

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 NA ROTAČNÍCH SOUČÁSTECH

MEASURING OF HARDNESS OF ROTARY PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSALV MUZIKANT

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2009

ABSTRAKT

První část této práce se zabývá teoretickým rozbohem základních metod měření tvrdosti. Druhá část popisuje problematiku měření tvrdosti na rotačních součástech a to zejména přípravu měřené plochy a ustavení těchto součástí. V závěru práce jsou uvedené praktické příklady měření.

Klíčová slova

Měření, tvrdost, rotační plocha, tepelné zpracování, materiál

ABSTRACT

The first part of this thesis deals with theoretical analyses of primary hardness measuring method. The second part describes issues of hardness measuring on rotary components, especially preparation of measured surface and establishing of these components. In the end of the thesis, there are practical examples of measuring.

Key words

Measurement, hardness, rotary part, heat treatment, material

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MUZIKANT, M. *Měření tvrdosti na rotačních součástech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 29 s., 5 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

Prohlášení

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

Datum

.....

Miroslav Muzikant

Poděkování

Děkuji tímto "Ing. Milanu Kalivodovi", firmě CZECHmetal a Ing. Josefu Kryglovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prohlášení	5
Poděkování	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH METOD MĚŘENÍ TVRDOSTI.....	9
1.1 Zkoušky makrotvrlosti staticko- plastické vnikací.....	9
1.1.1 Metoda Brinell.....	9
1.1.2 Metoda Vickers	11
1.1.3 Metoda Rockwell.....	13
1.2 Zkoušky makrotvrlosti staticko- plastické vrypové	15
1.3 Zkoušky makrotvrlosti dynamicko-plastické	16
1.3.1 Poldi kladívko.....	16
1.3.2 Baumannovo kladívko.....	16
1.4 Zkoušky makrotvrlosti dynamicko-elastické	17
1.4.1 Shoreho skleroskop	17
1.4.2 Durooskop	18
2 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ TVRDOSTI ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ.....	18
2.1 Volba měřené plochy	18
2.2 Úprava ploch pro měření.....	19
2.3 Ustavení součástí	20
3 PŘÍKLADY MĚŘENÍ TVRDOSTI V PRAXI	21
3.1 Měření tvrdosti osazeného šroubu.....	21
3.2 Měření tvrdosti části lisovací formy	22
3.3 Měření tvrdosti ozubeného kola	23
3.4 Měření tvrdosti čepu	24
3.5 Měření tvrdosti trubky	25
Závěr	26
Seznam použitých zdrojů	27
Seznam použitých zkratek a symbolů	28
Seznam příloh	29

ÚVOD

Zkoušky tvrdosti patří mezi nejstarší a nejrozšířenější metody zkoušení vlastností materiálů. Jeden z prvních způsobů zkoušení tvrdosti použil v roce 1722 A.F.de Reamur. Jeho metoda spočívala v určování hodnoty tvrdosti podle polohy vrypu způsobeného zkoušeným vzorkem na tyči s proměnnou tvrdostí. Další způsob byl vynalezen v roce 1822 německým geologem F. Mohsem. Tato metoda je založena na porovnávání tvrdosti deseti minerálů seřazených do tzv. Mohsovy stupnice. Další metodu navrhl E. Kirsch v roce 1891. Princip této zkoušky spočíval v zatlačování válcového zkušebního tělesa zvětšující se silou až do okamžiku, kdy se objevil první trvalý vtisk. Tvrdost byla dána mírou tlakového napětí potřebného k vytvoření vrypu. Ve dvacátém století se metody měření tvrdosti vyvinuly do současné podoby a nejpoužívanější z nich jsou metody podle Brinella, Vickerse a Rockwella.

Tvrdost je definována jako odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa². Na této definici je založena většina dnešních měřicích přístrojů. Podle hodnoty tvrdosti lze určit další mechanické vlastnosti materiálu, například pevnost v tahu nebo mez kluzu. Tvrdost je velmi významnou mechanickou veličinou, zejména pro kovové materiály.

Tvrdost určujeme pomocí zkoušek tvrdosti. Tyto zkoušky patří mezi zkoušky nedestruktivní, nedochází zde k porušení nebo deformaci zkoušeného vzorku. Na povrchu zůstávají pouze malé vtisky (vrypy) od vnikacího tělesa. Výhodou těchto zkoušek je jejich jednoduchost a rychlost provedení. Tvrdost jako takovou nelze vyjádřit jednoduchou fyzikální veličinou, proto se u ní neuvádí jednotky.

1 PŘEHLED ZÁKLADNÍCH METOD MĚŘENÍ TVRDOSTI

1.1 Zkoušky makrotvrlosti staticko- plastické vnikací

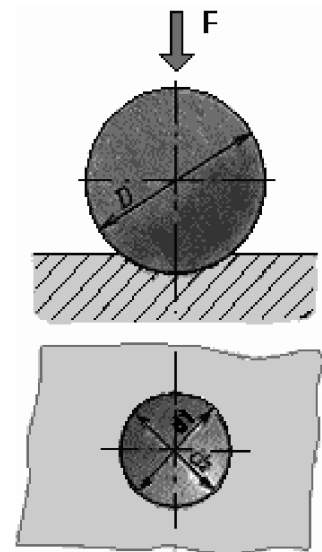
1.1.1 Metoda Brinell

Zkouška podle Brinella se používá zejména pro stanovení tvrdosti nehomogenních či hrubozrnných materiálů, u kterých nelze použít pro vtisk diamantový hrot. Velmi často se používá pro určení tvrdosti odlitků po normalizačním žíhání, nebo také neželezných kovů. Tvrdoměry disponují zatížením 15-3000 kg. Základní modely stolních tvrdoměrů nemají optiku pro následný odečet průměrů vtisku, který je nutno realizovat běžným přenosným mikroskopem se zvětšením 20x nebo 40x.

Princip metody spočívá ve vtláčování ocelové kuličky průměru D do zkušební tělesa působením síly F , směřující kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu a změření průměru vtisku d po odlehčení zatížení. Tvrdot podle Brinella je definována jako poměr působícího zatížení F k ploše povrchu kulového vtisku A dle vztahu 1.1.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.1)$$

HB	tvrdost podle Brinella
F	zatěžující síla
D	průměr zkušební kuličky
d	aritmetický průměr úhlopříček vtisku



Obr. 1.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella⁸

Zkoušený předmět musí být rovný a hladký, nejlépe broušený. Kuličky se používají s průměrem 10, 5, 2,5, 2 a 1 mm (tab. 1.1). Zatížení musí působit bez rázů. U slitin železa 10 až 15 s. Vzhledem k tomu, že plocha vtisku není přímo úměrná zatížení, je tvrdost podle Brinella na tomto zatížení závislá.

Tab. 1.1 Zkušební zatížení pro zkoušku podle Brinella⁹

Symbol tvrdosti	Průměr kuličky D [mm]	$\frac{0,102 \cdot F}{D^2}$	Zkušební zatížení F [N]
HBS (HBW) 10/3000	10	30	29,24 · 103
HBS (HBW) 10/1500		15	14,71 · 103
HBS (HBW) 10/1000		10	9,807 · 103
HBS (HBW) 10/500		5	4,903 · 103
HBS (HBW) 10/250		2,5	2,452 · 103
HBS (HBW) 10/125		1,25	1,226 · 103
HBS (HBW) 10/100		1	980,7
HBS (HBW) 5/750	5	30	7,355 · 103
HBS (HBW) 5/250		10	2,452 · 103
HBS (HBW) 5/125		5	1,226 · 103
HBS (HBW) 5/62,5		2,5	612,9
HBS (HBW) 5/31,25		1,25	306,5
HBS (HBW) 5/25		1	245,2
HBS (HBW) 2,5/187,5	2,5	30	1,839 · 103
HBS (HBW) 2,5/62,5		10	612,9
HBS (HBW) 2,5/31,25		5	306,5
HBS (HBW) 2,5/15,625		2,5	153,2
HBS (HBW) 2,5/7,8125		1,25	76,61
HBS (HBW) 2,5/6,25		1	61,29
HBS (HBW) 2/120	2	30	1,177 · 103
HBS (HBW) 2/40		10	392,3
HBS (HBW) 2/20		5	196,1
HBS (HBW) 2/10		2,5	98,07
HBS (HBW) 2/5		1,25	49,03
HBS (HBW) 2/4		1	39,23
HBS (HBW) 1/30	1	30	294,2
HBS (HBW) 1/10		10	98,07
HBS (HBW) 1/5		5	49,03
HBS (HBW) 1/2,5		2,5	24,52
HBS (HBW) 1/1,25		1,25	12,26
HBS (HBW) 1/1		1	9,807

Tvrdotost podle Brinella je značena dvěma způsoby:

- **HBS** v případě použití kuličky z oceli,
- **HBW** v případě použití kuličky z tvrdokovu (karbid wolframu).

