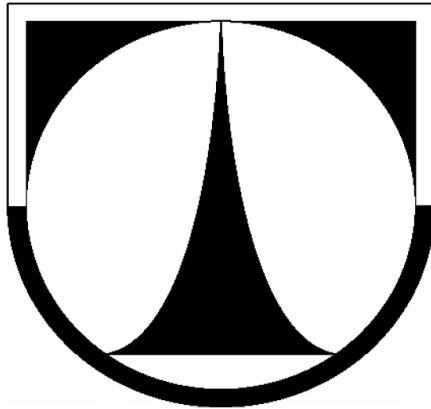


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

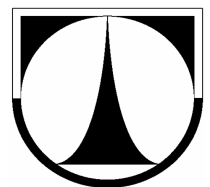
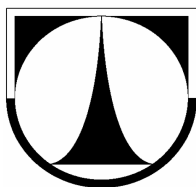
KATEDRA MATERIÁLU



Bakalářská práce

2009

MARTIN PETERA



Katedra materiálu

Studijní rok 2008/2009

Obor: Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Vliv Cu, Si v litině na hodnoty remanentního magnetismu

Martin Petera

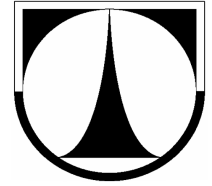
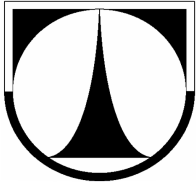
KMT – B – 137

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	50
Počet obrázků:	14
Počet tabulek::	5
Počet grafů:	4
Počet příloh:	7

V Liberci dne 3.1.2009



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Martin Petera
Studijní program: B2341 Strojírenství
Obor: 3911 R 018 Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv Cu, Si v litině na hodnoty remanentního magnetismu

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se s vlivy legujících prvků na mechanické a magnetické vlastnosti litin a ocelí.
2. Prostudujte práce o magnetickém a vířivoproudém zkoušení slitin železa.
3. Zadejte plán experimentálních taveb LLG a LKG a odstupňovaného obsahu Cu.
4. Proveďte magnetická měření odlitých vzorků a základní mechanické zkoušky.
5. Vyslovte závěry na základě zjištěných souvislostí.

Forma zpracování bakalářské práce:

- původní zpráva v rozsahu 25-40 stran

- přílohy

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

[1] PÍŠEK ., a kol.: Nauka o materiálu I, 4. svazek., ACADEMIA 1975.

[2] Vybrané diplomové práce, které se zabývají magnetickou strukturoskopií.

[3] SKRBEK, B.: Vybrané publikace o magnetické strukturoskopií a litinách

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

L.S.

doc. Ing. František STUHLÍK, CSc

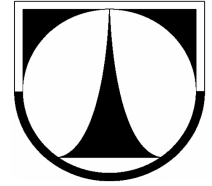
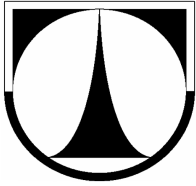
prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.

Vedoucí katedry

děkan

V Liberci dne 31.10.2007

Platnost zadání diplomové práce je 15. měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ).
Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky



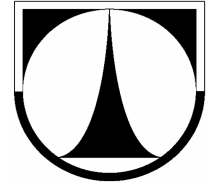
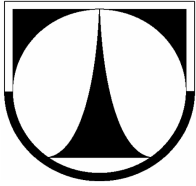
ANOTACE

OBOR:	Materiály a technologie
ZAMĚŘENÍ:	Materiálové inženýrství
AUTOR:	Martin Petera
TÉMA PRÁCE:	Vliv Cu, Si v litině na hodnoty remanentního magnetismu
ČÍSLO PRÁCE:	KMT – B - 137
VEDOUCÍ PRÁCE:	doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Tato bakalářská práce je zaměřena na vyhodnocení vlivu Cu a Si na hodnoty remanentního magnetismu, v litinách s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Měření a vyhodnocování bylo prováděno většinou na vzorcích z Y bloků.

Klíčová slova:

remanentní magnetismus, Y blok, magnetické metody



ANNOTATION

SPECIALIZATION:	Materials and technologies
FOCUSING:	Material engineering
AUTHOR:	Martin Petera
SUBJECT OF THE WORK:	Effect of Cu and Si in a cast iron on remanent magnetism.
NUMBER OF THE THESIS:	KMT – B - 137
LEADER OF THE WORK:	doc. Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

This bachelor's work is focused on interpretation of effect of Cu and Si in the cast iron with lamellar graphite and in the cast iron with globular graphite. Measurements and interpretations have been performed mostly on Y casts blocks.

Keywords:

remanent magnetism, Y block, magnetic methods

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především panu doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za jeho odborné vedení a rady týkající se mé bakalářské práce.

Martin Petera

OBSAH:

POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY:	10
1.ÚVOD	11
2.CÍLE PRÁCE	11
3.TEORETICKÁ ČÁST	11
3.1 LEGURY	11
3.1.1. Legury oceli.....	12
<i>Křemík (Si)</i>	12
<i>Měď (Cu)</i>	12
<i>Mangan (Mn)</i>	12
<i>Fosfor (P)</i>	13
<i>Síra (S)</i>	13
<i>Nikl (Ni)</i>	13
<i>Kobalt (Co)</i>	13
<i>Chrom (Cr)</i>	13
<i>Wolfram (W)</i>	13
<i>Molybden (Mo)</i>	14
<i>Vanad (V)</i>	14
<i>Titan (Ti)</i>	14
<i>Bor (B)</i>	14
3.1.2. Legury litin	14
<i>Křemík (Si)</i>	14
<i>Měď (Cu)</i>	14
<i>Mangan (Mn)</i>	15
<i>Fosfor (P)</i>	15
<i>Síra (S)</i>	15
<i>Nikl (Ni)</i>	15
<i>Chrom (Cr)</i>	15
<i>Vanad (V)</i>	15
<i>Molybden (Mo)</i>	15
3.1.2.1. Mikrolegury litiny:	16
<i>Hliník (Al) a titan (Ti)</i>	16
<i>Cín (Sn)</i>	16
<i>Antimon (Sb)</i>	16
<i>Bor (B)</i>	16
<i>Telur (Te)</i>	16
3.1.2.2. Nečistoty:	16
<i>Olovo (Pb) a vizmut (Bi)</i>	16
3.2. MAGNETISMUS	17
3.2.1. Magnetické pole	17
3.2.1.1. Magnetické pole – popis	17
3.2.1.1.1. <i>Magnetická indukce</i>	17
3.2.1.1.2. <i>Intenzita magnetického pole</i>	18

3.2.1.1.3. Magnetický indukční tok	18
3.2.1.1.4. Permeabilita	18
3.2.1.1.5. Magnetická susceptibilita	19
3.2.1.1.6. Magnetický odpor	19
3.2.1.2.1. Látky diamagnetické	20
3.2.1.2.2. Látky paramagnetické	20
3.2.1.2.3. Látky feromagnetické	20
3.2.1.2. Tvrdé a měkké magnety	22
3.3. NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU – MAGNETICKÉ A VÍŘIVOPROUDÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU .	23
3.3.1. Defektoskopie - magnetické zkoušení materiálu	24
3.3.1.1. Pólové magnetování	24
3.3.1.1.1 Magnetování jhem	24
3.3.1.1.2. Cívkové magnetování	25
3.3.1.2. Cirkulární magnetování	25
3.2.1.2.1. Magnetování průchodem el. Proudů	26
3.3.1.2.2. Magnetování pomocným vodičem	26
3.3.1.2.3. Magnetování indukci proudu v předmětu	27
3.3.1.3. Impulzní magnetování	28
3.3.1.4. Kombinované magnetování	28
3.3.2. Defektoskopie - metoda vířivých proudů	29
3.3.2.1. Způsob průchozí cívky	29
3.3.2.2. Způsob příložné cívky	30
3.3.3. Strukturoskopie – měření elektromagnetických vlastností materiálu	30
3.3.3.1. Měření permeability	31
3.3.3.2. Měření remanence a koercivity	32
3.3.3.2.1. Metoda magnetického bodového pólu	33
3.3. ZKOUŠKY MĚŘENÍ TVRDOSTI	35
3.3.1. Zkouška vrypová	35
3.3.2. Zkouška vnikací	35
3.3.2.1. Zkouška vnikací - dle Brinella	36
3.3.2. Zkouška odrazová	37
3.4. Y BLOK	37
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
4.1. LLG	38
4.1.1. Cu v LLG	38
4.2. LKG	42
4.2.1. Si v LKG	42
4.2.2. Cu v LKG	45
5. DISKUZE:	47
6. ZÁVĚR:	48
POUŽITÁ LITERATURA:	50
SEZNAM PŘÍLOH:	50

Použité zkratky a symboly:

LLG, GJL	-litina s lupínkovým grafitem
LKG, GJS	-litina s kuličkovým grafitem
M, ØM, M4, Hr	-remanentní magnetismus (A/m)
HB	-tvrdost dle Brinella
Y blok	-blok odlitý ve slévárně (nákres bloku v příloze)
M1, M2	-remanentní magnetismus (měřen na stejném místě)
UT	- ultrazvukové testování
MT	- magnetické práškové testování
PT	- zkoušky penetrační
ET	- zkoušky vířivými proudy
AT	- zkoušky akustické
RT	- zkoušky prozařovací

1.Úvod

Železné slitiny (litina a ocel) jsou celosvětově velmi používanými konstrukčními materiály. Myslím, že by bylo tudíž velmi účelné a použitelné vědět o těchto materiálech co nejvíce a jelikož jsou tyto slitiny téměř vždy feromagnetické, nebylo by špatné dozvědět se o této magnetické vlastnosti něco více, především co se týká možnosti ovlivnit její intenzitu pomocí přidáváním legur do slitiny. Já jsem zkoumal tuto vlastnost u LLG a LKG.

Magnetické zkoušení materiálu patří mezi nedestruktivní metodu zkoušení materiálu. Lze touto metodou zjistit rychle a snadno základní informace o materiálu. Tato metoda se neustále vyvíjí a dnes již jsme schopni touto metodou zjistit i například tvrdost materiálu, bez toho že by jsme museli vzorek jakýmkoliv způsobem poškodit. Pro všechny feromagnetické materiály se však tato metoda nehodí. Pokusil jsem se proto zhodnotit její použitelnost na LKG.

2.Cíle práce

Hlavním smyslem a účelem mé bakalářské práce, bylo zjistit jakým způsobem ovlivňuje měď a křemík litiny s kuličkovým a lupínkovým grafitem.

3.Teoretická část

3.1 Legury [1]

V litinách a ocelích se vyskytuje vždy uhlík (v menším, či větším procentuálním zastoupením - do obsahu 2,11% nazýváme tuto slitinu ocel, nad tento obsah se potom jedná o litinu) a potom také spousta jiných prvků, které pozitivně či negativně ovlivňují vlastnosti slitiny.

Některé prvky se do slitiny dostávají automaticky při zpracování železa a obsah těchto prvků můžeme pouze velmi obtížně regulovat (např.: část pecní vyzdívky, která se nám dostává do slitiny při jejím zpracování). V tomto případě se jedná především o prvky nechtěné, s malou možností ovlivnit jejich obsah. Tyto prvky se snažíme potlačit či eliminovat, jelikož se jedná v drtivém případě o prvky zhoršující mechanické hodnoty výsledné slitiny a tím i její možnost využití. Mezi tyto nežádoucími prvky patří např.: P, S, O, N, atd..

Jinými prvky se snažíme zlepšit vlastnosti slitin, především jejich mechanické vlastnosti. Většinou jsou tyto prvky oproti samotné oceli drahé, proto je přidáváme pouze v nezbytně velkém množství a nazýváme tyto prvky jako legury, popřípadě mikrolegury (pokud se jedná o velmi malé množství). Mezi tyto prvky patří např.: Si, C, Mn, Cr, W, Mo, V, Co, Ti, Ni, B, Al, atd..

3.1.1. Legury oceli [2]

Křemík (Si)

Zhoršuje tvárnost, a nepoužíváme ho proto jako přísadu měkkých ocelí a do ocelí s nízkým obsahem uhlíku.

Pokud ho použijeme jako přísadu v malém množství, potom námlepší pevnost a mez pružnosti bez toho, že by negativně ovlivnil houževnatost. Při větším množství (nad 2%) začíná ocel křehnout, pokud je to však v kombinaci s malým obsahem C, potom dostáváme ocel s malými hysterezními ztrátami, která se výborně hodí na dynamové a transformátorové plechy.

Měď (Cu)

Zlepšuje pevnost za tepla a zmenšuje náchylnost ke korozi. Používá se obvykle do obsahu 0,6%, protože při vyšším obsahu zhoršuje svařitelnost a houževnatost oceli.

Mangan (Mn)

Zvětšuje pevnost a tvrdost. Malými přísadami zlepšuje vrubovou houževnatost a kujnost, většími přísadami a ohřevem působí hrubnutí a křehnutí oceli.

Manganové oceli lze rozdělit do tří hlavních skupin (podle obsahu Mn):

1) oceli nízkoprocentní, čili perlitické (Mn<4%)

- do těchto ocelí přidáváme maximálně 2% Mn, jinak by došlo k zhoršení houževnatosti.

2) oceli středně procentní, martenzitické -čili samokalitelné (Mn<12%)

- jsou křehké, tvrdé a neobrobitelné a v praxi se téměř nepoužívají.

3) oceli vysoce procentní nebo austenitické (Mn>12%)

- nejsou feromagnetické a mají velkou houževnatost. Díky tomu je lze jen obtížně obrábět.

Používají se na mlecích zařízeních na nejtvrděší hmoty, na součásti bagrů, briketovacích lisů a podobně.

Fosfor (P)

Používá se do oceli v množství max. do 0,1% P. Podporuje hrubnutí zrna, křehkost, a tvrdost.

Síra (S)

Jedná se o nežádoucí prvek. Jeho množství se snažíme v ocelích co nejvíce snížit. Dostává se do ocelí již v kuplovnách v množství od 0,08 do 0,13%. Způsobuje křehkost, citlivost na změny teploty, snižuje houževnatost a kujnost železa, zhoršuje slévateľnost, podporuje tvoření karbidů a zhoršuje obrobiteľnost litiny.

Nikl (Ni)

Nikl se v obvyklých surovinách nevyskytuje. Přidáváme ho úmyslně ke zlepšení vlastností železa. Niklové oceli se dělí podobně jako manganové, na perlitické, martenzitické, nebo austenitické a to podle obsahu niklu a uhlíku.

1) Perlitické oceli obsahují do 7% niklu, který v nich značně zjemňuje krystalizaci a zvyšuje houževnatost, dále zvyšuje mez průtažnosti a pevnosti.

2) Martenzitické oceli obsahují nikl do 25% a nepoužívají se, protože jsou křehké. Na zvláštní účely se však používají oceli s obsahem větším jak 25% Ni, protože jsou dobře tvárné, houževnaté a nemagnetické.

Kobalt (Co)

Kobalt zvyšuje pevnost a tvrdost, ale bohužel na úkor houževnatosti.

Chrom (Cr)

Chrom se užívá jako legura zhruba u 90% legovaných ocelí, v hodně směrech vylepšuje její vlastnosti. Zvyšuje pevnost, odolnost proti opotřebení a u konstrukčních ocelí mez průtažnosti. Při větším množství zhoršuje Chrom mechanické vlastnosti a obrobiteľnost.

Volfram (W)

Volfram se ke konstrukčním ocelím přidává jen výjimečně, jelikož zlepšuje mechanické vlastnosti méně než chrom, a navíc je o dost dražší. Nezvyšuje korozivzdornost jako Cr. Jeho výjimečnost a využitelnost však spočívá v jeho velké odolnosti proti opotřebení a nejvíce se

využívá a přidává do ocelí, které slouží pro práci za vyšších teplot, jelikož právě wolfram jim podrží za vyšších teplot tvrdost a stabilitu.

