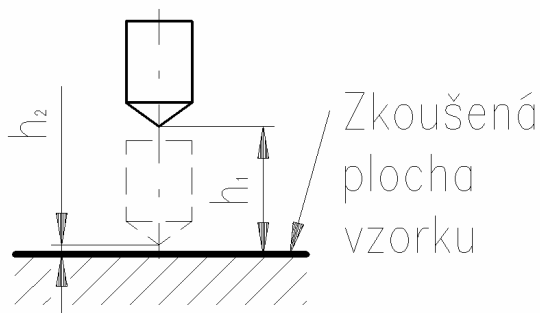
Označení tvrdosti	T HSh
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	

2.2.2 Kyvadlová metoda

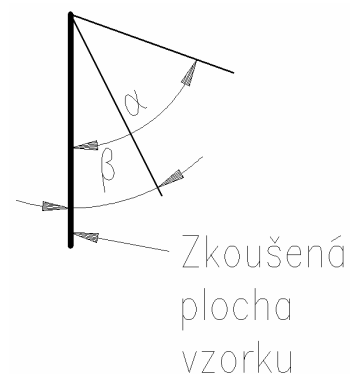
Tato metoda vychází z kladívka upevněného v rámu, které je puštěno vždy ze stejného úhlu α , oběhne po své trajektorii, narazí do vzorku a odrazí se o určitý úhel β (viz. obr. 2.2), který nám zaznamená ručička přímo na přístroji, což znamená, že princip této metody je dost podobný s principem skleroskopu. Samotný tvrdoměr je nazýván duroskop. Jako indentor se u durokopu používá kulička upevněná v kladívku. [4]

Použití durokopu je dosti omezené a jedná se spíše jen o laboratorní měření.

Zápis tvrdosti je shodný jako u odrazové metody.



Obr. 2.1 Princip zkoušky Shoreho skleroskopem



Obr. 2.2 Princip zkoušky durokopem

3 VRYPOVÉ ZKOUŠKY TVRDOSTI

Vrypová zkouška tvrdosti vychází z principu Mohsovy stupnice tvrdosti minerálů (v té jsou seřazeny minerály v tom pořadí, že minerál následující je schopen vytvořit do předchozího vryp). Hodnocení samotných kovů dle této stupnice by ale bylo příliš hrubé, příklad hodnot tvrdostí kovů (viz. tab.3.1). [3]

Tab.3.1 Mohsova tabulka tvrdostí a převod na vybrané kovy [3]

Minerály		Kovy	
Tvrdoštní číslo	Nerost	Tvrdoštní číslo	Materiál
1	Mastek	1,5	Cín
2	Sůl kamenná,	2	Hliník
3	Vápenec	4,5	Čisté železo
4	Fluorit	5	Měkká ocel
5	Apatit	8,5	Tvrdá ocel
6	Živec		
7	Křemen		
8	Topaz		
9	Korund		
10	Diamant		

Princip vrypové zkoušky vymyslel Martens a může mít dvojí způsob vyhodnocení. První spočívá v tom, že po zkoušené ploše pojíždí diamantový kužel s vrcholovým úhlem 90° , který je zatížen různou silou. Na zkoušeném povrchu nám vytvoří vryp. Výslednou tvrdost je zde zjištěna tak, že vytvoříme vryp široký 0,01 mm, mírou tvrdosti je pak velikost zatížení. Druhý způsob spočívá v tom, že mírou tvrdosti je zde šířka vrypu za konstantního zatížení. [3]

Martensova metoda se v praxi používá pouze velmi zřídka, poněvadž není normalizována. Zřídka se s ní můžeme setkat v laboratořích. Jako nevýhodu u této metody lze brát potřebu kvalitně upraveného zkoušeného povrchu.

Tab.3.2 Zápis tvrdosti u vrypové zkoušky

Označení tvrdosti	T HMa
Parametry:	
T – naměřená tvrdost	

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Bylo shromážděno několik vzorků materiálů (viz. tab.4.1), na kterých byly provedeny zkoušky tvrdosti podle toho, která metoda je pro daný materiál vhodná.