Ocelová kulička je používána pro materiály s tvrdostí do 350, kulička z tvrdokovu pro materiály až do tvrdosti 650 dle Brinella.

Před symboly **HBS** nebo **HBW** je uvedena hodnota tvrdosti za touto hodnotou se neuvádí jednotky, ale charakteristické podmínky zkoušky

- průměr použité kuličky D v [mm],
- velikost zkušebního zatížení m v [kg],
- doba působení zkušebního zatížení v [s]; neuvádí se, pokud je doba zatížení podle normy v rozsahu $10 \div 15$ s.

Příklad značení včetně legendy:

300 HBS 5/250/20

300	hodnota tvrdosti
HBS	tvrdost měřená ocelovou kuličkou podle Brinella
5	průměr použité kuličky
250	velikost zkušební zatížení
20	doba zatížení

1.1.2 Metoda Vickers

Zkouška podle Vickerse je univerzální, používá se jak pro měření měkkých materiálů tak i kalených. Odstraňuje nevýhody měření podle Brinella i Rockwella. Podle použitého zkušebního zatížení se metoda dělí na 3 typy (tab. 1.2)

Tab. 1.2 Druhy měření podle Vickerse⁹

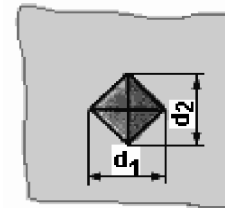
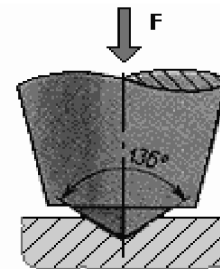
Označení	Symbol tvrdosti	Zkušební zatížení F [N]
Zkouška tvrdosti podle Vickerse	HV 5 \div HV 100	49,03 \div 980,7
Zkouška tvrdosti podle Vickerse při nízkém zatížení	HV 0,2 \div < HV 5	1,961 \div < 49,07
Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse	< HV 0,2	< 1,961

Princip metody spočívá ve vtláčování diamantového, pravidelného čtyřbokého jehlanu s vrcholovým úhlem mezi protilehlými stěnami 136° (obr. 1.2), do zkušebního tělesa silou F , působící kolmo k povrchu tělesa po stanovenou dobu a změření úhlopříček vtisku po odlehčení.

Tvrdost podle Vickerse HV (vztah 1.2) je definována jako poměr působícího zatížení F k ploše vtisku. Zatížení musí působit bez rázů po dobu 10-15 s. Tvrdost u této metody nezávisí na použitém zatížení. Měření vtisku se provádí změřením délky obou úhlopříček a pro výpočet tvrdosti se použije jejich aritmetický průměr. Při zkoušce musí být použito některé z daných zkušebních zatížení (tab. 1.3)

$$HV = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F \cdot \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 0,180 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1.2)$$

HV tvrdost podle Vickerse
 F zatěžující síla
 d aritmetický průměr
 úhlopříček vtisku



Obr. 1.2 Zkouška tvrdosti podle Vickerse⁹

Tab. 1.3 Zkušební zatížení při zkoušce podle Vickerse⁹

Zkouška tvrdosti		Zkouška tvrdosti při malém zatížení	
Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkušebního zatížení F [N]	Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkušebního zatížení F [N]
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903
HV 30	294,2	HV 1	9,807
HV 50	490,3	HV 2	19,61
HV 100	980,7	HV 3	29,42

V praxi jsou také používány zkoušky mikrotvrdosti a to zejména tam, kde je nutné měřit velice malé těleso, tenkou vrstvu anebo přímo tvrdost jednotlivých metalografických zrn. Použité zkušební zatížení je velice malé, aby nedošlo k poškození zkoušeného tělesa (tab. 1.4) Jako vnikací těleso je opět použit čtyřboký jehlan (obr. 1.2)

Tab. 1.4 Doporučené zkušební zatížení při zkoušce mikrotvrdosti⁹

Symbol tvrdosti	Nominální hodnota zkušebního zatížení F [N]
HV 0,01	0,09807
HV 0,015	0,1471
HV 0,02	0,1961
HV 0,025	0,2452
HV 0,05	0,4903
HV 0,1	0,9807

Tvrдость podle Vickerse se označuje symbolem **HV** za velikostí hodnoty tvrdosti. Dále následují charakteristické vlastnosti zkoušky.

- velikost zkušebního zatížení m v [kg],
- doba působení zkušebního zatížení v [s]; pokud je v rozmezí 10 až 15 s, tak se neuvádí.

Příklad značení včetně legendy:

550 HV 5

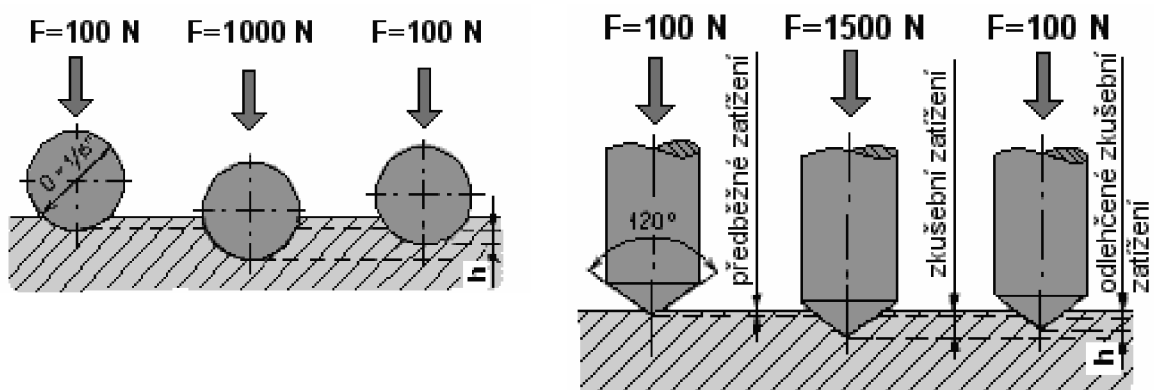
550
HV
5

hodnota tvrdosti
tvrđost měřená podle Vickerse
velikost zkušebního zatížení

1.1.3 Metoda Rockwell

Zkouška podle Rockwela se používá zejména pro měření povrchové tvrdosti tepelně zpracovaných vzorků. Tvrđoměry disponují stupnicí Rockwell standard 60-150 kg, případně Rockwell superficial 15-45 kg pro měření tloušťky vrstev až 0,2 mm.

Princip metody spočívá ve vlačování vnikacího tělesa s diamantovým kuželem nebo ocelovou kuličkou do povrchu zkušebního tělesa postupně na dvakrát a ve změření trvalého zvětšení hloubky vniknutí tohoto vnikacího tělesa (obr. 1.3). Tvrđost podle Rockwella HR je tvrđost vyjádřená rozdílem mezi smluvní hloubkou vnikání a hloubkou vniknutí vnikacího tělesa působením přídavného zatížení při odlehčení na předběžné zatížení¹.



Obr. 1.3 Zkouška tvrđosti podle Rockwella (HRB, HRC)⁸

Vnikací tělesa se používají dvojí. Buď diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120°, přičemž vrchol je zaoblen s poloměrem zakřivení $r = 0,2$ mm, nebo ocelová kulička průměru $1/16''$, tj. cca 1,59 mm. V některých případech se mohou používat kuličky s průměrem větším ($1/8''$, $1/4''$ a $1/2''$). Zatížení se při zkoušce tvrđosti podle Rockwella používá dvojí. Předběžné zatížení F_0 (slouží zejména k vyloučení chyb vzniklých nerovností povrchu) a přídavné zatížení F_1 . Hodnoty F_0 a F_1 jsou uvedeny v tab. 1.5

Doba působení zatěžující síly vyplývá z postupu zkoušky. Nejdříve se zatíží předběžným zatížením F_0 . Stupnice hloubkoměru se nastaví na počáteční polohu a bez rázů se během 2-8 s zatíží přídatným zatížením F_1 . V případě, že 2 s po prudkém zpomalení ručičky hloubkoměru nepokračuje plastická deformace dále, je odlehčeno přídatné zatížení F_1 a odečtena tvrdost HB. Jestliže plastická deformace dále pokračuje, je možné podle dohody odlehčit přídatné zatížení v případě měření na stupnici C po 5-6 s a na stupnici B po 6-8 s po prudkém zpomalení ručičky hloubkoměru.

