



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU



Obor : Materiály a technologie
Zaměření: Materiálové inženýrství

VZTAH STRUKTURNĚ-MECHANICKÝCH A MAGNETICKÝCH VLASTNOSTÍ VYBRANÝCH OCELÍ

RELATION OF STRUCTURAL – MECHANICAL AND MAGNETICAL FEATURES OF THE CHOSEN STEELS

Milan Grus
KMT - B – 86

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

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 43
Počet obrázků : 8
Počet tabulek : 4
Počet grafů : 9
Počet příloh : 41

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146074984

V Liberci dne 3. ledna 2004



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Milan G R U S
studijní program	2341 B Strojírenství
obor	Materiály a technologie
zaměření	Materiálové inženýrství

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

Vztah strukturně-mechanických a magnetických vlastností vybraných ocelí

Zásady pro vypracování:

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

1. Seznamte se s vybranými vlastnostmi daných ocelí, zjišťovaných magnetickými způsoby měření.
2. Proveďte vhodný metalografický rozbor, hodnocení tvrdosti HV a intenzity povrchového pole H.
3. Stanovte matematické modely mezi strukturními a fyzikálními parametry daných ocelí.

9/05 Sb

KMT/MJ
43.01, 41 s. příl.

Forma zpracování bakalářské práce:

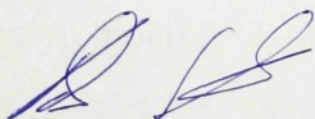
- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran
- přílohy

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

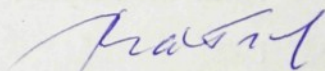
- [1] JENÍČEK,L.,RYŠ,P. a kol.: Nauka o materiálu I – 2 – A Vlastnosti kovů, Academia Praha, 1975
- [2] MÍŠEK,B., PTÁČEK,L. : Defektoskopie a provozní diagnostika. Nakladatelství VUT Brno, 1992

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

Konzultant bakalářské práce :



doc. Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ludvík PRÁŠIL, CSc.
děkan

V Liberci dne 31.10 2002

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU



Hálkova 6, 461 18 Liberec

Tel.: 48 535 3116, fax: 48 535 3342

ANOTACE

JMÉNO: Milan Grus

OBOR: Materiály a technologie

ZAMĚŘENÍ: Materiálové inženýrství

ZADÁNÍ PRÁCE: Vztah strukturně-mechanických a magnetických vlastností vybraných ocelí

ČÍSLO PRÁCE: KMT – B – 86

VEDOUCÍ PROJEKTU: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

KONZULTANT: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Bakalářská práce se zabývá matematickými modely mezi strukturními a fyzikálními parametry daných ocelí.

Teoretická část práce obsahuje poznatky z oblasti vybraných vlastností daných ocelí a magnetickými způsoby měření.

Praktická část je zaměřena na stanovení matematických modelů.



Hálkova 6, 461 18 Liberec

Tel.: 48 535 3116, fax: 48 535 3342

ANNOTATION

NAME:	Milan Grus
SPECIALIZATION:	Materials and technology
FOCUSING:	Material engineering
THEME OF BSC WORK:	Relation of structural – mechanical and magnetical features of the chosen steels
NUMBER OF BSC WORK:	KMT – B – 86
LEADER OF BSC WORK:	doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.
CONSULTER:	doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

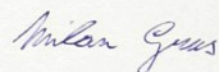
The bachelor work deals with mathematical models among structural and physical parametrs of the given steels.

Theoretical part of the work contains knowledge from the sphere of chosen features of the given steels and magnetical methods of measurement.

Practical part is dedicated to the determination of the mathematical models.

Prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

A handwritten signature in cursive script, reading "Milan Grus".

Milan Grus

V Liberci, leden 2004

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<u>1. ÚVOD</u>	8
1.1. Obecné rozdělení bakalářské práce	8
<u>2. TEORETICKÁ ČÁST</u>	8
2.1. Magnetické vlastnosti látek	8
2.1.1. Diamagnetismus	9
2.1.2. Paramagnetismus	9
2.1.3. Feromagnetismus	10
2.2. Feromagnetické látky – základní pojmy a definice	12
2.2.1. Intenzita magnetického pole	12
2.2.2. Intenzita magnetizace	13
2.2.3. Magnetická indukce	13
2.2.4. Magnetický tok	13
2.2.5. Permeabilita	13
2.2.6. Hysterezní smyčka	14
2.3. Nedestruktivní zkoušení materiálů a výrobků	15
2.3.1. Vizuální kontrola	16
2.3.2. Kapilární (penetrační) zkoušky	17
2.3.3. Metody rozptylových toků	17
2.3.4. Metoda magnetického prášku	18
2.3.5. Jiné způsoby indikací rozptylových toků	18
2.3.6. Metoda magnetoinдукivní	20
2.3.6.1. <i>Druhy zkoušení</i>	22
2.3.7. Zkoušky ultrazvukem	24
2.3.7.1 <i>Metody ultrazvukové defektoskopie</i>	24
2.3.7. Zkoušky pronikavým zářením	25
2.4. Statistika	25
2.4.1. Regresní analýza	25
2.4.1.1. Rovnice pro výpočet spojnic trendu	26
2.4.2. Korelace	27