Tab.4.1 Seznam sehnanych vzorků a zvolená metoda měření

Materiál vzorku	Zvolená metoda měření
Ocel 19 314	Brinell, Vickers, Rockwell
Slitina hliníku (Al Mg Cu Pb)	Brinell
Měď	Brinell
Mosaz	Brinell
Šedá litina	Brinell

4.1 Měření tvrdosti oceli 19 314

Jelikož nebylo známo, je-li ocel nějak tepelně zpracována, byla nejprve provedena zkouška dle Rockwella, která dokáže v takovém případě napovědět. Naměřené hodnoty byly poté porovnány dle tabulek a bylo zjištěno, že ocel není kalená a tudíž ji můžeme měřit i zkouškou dle Brinella (kdyby byla ocel zakalená, téměř jistě by nám na Brinellově tvrdoměru zdeformovala indentor), a tu jsme také za pomoci moderních přístrojů fakulty ÚMVI provedli. Následně byla provedena i zkouška dle Vickerse, ale to spíše pouze pro názornost. Díky tomu, že je ocel legovaná, byly očekávány různé hodnoty tvrdostí.

4.1.1 Postup měření tvrdost oceli dle Rockwella

Vzorek byl umístěn do přístroje (viz. obr. 4.1) a v souladu s normami byla provedena zkouška tvrdosti. Jako indentor byl vybrán diamantový kužel, velikost zatížení $F=150$ kp (1500 N) a doba zatížení 10 sekund. Byla tedy měřena tvrdost HRC. Byly provedeny celkem tři vtisky a hodnoty tvrdosti byly odečítány přímo na přístroji. Naměřené hodnoty (viz. tab.4.2).

Tab.4.2 Naměřené hodnoty tvrdosti oceli u zkoušky dle Rockwella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	19,4 HRC
2.	19,7 HRC
3.	19,6 HRC

4.1.2 Postup měření tvrdosti oceli dle Brinella

Dle tabulky v normách byl zjištěn příslušný poměr zatížení a průměru kuličky a podle něj příslušný průměr kuličky, velikost a doba zatížení (viz. tab.4.3). Jako indentor byla použita kulička z tvrdokovu. Poté byl přístroj (viz. obr. 4.2) nastaven na požadované hodnoty a byly provedeny tři vtisky (viz. tab.4.4). Po provedení vtisků byl vzorek umístěn na mikroskop propojený s počítačem a pomocí programu Quick view byly změřeny hodnoty dvou kolmých průměrů. Poté byly programu poskytnuty hodnoty velikosti a doby zatížení a výsledná tvrdost byla určena samotným přístrojem (viz. obr. 4.3).

Tab.4.3 Hodnoty poměru, zatížení, průměru kuličky a délky zkoušky.

Materiál	Poměr $0,102F/D^2$	Velikost zatížení	Průměr kuličky	Délka zkoušky
Ocel 19 314(100MnCrW4)	30	7355 N	5 mm	10

Tab.4.4 Naměřené hodnoty tvrdosti oceli u zkoušky dle Brinella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	176 HBW 5/750
2.	176 HBW 5/750
3.	175 HBW 5/750



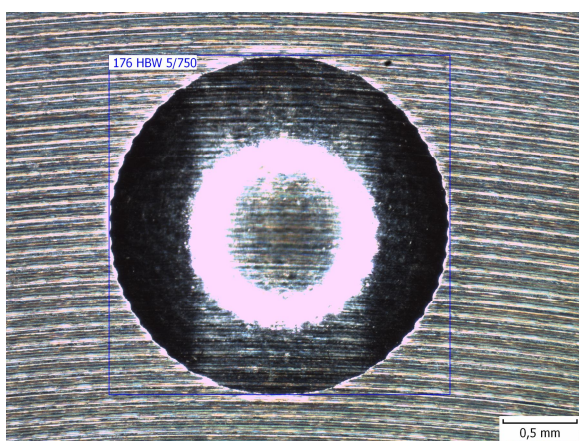
Obr. 4.1 Moderní přístroj na měření tvrdosti dle Rockwella



Obr. 4.2 Moderní přístroj na měření tvrdosti dle Brinella

4.1.3 Postup měření tvrdosti oceli dle Vickerse

U zkoušky oceli Vickersovou metodou se vyšlo z obecných podmínek zkoušky (viz. tab.4.5). Byla použita standardní velikost a doba zatížení. Byly provedeny tři vtisky. Po každém provedení vtisku se přímo na přístroji (viz. obr. 4.4) změřily dvě úhlopříčky a na displeji byla odečtena hodnota tvrdosti. Naměřené tvrdosti (viz. tab.4.6).