Molybden (Mo)

Používá se v malých přísadách (0,2 až 0,5%). Ovlivňuje vlastnosti oceli téměř ve všech směrech, používá se však hlavně jako přísada do litin.

Vanad (V)

Přidává se do oceli až do 4%. Zlepšuje stabilita a mechanické vlastnosti a užívá se pro velmi namáhané nástrojové oceli. Okysličuje, zjemňuje ocel a zlepšuje houževnatost.

Titan (Ti)

V obsahu 0,1 až 0,15% zlepšuje houževnatost oceli. S některými druhy ocelí pomáhá vytvářet trvalé magnety. Podobně jako titan působí i tantal a niob

Bor (B)

V tvrději zušlechťovaných ocelích zlepšuje vrubovou houževnatost. Jeho použití v oceli nám umožní snížit obsah ostatních legur, aniž by se zhoršili vlastnosti oceli.

3.1.2. Legury litin [3]

Křemík (Si)

Zvyšuje tvrdost, ale snižuje tažnost a rázovou houževnatost. Je to feritotvorný prvek a proto jeho přidání do litiny vede ke zvýšení podílu feritu ve struktuře, ale tím nám klesá tvrdost a pevnost. Pokud zvýšíme tranzitní teplotu litiny s kuličkovým grafitem a větším podílem s křemíku, začnou se nám vytvářet křehké lomy.

Měď (Cu)

Tvoří tuhý roztok v austenitu. V množství 0,5 – 1,5% stabilizuje perlit, zvyšuje mechanické vlastnosti a hlavně tvrdost. Často se zejména u tvárné litiny kombinuje s chromem (v poměru 4xCu : 1xCr) díky čemuž dosahujeme jemnozrnné perlitické struktury a vysokých mechanických vlastnostech

Mangan (Mn)

Mangan zvyšuje pevnost, tvrdost a odolnost proti otěru. Navíc v litině stabilizuje a zjemňuje perlit (zvyšuje jeho disperzitu).

Fosfor (P)

Fosfor podporuje grafitizaci. V malém množství (od 0,4 do 0,5%) mírně zvyšuje pevnost, tvrdost a otěruvzdornost. Ve větším množství nám však pevnost snižuje. Během tuhnutí se segreguje do zbylé taveniny (vznik fosfidického síťoví) a to nám způsobuje výrazné snížení dynamických vlastností (litina nám křehne, snižuje se houževnatost a zhoršuje obrobitelnost). Ve výjimečných případech se přidává do litiny přes 1% P a to například pro brzdové destičky.

Síra (S)

Síra je v ocelích i v litinách nežádoucí prvek. Pokud je ve větším obsahu, potom zabraňuje grafitizaci a způsobuje křehkost litiny. V litinách se proto snažíme obsah síry zmenšit nebo alespoň navázat na mangan.

Nikl (Ni)

Tvoří tuhý roztok v austenitu. Působí podobně jako měď v litinách -grafitizačně, stabilizuje perlit, zvyšuje mechanické vlastnosti. Při obsahu nad 18% stabilizuje austenit ve struktuře.

Chrom (Cr)

Patří mezi karbidotvorný prvek. Chrom zvyšuje pevnost, tvrdost a otěruvzdornost litiny. Používá se obvykle v množství do 0,5%.

Vanad (V)

Patří mezi karbidotvorný prvek. Zjemňuje nám perlit a zvyšuje pevnost a tvrdost litiny. Používá se v množství do 0,3% a to jenom u litin u kterých chceme dosáhnout vysoké otěruvzdornosti (např. brzdové bubny).

Molybden (Mo)

Patří mezi karbidotvorný prvek. Velmi drahá legura s výbornými vlastnostmi. Zvyšuje pevnost a stabilizuje strukturu za vyšších teplot. Používá se v množství do 1%.

3.1.2.1. Mikrolegury litiny:

Mikrolegury jsou prvky, které se přidávají do litiny v malém množství a to za účelem stabilizace některé složky ve struktuře.

Hliník (Al) a titan (Ti)

Zvyšují obsah feritu na úkor tvrdosti litiny.

Cín (Sn)

Jedná se o silně perlitotvorný prvek. Leguje se používá pouze v množstvím nutným pro dosažení plně perlitické struktury Zvyšuje pevnost a tvrdost litiny.

Antimon (Sb)

Jako legura působí podobně jako cín, také se v podobném množství jako cín se i používá. Při vyšším obsahu antimonu se nám sníží pevnost.

Bor (B)

Jedná se o karbidotvorný a nitridotvorný prvek. Zvyšuje otěruvzdornost a tvrdost. Slouží pro legování litin. Používá se například pro brzdové kotouče.

Telur (Te)

Stabilizátor karbidů.

3.1.2.2. Nečistoty:

Olovo (Pb) a vizmut (Bi)

Oba tyto prvky patří do stopových prvků a nečistot, které se do litiny dostávají z použitých surovin. Již ve velmi malém množství (setiny procent) způsobuje degradaci lupínkového grafitu. V závislosti na množství kvadraticky snižují mechanické vlastnosti.

3.2. Magnetismus

3.2.1. Magnetické pole [5], [6]

Je to druh silového pole, vzniká v důsledku pohybu elektrických nábojů. Pole je tvořeno permanentním magnetem (magnety) nebo elektromagnetem (elektromagnety) nebo i jejich kombinací.

Zdrojem permanentního magnetického pole jsou pohybující se elektrony ve struktuře materiálu. Elektrony se v atomu pohybují kolem jádra a navíc rotují i kolem své osy. Tento pohyb je příčinou magnetického pole a nazýváme jej jako spin. Dva opačné spiny elektronů jsou již důvodem vzniku elementárního magnetu v látce.

V elektromagnetech je potom zdrojem magnetického pole protékající proud (usměrnění pohyb elektronů).

Účinek permanentního magnetického pole lze zesilovat či zeslabovat elektromagnetickým polem a i naopak, protože mezi nimi není žádný kvalitativní rozdíl.

3.2.1.1. Magnetické pole – popis

Neviditelné křivky jež vystupují u permanentního magnetu ze se severního pólu k jižnímu pólu se nazývají magnetické indukční čáry (jejich průběh můžeme vidět, pokud nasypeme poblíž magnetu drobné železné piliny). Nejběžnější veličiny pro popis magnetického pole jsou magnetická indukce, intenzita magnetického pole, magnetický indukční tok, magnetická permeabilita, magnetická susceptibilita a magnetický odpor.

3.2.1.1.1. Magnetická indukce

Značí se B , jednotku je tesla (T). Má směr tečny magnetické siločáry v daném bodě. Jedná se o vektorovou veličinu, která charakterizuje silové působení magnetického pole na vodičem protékaný proud. Počítá se jako:

$$B = \mu \cdot H \quad (1)$$

3.2.1.1.2. Intenzita magnetického pole

Značí se H , jednotkou je ampér na metr (A/m). Jedná se o vektorovou veličinu charakterizující magnetické pole jako zdroj.

3.2.1.1.3. Magnetický indukční tok

Značí se Φ , jednotkou je weber (Wb). Je to vektor magnetické indukce B . Počítá se jako:

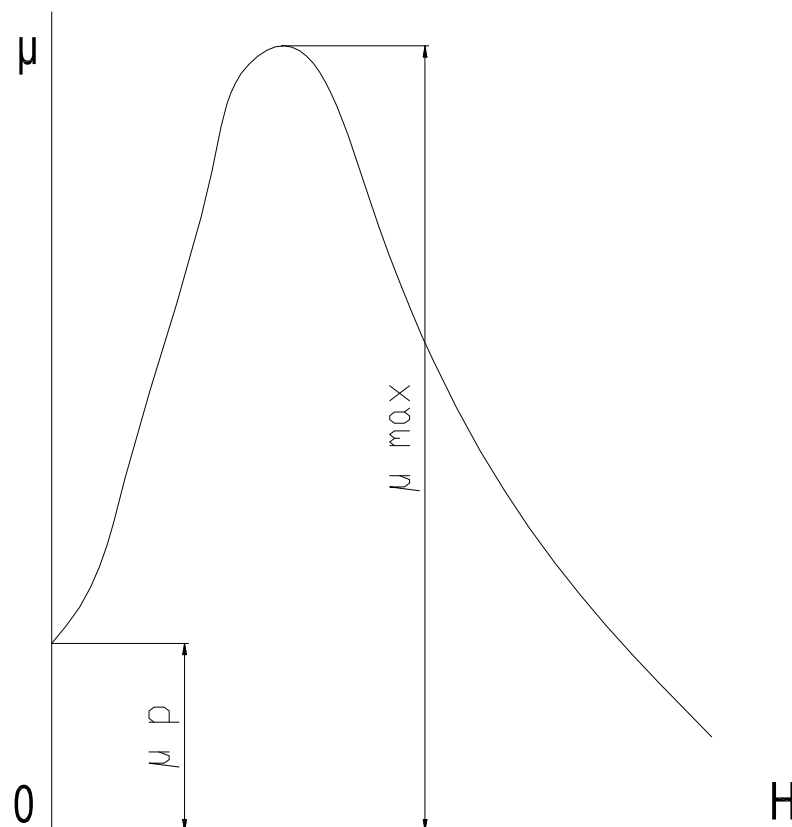
$$\Phi = B \cdot S \quad (2)$$

3.2.1.1.4. Permeabilita

Značí se μ nebo také μ_r (relativní permeabilita). Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává kolikrát je permeabilita prostředí větší oproti permeabilitě vakua.

$$\mu = \frac{\mu_{abs}}{\mu_0} \quad (3)$$

Maximální permeabilita je úměrná směrnici tečny vedené v počátcích souřadnic ke křivce prvotního magnetování. Nezbytné při jejím určení je i udat intenzitu magnetického pole, při které byla nalezena.



Obr. č .1 - Křivka permeability

Permeabilita prostředí

Značí se μ_{abs} , jednotkou je (H/m). Popisuje magnetické vlastnosti prostředí, ve kterém působí magnetické pole. Počítá se jako:

$$\mu_{abs} = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (4)$$

Permeabilita vakua

Značí se μ_0 , jednotkou je (H/m). Charakterizuje magnetické pole ve vakuu. Počítá se jako:

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad (5)$$

3.2.1.1.5. Magnetická susceptibilita

Značí se κ_m . Jedná se o bezrozměrné číslo a udává poměr mezi magnetickou polarizací a intenzitou magnetického pole. Počítá se jako:

$$\kappa_m = \mu_r - 1 \quad (6)$$

3.2.1.1.6. Magnetický odpor

Značí se R_m , jednotkou je reciproký henry (1/H). Je definován jako odpor, který klade dané těleso magnetickému toku. Říká se mu také magnetická reluktance.

$$R_m = \frac{F_m}{\Phi} \quad (7)$$

R_m [1/H].....magnetický odpor

F_m [A].....magnetomotorické napětí

Φ [Wb].....Indukční magnetický tok

3.2.1.2. Rozdělení látek podle jejich chování v magnetickém poli

Podle odlišnosti chování látek v magnetickém poli, dělíme látky na 3 skupiny (látky diamagnetické, paramagnetické a feromagnetické). O zařazení látky do jedné z těchto skupin rozhoduje její relativní permeabilita μ_r a magnetická susceptibilita K_m .

3.2.1.2.1. Látky diamagnetické

$$\mu_r < 1, K_m < 0$$

Zeslabují magnetické pole a jsou jim odpuzovány. Diamagnetismus se vyskytuje i u paramagnetických a feromagnetických látek, nicméně u těchto látek je jeho vliv zanedbatelný. Mezi představitele diamagnetických látek patří např. měď, stříbro a zlato.

3.2.1.2.2. Látky paramagnetické

$$\mu_r > 1, K_m > 0$$

Zesilují magnetické pole a jsou jim přitahovány. Mezi představitele patří např. hliník a platina

3.2.1.2.3. Látky feromagnetické

$$\mu_r \gg 1, K_m \gg 1$$

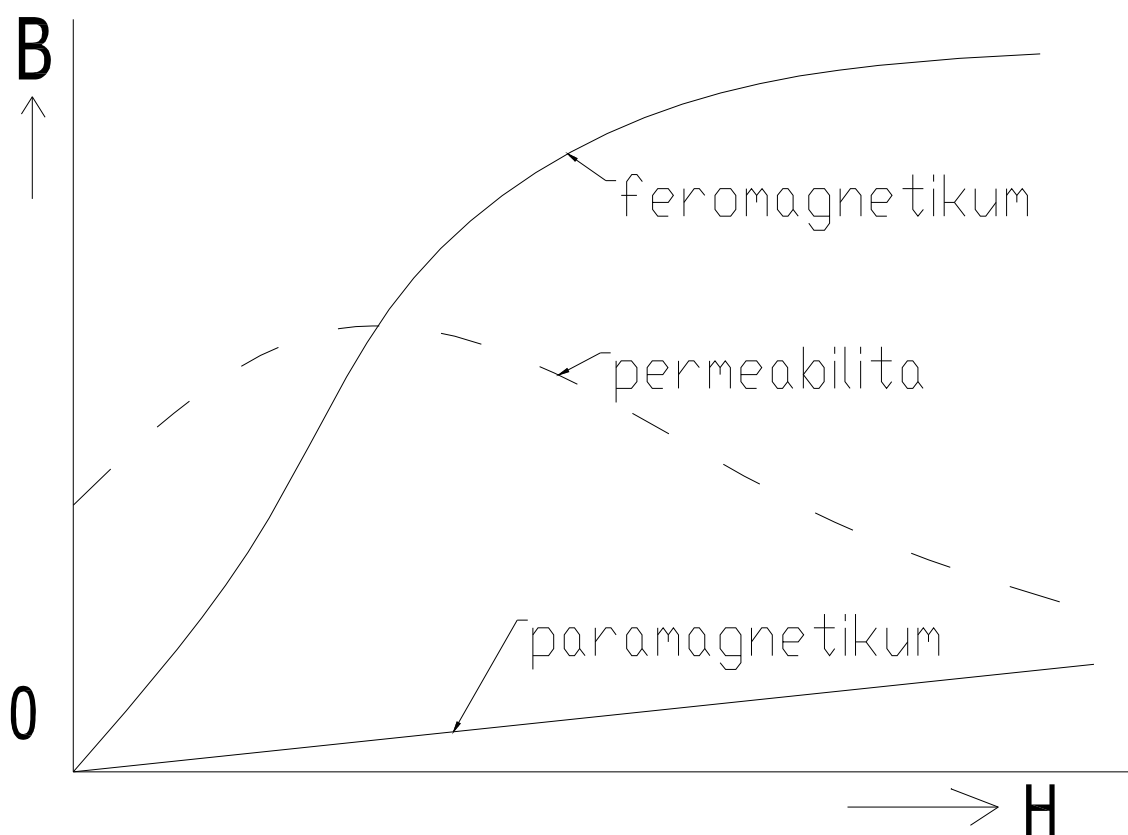
Výrazným způsobem zesilují magnetické pole, zároveň jsou magnetickým polem i přitahovány. Jejich vlastnosti zjišťujeme pomocí magnetických metod. Mezi nejznámější představitele patří železo, nikl, kobalt a jejich slitiny.

Již slabým vnějším polem lze u feromagnetických látek vyvolat jeho zesílení. Je to způsobeno malými zmagnetizovanými oblastmi uvnitř materiálů, které nazýváme magnetické domény. Rozhraní domén potom nazýváme Blochova stěna.