<u>3. PRAKTICKÁ ČÁST</u>	28
3.1. Technické parametry vzorků	28
3.2. Použité přístroje	29
3.3. Sestavení grafů intenzit magnetických polí	29
3.4. Sestrojení regresních analýz	31
3.5. Výpočet korelačních koeficientů	32
3.6. Porovnání regresí	34
 <u>4. DISKUSE</u>	 36
 <u>5. ZÁVĚR</u>	 42
 <u>6. POUŽITÁ LITERATURA</u>	 43

1. Úvod

Nedestruktivní zkoušení vlastností kovových materiálů magnetoinduktivní metodou se během posledních desetiletí postupně stalo neodmyslitelnou součástí výroby a zpracování hutních polotovarů a v poslední době především výroby automobilových dílů.

Magnetoinduktivní metodou lze kontrolovat takové vlastnosti materiálu, jako je chemické složení, struktura, tvrdost, pevnost, elektrická vodivost či permeabilita a dále tato metoda umožňuje i měření konkrétních hodnot tvrdosti nebo hloubky zakalené vrstvy. Tyto vlastnosti ji předurčují pro rychlou a spolehlivou kontrolu vstupního materiálu i finálního výrobku a to i při požadavku 100 % kontroly u hromadně vyráběných dílů při splnění vysokých nároků na kvalitu.

A tato bakalářská práce se zabývá určením matematických modelů mezi strukturními a fyzikálními parametry daných ocelí právě touto výše zmiňovanou metodou, pomocí přenosného bateriového strukturoskopu typu Domena B2.B

1.1. Bakalářská práce je rozdělena na následující části

- Seznámení s magnetickými vlastnostmi látek, především s feromagnetickými
- Seznámení s druhy nedestruktivního zkoušení
- Zjištění nejvhodnějšího typu regresní analýzy
- Vyhodnocení poznatků

2. Teoretická část

2.1. Magnetické vlastnosti látek

Magnetická susceptibilita κ a magnetická permeabilita μ jsou veličinami skalárními a charakterizují magnetické vlastnosti látek. Podle jejich hodnot lze rozdělit látky do tří hlavních skupin :

- | | | | |
|-------------------|-------------|----------------|---|
| a) diamagnetické | $\mu < 1$ | $\kappa < 1$ | 0 |
| b) paramagnetické | $\mu > 1$ | $\kappa > 1$ | 0 |
| c) feromagnetické | $\mu \gg 1$ | $\kappa \gg 1$ | 0 |

Magnetická teorie je založena na vzájemném působení elektrodynamických sil mezi vodiči, kterými prochází makroskopický proud. Mohou se projevovat i když látkou proud neprochází, ale když elektrické částice nesoucí elektrické náboje jsou uspořádány tak, že jimi vzbuzené elektrodynamické síly (momenty) se navzájem zcela neruší.

Pro rozvoj elektrodynamické teorie byl důležitý Bohrův model atomu – myšlenka molekulárních proudů (vlivem oběhu elektronů kolem jádra). Tyto proudy, ale nestačí. Musí se vzít v úvahu i vlastní magnetický moment elektronů – spin. Elektrodynamická teorie tedy vkládá podstatu magnetických jevů do nitra atomů a vysvětluje ji uzavřenými proudovými smyčkami elektronů. [2]

2.1.1. Diamagnetismus

V atomech se sudým počtem elektronů ve slupkách a se stejným kvantovým číslem 1 je zcela vykompenzován spinový magnetismus. Vnější magnetické pole však vyvolává změnu orientace elektronových drah. Tato změna představuje hodnotově malý efekt vybuzení elektronových slupek. Diamagnetické látky jsou magnetickým polem vybuzovány. Patří sem např. H_2 , inertní plyny, grafit, Cu, Au, Ag, Zn, Mg, Bi, Sb. [2]

2.1.2. Paramagnetismus

V atomech s lichým počtem elektronů ve slupkách a se stejným kvantovým číslem 1 nejsou vykompenzovány spiny elektronů; atom může mít výsledný magnetický moment. Ve vnějším magnetickém poli získají nevykompenzované momenty jistou orientaci – paramagnetismus.