Obr. 4.3 Výsledek měření tvrdosti dle Brinella v programu Quick view



Obr. 4.4 Moderní přístroj na měření tvrdosti dle Vickerse

Tab.4.5 Hodnoty zatížení a délky zkoušky.

Materiál	Velikost zatížení	Délka zkoušky
Ocel 19 314	3000 N	10

Tab.4.6 Naměřené hodnoty tvrdosti oceli u zkoušky dle Vickerse

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	242 HV
2.	236,2 HV
3.	244,8 HV

4.2 Měření tvrdosti mědi

U mědi byla zvolena metoda měření dle Brinella. Postup měření byl shodný s postupem měření tvrdosti u oceli. Z norem byly poté odečteny následující údaje poměru, průměru kuličky a velikosti zatížení (viz. tab.4.7). Naměřené hodnoty (viz. tab.4.8). Jeden ze tří změřených vtisků (viz. obr. 4.5).

Tab.4.7 Hodnoty poměru, zatížení, průměru kuličky a délky zkoušky.

Materiál	Poměr $0,102F/D^2$	Velikost zatížení	Průměr kuličky	Délka zkoušky
Měď	10	9807 N	10 mm	10

Tab.4.8 Naměřené hodnoty tvrdosti mědi u zkoušky dle Brinella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	89 HBW 10/1000
2.	90 HBW 10/1000
3.	90 HBW 10/1000

4.3 Měření tvrdosti mosazi

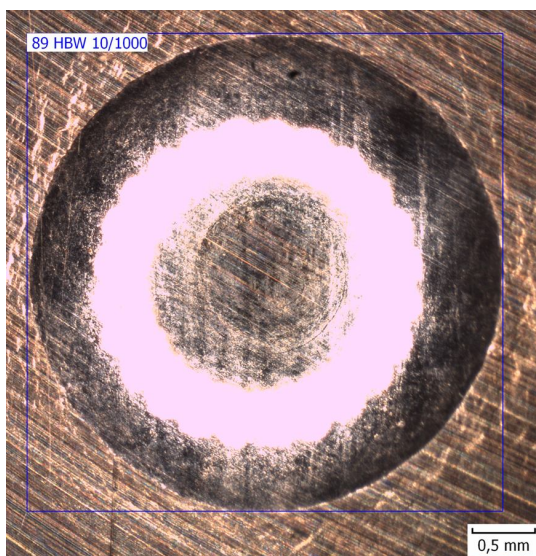
Jelikož je mosaz slitinou mědi (se zinkem), byla opět zvolena metoda Brinellova, podmínky zkoušky (viz. tab.4.9) zvoleny dle norem, naměřené hodnoty (viz. tab.4.10). Výsledný vtisk s hodnotou tvrdosti (viz. obr. 4.6).

Tab.4.9 Hodnoty poměru, zatížení, průměru kuličky a délky zkoušky.

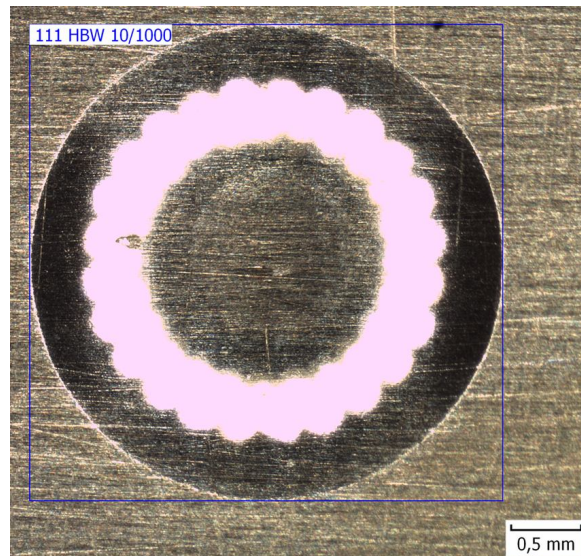
Materiál	Poměr $0,102F/D^2$	Velikost zatížení	Průměr kuličky	Délka zkoušky
Mosaz	10	9807 N	10 mm	10