Tab. 1.5 stupnice a rozsah použití metoda Rockwell⁹

Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Typ vnikajícího tělesa (průměr [mm])	Předběžné zatížení F_0 [N]	Přídatné zatížení F_1 [N]	Celkové zatížení F [N]	Oblast použití
A	HRA	diamantový kužel	98,07	490,3	588,4	20 – 88
B	HRB	ocelová kulička (1,5875)		882,6	980,7	20 – 100
C	HRC	diamantový kužel		1373	1471	20 – 70
D	HRD	diamantový kužel		882,6	980,7	40 – 77
E	HRE	ocelová kulička (3,175)		882,6	980,7	70 – 100
F	HRF	ocelová kulička (1,5875)		490,3	588,4	60 – 100
G	HRG	ocelová kulička (1,5875)		1373	1471	30 – 94
H	HRH	ocelová kulička (3,175)		490,3	588,4	80 – 100
K	HRK	ocelová kulička (3,175)		1373	1471	40 – 100
15 N	HR 15 N	diamantový kužel		29,42	117,7	147,1
30 N	HR 30 N	diamantový kužel	264,8		294,2	42 – 86
45 N	HR 45 N	diamantový kužel	441,3		441,3	20 – 77
15 T	HR 15 T	ocelová kulička (1,5875)	117,7		147,1	67 – 93
30 T	HR 30 T	ocelová kulička (1,5875)	264,8		294,2	29 – 82
45 T	HR 45 T	ocelová kulička (1,5875)	411,9		441,3	1 - 72

Před označujícím symbolem tvrdosti podle Rockwella **HR** se uvádí hodnota tvrdosti. Za symbolem následuje doplňková značka použité stupnice (**A, B, C, D, E, F, G, H, K**). V praxi se používají především měření **HRA, HRB** a **HRC**.

U stupnic **N** a **T** se tvrdost podle Rockwella také značí symbolem **HR** za hodnotou tvrdosti. Je ovšem doplněna velikostí celkového zkušebního zatížení **m** v [kg] a značkou stupnice. Stupnice **N** a **T** se používají pro měření povrchové tvrdosti

Příklad značení včetně legendy:

56 HRC

56	hodnota tvrdosti
HR	tvrdost měřená metodou Rockwell
C	použitá stupnice

1.2 Zkoušky makrotvrdosti staticko- plastické vrypové

Vrypové zkoušky se obecně používají pro velice tvrdé a křehké materiály (karbidy, porcelán, sklo). Jejich nevýhodou je poměrně malá přesnost měření z tohoto důvodu se v praxi používají jen zřídka.

Tyto zkoušky vychází z **Mohsovy stupnice pro zkoušení minerálů**. V této stupnici je seřazeno 10 nerostů, z nichž každý následující je schopen vyrýt do všech předcházejících vryp¹. Na tomto principu jsou také založeny vrypové zkoušky.

Tab. 1.5 Tabulka tvrdosti¹⁰

Nerost	Mohsova stupnice tvrdosti	Tvrdost podle Vickerse HV	Tvrdost podle Brinella HB
Mastek	1	2,4	2,3
Sůl Kamenná	2	36	34
Kalcit	3	109	105
Fluorit	4	189	180
Apatit	5	536	510
Živec	6	795	760
Křemen	7	1120	1060
Topaz	8	1427	1360
Korund	9	2060	1960
Diamant	10	10060	9560

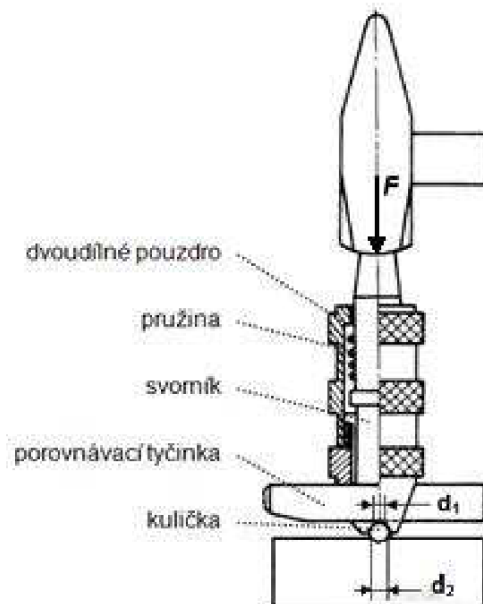
Přesnost stupnice tvrdosti je velice malá, u kovových materiálů se proto vychází ze šířky vrypu diamantového hrotu. Tato zkouška je prováděna na přístroji, který zavedl Martens. Mírou tvrdosti je tedy potřebné zatížení (síla)

k vytvoření vrypu o šířce 0,1 mm ovšem i tato metoda není příliš přesná, proto se tyto zkoušky v technické praxi používají jen zřídka.

1.3 Zkoušky makrotvrdosti dynamicko-plastické

1.3.1 Poldi kladívko

Výhodou této metody je její snadné a rychlé provedení, použití přímo ve výrobě a to hlavně u velkých konstrukcí. Naměřené hodnoty tvrdosti jsou spíše orientační.



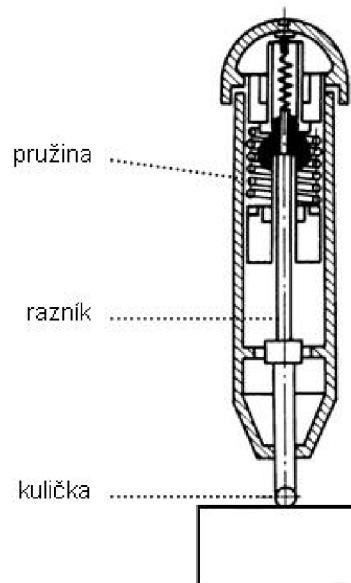
Obr. 1.4 Schéma kladívka Poldi⁶

Princip této metody je založen na porovnávání vtisku na tyčince se známou hodnotou tvrdosti (etalonu) a zkoušeným materiálem. Po úderu kladivem se vnikací těleso otiskne jak na měřené těleso, tak na etalon. Vtisky se změří a tvrdost se vyhodnotí podle tabulek.

Tvrdot měřená pomocí Poldi kladívka se značí symbolem **HB Poldi** za hodnotou tvrdosti.

1.3.2 Baumannovo kladívko

Tato metoda je založena na podobném principu jako Poldi kladívko. Jedná se také o snadný a rychlý způsob měření ve výrobě. Baumannovo kladívko ovšem dosahuje menších přesností než kladívko Poldi.

Obr. 1.5 Schéma Baumannova kladívka⁶

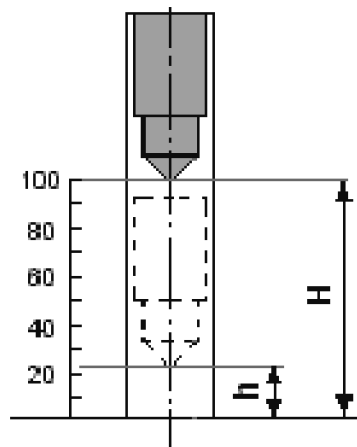
V tomto případě není nositelem energie kladivo jako u metody Poldi, ale pružina umístěná v zařízení. Po jejím odjištění narazí razník na vnikací těleso, které způsobí na povrchu měřeného tělesa otisk, který je změřen a vyhodnocen podle tabulek.

Tvrdot naměřená pomocí Baumannova kladívka se značí symbolem **HB Baumann** za hodnotou tvrdosti.

1.4 Zkoušky makrotvrdoti dynamicko-elastické

1.4.1 Shoreho skleroskop

Tato metoda je používána pro měření zejména plastů, pryže nebo pro velké výrobky a konstrukce. Výhodou je, že po vykonání zkoušky není na zkoušeném tělese žádný otisk, ovšem naměřená hodnota tvrdosti je jen orientační.