V obecném výchozím stavu se může feromagnetikum, které ještě nebylo magnetováno chovat zdánlivě jako nemagnetické (jednotlivá orientace domén uvnitř materiálu je různá). Při působení vnějšího magnetického pole se uvnitř materiálu začnou zvětšovat domény orientované ve směru vnějšího pole. Při souhlasném uspořádání domén se materiál stává magnetickým (látka je magneticky nasycena). Látka si v takovémto stavu ponechává svoje magnetické vlastnosti i po odstranění vnějšího magnetického pole. Takovou látku potom nazýváme permanentním magnetem. Protože feromagnetickou látkou se může stát pouze látka, která obsahuje krystaly (v nich se vytvářejí zmagnetované oblasti – domény), vyplývá z to ho, že se feromagnetikem nemůže stát kapalina ani plyn.

Pokud zahřejeme feromagnetickou látku na Curieho teplotu, ztratí svoje feromagnetické vlastnosti a stane se z ni paramagnet.

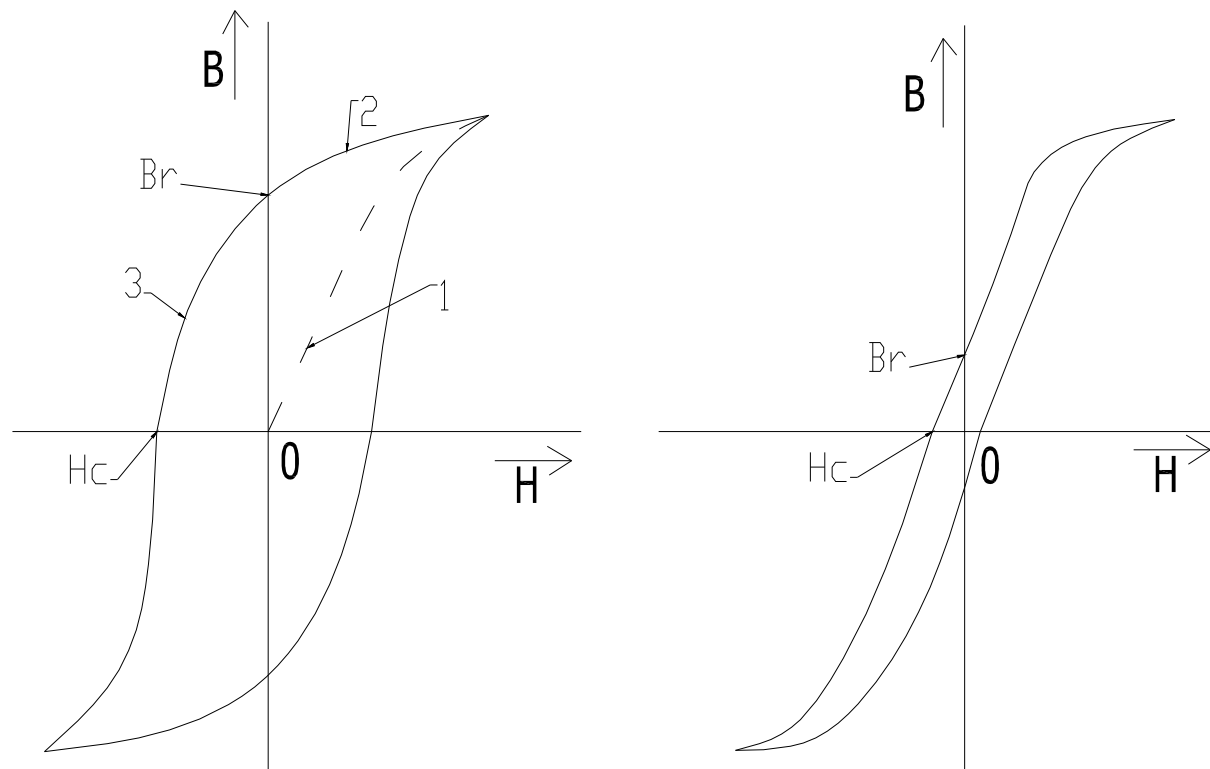
Látky paramagnetické a diamagnetické mají lineární závislost magnetické indukce na intenzitě magnetického pole. U feromagnetických látek je však tato závislost složitější, látka si ještě navíc „pamatuje“ předchozí stavy kterými prošla. Tento efekt nazýváme jako hystereze. Z toho plyne, že průběh magnetizačních křivek se liší při zesilování a zeslabování vnějšího magnetického pole.



Obr. č. 2 – křivky prvotní magnetizace

3.2.1.2. Tvrdé a měkké magnety

Tvrdé a měkké materiály lze od sebe rozpoznat podle plochy jejich hysterezních smyček. Magnety které mají velkou plochu hysterezní smyčky (tvrdé magnety), potřebují velké množství energie na jejich přemagnetování a naopak (měkké magnety).



Obr. č. 3 - hysterezní smyčka

(vlevo magneticky tvrdý materiál, vpravo magneticky měkký materiál)

Popis k obr. č.3

Křivka 1 se nazývá křivkou prvotní magnetizace. Podle růstu a natočení magnetických domén je daný její tvar.

Pokud ve stavu nasycení materiálu (stejně uspořádání domén) odstraníme vnější magnetické pole, materiál si své magnetické vlastnosti ponechá. Tento jev popisuje křivka 2. V takovémto stavu se magnetická indukce materiálu rovná zbytkové (remanentní indukci) Br .

Pokud by jsme chtěli toto magnetické pole nechat zaniknout, potom by jsme museli na materiál působit vnějším magnetickým polem o opačné polaritě a určité intenzitě (koercitivní intenzita magnetického pole Hc). Tento děj popisuje křivka 3.

3.3. Nedestruktivní zkoušení materiálu – magnetické a vířivoproudé zkoušení materiálu [4], [5]

Vysvětlení pojmů defektoskopie a strukturoskopie a některé konkrétní nedestruktivní zkoušky používané v tomto oboru:

Pro zjištění nehomogenity spojitosti hmoty (defektoskopie) nebo odchylky v charakteru hmoty (strukturoskopie), používáme zkoušky destruktivní a nedestruktivní.

Pro zkoumání **strukturoskopie** je asi nejvýhodnější používat nedestruktivní zkoušku ultrazvukového testování, nebo některou z elektromagnetických metod.

U **defektoskopie** zkoumáme jak povrchové nespojitosti hmoty, tak vnitřní. Pro zkoumání vnějších vad feromagnetického materiálu používáme magnetické práškové testování (MT), pro slitiny /Al, Ni, Cu, Mg/ používáme zkoušky penetrační (PT) nebo zkoušky vířivými proudy (ET). Pro zjišťování vnitřních vad používáme zkoušky akustické (AT), prozařovací (RT) nebo ultrazvukové testování (UT).

MT a ET patří do skupiny měření magnetoinduktivního a elektroinduktivního. Tato skupina využívá snímací čidla, která indukují rozptylové pole do zkoušeného materiálu. Tato čidla tvoří vhodně uspořádané vinutí nebo speciální sonda. Při pohybu těchto čidel nad nečelistvostí se indukuje elektrické napětí, které se může dále elektronicky zpracovávat.

3.3.1. Defektoskopie - magnetické zkoušení materiálu

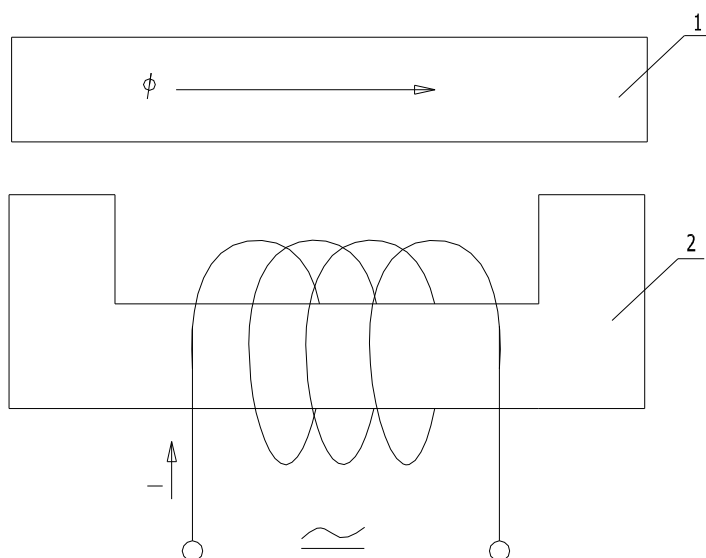
Zkoušení materiálu magnetickými metodami využívá magnetického rozptylu, způsobeného nečelistvostí materiálu. Magnetické rozptylové pole v materiálu vytvoříme tak, že materiál zmagnetizujeme, a to kolmo na směr ve kterém chceme zjišťovat nečelistvosti. K tomuto účelu používáme zmagnetování buďto **pólové** nebo **cirkulární**. Používá se hlavně pro zjišťování plošných vad (trhliny atd.), které jsou na povrchu nebo těsně pod ním.

3.3.1.1. Pólové magnetování

Na části zkoušeného předmětu vytváříme magnetické póly, a to buď trvalé nebo krátkodobé. Toto magnetování nazýváme také podélné, jelikož je zde magnetické pole většinou vytvořeno ve směru podélné osy. Pólové magnetování dále ještě rozdělujeme na *magnetování jhem* a *cívkové*.

3.3.1.1.1 Magnetování jhem

Zkušební předmět je umístěn mezi póly magnetovacího jha. Při otékání proudu magnetovacího jhem je předmět magnetizován podélně – zjišťujeme příčné vady. Výhodné u tohoto způsobu je, že nevznikají opaly. Jho je magnet (permanentní nebo elektromagnet), který je napájen stejnosměrným, střídavým nebo impulsním proudem.

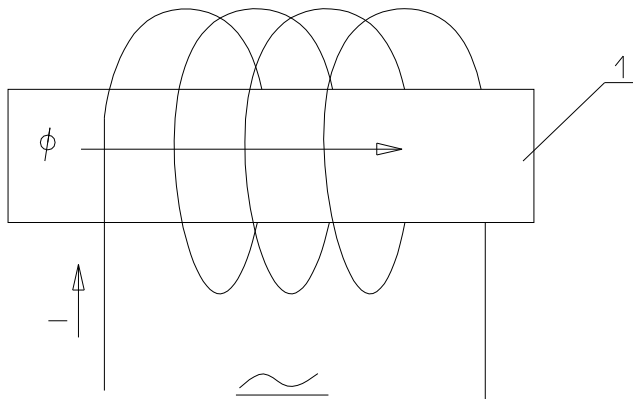


Obr.č 4

- 1) Zkoušený předmět
- 2) Magnetovací jho

3.3.1.1.2. Cívkové magnetování

Zkoušený předmět se vloží dovnitř cívky. Cívkou prochází střídavý, stejnosměrný nebo impulzní proud. Předmět je magnetizován podélně – zjišťujeme příčné necelistvosti. Podobně jako magnetování jhem je i toto zkoušení nedestruktivní (nedochází k opalům). Při vzájemném pohybu cívka-materiál, by neměla rychlost vzájemného pohybu přesahovat 20cm/s, jelikož by byly naměřené hodnoty zkreslené.



Obr. č.5

1) zkoušený předmět

3.3.1.2. Cirkulární magnetování

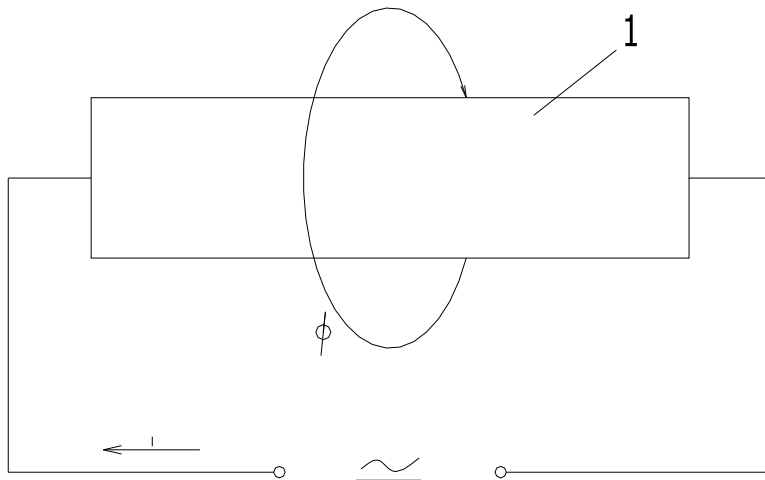
Cirkulární magnetování využívá magnetického účinku elektrického proudu. Magnetické pole tvoří uzavřené dráhy a nevznikají výrazné póly, jako u pólového magnetování. Proud protéká ve směru podélné osy, zjišťujeme tím podélné necelistvosti. Tento způsob proto také nazýváme příčné nebo proudové magnetování a můžeme ho dále ještě rozdělit na magnetování:

- a) průchodem el. Proudu
- b) magnetování pomocným vodičem
- c) magnetování indukci proudu v předmětu

Existuje také *magnetování impulzní*, které můžeme být jak pólové tak cirkulární. Navíc můžeme obě tyto magnetování použít najednou, potom se toto magnetování nazývá *kombinované*. Výhodou tohoto zmagnetování je, že na daném předmětu pak můžeme zkoumat jak příčnou, tak i podélnou necelistvost.

3.2.1.2.1. Magnetování průchodem el. Proudů

Na zkoušený materiál se přiloží elektrody a pouští se přes ně velmi vysoký elektrický proud (sto až několik tisíc A), který je stejnosměrný, střídavý nebo impulzní. Protékajícím proudem předmět příčně magnetizujeme – hledáme podélné necelestvosti. Magnetování průchodem elektrického proudu je jedna z nejjednodušších a nejjednodušších metod zkoušení materiálu. Nevýhodou této metody je že dochází k opalu materiálu a to zejména v místě uchycení elektrod, pro zmírnění tohoto jevu se musí dotykové plochy dobře očistit.

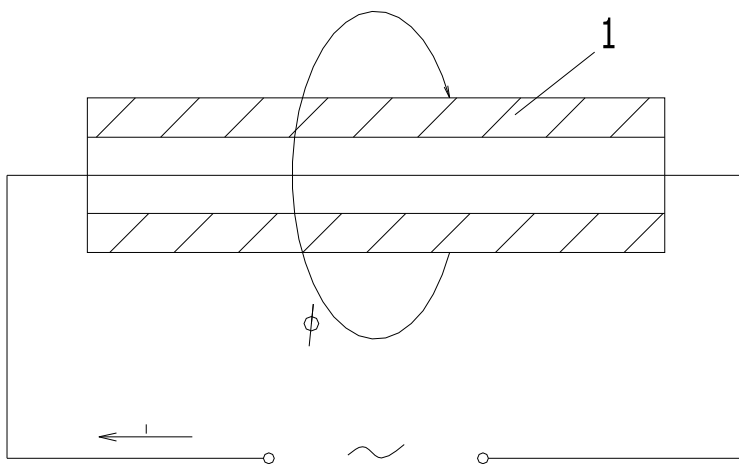


Obr. č.6

1) zkoušený předmět

3.3.1.2.2. Magnetování pomocným vodičem

Jedná se o velmi šetrné zkoušení materiálu (nazývané též jako bezkontaktní), které však lze použít jen na tělesa s průchozí dírou (prstence, trubky, apod.), kterou se provleče vodič (drát, kabel atd.) a tímto vodičem se nechá protékat elektrický proud (střídavý, stejnosměrný nebo induktivní). Tímto předmět příčně zmagnetizujeme – zkoumáme podélné necelestvosti. Další výhodou této metody je, že ji můžeme provádět ručně a pokud se jedná o tenkostěnné tělesa (trubky, prstence), potom můžeme hledat i nespojitosti na vnější straně tohoto tělesa.