Tab.4.10 Naměřené hodnoty tvrdosti mosazi u zkoušky dle Brinella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	111 HBW 10/1000
2.	111 HBW 10/1000
3.	110 HBW 10/1000



Obr. 4.5 Výsledek měření tvrdosti mědi dle Brinella v programu Quick view



Obr. 4.6 Výsledek měření tvrdosti mosazi dle Brinella v programu Quick view

4.4 Měření tvrdosti slitiny hliníku

Poněvadž se jedná o slitinu prvků Al Mg Cu a Pb, opět byl zvolen princip měření dle Brinella. Hodnoty parametrů zkoušky (viz. tab.4.11) byly odečteny z normy, naměřené hodnoty (viz. tab.4.12) a příklad výsledného vtisku a naměřené tvrdosti (viz. obr. 4.7).

Tab.4.11 Hodnoty poměru, zatížení, průměru kuličky a délky zkoušky.

Materiál	Poměr $0,102F/D^2$	Velikost zatížení	Průměr kuličky	Délka zkoušky
Slitina Al Mg Cu Pb	10	9807 N	10 mm	10

Tab.4.12 Naměřené hodnoty tvrdosti mosazi u zkoušky dle Brinella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	104 HBW 10/1000
2.	104 HBW 10/1000
3.	104 HBW 10/1000

4.5 Měření tvrdosti litiny s lupínkovým grafitem

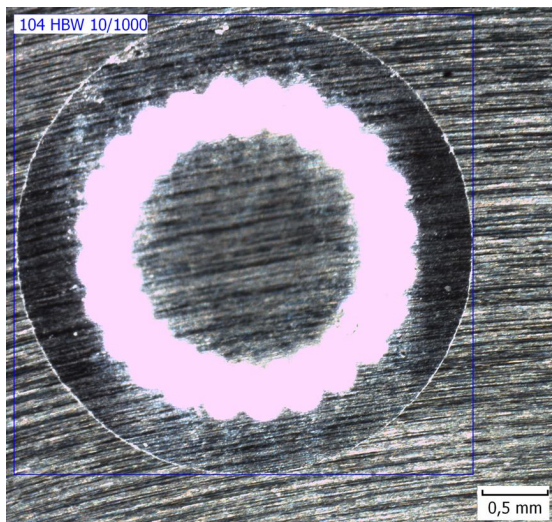
Obecně je známo, že pro měření litiny je vhodná Brinellova metoda, a proto i byla zvolena i v tomto případě. Parametry zkoušky (viz. tab.4.13) byly opět odečteny z příslušných norem, naměřené hodnoty (viz. tab.4.14) a příklad vtisku s hodnotou tvrdosti (viz. obr. 4.8).

Tab.4.13 Hodnoty poměru, zatížení, průměru kuličky a délky zkoušky.

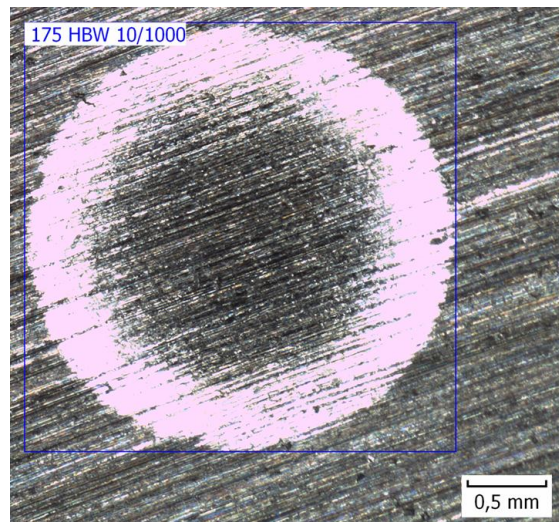
Materiál	Poměr $0,102F/D^2$	Velikost zatížení	Průměr kuličky	Délka zkoušky
LLG("šedá")	10	9807 N	10 mm	10