Obr. 1.6 Schéma Shoreho skleroskopu⁸

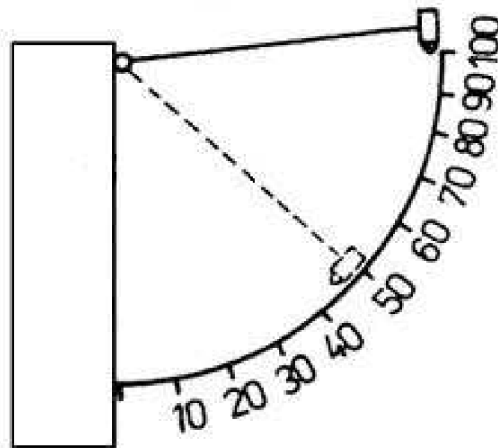
Touto metodou se zjišťuje tvrdost z velikosti odskoku závaží (kulička, diamantový hrot) spuštěného z určité výše od zkoušeného materiálu. (obr. 1.6) Působením závaží dojde k plastické deformaci zkoušeného materiálu a ke spotřebování části energie závaží. Zbytek energie je využit k odskoku závaží do určité výšky.

Tvrdost naměřená Shoreho skleroskopem se označuje symbolem **Hsh** za hodnotou tvrdosti.

1.4.2 Duroskop

Tato metoda je používána na měření tvrdosti svislých ploch. Její princip i použití je podobné jako u skleroskopu.

Velikost tvrdosti je vyjádřena pomocí úhlu odrazu definovaného zkušebního tělesa (kladívka). (obr. 1.7) Výhodou je vyloučení vlivu tření kladívka ve vedení, ke kterému dochází u Shoreho skleroskopu.



Obr. 1.7 Schéma Durokopu⁶

Tvrdost naměřená duroskopem se označuje také symbolem **Hsh** za hodnotou tvrdosti jako u Shoreho skleroskopu.

2 PROBLEMATIKA MĚŘENÍ TVRDOSTI ROTAČNÍCH SOUČÁSTÍ

2.1 Volba měřené plochy

U rotačních součástí je zvláště důležité zvolit pro měření tvrdosti vhodnou plochu. Pokud je to možné, snažíme se o to, aby měřená plocha byla na čele součásti nebo alespoň na nějakém osazení. Při měření na obvodě totiž dochází k nepřesnostem. Někdy je ovšem nezbytné tvrdost na rotační

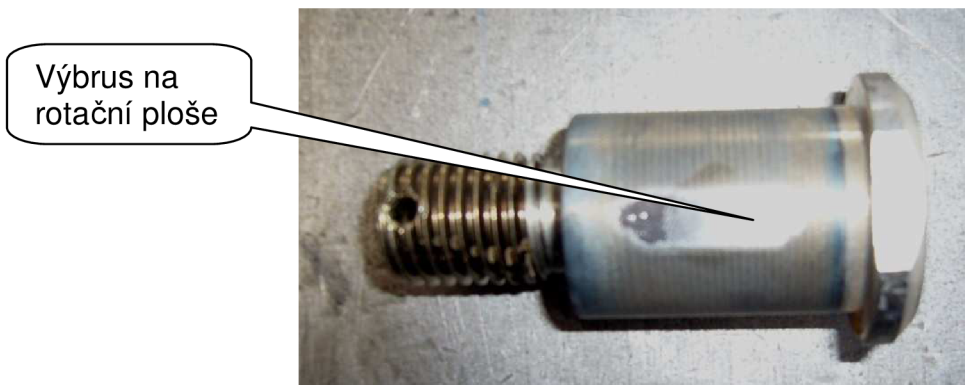
ploše měřit a to např. před obráběním rozměrných součástí zhotovených kování nebo odléváním nebo tam, kde je zušlechtěna pouze rotační plocha.

Hlavní příčinou těchto nepřesností je zaoblení měřené plochy. Při zatlačování vnikacího tělesa do povrchu dochází k nerovnoměrné plastické deformaci v místě měření. Velký vliv na tuto nepřesnost má poloměr zaoblení, v závislosti na něm se odchylka pohybuje v řádu několika Rockwelů (1-4). Čím je tento poloměr menší, tím je nepřesnost větší. Pro měření rotační plochy je vhodnější použít metodu Vickers nebo Rockwell.

2.2 Úprava ploch pro měření

Před samotným měřením je vždy nutné upravit plochy, na kterých budeme provádět měření a plochy na které budeme těleso ustavovat. Při tom je nutné dbát na jisté zásady.

Očištění musí být takové, aby nedošlo ke změně tvrdosti zkoušeného vzorku a to např. nadměrným ohřevem nebo deformací za studena. Přesnost měření také mohou ovlivnit změny vyvolané deformačním zpevněním nebo tepelným ovlivněním při nesprávných obráběcích metodách. Nejčastěji provádíme úpravu povrchu broušením a leštěním (obr. 2.1).



Obr. 2.1 Příprava rotační plochy

Měřená plocha je nejprve očištěna od hrubých nečistot a okují, což se provádí např. tryskáním nebo ocelovým kartáčem. Záleží na metodě tepelného zpracování, při indukčním kalení nebo kalením ve vakuu žádné nečistoty neb okuje nevznikají a proto není nutné plochy očišťovat. Naopak při cementaci v prášku je povrch součástí značně znečištěn. Poté se brousí a leští. K broušení je vhodné použít přímou brusku s válcovým nebo kuželovým brousicím tělískem (obr. 2.2). Při leštění se do brusky upíná lamelové lešticí tělísko (obr. 2.3).

Obr. 2.2 Brusící tělísko¹¹Obr. 2.3 Lešticí tělísko¹¹

Kromě měřené plochy se také musí důkladně očistit plocha dosedací. Případné nečistoty či nerovnosti negativně ovlivňují proces měření. Při tepelném zpracování vlivem vnitřního napětí, mohou vzniknout také i deformace. Vhodné je použít brusný kámen (obr. 2.4), který dosedací plochu očistí a zároveň srovná.

Obr. 2.4 Brusný kámen¹²

2.3 Ustavení součástí

Při měření tvrdosti na rotační ploše je nejvýhodnější součást ustavit do prizmy (obr. 2.5). Tento způsob je jednoduchý a rychlý. Prisma zaručí přesné vystředění. Měřený vzorek je podepřen přímo pod zatěžující silou, což nám eliminuje možné deformace. Dalším způsobem je ustavení mezi hroty. Při této metodě ovšem hrozí, že součást neustavíme přesně do osy. Delší součásti s malým průměrem se navíc mohou prohýbat.

Obr. 2.5 Prizma¹³

Při měření tvrdosti na čelní ploše se součást ustaví přímo na měřicí plochu přístroje (obr. 2.6) tak, že osy rotace součásti a měřícího zařízení jsou

rovnoběžné. Při měření s tímto ustavením nedochází k nepřesnostem vlivem zaoblení, jako při použití ustavení do prizmy.



Obr. 2.6 Měření tvrdosti na nerotační ploše

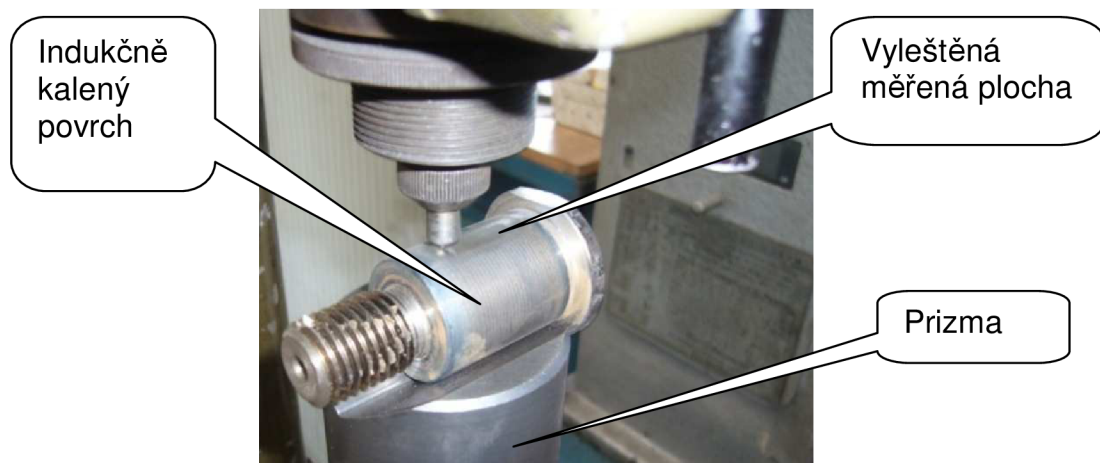
3 PŘÍKLADY MĚŘENÍ TVRDOSTI V PRAXI

3.1 Měření tvrdosti osazeného šroubu

Šroub (obr.4.1) je vyroben z oceli C45E4 (ČSN 41 2050). Tento materiál je zvláště vhodný k zušlechťování a povrchovému kalení (příloha č.1).