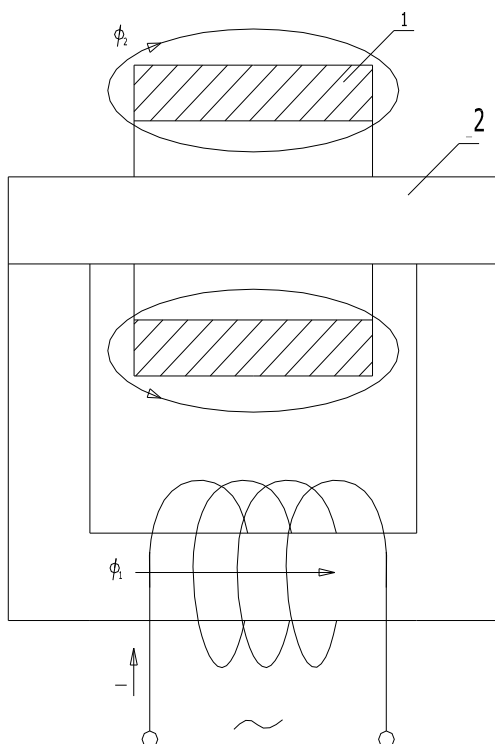


Obr.č.7

1) zkoušený předmět

3.3.1.2.3. Magnetování indukcí proudu v předmětu

Slouží pro zkoušení součástí prstencového tvaru. Součást se navleče na vodič který je upnut ve jhu a je buzen střídavým proudem. Předmět je potom cirkulárně (podélně) magnetován. Zjišťujeme příčné necelistvosti a to jak uvnitř předmětu, tak i na povrchu a dokonce i na čelech. Tato metoda je bezdotyková (nedochází k opálení). Mezi nevýhody patří „nepřenosnost“ tohoto zařízení, jelikož musíme používat jhu se střídavým magnetováním.



Obr. č. 8

1) zkoušený předmět

2) pomocné jho z feromagnetického materiálu

3.3.1.3. Impulzní magnetování

Tato metoda se používá pouze na materiály z dostatečným zbytkovým magnetickým polem (koercitivní síla $\geq 1 \text{ kA/m}$ a remanence $\geq 0,9 \text{ T}$). S výhodou se používá hlavně na menší součástky které mají poměr stran do 3:1, jelikož u takovýchto součástí můžeme najednou zjišťovat příčné i podélné necelestvosti. Další výhodou této metody je, že nedochází k opalu materiálu, jelikož doba průchodu proudu součástí je 1 až 100ms.

3.3.1.4. Kombinované magnetování

Jedná se o metodu, kterou můžeme najednou zjistit necelestvosti ve více směrech. K tomuto účelu se používá dvou nebo více magnetů, které tvoří kolmá magnetická pole různě časově rozfázovaná, či jinak posunutá. K tomuto se používají 2 hlavní metody:

a) skládání střídavého a stejnosměrného magnetického pole

Nejstarší způsob kombinovaného magnetování používaný do dnes. Vektor výsledného pole osciluje kolem směru stejnosměrného pole.

b) skládání 2 střídavých polí s fázovým posunem

Vzniká pole velikosti rozdílu fázového posunu, které je obíhavého charakteru. Používáme většinou 3 fázový zdroj o posunutí fází 120° a kombinujeme 2 střídavé pole. Pokud chceme kombinovat více polí, potom použijeme fázový posun v rozmezí od 50 do 130° . Tato metoda se používá u moderních přístrojů a je u ní snadnější odmagnetování předmětu po zkoušce.

Na vznik kombinovaného magnetického pole používáme kombinace:

Kombinace jha a průchodu proudu

Kombinace cívky a pomocného vodiče

Kombinace indukce proudu v předmětu a pomocného vodiče

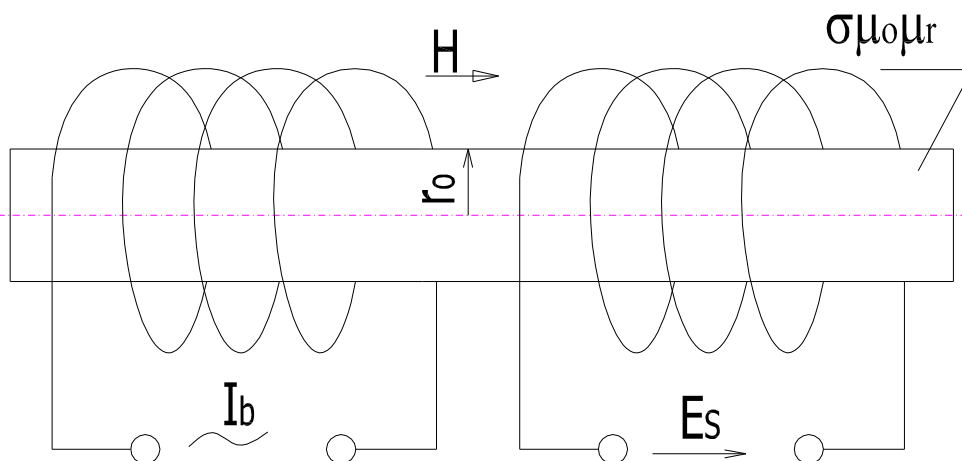
3.3.2. Defektoskopie - metoda vířivých proudů

Jedná se o speciální magnetickou metodu pro zkoušení materiálu, která je velice rychlá, nedestruktivní a přenosná. Předmět je vystaven působení toku elektrického proudu, který je indukovaný magnetickým střídavým polem. Tato metoda slouží pro zjišťování vad, které ovlivňují elektrickou vodivost, průřez nebo permeabilitu předmětu. Případné vady ve zkoušeném předmětu zjistíme pomocí impedance a fáze napětí (*způsob příložné cívky*), nebo pomocí amplitudy a fáze (*způsob průchozí cívky*).

3.3.2.1. Způsob průchozí cívky

Dvě cívky mají společné jádro (zkoušený předmět). Primární cívka je napájena střídavým proudem, který vytváří střídavý magnetizační pole. Průměr cívky volíme co nejbližší k průměru zkoušeného předmětu, díky tomu nám případné vady výrobku vyvolají velké změny indukovaného proudu. Rozdílové napětí se nám ukazuje na obrazovce 3 způsoby:

- a) zobrazení elipsou b) zobrazení sinusovkou c) bodové zobrazení



Obr. č. 9

I_b – budící střídavý proud

E_s – snímané napětí

H – intenzita magnetického pole na povrchu zkoušeného tělesa

σ - měrná vodivost

μ_o – permeabilita vakua

μ_r – relativní permeabilita

r_c – poloměr zkoušeného tělesa

3.3.2.2. Způsob příložné cívky

Je to lokální způsob zkoušení a používá se u rozměrnějších výrobků. Příložná cívka je napájena střídavým proudem a k povrchu výrobku se přikládá radiálně. Zjišťujeme tloušťky vodivých fólií, tloušťky nevodivých vrstev na vodivém základě, vodivost, atd. Tato metoda je bezdotyková a můžeme pomocí ní zjišťovat vady na feromagnetických i neferomagnetických materiálech.

3.3.3. Strukturoskopie – měření elektromagnetických vlastností materiálu [5]

Jedná se o induktivní metody kontroly chemického složení, tvrdosti a magnetismu materiálu. Metody zkoušení jsou založeny na závislostech mezi strukturálním stavem materiálu a jeho magnetickými, případně elektrickými vlastnostmi.

Měření elektromagnetických vlastností materiálu čerpá z poznatků:

- Při popouštění a žhání roste permeabilita, ale klesá koercivita, remanence a hysterezní ztráty. Opačný vliv na tyto vlastnosti má potom kalení.
- Zvyšováním tvrdosti rostou koercivní síly, remanence, hysterezní ztráty ale klesá permeabilita.

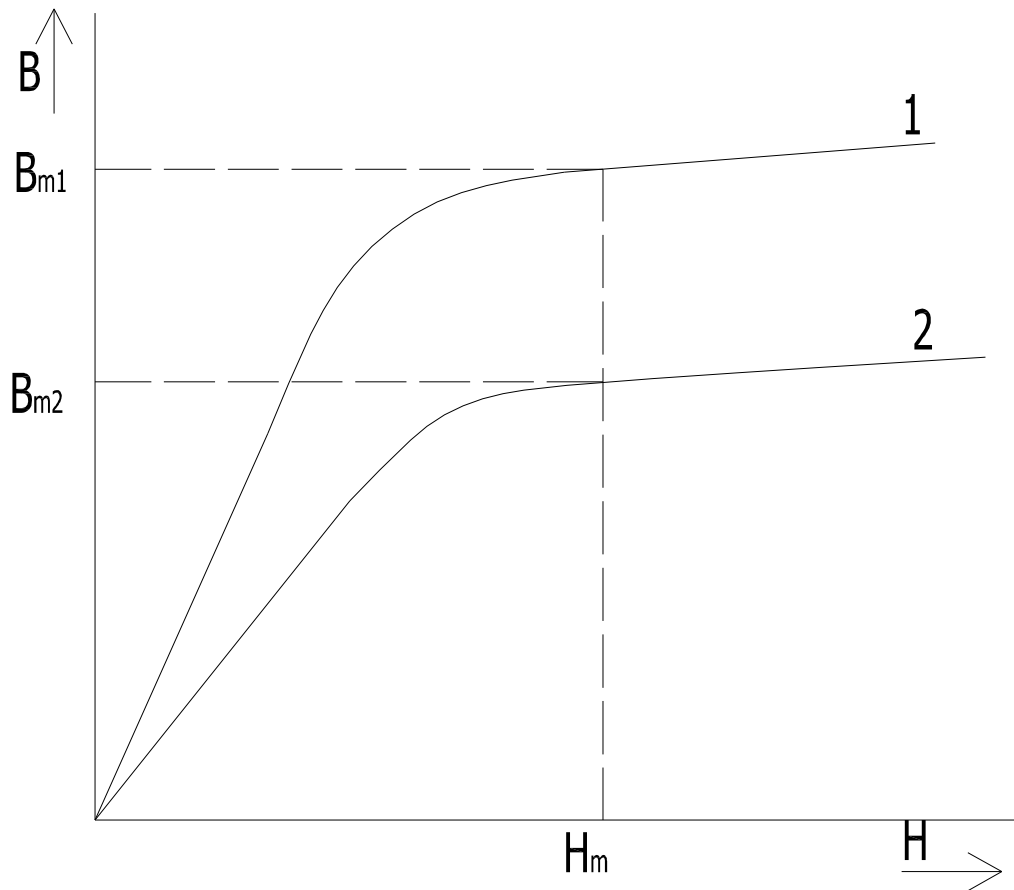
Z těchto podmínek vyplývají čtyři základní vlastnosti, které těmito metodami měříme:

- měření permeability
- měření koercivity
- měření remanence
- měření hysterezních ztrát

Z těchto vlastností se v praxi přednostně měří permeabilita a remanence. Z naměřených hodnot lze přibližně dopočítat hodnoty koercivity, které by jsme samotným měřením velmi obtížně hledali. Měření hysterezních ztrát se ve strukturoskopii zatím nevyužívá.

3.3.3.1. Měření permeability

Měříme přístroji, které se nazývají permeametry. Permeabilitu určíme měřením indukčního toku v kontrolovaném předmětu, při zvolené hodnotě magnetického pole. Při konstantní intenzitě magnetického pole je potom permeabilita úměrná zjišťované hodnotě indukčního toku. Stanovená permeabilita je potom zdánlivá, popř. efektivní, jelikož je ovlivněna tvarem výrobku.



Obr. č. 10 – princip měření permeability

Vysvětlivky:

1 – etalonový vzorek (kalibrační)

2 – kontrolovaný výrobek

H_m - působící magnetické pole

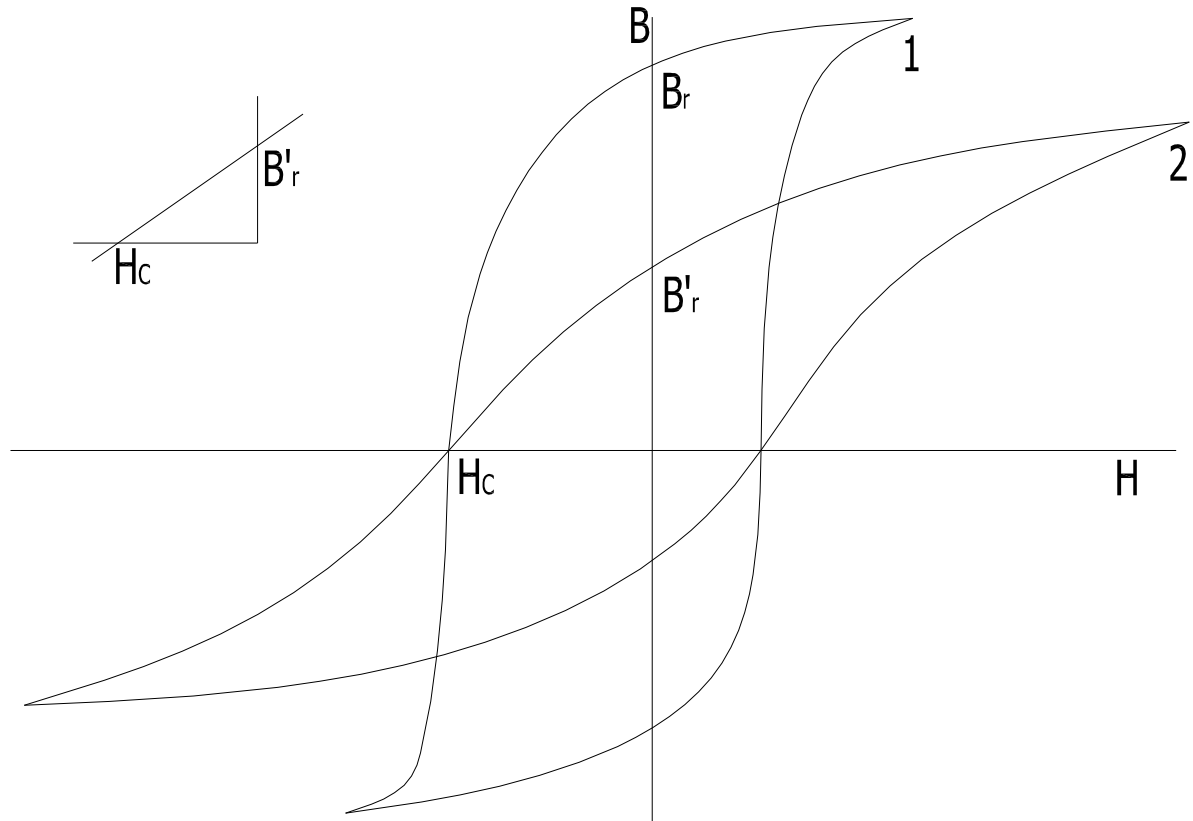
B_{m1} – indukce vzniklá v etalonové vzorku

B_{m2} – indukce vzniklá v kontrolovaném výrobku

3.3.3.2. Měření remanence a koercivity

Jedná se o nedestruktivní metodu měření, která se používá pro tepelně zpracované feromagnetické materiály.

Samotné měření koercivity je složité a v praxi se nepoužívá. Lze však za určitých podmínek dopočítat z naměřených hodnot remanence.



Obr. č. 11 – princip měření remanence

B_r – zdánlivá remanence

H_c – koercitivní síla

Princip postupu měření:

Vycházíme z předpokladu, že předměty, které mají velikost délky podobnou jako velikost průměru, mají vysokou hodnotu demagnetizačního činitele. V důsledku toho se snižuje strmost hysterezní smyčky. Tato smyčka přejde z původního tvaru 1 na tvar 2 (obr č. 11). Potom ve II. kvadrantu souřadného systému tvoří její část přeponu pravoúhlého trojúhelníka. Odvěsnami toho trojúhelníku jsou B_r – zdánlivá remanence a H_c – koercitivní síla. Při změně koercivity se mění i remanence a to pořád ve stejném poměru. Nově vzniklé přepony jsou rovnoběžné.