Tab.4.14 Naměřené hodnoty tvrdosti mosazi u zkoušky dle Brinella

Číslo měření	Naměřená tvrdost
1.	175 HBW 10/1000
2.	176 HBW 10/1000
3.	176 HBW 10/1000



Obr. 4.7 Výsledek měření tvrdosti hliníku dle Brinella v programu Quick view



Obr. 4.8 Výsledek měření tvrdosti šedé litiny dle Brinella v programu Quick view

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se skládá ze dvou témat. V prvním tématu je přiblížení principů základních metod zkoušek tvrdosti z nám dostupných zdrojů a ve druhém je potom část experimentální. Pro experimentální část bylo shromážděno několik různých druhů materiálů, na nichž poté byly provedeny zkoušky tvrdosti dle těchto náležitostí:

- Podle druhu materiálů byla zvolena vhodná metoda měření
- Z norem pro dané zkoušky byly odečteny hodnoty seřízení přístrojů na měření tvrdosti
- Na každém vzorku materiálu byly postupně provedeny 3 vtisky
- Vtisky byly vyhodnoceny a byla získána výsledná hodnota tvrdosti (pokud ji přístroj nedokázal určit sám již v předchozím kroku)

Naměřené tvrdosti byly uvedeny do příslušných tabulek. Výsledky měření odpovídají standardním hodnotám. Vysokými tvrdostmi se prezentovala jak ocel, tak i litina s lupínkovým grafitem. Hodnoty tvrdosti ostatních kovů byly téměř poloviční.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR , Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
2. JAREŠ, Vojtěch. *Základní zkoušky kovů a jejich teorie*. 1. vyd. Praha : Academia, 1966. 229 s.
3. *Materiálový výzkum ATeam* [online]. 2005 [cit. 2009-05-22]. Dostupný z WWW: <www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf>.
4. SKÁLOVÁ, Jana, BENEDIKT, Vladimír, KOVAŘÍK, Rudolf. *Základní zkoušky kovových materiálů*. 2. vyd. Plzeň : Západočeská univerzita, 1995. 175 s. ISBN 80-7082-021-7.
5. *Ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. 2009 [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/laboratore.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
α	$^{\circ}$	Vrcholový úhel stěn
β	$^{\circ}$	Úhel odrazu
d	mm	Průměr vtisku
$d_{1,2}$	mm	Délky úhlopříček
D	mm	Průměr kuličky
E_1	mm	Hloubka vtisku
F	N	Zatížení
F_1	N	Předzatížení na mez elasticity
F_2	N	Přídavná síla
h_1	mm	Výška před puštěním indentoru
h_2	mm	Výška odrazu indentoru
l	mm	Délka úhlopříčky
P	mm^2	Plocha vtisku

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Příklad na měření tvrdosti dle Vickerse z katalogu firmy Leco
Příloha 2 Příklad na měření tvrdosti dle Rockwella z katalogu firmy Leco
Příloha 3 Příklad na měření tvrdosti dle Brinella z katalogu firmy Leco
Příloha 4 Příklad na měření tvrdosti dle Brinella z katalogu firmy Leco

Příloha 1

LV-SERIES

The LV-Series Testing Systems offer you the advantage of testing materials that range from extremely soft to ultra hard. Models feature varying degrees of automation to suit the needs of any materials testing lab.

Video Capabilities (All Models)

Built in video port/video port adapter included.

Automatic Lamp Control (LM700/LV700)

During sample loading, the light automatically shuts off, extending the life of the bulb.

Load Ranges

LM test load ranges from 1 to 2000 gf available in four different configurations. LV test load ranges from 1 to 50 Kgf or 0.3 Kgf to 30 Kgf.

Image Quality (All LM/LV Models)

Field and aperture diaphragms, a centerable light source, and available interchangeable filters provide metallograph quality illumination.

All LM/LV models can be upgraded for various levels of automation with optional accessories such as printing, video measuring, automatic stages, and automatic test and measuring.