Tepelné zpracování bylo provedeno povrchovým indukčním kalením. Při tomto kalení jsou ohřívány povrchové vrstvy na austenitizační teplotu velmi rychle, s velmi krátkou výdrží na teplotě. Po ohřevu následuje ihned prudké ochlazení, nejčastěji vodou. Značné strukturální rozdíly mezi povrchem a jádrem způsobují vnitřní pnutí, které se snižuje okamžitým popouštěním na teploty 150 - 250 °C.

V tomto případě se povrch součásti ohřívá indukovanými proudy střední a vysoké frekvence pomocí induktoru (cívka o malém počtu závitů, často jen s jedním závitem z měděné trubky, kterou kvůli chlazení protéká voda). Volbou frekvence lze ovlivnit hloubku prohřáté vrstvy ($t = 500/f$). Indukční povrchové kalení je velmi výhodné, protože v důsledku rychlého ohřevu je okujení malé a nevyžaduje často dalších úprav.



Obr. 3.1 Měření tvrdosti osazeného šroubu

Tab. 3.1 Parametry měření tvrdosti osazeného šroubu

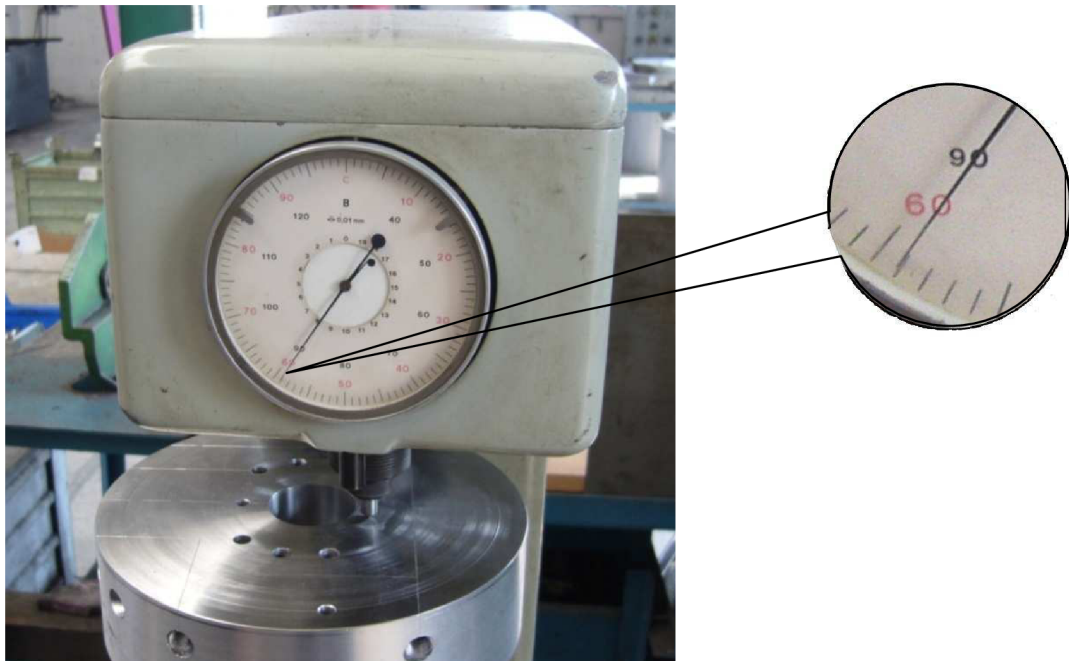
měřicí zařízení	tvrdoměr Meopta 01-571017
metoda měření	Rockwell stupnice C
zkušební těleso	diamantový kužel
zatěžující síla	1000 N
počet měření	5
průměrná hodnota tvrdosti	57 HRC

3.2 Měření tvrdosti části lisovací formy

Tato kruhová část lisovací formy je vyrobena z nástrojového materiálu X42Cr13 (příloha č. 2).

Tato součást byla zušlechtěna ve vakuové kalicí peci (průběh kalení viz příloha č. 5). Vakuové kalicí pece jsou koncipovány jako horizontální válcové plynotěsné komory, kde vnější plášť je řešen jako dvouvrstvý s vodním chlazením a uvnitř se nachází vlastní topná komora izolovaná keramickým vláknem a molybdenovými štíty. Vakuum v peci vytváří a udržuje soustava vakuových vývěv.

Vsázka se do pece zavazuje na speciálních roštích a její ohřev zajišťují grafitové odporové tyče. Ochlazování, tedy vlastní kalení, se u přetlakových pecí děje proudem dusíku, který je do komory vháněn přetlakem 0-10 bar a je chlazen přes tepelný výměník. Nedílnou součástí moderní vakuové pece je řídicí počítačový systém se záznamem všech důležitých parametrů procesu⁷.



Obr. 3.2 Měření tvrdosti části lisovací formy

Tab. 3.1 Parametry měření tvrdosti části lisovací formy

měřicí zařízení	tvrdoměr Škoda 1982 RB1
metoda měření	Rockwell stupnice C
zkušební těleso	diamantový kužel
zatěžující síla	1000 N
počet měření	5
průměrná hodnota tvrdosti	59 HRC

3.3 Měření tvrdosti ozubeného kola

Toto ozubené kolo je vyrobeno z materiálu 16MnCr5 (ČSN 41 4220). Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel (příloha č. 3).

Ozubené kolo bylo nejprve cementováno do hloubky 0,8 mm při teplotě 930 °C. Cementace probíhala v šachtové peci v ochranné atmosféře. Jako nositel uhlíku byl použit metanol, který vkapává přímo do pece.

Následně bylo ozubené kolo zchlazeno na teplotu 830 °C a zakaleno do oleje. Popuštění proběhlo v elektrické indukční peci při teplotě 250 °C.



Obr. 3.3 Měření tvrdosti ozubeného kola

Tab. 3.1 Parametry měření tvrdosti ozubeného kola

měřicí zařízení	tvrdoměr Meopta 01-571017
metoda měření	Rockwell stupnice C
zkušební těleso	diamantový kužel
zatěžující síla	1000 N
počet měření	5
průměrná hodnota tvrdosti	58 HRC

3.4 Měření tvrdosti čepu

Tento čep je vyroben z materiálu C45E (ČSN 41 2050) Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechtném nebo normalizačně žíhaném (příloha č. 1).

Tento čep byl tepelně zpracován kalením do oleje při teplotě 860 °C a následně popuštěn při teplotě 600°C .



Obr. 3.4 Měření tvrdosti čepu

Tab. 3.1 Parametry měření tvrdosti čepu

měřicí zařízení	tvrdoměr Meopta 01-571017
metoda měření	Rockwell stupnice C
zkušební těleso	diamantový kužel
zatěžující síla	1000 N
počet měření	5
průměrná hodnota tvrdosti	32 HRC

3.5 Měření tvrdosti trubky

Tato trubka je vyrobena z materiálu 54SiCr6 (ČSN 41 4260). Ocel se používá zejména na namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále talířové a kroužkové pružiny (příloh č. 4).

Tato trubka byla tepelně zpracována kalením při teplotě 850°C do oleje a následně popuštěn při teplotě 420 °C.



Obr. 3.5 Měření tvrdosti Trubky

Tab. 3.1 Parametry měření tvrdosti trubky

měřicí zařízení	tvrdoměr Meopta 01-571017
metoda měření	Rockwell stupnice C
zkušební těleso	diamantový kužel
zatěžující síla	1000 N
počet měření	5
průměrná hodnota tvrdosti	46 HRC

ZÁVĚR

Při měření tvrdosti součástí různých tvarů je nutné zvolit vhodnou metodu měření s ohledem na měřený materiál, jeho vlastnosti a také s ohledem na tvar součásti. Důležitá je také příprava měřené a dosedací plochy, která musí být v souladu se zásadami uvedenými v předchozích kapitolách. Samotný měřicí proces je ovlivněn mnoha faktory a to například:

- Velikostí zrna měřené součásti. Materiály s jemnozrnnou strukturou mají větší tvrdost než materiály s hrubozrnnou strukturou.
- Teplotou měřené součásti. Při vyšších teplotách jsou vazebné síly mezi atomy menší (klesá tvrdost) než při nižších teplotách.
- Chemickým složením měřené součásti.
- Vnitřním pnutím měřené součásti.
- Elastickými a plastickými vlastnostmi měřené součásti.