Zatímco měření koercivity je obtížné, měření remanence lze jednoduše provést prostým změřením pole okolo zkoušeného materiálu, který před tím zmagnetujeme do nasycení.

Z naměřených hodnot remanence potom můžeme dopočítat koercivitu.

3.3.3.2.1. Metoda magnetického bodového pólu [6]

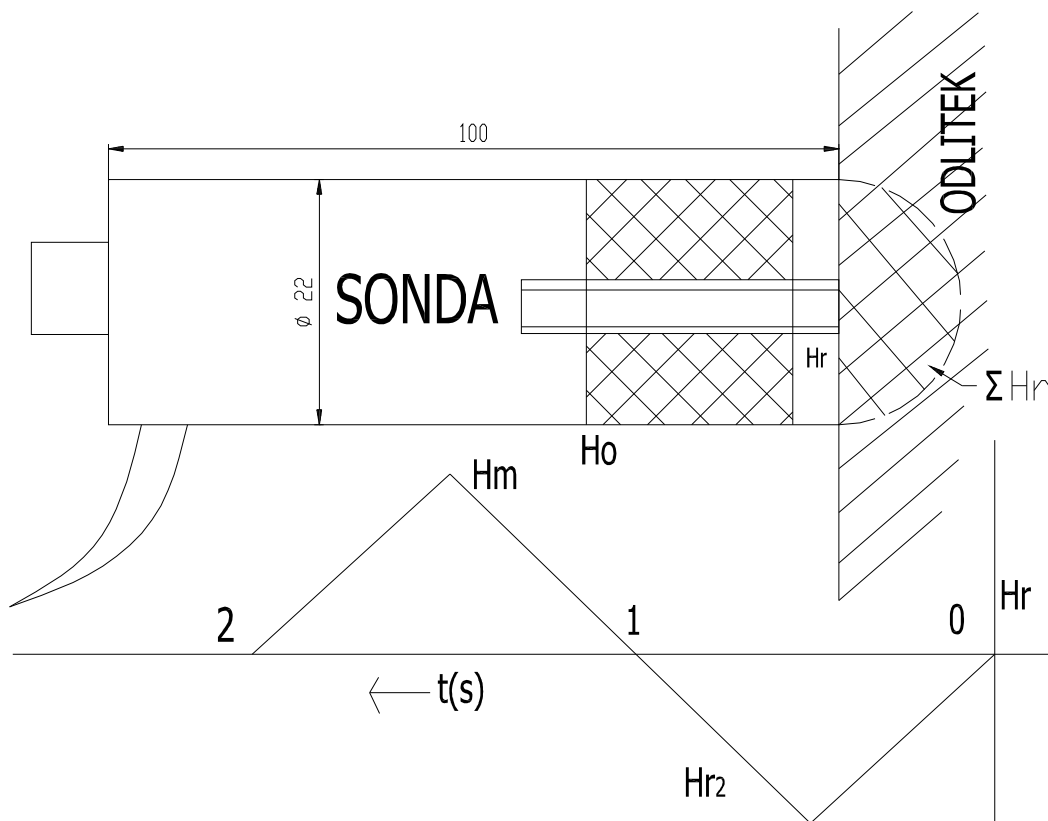
Jedná se o metodu měření remanence, u které se zbytkové pole snímá sondou. Patří mezi nejmodernější způsoby měření magnetických vlastností. Měření se provádí pomocí metody magnetického bodového pólu. Na této metodě pracují přístroje řady DOMENA (starší série se nazývala REMAG). Tato metoda se neustále vyvíjí a zlepšuje a můžeme pomocí ní měřit kromě tvrdosti feromagnetických materiálů také pevnost a hloubku prokalení. Tato metoda měření je velmi rychlá a umožňuje měřit tvrdost materiálu i přes povrchovou vrstvu.

Feromagnetické materiály jsou ty, jež si udržují své magnetické vlastnosti, jelikož jejich krystalová mřížka obsahuje poruchy (dislokace) a další překážky jako jsou atomy martenzitu, cementitu či uhlíku. Tyto překážky brání návratu domén do celkově magneticky neutrálního stavu (původní orientace).

Touto metodou může měřit tvrdost, jelikož existuje přímý vztah mezi mechanickou a magnetickou tvrdostí v materiálu - magneticky tvrdé složky (lamely perlitického cementitu, martenzitu) jsou zároveň i mechanicky tvrdé. Čelem sondy tedy měříme v materiálu zbytkové magnetické pole jehož hodnota je přímo závislá na množství disperze cementitu a perlitu.

Princip měření:

Nejprve zmagnetizujeme pomocí příložené sondy (její magnetická cívka je napájena trojúhelníkovými impulzy opačné polarity) povrch zkoušeného předmětu. Intenzitu zbytkového pole potom měří Hallův snímač, který je umístěn v ose cívky na povrchu čela sondy. Nejprve změří intenzitu zbytkového pole po předposledním impulzu, ten je kladný. Poslední impuls je záporný, intenzita zbytkového pole se opět změní. Na displeji přístroje se ukáže absolutní součet kladné a záporné intenzity zbytkového pole. Měření je rychlé (cca 3sek) a lehce opakovatelné. Navíc se tímto způsobem měření eliminuje nepříznivý vliv rušivých polí.



Obr. č. 12 – schéma příložné sondy

3.3. Zkoušky měření tvrdosti [7]

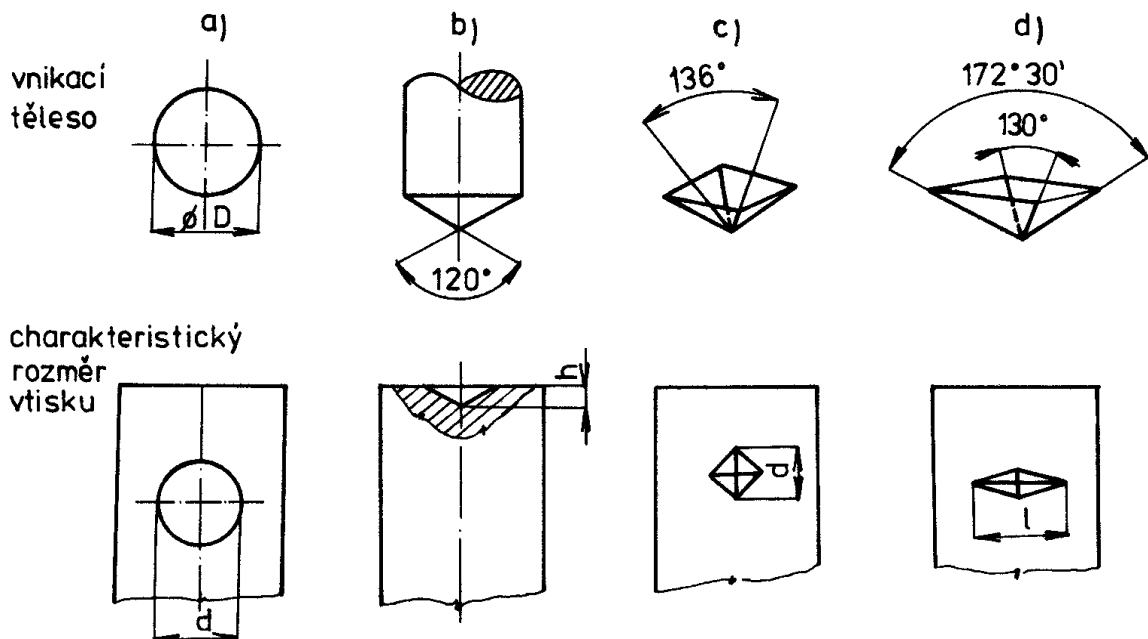
Jedna z nejdůležitějších vlastností materiálu je právě tvrdost. Je definována jako odpor kladený materiálem proti vnikání cizího tělesa. Hodnota tvrdosti se uvádí bez jednotek, jen v případě, že je odvozena vztahem mezi tlakovou silou a plochou vtisku, potom má jednotku MPa . I v takovýchto případech se však záměrně většinou uvádí bez jednotky, aby nedošlo k záměně s hodnotu pro mez pevnosti materiálu. Zkoušky tvrdosti značíme H a rozdělujeme je na vrypové, vnikací a odrazové, popřípadně ještě na statické a dynamické.

3.3.1. Zkouška vrypová

Používá se pro velmi křehké, nebo naopak velmi tvrdé materiály. Nejznámější zkouškou v této oblasti je zkouška dle Martenze, kterou značíme HMa. V této zkoušce se pohybuje diamantový kužel předepsanou rychlostí po povrchu zkoušeného tělesa. Kužel má vrcholový uhel 90° a tlačí na něj proměnná síla. Hledáme potom velikost přitlačné síly, která je potřeba ke vzniku vrypu šířky 0,01mm.

3.3.2. Zkouška vnikací

Patří mezi nejpoužívanější zkoušky měření tvrdosti. Je založena na vtláčování zkušebního tělesa do zkoušeného materiálu a podle tvaru se dělí na zkoušky dle Brinella, Rockwella, Vickerse a Knoopa.



Obr. č.13 - Tvary vtláčovaných těles

a) Brinell b) Rockwell c) Vickers d) Knoop

3.3.2.1. Zkouška vnikací - dle Brinella

Kulička (průměr $D = 10\text{mm}, 5\text{mm}, 2,5\text{mm}, 2\text{mm}, 1\text{mm}$) je vtlačována do zkoušeného materiálu. Do tvrdosti 450 HB se používá ocelová kalená kulička, nad tyto tvrdosti potom kulička ze slinutých karbidů. Po odlehčení zkušebního zařízení (doba zatížení pro oceli a litiny je 10 – 15s, u neželezných kovů 180 s), odečteme 2 na sebe kolmé rozměry průměry d_1 a d_2 a z nich potom spočítáme aritmetický průměr d .

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (8)$$

d, d_1, d_2 [mm].....průměry vtisku

Následně můžeme určit tvrdost HB (dle Brinella).

$$HB = \frac{0,102F}{A} \quad (9) \quad A = \frac{\pi \cdot D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right) \quad (10)$$

F [N].....zátěžná síla

A [mm^2].....plocha vtisku

D [mm].....průměr vtlačované kuličky

3.3.2.2. Zkouška vnikací - dle Rockwella

Diamantový kužel (vrcholový úhel 120°) nebo ocelová kulička (průměr $1/16''$) je nejdříve zatížena na zkoušeném materiálu předběžnou silou F_0 , tím dojde k vyrovnání nerovností povrchu. Následně zvýšíme zátěžnou sílu o sílu F_1 . Po odlehčení síly F_0 odečteme na hloubkoměru tvrdost v příslušné stupnici.

3.3.2.3. Zkouška vnikací - dle Vickerse

Diamantový čtyřboký jehlan (vrcholový úhel 136°) je zatížen silou F (294N) po předepsanou dobu (10-15 s). Po odlehčení měříme na sebe kolmé úhlopříčky vtisku u_1 a u_2 , z nich potom spočteme aritmetickým průměrem výslednou úhlopříčku u .

$$u = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad (11)$$

Tvrdost HV dle Vickerse potom spočítáme ze vztahu:

$$HV = 0,189 \frac{F}{u^2} \quad (12)$$

F [N].....zátěžná síla

u [mm].....aritmetický průměr délky vtisklých úhlopříček

3.3.2.4. Zkouška vnikací - dle Knoopa

Diamantový čtyřboký jehlan (vrcholové úhly 130° a $172^\circ 30'$) je zatěžován silou F . Po odlehčení měříme delší z úhlopříček l . Tvrdotost HK vypočteme potom ze vztahu:

$$HK = 1,4509 \cdot \frac{F}{l^2} \quad (13)$$

F [N].....zátěžná síla

l [mm].....délka delší úhlopříčky kosočtverce

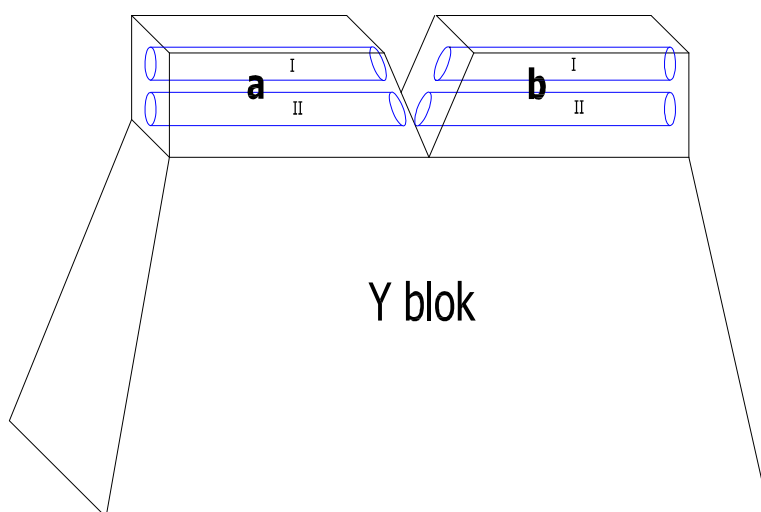
3.3.2. Zkouška odrazová

Používá se spíše jako orientační. Závaží je spuštěno z určité výšky a měří se velikost jeho odraz pomocí přístroje, který se nazývá Shoreho skleroskop. Tvrdotost HSh odečítáme přímo na stupnici přístroje.

3.4. Y blok

Jedná se o odlitek, připomínající z boku tvar písmene Y (obr. č. 14). Firmy si nechávají takovéto odlitky odlít, pokud potřebují zjistit vlastnosti dané slitiny. Ve spodní části Y bloku (zúžená část) ztuhne slitina nejdříve a právě tato část se potom používá ke zjišťování její vlastností.

Často se tato spodní část odděluje od zbylé základny a následně i v polovině délky. Z každé z takto vzniklých polovin se ještě vysoustruží 2 válečky. Na nich potom můžeme měřit elektromechanické a mechanické vlastnosti, včetně zkoušky tahem.



Obr. č 14 – Y blok

4. Experimentální část

V této části práce využívám naměřených hodnot, provedených na odlitcích (popřípadě soustružených vzorků z těchto odlitků). Jedná se hodnoty tvrdost povrchu a především o hodnoty intenzity remanentního (zbytkového) magnetického pole, které byly změřeny metodu magnetického bodového pólu, pomocí přístroje DOMENA – B3.b od společnosti ELKOSO s.r.o. Každá hodnota byla změřena minimálně 2x (kontrola správnosti). Kompletní tabulky těchto měření se nacházejí v přílohách, stejně jakožto i podrobnosti o měřicím přístroji. Tvrdosti u LKG byly měřeny metodu dle Brinella (HB).

4.1. LLG

4.1.1. Cu v LLG

Vzorky byly odlity z LLG pro FOCAM s.r.o. Olomouc v indukční peci. Jedná se o Y bloky s dvěma typy tloušťek (12,5 a 25mm – pro objektivitu měření), ze kterých byly vysoustruženy válečky různých průměru (přehled válečků uvádím v příloze). Pro moji práci jsem však využil pouze válečky se stejným průměrem (22mm) a přibližně podobnými délkami (neprokázalo se, že by délka válečku ovlivňovala intenzitu remanentního magnetického pole).