Light-Load Brinell Testing (LV700)

The Brinell Hardness Test Parameter comes standard on the CPU with the results (HB) displayed on the easy-to-use touch panel.



LM/LV-Series

All LM/LV models accommodate up to 3 objectives (2.5X to 100X available).

LV700-Series

Refer to the LV-Series Specification Sheet for complete product information and available configurations (form no. 209-094-002).

Příloha 2

Rockwell-Type Testing

LR-SERIES

LR-Series Rockwell-Type Testing Systems are built to handle your high-volume workloads without sacrificing accuracy or repeatability. Choose from a variety of models, including analog, digital, and twin testers. Light-load Brinell and free loads available on LCR-500.

User-Friendly Operation Panel (LCR-500)

Test conditions such as loading speed and conversion scale can be easily set using the durable touch panel. Operator simply raises the test piece to within 8 mm of the indenter and presses START to begin test.

OK/NG Indicators (All Models)

Set your upper and lower limits quickly and easily with the help of convenient OK/NG indicators.

Hardness Conversion

Hardness conversion scales are conveniently displayed on the operation panel for you, in compliance with SAE (J-417b) and ASTM (E-140).

Standard RS-232 Output

Both CENTRONICS and RS-232 output (for computer or printer) come standard.



LCR-500



LR300TD



Automatic Start Loading (LR100/300 Digital Models)

In the AUTO measuring mode, the major load is automatically applied once the minor load has been set. The automatic load application will not start if the minor load range is exceeded. Manual start is also available.

Small Footprint

The compact design of these Rockwell-type testers fits easily into any lab.

Refer to the LCR-500 flyer for complete product information and available configurations (form no. 209-142).

Refer to the LR-Series Specification Sheet for complete product information and available configurations (form no. 209-094-003).

Příloha 3

LECO Brinell Hardness Tester



No more cumbersome heavy weights to handle and no more messy oils!

The Brinell Hardness Tester from LECO uses a load cell for measuring test forces, providing a highly efficient yet low-cost means of Brinell hardness testing. Tough and durable with a neat appearance, it is perfect for laboratory or shop environments with low-to-medium testing requirements. Simple operation combined with high accuracy makes this the tester of choice.

- *Enclosed load cell for applying major loads*
- *Selectable dwell time*
- *User-friendly operational panel*
- *Accurate and fast*
- *Rugged and reliable*

LECO[®]
Delivering the Right Results

Priloha 4

Specifications

Load (kgf)	62.5, 187.5, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, and 3000 kgf
Load Control	Auto (application, holding, removing)
Start Operation	Automatic start
Dwell Time	5 to 60 seconds
LED Display	4-digit kg displayed
Accuracy	Conforms to ASTM-E10
Max. Specimen Height	9.5 in. (240 mm)
Max. Specimen Depth	5.0 in. (130 mm)
Dimensions	9.5 in. W x 21.5 in. D x 30.5 in. H (240 mm W x 550 mm D x 775 mm H)
Weight	375 lb. (170 kg)
Power Supply	115 V~, 60 Hz (U.S.A.); 100-240 V~, 50/60 Hz (Intl)

Standard Accessories

Anvil, Flat (7.9 in./200 mm)
 Anvil, Flat (2.4 in./60 mm)
 Anvil, V (2.4 in./60 mm)
 Hardness Standard
 Ball Indenter (0.4 in./10 mm)
 Spare Fuse
 Power Cord
 Dust Cover
 Instruction Manual
 Hardness Conversion Table
 Accessory Box

Part Numbers

863-585 LECO Brinell Hardness Tester; 110V
 863-592 LECO Brinell Hardness Tester; 220V

V~ denotes VAC.
 Specifications and part numbers may change.
 Consult LECO for latest information.