Obecně je měření na rotačních součástech obtížnější a méně přesné než měření rovinných ploch. Z tohoto důvodu se měří tvrdost zpravidla na čelech rotačních součástí, zejména v případě součástí s velkým průměrem a malou výškou. Ovšem v některých případech se tvrdost na rotační ploše měřit musí. Především před obráběním rozměrných součástí zhotovených kováním nebo odléváním nebo tam, kde je zušlechťena pouze rotační plocha. Také u součástí hřídelovitého typu, kde by měření z čela bylo velice složité.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan. *Strojírenská technologie 1 : Nauka o materiálu 1.díl. 3. přeprac. vyd.* Praha : Scientia spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 2002. 266 . ISBN 80-7183-262-6.
2. HLUCHÝ, Miroslav, MODRÁČEK, Oldřich, PAŇÁK, Rudolf. *Strojírenská technologie 1 : Metalografie a tepelné zpracování 2.díl. 3. přeprac. vyd.* Praha : Scientia spol. s r.o., pedagogické nakladatelství, 2002. 173 . ISBN 80-7183-265-0.
3. PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu I. 2. opr. a rozš. vyd.* Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-7204-283-1.
4. LUDVÍK, Jan, BÍLEK, Karel, LUDVÍK, Štěpán. *Zkoušky tvrdosti : Přehled základních zkušebních metod pro uživatele tvrdoměru Emcotest a Shimadzu* [online]. 2002 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <http://www.metrotest.cz/zkousky_tvrlosti.pdf>.
5. ATEAM, Materiálový výzkum. *Zkoušky tvrdosti. 111 [online]. 2006* [cit. 2007-02-27], s. 12. Dostupný z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf >.
6. MOLLIKOVÁ, Eva. *Zkoušení materiálů a výrobků* [online]. 2005 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/zmv/Index.html>>.
7. *Tepelné zpracování nástrojových materiálů ve vakuu* [online]. 2003 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.bodycote.cz/pages/brno/technologie.html>>.
8. *ConVERTER = převody jednotek* [online]. 2002 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.converter.cz/jednotky/tvrlost>>
9. *Metrotest* [online]. 2001 [cit. 2009-02-05]. Dostupný z WWW: <http://www.metrotest.cz/zkousky_tvrlosti.pdf>.
10. *Tvrlost a průbojnost střel* [online]. 2009 [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/index.php/technika/183-tvrlost-a-prubojnost-strel.html>>.
11. *Brusiva* [online]. 2009 [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.radservis.cz/showimg.php>>.
12. *Brusný kámen* [online]. 2009 [cit. 2009-04-05]. Dostupný z WWW: <http://www.koridor.cz/inshop/scripts/big_picture.asp?img=SS-621.jpg>.
13. *Nástavec prizmatický* [online]. 2007-2009 [cit. 2009-03-23]. Dostupný z WWW: <https://www.verko.cz/data/foto/29/295820_b_m.jpg>.
14. *Technická příručka* [online]. 1998 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://prirucka.bolzano.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
D	mm	Průměr zkušební kuličky
F	N	Zatěžující síla
d	mm	Průměr vtisku
HB		Tvrdost podle Brinella
HV		Tvrdost podle Vickerse
HR		Tvrdost podle Rockwella
F_0	N	Předběžné zatížení
F_1	N	Přídavné zatížení
HB Poldi		Tvrdost podle Poldi
HB Baumann		Tvrdost podle Baumanna
Hsh		Tvrdost podle Shoreho

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list oceli C45E ¹³
Příloha 2	Materiálový list oceli X40Cr14 ¹³
Příloha 3	Materiálový list oceli 16MnCr5 ¹³
Příloha 4	Materiálový list oceli 54SiCr6 ¹³
Příloha 5	Průběh tepelného zpracování ve vakuové peci

Příloha 1

Přehled vlastností oceli C45E (C45 R)							1.1191 (1.1201)											
Druh oceli	Nelegovaná ušlechtilá ocel k zušlechťování																	
TDP	ČSN EN 10083-2: 2007. Tato norma obsahuje též ocel C45, klasifikovanou jako jakostní ocel k zušlechťování. Ocelí C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.																	
Dřívější označení	C45E (C45R) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; Ck 45 (Cm 45) podle DIN 17200; 12 050 podle ČSN.																	
Použití	Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechtěném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.																	
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr max.	Mo max.	Ni max.	Cr+Mo+Ni									
	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,030	0,035	0,40	0,10	0,40	max. 0,63									
Složení hotového výrobku²⁾	0,40-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45										
Mechanické vlastnosti v zušlechtěném stavu³⁾	Průměr mm	R _c min. MPa	R _m MPa	A min. %			Z min. %		KV min. J									
	d ≤ 16	490	700-850	14			35		-									
	16 < d ≤ 40	430	650-800	16			40		25									
	40 < d ≤ 100	370	630-780	17			45		25									
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném³⁾	d ≤ 16	340	min. 620	14			-		-									
	16 < d ≤ 100	305	580	16			-		-									
	100 < d ≤ 250	275	560	16			-		-									
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stíhatelnost (+S)			Žíháno na měkko (+A)				Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)										
	HB max. 255			HB max. 207				HRC min. 55										
Prokalitelnost⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušebního tělesa v mm																	
	Tvrdost v HRC																	
	+H	Mez	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	20	25	30
	max	62	61	61	60	57	51	44	37	34	33	32	31	30	-	-	-	-
	min	55	51	37	30	28	27	26	25	24	23	22	21	20	-	-	-	-
<p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 10 mm)</p> <p>Tvrdość v HRC</p> <p>Teplota popuštění st. C</p>					<p>Křivky prokalitelnosti</p> <p>Tvrdość v HRC</p> <p>Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm</p> <p>— H max — H min</p>													
Technologické vlastnosti																		
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1150 až 850 °C																	
Tepelné zpracování	Normalizační žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Isotermické žíhání °C	Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C											
	840 až 880	650 až 700	800 až 950 660-1hod.	820 až 860	voda nebo olej	550 až 660	850 ± 5											
Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti.) Teplota kalení při spodní hranici se doporučuje pro kalení do vody a při horní hranici při kalení do oleje. Jako kalicí prostředí lze použít i syntetické kapaliny-emulze.																		
Obrobitelnost	Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel C45R se zvýšeným obsahem S.																	
Stříhatelnost	Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměrů nad 80 mm.																	
¹⁾ obsah síry u oceli C45R je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %. ²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně. ³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím tepelném zpracování (zušlechtění popř. normalizačním žíháním) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žíhaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP. R _c – mez kluzu, R _m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L ₀ = 5,65√S ₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty). ⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.																		

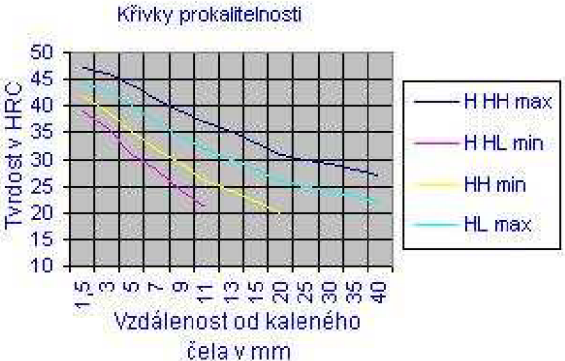
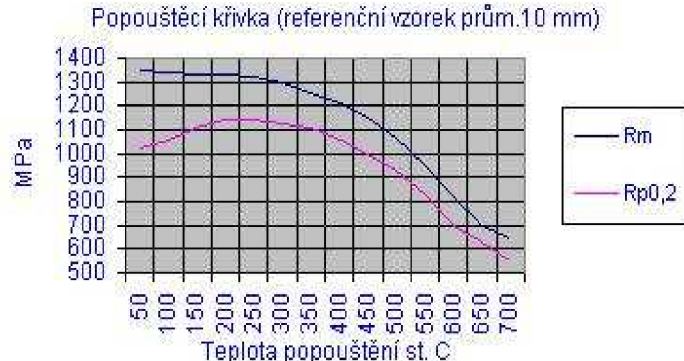
Příloha 2

X40Cr14

Korozivzdorná chromová ocel pro zpracování plastů.