Tab. č. 1

Číslo tavby	Chemická analýza (v %)						
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
3479 A	3,15	2,24	0,19	0,02	0,016	0,02	0,01
3479 B	3,03	2,21	0,19	0,02	0,016	0,43	0,01
3494 C	3,03	2,21	0,22	0,02	0,016	0,74	0,02
3494 D	3,17	2,17	0,21	0,03	0,017	1,41	0,02

Metalurgický popis výroby vzorku:

1) Tavba 3479

Vsazka: Surové železo 38 kg
Vratný materiál 32 kg
Ocelový šrot 28 kg
FeSi 75 % 1,9 kg
Smolný koks 0,5 kg

Očkování
Inoculin 250 0,3 kg
do proudu kovu při přelévání z pece do pánve

Tavba 3479 A

Odlito cca 50 kg tekutého kovu do forem Y1 + Y2

Tavba 3479 B

Dolegováno 0,2 kg Cu do pánve a odlity další formy Y1 + Y2

2) Tavba 3494

Vsazka: Surové železo 38 kg
Vratný materiál 32 kg
Ocelový šrot 28 kg
FeSi 75 % 1,9 kg
Smolný koks 0,5 kg
Cu 0,8 kg

Očkování
Inoculin 250 0,3 kg
do proudu kovu při přelévání z pece do pánve

Tavba 3494 C

Odlito cca 50 kg tekutého kovu do forem Y1 + Y2

Tavba 3494 D

Dolegováno 0,4 kg Cu do pánve a odlity další formy Y1 + Y2

Po odlití byly vybrány vzorky zkoušeny s následujícími výsledky:

Tab. č. 2

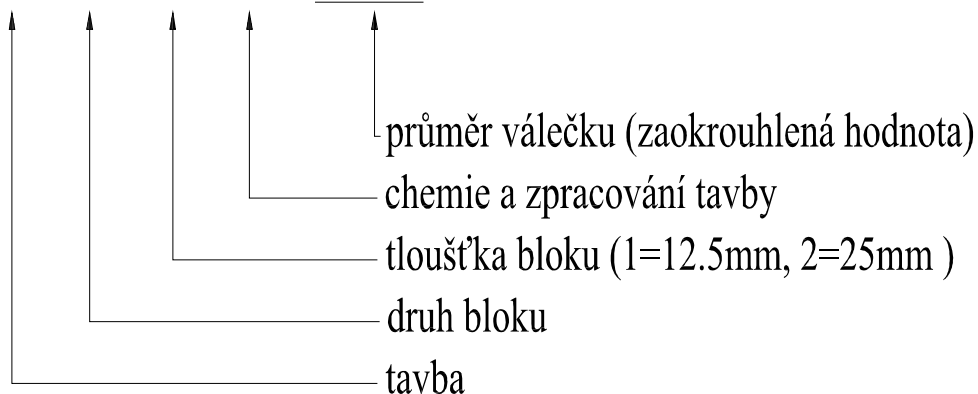
Tavba	VZOREK	D (mm)	L (mm)	M1 (A/m)	M2 (A/m)	M střední (A/m)	Průměr M (A/m)
A	2Y2A22	22,1	197,7	129	121	125	142,75
	2Y1A22	21,7	198	164	157	160,5	
B	2Y1B22	22,2	197,7	187	173	180	179,5
	2Y2B22	22,2	197,2	178	163	170,5	
	2Y1B22	21,5	196,2	196	180	188	
C	2Y2C22	22	196,8	202	185	193,5	211,2
	2Y1C22	22,1	197	207	192	199,5	
	2Y2C22	22,2	197,3	247	234	240,5	
D	2Y2D22	22,2	196	276	256	266	275,5
	2Y1D22	21,8	196,8	286	267	276,5	
	2Y2D22	21,5	195,3	292	276	284	

Poznámka k naměřeným magnetismům:

M1, M2 měřeno na stejném místě - na válcové ploše zhruba uprostřed délky

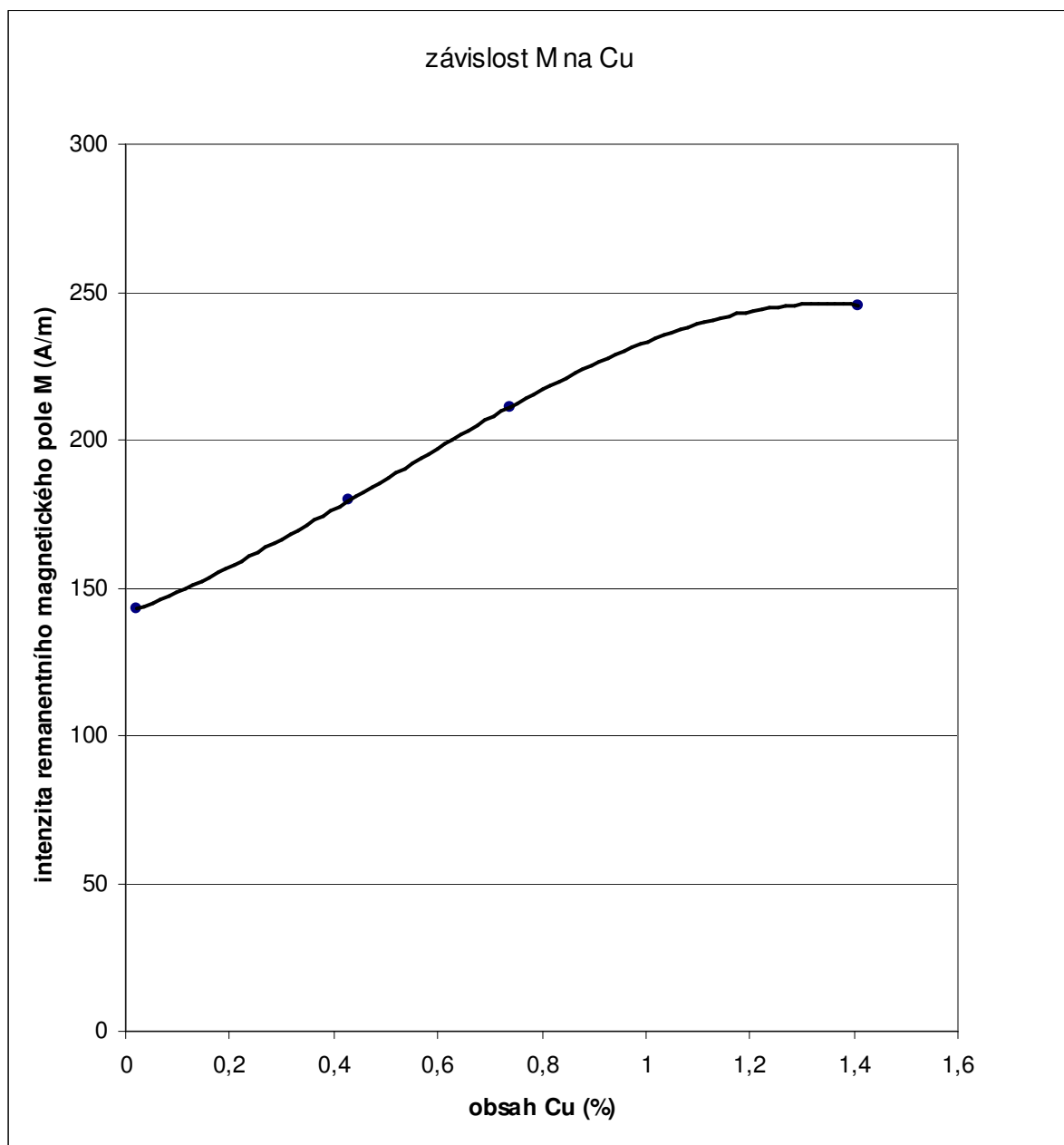
Značení vzorků:

1 Y 1 A 1 3



Naměřené hodnoty jsem zanesl do grafu a následně jsem vytvořil rovnici (vzorec), která nám ukazuje jak se mění intenzita remanentního magnetického pole (M) v LLG při změně obsahu Cu.

Graf č. 1



Pro daný graf platí vztah (polynomická křivka 3. stupně):

$$y = -50,1x^3 + 77,153x^2 + 64,63x + 141,43$$

legenda:

x...obsah Si (v %)

y... intenzita remanentního magnetického pole M (A/m)

Z grafu č.1 je patrné, že remanentní magnetického pole roste v závislosti na obsahu Cu téměř lineárně. Daný průběh se dá zjednodušit lineární závislosti $y = 73,875x + 146,72$. Pro přesný popis jsem však použil polynomickou křivku 3. stupně.

4.2. LKG

4.2.1. Si v LKG

Vzorky byly odlity z LKG v kuplově SKS Krnov. Jedná se o brzdové kotouče o tloušťce 30mm a průměru 800mm. Bylo odlito přes 20 vzorku, z nichž byla pro moji práci použitelná jen část. Použité vzorky jsou zaneseny do dvou tabulek z důvodu rozlišení chemického rozboru. Tabulky jsou seřazeny vzestupně podle obsahu Si. Obsahy chemických prvků C, Ni, Mo, S, Cu jsou mírně zaokrouhleny. Mg je v těchto vzorcích velmi proměnlivý (od 0,087 do 0,04), ale jelikož se neprokázalo že by měl významnější vliv na ovlivnění magnetismu v litině, počítám s ním dále jako by byl v měřených hodnotách konstantní a to roven 0,06. Skutečné naměřené hodnoty bez zaokrouhlování jsou přiloženy v příloze.

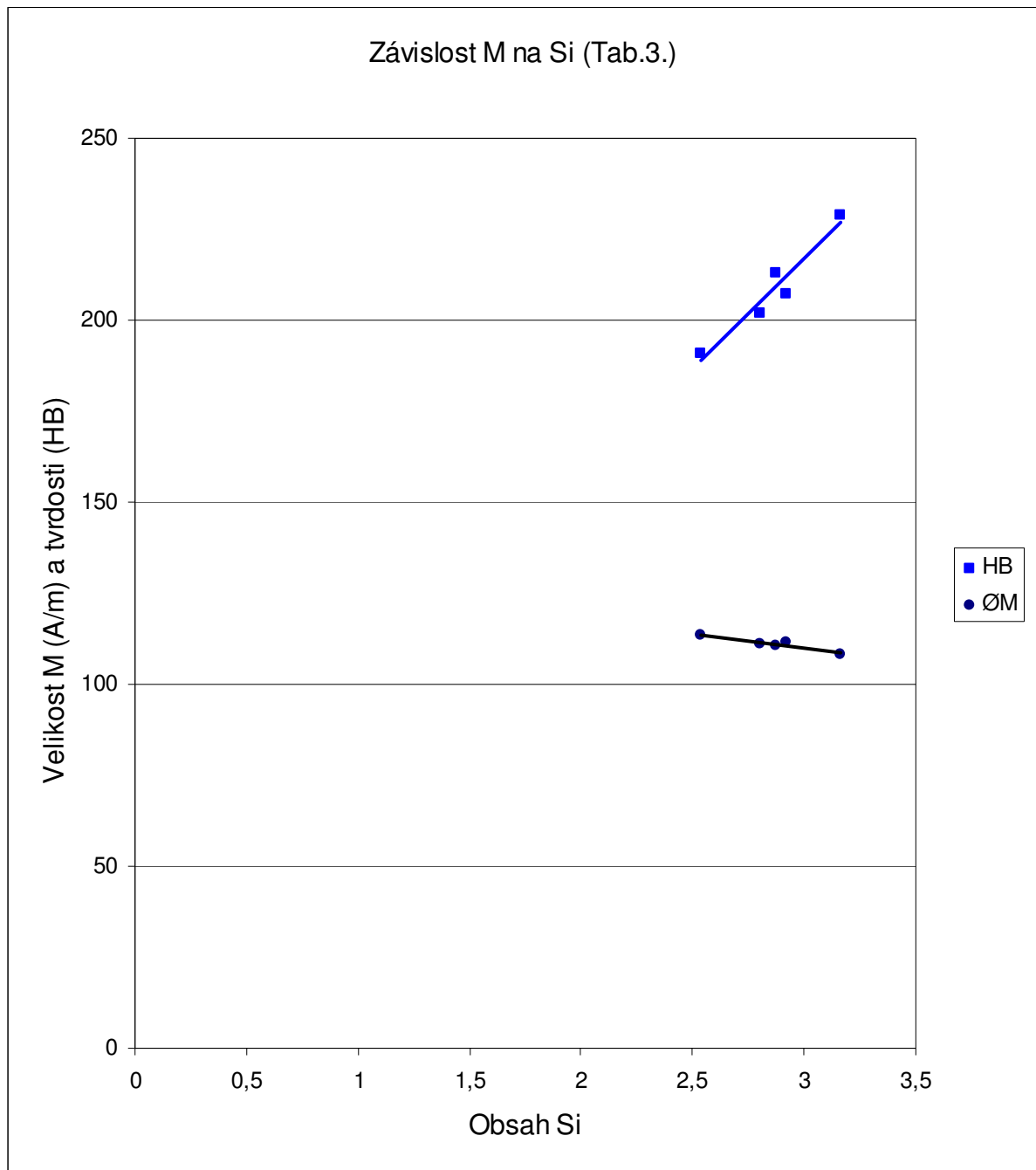
Tab. č. 3

Číslo vzorku	<i>Chemický rozbor (%)</i>									Naměřené hodnoty	
	<i>C</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>	<i>Si</i>	HB	ØM (A/m)
9	3,55	0,11	0	0,12	0,04	0,007	0,35	0,04	2,54	191	113,3
6								0,06	2,8	202	111,2
7								0,072	2,87	213	110,8
5								0,072	2,92	207	111,5
10								0,06	3,16	229	108

Tab. č. 4

Číslo vzorku	<i>Chemický rozbor (%)</i>									Naměřené hodnoty	
	<i>C</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>	<i>Si</i>	HB	ØM (A/m)
15	3,475	2,00	0,04	0,12	0,04	0,007	0,96	0,041	2,44	278	192,7
19								0,042	2,46	269	197
17								0,06	2,64	266	204,3
18								0,061	2,77	277	209,9
16								0,08	2,8	275	196,8
13								0,085	2,86	270	212,5
14								0,087	2,9	285	202,1

Graf č. 2



Pro daný graf platí vztah (lineární pokles):