World Headquarters/United States
 In United States (800) 292-6141
 (269) 985-5496
 Outside U.S.A. (269) 983-8531

International Offices/Subsidiaries
 Africa • LECO Africa (Pty.) Ltd.
 Kempton Park, South Africa
 Ph: 27-11-974-1681 • Fax: 27-11-974-1848

Argentina • LECO Argentina S.A.
 Buenos Aires, Argentina
 Ph: 54-114-523-8077 • Fax: 54-114-523-8873

Australia • LECO Australia Pty. Ltd.
 Castle Hill, NSW, Australia
 Ph: 61-2-9894-5955 • Fax: 61-2-9894-5247

Brazil • LECO Instrumentos Ltda.
 Rio De Janeiro, Brazil
 Ph: 55-212-538-4250 • Fax: 55-212-538-4299

Canada • LECO Instruments Ltd.
 Mississauga, Ontario Canada
 Ph: 905-564-6577 • Fax: 905-564-6582

China • LECO Corp/Beijing Office
 Beijing, China
 Ph: 86-10-6512-8877 • Fax: 86-10-6528-0373

Czech Republic • LECO Instrumente Plzen s.r.o.
 Plzen/Czech Republic
 Ph: 420-37-751-0811 • Fax: 420-37-725-8304

France • LECO France
 GARGES-LES-GONESSE; Cedex, France
 Ph: 33-134-45-4600 • Fax: 33-139-86-4105

Germany • LECO Instrumente GmbH
 Mönchengladbach, Germany
 Ph: 49-2166-687-0 • Fax: 49-2166-687-100

Hong Kong • LECO Instruments Hong Kong Ltd.
 Kowloon, Hong Kong
 Ph: 852-2387-7028 • Fax: 852-2708-4388

Italy • LECO Italy, S.R.L.
 Milan, Italy
 Ph: 39-02-953-43391 • Fax: 39-02-953-43461

Japan • LECO Japan Corporation
 Tokyo, Japan
 Ph: 813 (5782) 7800 • Fax: 813 (5782) 7801

Korea • LECO Korea Co. Ltd.
 Gyeonggi-Do, Korea
 Ph: 82-31-478-2441 • Fax: 82-31-478-2440

Malaysia • LECO Instruments (M) Sdn. Bhd.
 Selangor, D.E. Malaysia
 Ph: 60-3-7805-2100 • Fax: 60-3-7805-2212

Mexico • LECO Mexico S.A. de C.V.
 Monterrey, NL CP 64900 Mexico
 Ph: 52-81-83-49-3927 • Fax: 52-81-83-49-6485

The Netherlands • LECO Europe B.V.
 Geleen, The Netherlands
 Ph: 31-46-4747473 • Fax: 31-46-4747333

Poland • LECO Polska Sp.zo.o
 Katowice, Poland
 Ph: 48-32-2000-760 • Fax: 48-32-2000-536

Russia • Z.A.O. LECO Center Moscow
 Moscow, Russia
 Ph: 7495-710-3818 • Fax: 7495-710-3826

Spain • LECO Instrumentos S.A.
 Madrid, Spain
 Ph: 3491-803-1250 • Fax: 3491-804-0577

Sweden • LECO Corporation Svenska AB
 Upplands Väsby, Sweden
 Ph: 468-594-11000 • Fax: 468-594-11011

Taiwan • LECO Instruments Taiwan Ltd.
 Taipei, Taiwan R.O.C.
 Ph: 886-22-518-4699 • Fax: 886-22-518-4671

Thailand • LECO Instruments (Thailand) Ltd.
 Bangkok, Thailand
 Ph: 66-2-886-4350 • Fax: 66-2-886-4351

United Kingdom • LECO Instruments (U.K.) Ltd.
 Stockport, Cheshire, England
 Ph: 44-161-487-5900 • Fax: 44-161-456-0969

Venezuela • Instrumentos LECO Venezuela, C.A.
 Puerto Ordaz, Edo. Bolivar, Venezuela
 Ph: 58-286-994-4835 • Fax: 58-286-994-1570

Vietnam • LECO (Vietnam) Co., Ltd.
 Ho Chi Minh City, Vietnam
 Ph: 848-829-8979 • Fax: 848-829-8978

3000 Lakeview Avenue • St. Joseph, MI 49085 • Phone: 800-292-6141 • Fax: 269-982-8977
 info@leco.com • www.leco.com • ISO-9001:2000 • No. FM 24045 • LECO is a registered trademark of LECO Corporation.

LECO
 Delivering the Right Results