Noremní označení	Podle ČSN EN ISO 4957	Číselné označení		Podle ČSN																															
	X40Cr14	1. 2083		-																															
Charakteristika	Martenzitická korozivzdorná ocel s dobrou obrobitelností ve stavu žháném, ořezavzdorná po kalení a dobře leštitelná																																		
Obvyklé použití	Nástroje pro formy pro zpracování chemicky agresivních hmot případně obsahujících abrazivní složky.																																		
Chemické složení tavby v hmot. % podle ČSN EN ISO 4957 1)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Ni</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,36-0,42</td> <td>≤ 1,00</td> <td>≤ 1,00</td> <td>12,50-14,50</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	0,36-0,42	≤ 1,00	≤ 1,00	12,50-14,50	-	-	-															
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V																													
0,36-0,42	≤ 1,00	≤ 1,00	12,50-14,50	-	-	-																													
	1) Obsah P a S ≤ 0,030 %.																																		
Mezní úchytky chemického rozboru výrobku od hodnot pro rozbor tavby v hmot. %	<table border="1"> <thead> <tr> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>Ni</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>± 0,03</td> <td>+ 0,05</td> <td>± 0,04</td> <td>± 0,15</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	± 0,03	+ 0,05	± 0,04	± 0,15	-	-	-															
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V																													
± 0,03	+ 0,05	± 0,04	± 0,15	-	-	-																													
Doporučení pro zpracování	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tváření za tepla Teplota °C</th> <th colspan="2">Žhánění na měkko</th> <th colspan="4">Kalení a popouštění</th> </tr> <tr> <th>Teplota °C</th> <th>Tvrdość HB max.</th> <th>Teplota kalení °C</th> <th>Kalici prostředí</th> <th>Teplota popouštění °C</th> <th>Tvrdość po kalení 2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1050-850</td> <td>840-870</td> <td>241</td> <td>1000-1050</td> <td>olej</td> <td>100-200</td> <td>53-56</td> </tr> </tbody> </table>						Tváření za tepla Teplota °C	Žhánění na měkko		Kalení a popouštění				Teplota °C	Tvrdość HB max.	Teplota kalení °C	Kalici prostředí	Teplota popouštění °C	Tvrdość po kalení 2)	1050-850	840-870	241	1000-1050	olej	100-200	53-56									
Tváření za tepla Teplota °C	Žhánění na měkko		Kalení a popouštění																																
	Teplota °C	Tvrdość HB max.	Teplota kalení °C	Kalici prostředí	Teplota popouštění °C	Tvrdość po kalení 2)																													
1050-850	840-870	241	1000-1050	olej	100-200	53-56																													
	1) po tváření pozvolna ochlazovat v peci; 2) uvedené hodnoty jsou informativní																																		
Vlastnosti	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Fyzikální vlastnosti</th> </tr> <tr> <th>Modul pružnosti při 20°C 10³.N.mm⁻²</th> <th>Hustota kg.dm⁻³</th> <th>Měrná tepelná vodivost při 20°C W.m⁻¹.K⁻¹</th> <th>Střední měrné teplo při 20°C J.kg⁻¹.K⁻¹</th> <th>Měrný elektrický odpor při 20°C Ω.mm².m⁻¹</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>220</td> <td>7,70</td> <td>30,0</td> <td>460</td> <td>0,65</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10⁻⁶m.m⁻¹.K⁻¹)</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>10,5</td> <td>11,0</td> <td>11,0</td> <td>11,5</td> <td>12,0</td> </tr> </tbody> </table>					Fyzikální vlastnosti					Modul pružnosti při 20°C 10 ³ .N.mm ⁻²	Hustota kg.dm ⁻³	Měrná tepelná vodivost při 20°C W.m ⁻¹ .K ⁻¹	Střední měrné teplo při 20°C J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	Měrný elektrický odpor při 20°C Ω.mm ² .m ⁻¹	220	7,70	30,0	460	0,65	Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 ⁻⁶ m.m ⁻¹ .K ⁻¹)					100	200	300	400	500	10,5	11,0	11,0	11,5	12,0
Fyzikální vlastnosti																																			
Modul pružnosti při 20°C 10 ³ .N.mm ⁻²	Hustota kg.dm ⁻³	Měrná tepelná vodivost při 20°C W.m ⁻¹ .K ⁻¹	Střední měrné teplo při 20°C J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	Měrný elektrický odpor při 20°C Ω.mm ² .m ⁻¹																															
220	7,70	30,0	460	0,65																															
Střední teplotní součinitel délkové roztažnosti v rozmezí teplot od 20°C do ...°C (10 ⁻⁶ m.m ⁻¹ .K ⁻¹)																																			
100	200	300	400	500																															
10,5	11,0	11,0	11,5	12,0																															
<p style="text-align: center;">Závislost tvrdosti na teplotě popouštění</p> <p style="text-align: center;">Tvrdość HRC</p> <p style="text-align: center;">Teplota popouštění st. C</p> <p style="text-align: right;">— 1010 st.C/olej</p>																																			
<p style="text-align: center;">Poznámky k tepelnému zpracování:</p> <p>Žhánění na měkko: prodleva na doporučené teplotě ca 4 hod. s následným pomalým chladnutím v peci rychlostí 10 až 20° C za hodinu do teploty ca 600°C. Dále je možno ochlazovat na vzduchu.</p> <p>Kalení a popouštění: při kalení z horní hranice doporučeného rozmezí lze docílit vyšší tvrdosti po kalení (ca 56 HRC). Z průběhu popouštěcí křivky je patrné, že ocel X40Cr14 vykazuje sekundární tvrdost při teplotě kolem 450°C. Za těchto podmínek popouštění lze zaznamenat i mírné zvýšení houževnatosti. Popouštění nutno uskutečnit bezprostředně po kalení.</p> <p>Nejvyšší stupeň korozivzdornosti se dosahuje ve stavu kaleném a nízko popuštěném (při teplotě ca 180°C).</p>																																			

Příloha 3

Přehled vlastností oceli 16MnCr5 (16MnCrS5)										1.7131 (1.7139)						
Druh oceli	Nízkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování															
TDP	ČSN EN 10084															
Dřívější označení	16MnCr5 (16MnCrS5) podle DIN, 14 220 podle ČSN															
Použití	Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Prokaluje do hloubky ca 20 mm. Ve stavu kaleném a popuštěném je použitelná pro průměry do ca 35 mm. Je svařitelná a vhodně tepelně zpracovaná též dobře tvaritelná za studena. Přísadou bóru se docílí zvýšené houževnatosti cementované vrstvy.															
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. (1)	Cr	Mo	Ni	Al							
	0,14-0,19	0,40	1,00 – 1,30	0,035	0,035	0,80 -1,10	-	-	Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050.							
Složení hotového výrobku	0,12-0,21	0,43	0,96 – 1,34	0,040	0,040	0,75 - 1,15										
Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150 - 200°C 2)	Průměr mm		Re min MPa		Rm MPa		A min %		Z min %		KCU min. J					
	d ≤ 11		735		1030 – 1375		8		-		25					
	11 < d ≤ 25		540		785 – 1080		9		-		30					
	25 < d ≤ 40		490		685 - 930		10		-		30					
Hodnoty tvrdosti HB pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (stav S)			Žháno na měkko (stav A)			Zpracováno na rozmezí tvrdosti (stav TH)			Zpracováno na feriticko-perlitickou strukturu (stav FP)						
	max. 255			max. 207			166 - 217			156 - 207						
	Stav po válcování			Stav po normalizaci			Žháno na globulární cementit (vhodné pro tváření za studena)									
	ca 250			ca 220			max. 178									
Prokalitelnost	Druh	Meze	Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm													
			Tvrdost v HRC													
	H	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27	
		min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-	
	HH	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27	
		min.	42	39	35	32	29	26	24	22	20	-	-	-	-	
	HL	max.	44	43	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23	22	
		min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-	
																
Technologické vlastnosti																
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 900 °C															
Tepelné zpracování	Normalizační žhání °C	Žhání na měkko °C	Isotermické žhání	Teplota cementace °C	Teplota kalení na jádro °C	Teplota kalení na povrch °C	Teplota popuštění °C	Teplota kalení pro Jominiho zkoušku °C								
	880	650 až 700	850 až 950 650 1 hod.	880 až 980	860 až 900 olej, (voda)	780 až 820 olej, (voda)	150 až 200	870 (prodleva ca 0,5 h)								
	Uvedené podmínky jsou doporučené. 4) při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku) 5) druh ochlazovacího prostředí závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování. 6) doba popuštění minimálně 1 hod.															
Obrobitelnost	Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazují ocel 16MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.															
Stříhatelnost	Ocel 16MnCr5 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování.															
1) obsah síry u oceli 16MnCrS5 je 0,020 až 0,040% s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku +/- 0,005 %.																
2) prokazují se na referenčním vzorku uvedených průměrů. Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře po kalení a popuštění. Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka Lo = 5,65√So), Z – kontrakce, KCU – nárazová práce, zkušební těleso s U – vrubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty).																
3) pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.																