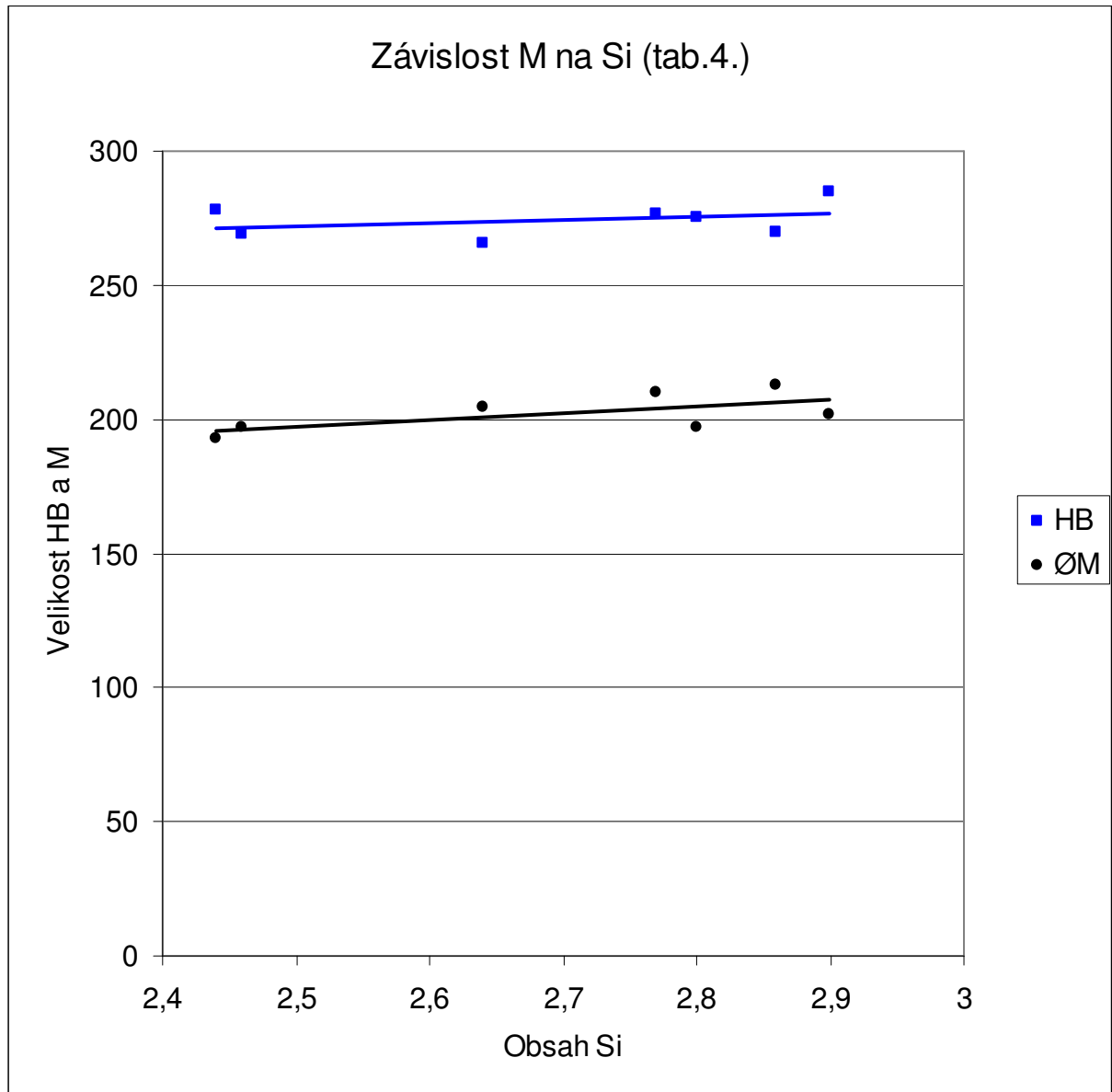
$$y = -8,115x + 134,15$$

legenda:

x...obsah Si (v %)

y... intenzita remanentního magnetického pole M (A/m)

Graf č. 3



Pro daný graf platí zjednodušený vztah (nahrazení polynomičké křivky) lineární závislost:

$$y = 24,949x + 134,93$$

legenda:

x...obsah Si (v %)

y... intenzita remanentního magnetického pole M (A/m)

V grafů č. 2 je vidět že při zvyšování Si, magnetismus ve vzorku pozvolna klesá, a tvrdost roste. Z druhého souboru naměřených hodnot (tab.č4) potom můžeme vidět, že magnetismus pozvolna roste se zvyšujícím se obsahem Si. Obdobně se chová i tvrdost. Tuto skutečnost pravděpodobně zapříčinil vyšší obsah Ni a Cu u druhého souboru naměřených hodnot.

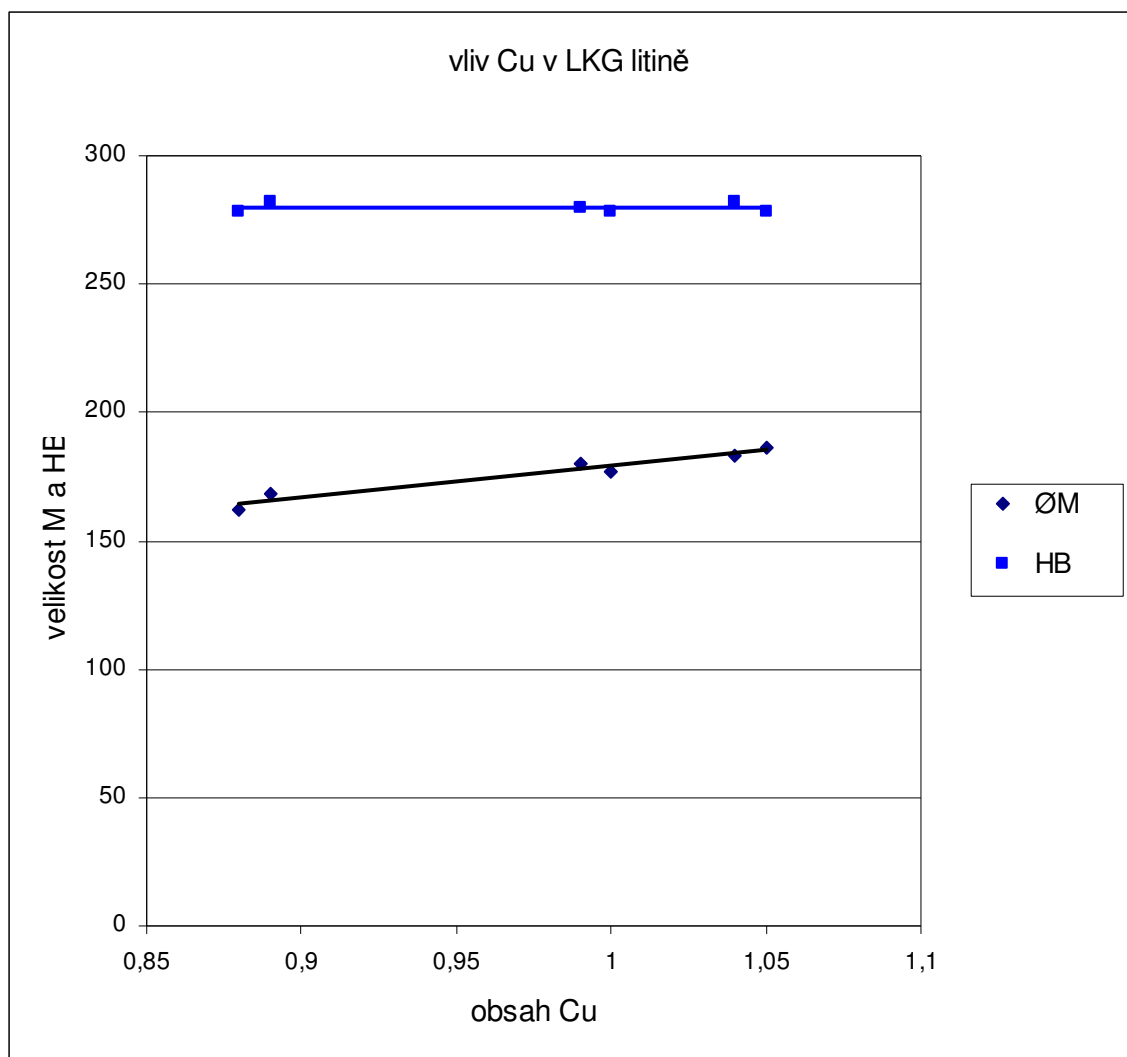
4.2.2. Cu v LKG

Vzorky byly odlity z LKG v kuplově SKS Krnov. Vzorků bylo odlito přes 20 a jen část z nich byla pro moji práci použitelná. Tabulka je seřazena vzestupně podle obsahu Cu. Obsahy chemických prvků jsou mírně zaokrouhleny. Skutečné naměřené hodnoty bez zaokrouhlování jsou přiloženy v příloze.

Tab. č. 5

Číslo vzorku	Chemický rozbor (%)									Naměřené hodnoty	
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Mg	Cu	ØM	HB
8									0,88	162,0	278
11									0,89	168,0	282
16	3,68	2,35	0,08	0,07	0,006	0,07	2,19	0,043	0,99	180,0	280
17									1,00	177,0	278
22									1,04	183,0	282
21									1,05	186,0	278

Graf č. 4



Pro daný průběh platí polynomičká křivka, zjednodušeně se dá však vyjádřit i lineárním růstem:

$$y = 122,45x + 56,612$$

legenda:

x...obsah Cu (v %)

y...M (v %)

Z grafu č.4 je čitelné, že magnetismus mírně stoupá se zvyšujícím se obsahem Cu v LKG. Tento vzrůst však není nijak veliký. O změřené tvrdosti se dá říct, že je konstantní (neklesá ani nestoupá).

5. Diskuze:

Tématem moji bakalářské práce byl vliv mědi a křemíku na intenzitu remanentního magnetického pole u LLG a LKG. Konkrétně jsem zkoumal a porovnával, jak se mění magnetismus u litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem, když přidáváme nebo ubíráme jeden z prvků (měď, křemík). Pro vyhodnocování jsem měl k dispozici poměrně velké množství dat (viz příloha), nicméně využitelných hodnot bylo velmi málo a to z důvodu:

1) Rozdílné chemické složení různých odlitků. Pro svoji práci jsem mohl využít jen odlitky se stejným nebo velmi podobným chemickým složením, s jediným proměnný žádoucím prvkem. Tímto prvkem byl Si (pro měření Si v LLG a LKG) a Cu (pro měření Cu v LLG a LKG).

2) Rozdílné rozměry odlitků, popřípadě např. v bodě 4.1.1. rozdílné rozměry soustružených polotovarů. Pro moji práci jsem mohl využít pouze vzorky se stejnými nebo podobnými rozměry.

Z těchto použitelných hodnot jsem vytvořil grafy - závislosti intenzit remanentního magnetického pole na daném prvku.

Při vyjadřování závěru rušivého účinku Si a Cu na naměřenou tvrdost vycházím z předpokladů, že:

- 1) Si a Cu neovlivňují nijak významně hodnoty naměřené intenzity zbytkového magnetického pole
- 2) Magnetická tvrdost a mechanická tvrdost jsou za normálních podmínek vůči sobě v přímé úměře. Klesají a rostou za podobných podmínek.

6. Závěr:

Dle zadání bakalářské práce bylo provedeno:

- Seznámil jsem se s vlivy legujících prvků na mechanické a magnetické vlastnosti litin a ocelí
- Prostudoval jsem práce o magnetickém a vířivoproudém zkoušení slitin železa.
- Z experimentálních plánů taveb LLG a LKG s odstupňovaným obsahem Cu, Si a naměřených hodnot intenzity remanentního magnetického pole a popřípadě tvrdosti HB, vyjadřuji závěr.

Na základě zjištěných souvislostí vyjadřuji závěr, že:

1) Rostoucí obsah Cu zvyšuje naměřenou intenzitu remanentního magnetického pole v LLG téměř lineárně ($y = 73,875x + 146,72$), pro přesný popis je však vhodnější použít polynomicou křivku 3.stupně ($y = -50,1x^3 + 77,153x^2 + 64,63x + 141,43$), kde $y = M$ (A/m) a $x =$ obsah Si (v %). Neměl jsem bohužel k dispozici teploty a časy tepelného zpracování vzorků, ani naměřené hodnoty tvrdosti, takže o vlivu Cu na mechanickou tvrdost v LLG můžu pouze spekulovat.

2) U LKG zvyšuje rostoucí obsah Si velikost zbytkového magnetického pole jen při vyšším obsahu Cu (kolem 0,96%) a Ni (kolem 2%). Tento vzestup se dá vyjádřit polynomicou křivkou, pro zjednodušení zde však velmi výstižně daný průběh vykresluje i lineární závislost ($y = 24,949x + 134,93$), kde $y = M$ (A/m) a $x =$ obsah Si (v %). Při nižším obsahu Cu (kolem 0,35%) a Ni (kolem 0,11%) potom dochází v LKG při zvětšování obsahu Si naopak k mírnému poklesu remanentního magnetického pole. Tento pokles lze charakterizovat lineární závislostí: $y = -8,115x + 134,15$, kde $y = M$ (A/m) a $x =$ obsah Si (v %).

3) Cu v LKG se chová obdobně jako Si v LKG. Při zvyšujícím se obsahu Cu v LKG stoupá i intenzita remanentního magnetického pole, ale pouze za podmínky, že litina obsahuje větší množství Ni (kolem 2,19%). Potom lze tento nárůst magnetismu v závislosti na množství Cu popsat lineární rovnicí: $y = 122,45x + 56,612$, kde $y = M$ (A/m) a $x =$ obsah Cu (v %).

Rušivý účinek Si a Cu na naměřenou tvrdost v LKG:

Z grafu č.2 je vidět, že při malém obsahu Cu (0,35%) v LKG bude hodnota tvrdosti naměřená elektromagnetickou metodou změřena chybně. Pro materiály s malým obsahem Cu bych tuto metodu nedoporučoval.

Při vyšším obsahu Cu (0,96 %) nám magnetismus v LKG roste téměř v přímé úměrnosti jako i mechanická tvrdost (graf č.3). Pro takovéto materiály je měření tvrdosti elektromagnetickou metodou vhodné.

Rušivý účinek Si na případnou naměřenou tvrdost pomocí elektromagnetických metod nebyl prokázán, z důvodu omezeného množství použitelných naměřených hodnot.

Použitá literatura:

- [1] VUT v Brně - Učební texty vysokých škol – FS; PC-DIR; s.r.o.; Brno 1998
- [2] Vojtěch Jareš – Ocel - Praha 1953 (5.upravené vydání) - Státní nakladatelství technické literatury; A 103 bb
- [3] Jaromír Roučka - Metalurgie litin; 1. vydání; Brno; Vysoké učení technické, 1998
- [4] B.Skrbek; Přednáška v předmětu tepelné zpracování a zkoušení materiálu, 3.12.2007; TUL
- [5] M.Věchet, J.Lesk, L.Špika, V.Eder; Defektoskopie v otázkách a odpovědích; Nakladatelství SNTL, Praha 1989
- [6] Netáhlo P. ; Měření metodou magnetického bodového pólu na tenkých stěnách ocelí a litin. Diplomová práce V 67/05 S Liberec 2005
- [7] Růžička O. ; Nedestruktivní měření hloubky a tvrdosti povrchově kalených vrstev; Bakalářská práce 2008 Liberec
- [8] Návod pro přístroj DOMENA – B3.b od ELKOS spol. S.r.o.

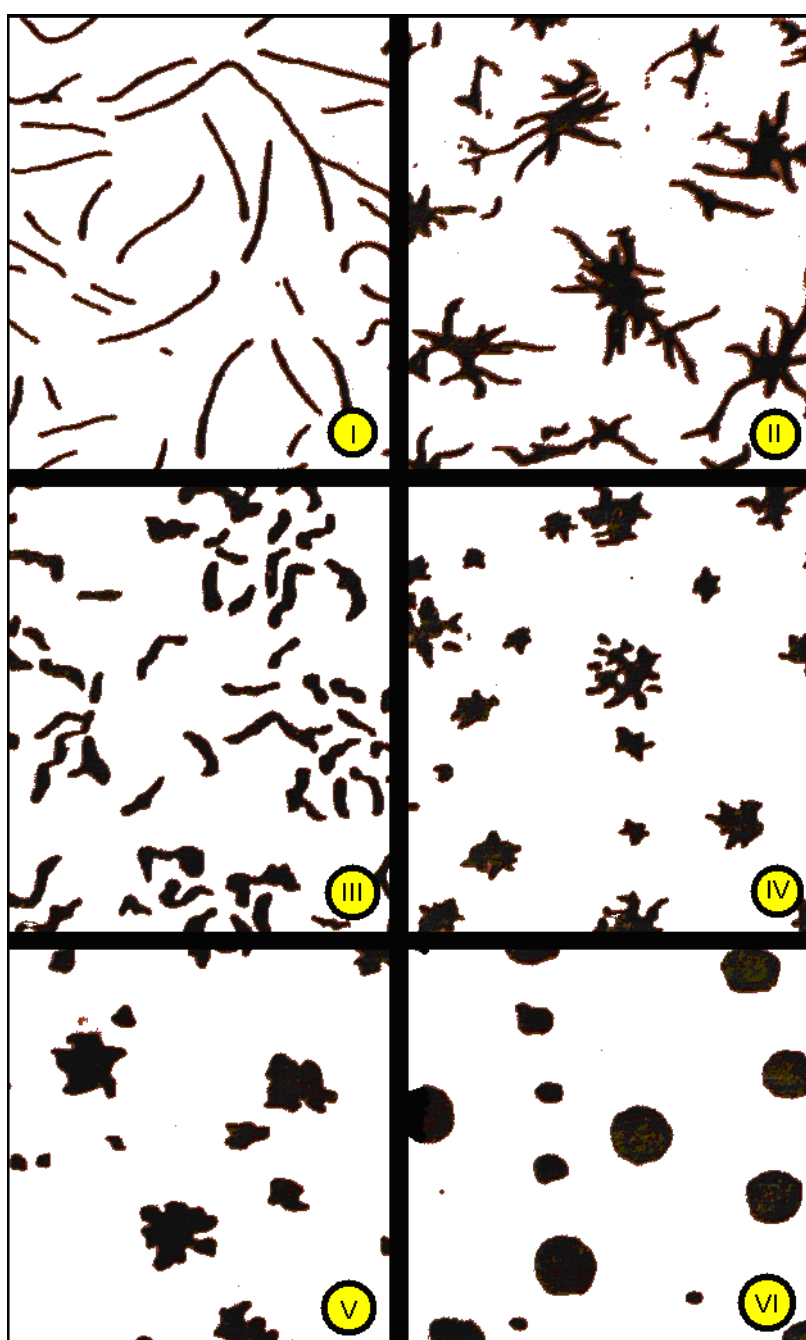
Seznam příloh:

- Příloha 1 - Značení grafitu podle ISO 945
- Příloha 2 - Bateriový přístroj pro měření strukturně mechanických vlastností litin a ocelí
DOMENA –B3.b
- Příloha 3 – Cu v LLG, kompletní přehled zkoušených vzorků (bod 4.1.1.)
- Příloha 4 - Kompletní naměřené hodnoty k bodu 4.2.1. – Si v LKG
- Příloha 5 - Dodatek k bodu 4.2.2. Cu v LKG - Celkový přehled naměřených a nezaokrouhlených hodnot

Příloha 1:

Značení grafitu podle ISO 945:

- I. lupínkový
- II. pavoukovitý
- III. červíkovitý
- IV. vločkovitý
- V. nedokonale kuličkovitý
- VI. pravidelně kuličkovitý



Příloha 2:

Bateriový přístroj pro měření strukturně mechanických vlastností litin a ocelí [8]

DOMENA –B3.b



PRINCIP:

Přístroj využívá metody magnetického bodového pólu, kdy přiloženou sondou (standardně průměr 21mm) změří intenzitu remanentního magnetického pole kontrolovaného objemu materiálů (do hloubky cca 5mm) součásti jejíž hodnota přímo závisí např. na množství a disperze perlitu, či hloubce prokalení.

POUŽITÍ:

Velmi krátký čas jednoho měření (cca 3s) a jednoduchá obsluha zaručuje vysokou výkonnost a spolehlivost při krátké kontrole ve výrobě odlitků i tvářených ocelových dílů a provozní strukturní diagnostice. DOMENA B3.b umožňuje stanovit a přímo na displeji ukazovat hodnoty tvrdosti, pevnosti, hloubku prokalení. Tedy všechny vlastnosti, které závisí na množství a disperzi magnetických strukturních složek jako perlit, cementit, bainit..

POPIS:

Přístroj je přenosný, nezávislý na vnějším napájení a umožňuje nasazení v provozu. Má digitální údaj změřené hodnoty, umožňující bezchybné a rychlé odečtení. Pro nabíjení akumulátoru je dodávaná nabíječka, která zabezpečuje nabíjení záložních akumulátorů mimo měřicí přístroj. Jednoduchou výměnou akumulátoru v přístroji dosáhneme možnosti nepřetržitého opakování měření.

Na čelním panelu má přístroj umístěný funkční přepínač, klávesnici a indikaci stavu. Tyto obslužné prvky umožňují nastavit přístroj tak, aby digitální údaj ukazoval přímo ve zvolených jednotkách, na které byl přístroj nakalibrován. Dále umožňuje kalibraci přístroje podle etalonů uživatele a výpočet jednoduchých statistických údajů ze zapamatovaných hodnot. Naměřené údaje /100 hodnot/ lze nejen uložit, ale i přenést po sériové lince do Vašeho počítače.

Jednodušší typ Doména B3 není vybaven klávesnicí, přepínačem funkcí, pamětí naměřených hodnot, výstupem RS 232 a zobrazuje pouze bezrozměrná čísla.

TECHNICKÉ PARAMETRY:

Výstupní paměť: Sériový RS 232

Napájení: Pb akumulátor 2x 12 V/ 2 Ah

Rozměr přístroje: 300x230x150mm

Hmotnost: 3,5 kg

VÝHODY PŘÍSTROJE:

- Sondu přístroje lze konstruovat takového tvaru, který odpovídá zkoušeným místům součástí. Standardně se dodává základní univerzální sonda s rovným snímacím čelem.
- Přístroj nepotřebuje kromě nabíjení akumulátoru žádnou údržbu.
- V přístroji je použita moderní mikroprocesorová technika, umožňující jednoduchou obsluhu a diagnostickou kontrolu.
- Použitím příložené sondy dodává velkou prostorovou dostupnost měření (měření v dutinách), klasickými metodami měření nedostupnou. Lze mapovat rozložení vlastností po součásti a vyhledávat kritická místa (např. odlitku bloků válců).
- Praxí ověřená produktivita měření umožňuje 100% kontrolu i při hromadné výrobě. Měření jednoho odlitku netrvá déle než 6 sec.

- Provedení je možno použít v soustavě SYLIT, která s ultra-zvukovým tloušťkoměrem a elektronickým posuvným pravítkem umožňuje určit velice přesně pevnost stěn složitých litinových odlitků (např. blok motoru, nově vyvinutá metoda používaná v ŠKODA LIAZ JABLONEC a.s.)

APLIKACE U VÁS:

- Můžete si vyžádat nejprve (na objednání přístroje závazné) ověření vhodnosti této kontrolní metody na svých odlitcích.

- Dodávka přístroje DOMENA je spojena se zaškolením obsluhy na Vašem pracovišti a vypracování technologické návodky kontroly – vše v ceně přístroje,

- Záruka 1 rok

CENA PŘÍSTROJE:

Domena B3 (akumulátorový přístroj, bez výstupu RS, bez klávesnice) 59950,- Kč bez DPH

Domena B3.b 69450,- Kč bez
DPH

Domena B3.b s nabíječem akumulátorů NB-11 /3900,- Kč/ 73350,- Kč bez DPH

Příloha 3:

Cu v LLG, kompletní přehled zkoušených vzorků (bod 4.1.1.):

VZOREK	L	D	M4(1)	M4(2)
1Y1A13	204,2	13,4	314	290
1Y2A15	206,7	15,3	257	248
1Y1A17	207,5	17	245	225
1Y2A18	209,3	18,4	207	188
2Y1A21	197,3	21,4	141	139
2Y2A21	198,4	20,6	184	170
2Y2A22	197,7	22,1	129	121
2Y1A22	198	21,7	164	157
1Y1B13	207,3	12,6	350	325
1Y1B14	208	14,4	285	261
1Y2B15	206,4	14,6	283	261
2Y2B19	194,5	18,5	206	192
2Y1B22	197,7	22,2	187	173
2Y2B22	197,2	22,2	178	163
2Y1B22	196,2	21,5	196	180
1Y2C14	206,7	14,4	295	275
1Y2C16	207,2	15,6	293	271
1Y1C18	207,3	17,9	293	279
1Y1C17	208,3	16,6	257	243
2Y1C19	197,2	18,9	274	255
2Y2C22	196,8	22	202	185
2Y1C22	197	22,1	207	192
2Y2C22	197,3	22,2	247	234
1Y2D14	207	14,3	410	387
1Y1D14	206,4	13,8	437	403
1Y1D17	210,2	17	345	318
1Y2D18	207,1	18,2	352	327
2Y1D20	197	20	306	285
2Y1D22	196,8	21,8	286	267
2Y2D22	195,3	21,5	292	276
2Y2D22	196	22,2	276	256

Příloha 4:

Naměřené hodnoty k bodu 4.2.1. – Si v LKG:

	Mech.hodnoty				Metal		Chemický rozbor										ØM
	Rm	Rp0,2	HB	A	grafit	mat	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mg	Mo		
1R	518	397	167	18	VI 7/8	Fe	3,60	3,30	0,11	0,04	0,016	0,11	0,11	0,041	x		
3R	446	313	158	23	VI 7/8	Fe	3,60	2,52	0,12	0,04	0,004	0,11	0,11	0,057	x	57,8	
4R	637	394	207	15	VI 7/8	P 40	3,50	2,78	0,11	0,04	0,006	0,30	0,11	0,055	x	91,1	
5R	647	406	207	12	VI 7	P 45	3,50	2,92	0,12	0,04	0,006	0,30	0,11	0,072	x	111,5	
6R	666	423	202	14	VI 7	P 40	3,50	2,80	0,12	0,04	0,006	0,30	0,11	0,060	x	111,2	
7R	635	398	213	14	VI 7	P 60	3,50	2,87	0,12	0,04	0,006	0,31	0,12	0,072	x	110,8	
8R	629	387	202	12	VI/8	P 40	3,50	2,68	0,12	0,04	0,006	0,30	0,11	0,053	x	93,8	
9R	577	374	191	14	VI/8	P 45	3,50	2,54	0,11	0,04	0,009	0,30	0,11	0,040	x	113,3	
10R	722	458	229	11	VI /7,8	P 70	3,56	3,16	0,13	0,04	0,006	0,40	0,11	0,060	x	108,0	
11R	748	473	234	9	VI /7,8	P 70	3,56	3,18	0,13	0,04	0,006	0,40	0,11	0,067	x	133,9	
12R	748	434	241	9	VI /6,7	P 90	3,56	2,63	0,12	0,04	0,006	0,41	0,11	0,082	x	226,6	
13R1	985	903	292	-	VI 8	P 92	3,47	3,00	0,13	0,04	0,006	0,97	1,90	0,096	0,04	193,3	
13R2	911	861	270	-	VI 8	P 92	3,47	2,86	0,13	0,04	0,006	0,97	1,98	0,085	0,04	212,5	
13R3	930	844	288	-	VI 8	P 92	3,47	2,90	0,13	0,04	0,006	0,98	2,02	0,097	0,05	217,6	
13R4	967	888	282	-	VI 8	P 92	3,47	2,90	0,13	0,04	0,006	1,00	2,00	0,090	0,05	206,0	
14R1	943	882	269	-	VI 7	P 96	3,47	2,98	0,13	0,04	0,007	1,00	1,92	0,099	0,05	199,2	
14R2	955	848	260	-	VI 7	P 96	3,47	2,75	0,13	0,04	0,007	0,98	2,05	0,075	0,05	198,2	
14R3	966	855	285	-	VI 7	P 96	3,47	2,90	0,13	0,04	0,007	1,00	1,92	0,087	0,04	202,1	
14R4	953	824	260	-	VI 7	P 96	3,47	2,80	0,13	0,04	0,007	0,97	2,03	0,088	0,05	198,4	
15R	868	573	278	5	VI /6,8	P 96	3,47	2,44	0,12	0,04	0,008	0,93	1,90	0,041	0,04	192,7	
16R	936	903	275	-	VI 6,7	P 96	3,48	2,80	0,12	0,04	0,007	0,95	2,02	0,080	0,04	196,8	
	952	879	282	-	VI 6,7	P 96	3,48	2,72	0,12	0,04	0,007	0,95	1,95	0,075	0,03	199,1	
	946	905	275	-	VI 6,7	P 96	3,48	2,82	0,12	0,04	0,007	0,95	1,97	0,072	0,03	209,4	
	962	858	285	-	VI 6,7	P 96	3,48	2,82	0,13	0,04	0,007	0,95	1,94	0,070	0,03	209,0	
17R	895	581	266	6	VI 8	P 92	3,48	2,64	0,12	0,04	0,008	0,95	1,95	0,060	0,03	204,3	
18R	899	603	277	6	VI 8	P 92	3,48	2,77	0,13	0,04	0,008	0,94	1,90	0,061	0,03	209,9	
19R	871	567	269	6	VI / 8	P 92	3,48	2,46	0,12	0,04	0,007	0,95	1,95	0,042	0,03	197,0	

Mn=0,12, P=0,04

Příloha 5:

Dodatek k bodu 4.2.2. Cu v LKG - Celkový přehled naměřených a nezaokrouhlených hodnot:

	Chemický rozbor										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mg	Mo	ØM	HB
1R	3,68	2,38	0,07	0,06	0,008	0,33	0,30	0,031	0,00	85,0	204
2R	3,69	2,38	0,06	0,06	0,008	0,33	0,30	0,030	0,00	92,0	204
3R	3,73	2,28	0,07	0,07	0,006	0,32	0,30	0,044	0,00	110,0	214
4R	3,70	2,59	0,07	0,06	0,006	0,35	0,30	0,043	0,00	104,0	205
5R	3,72	2,56	0,07	0,07	0,007	0,35	0,30	0,040	0,00	87,0	204
6R	3,74	2,58	0,08	0,07	0,006	0,35	0,30	0,044	0,00	82,0	208
7R	3,70	2,40	0,08	0,07	0,006	0,35	0,30	0,030	0,00	74,0	197
8R1	3,73	2,52	0,09	0,07	0,008	0,87	2,05	0,055	0,08	172,0	282
8R2	3,68	2,39	0,08	0,08	0,006	0,87	2,03	0,041	0,08	175,0	277
8R3	3,75	2,43	0,08	0,07	0,004	0,88	2,08	0,048	0,08	162,0	278
8R4	3,74	2,46	0,08	0,07	0,006	0,88	2,05	0,400	0,08	168,0	280
9R	3,70	2,33	0,09	0,07	0,007	0,88	2,07	0,035	0,08	150,0	275
10R	3,73	2,33	0,09	0,07	0,009	0,88	2,07	0,036	0,08	160,0	271
11R	3,58	2,42	0,08	0,07	0,006	0,89	2,08	0,044	0,08	168,0	282
12R	3,65	2,27	0,07	0,07	0,008	0,89	2,05	0,028	0,08	125,0	257
13R	3,68	2,46	0,10	0,07	0,006	1,00	2,21	0,051	0,07	170,0	280
14R	3,68	2,48	0,09	0,07	0,006	1,00	2,20	0,052	0,06	180,0	285
15R	3,71	2,49	0,09	0,07	0,006	1,00	2,19	0,050	0,06	181,0	282
16R	3,68	2,43	0,09	0,07	0,006	0,99	2,18	0,047	0,07	180,0	280
17R	3,70	2,44	0,09	0,07	0,006	1,00	2,19	0,460	0,07	177,0	278
19R	3,66	2,36	0,09	0,07	0,006	1,00	2,21	0,040	0,06	168,0	274
20R	3,73	2,32	0,07	0,07	0,005	1,05	2,29	0,046	0,06	162,0	285
31R	3,62	2,30	0,08	0,07	0,006	1,05	2,29	0,048	0,07	186,0	278
22R	3,70	2,28	0,08	0,07	0,006	1,04	2,27	0,047	0,06	183,0	282
23R	3,69	2,30	0,08	0,07	0,006	1,04	2,26	0,047	0,07	185,0	280
24R	3,63	2,25	0,08	0,07	0,005	1,04	2,26	0,042	0,06	173,0	278
25R	3,64	2,23	0,08	0,07	0,006	1,05	2,28	0,042	0,07	150,0	275