Příloha 4

Přehled vlastností oceli 54SiCr6										1. 7102						
Druh oceli	Nízkolegovaná ušlechtilá křemíko-chromová ocel pro zušlechtitelné pružiny															
TDP	DIN 17 221															
Označení podle ČSN	41 4260															
Použití	Středně namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále talířové a kroužkové pružiny .															
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V							
	0,51 – 0,59	1,20 - 1,60	0,50 – 0,80	max. 0,030	max. 0,030	0,50 – 0,80	-	-	-							
Složení hotového výrobku	0,49 – 0,62	1,15 - 1,65	0,46 – 0,84	max. 0,035	max. 0,035	0,45 – 0,85	-	-	-							
Mechanické vlastnosti v zušlechtném stavu. 1)	Průměr mm		Re min MPa			Rm MPa			A min %		Z min %		KV min. J			
	10 mm		1160			1350 - 1600			6		-		-			
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost					Žíhaný na měkko					Žíhaný na globulární cementit					
	HB max. 280					HB max 248					HB max 230					
Prokalitelnost 2)	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm															
	Tvrdość v HRC															
	Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
	Horní (max.)	67	66	65	63	62	60	57	55	47	43	40	38	37	36	35
	Dolní (min.)	57	56	55	50	44	40	37	35	32	30	28	26	25	24	24
	Prokalitelnost určená tvrdostí v jádře mezního rozměru po kalení z uvedené teploty. 3)															
Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Min. tvrdost v jádře v HRC	Největší rozměr v mm				Min. tvrdost v jádře v HRC	Největší rozměr v mm								
			Ploché výrobky (tloušťka)		Kruhová ocel (průměr)			Ploché výrobky (tloušťka)		Kruhová ocel (průměr)						
830 – 860	olej	54	4)		20		56	5)		12		18				
<p>Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr. 10 mm)</p>								<p>Křivky prokalitelnosti</p>								
Technologické vlastnosti																
Tváření za tepla a tepelné zpracování	Tváření za tepla °C	Normalizační žíhání °C	Žíhání na měkko °C	Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C									
	1050 až 850	860	640 až 700	840 až 870	olej	400 až 450	850 +- 5	Uvedené podmínky pro tváření a tepelné zpracování jsou doporučeny s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokalitelnosti podle Jominiho)								
Obrobitelnost	Pro mechanické obrábění je vhodný stav žíhaný na měkko.															
Tváření za studena	Pro tváření za studena je vhodný stav žíhaný na globulární cementit.															
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žihá nebo řízeně vychlazuje.															
<p>1) mechanické hodnoty prokazované na referenčním vzorku o průměru 10 mm kaleného z teploty 850° C do oleje a popuštěném při teplotě 480° C s ochlazením na vzduchu. Uvedené hodnoty jsou informativní.</p> <p>2) pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.</p> <p>3) záruku prokalitelnosti na základě hodnot stanovených čelní zkouškou prokalitelnosti lze po dohodě nahradit hodnotami tvrdosti v jádře mezního rozměru.</p> <p>4) mezní rozměr je třeba dohodnout.</p> <p>5) tvrdost 56 HRC platí pro tavby, jejichž křivka prokalitelnosti leží v horních 2/3 pásu prokalitelnosti. Struktura po kalení pak obsahuje převážně martenzit (předpoklad pro značně namáhané pružiny)</p>																

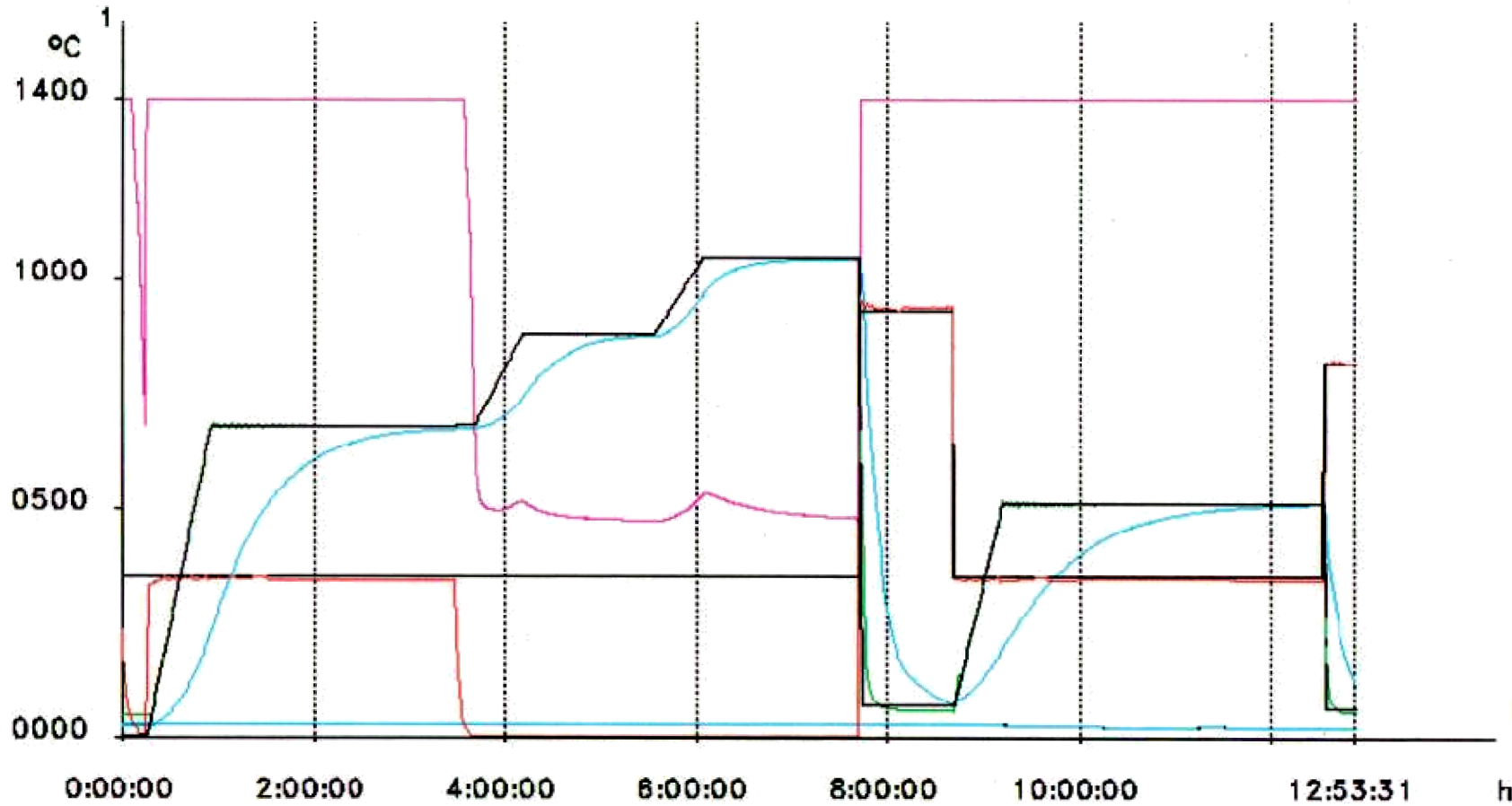
Příloha 5

Merani: 09040204

start: 02.04.09 21:38:18 – end: 03.04.09 10:49:48

Kommentar:

M310



1 NAR_POZAD_TOPENI

[°C]

2 SKUT_TOPENI

[°C]

3 SKUT_VSAZKA_1

[°C]

4 SKUT_VSAZKA_2

[°C]

5 SKUT_VSAZKA_3

[°C]

6 POZAD_TLAK_PLYNU

[mbar]

7 SKUT_TLAK_PLYNU

[mbar]

8 SKUT_JEMNE_VAK_PEC

[mbar]