Z vodičů mohou paramagnetismu přispívat i vodivostní elektrony tak, že některé elektrony získají energii a překlopí svůj spin – převládá určitá orientace magnetických momentů.

K paramagnetickým látkám patří např.: alkalické kovy, Al, O_2 , soli Fe, Co. [2]

2.1.3. Feromagnetismus

U některých látek s nevykompenzovanými magnetickými momenty se může vlivem tzv. výměnné interakce ukázat energeticky nejvýhodnější takový stav v určité oblasti, kde jsou tyto magnetické momenty orientované určitým směrem; navenek se jeví jako nemagnetické.

Výměnná interakce mezi elektrony sousedních atomů je kvantově mechanický jev. Na vzniku feromagnetismu se mohou podílet jen elektrony z části zaplněného pásu proto, že tyto pásy mají volné hladiny, které mohou být obsazeny a dostatečně vysokou hustotou energetických stavů. Podmínky jsou splněny jen u Fe, Ni, Co – za normální teploty (existuje však velký počet slitin, jejichž základní prvky nejsou feromagnetické – Heuslerovy slitiny).

Působí-li vnější magnetické pole, magnetická energie domén orientovaných proti směru pole se zvýší; vhodně orientované domény pak rostou na úkor ostatních pohybem hranic – Blochových stěn. Zvětšuje se jejich počet a materiál se jeví navenek jako magnetický.

Domény jsou odlišné od polykrystalického zrna (1 zrno obsahuje řadu domén), šířka závisí na magnetických vlastnostech materiálu. Spodní hranice velikosti je dána povrchovou energií Blochových stěn (energie je kladná, jestliže jsou domény dostatečně malé – u Fe-4% Si je velikost domén 0,1 mm). Úplnou magnetizaci lze dosáhnout pomocí menších vnějších polí, ale v určitých krystalografických směrech – spontánní magnetizace se projevuje podél těchto směrů. Těmto směrům říkáme „směry snadné magnetizace“ (magnetická anizotropie). Směry snadné magnetizace jsou u Fe $\langle 100 \rangle$, Ni $\langle 111 \rangle$, Co $\langle 0001 \rangle$.

Závislost magnetizace na intenzitě magnetického pole lze vyjádřit magnetizační křivkou, kterou nazýváme „křivka prvotní magnetizace“.

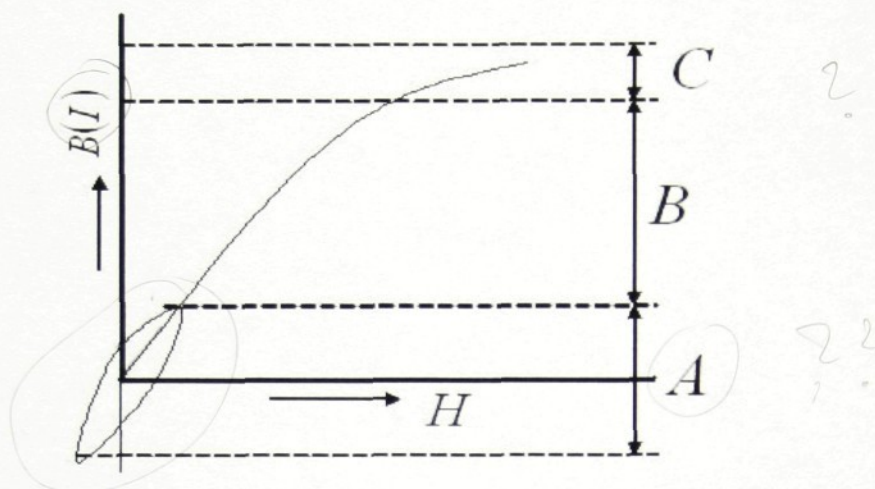
B (I) – magnetická indukce

H – intenzita magnetického pole

A – oblast vratných posuvů Blochových stěn, růst vhodně orientovaných domén

B – oblast nevratných posuvů Blochových stěn

C – oblast vratných procesů stáčení – magnetizace se děje otáčením magnetických momentů



Obr. č. 1 Křivka prvotní magnetizace

Jednotlivé oblasti v magnetické křivce se překrývají a jsou u různých feromagnetik různé.

U magneticky měkkých materiálů bylo zjištěno, že prvky které tvoří intersticiální tuhé roztoky s železem, nejvýrazněji rozšiřují hysterézní smyčku. Tyto příměsi se u transformátorového železa odstraní tavením ve vakuu, nebo žháním ve vodíku. To je ovšem nákladné a proto se používají slitiny Fe-Si, Fe-Ni (Si, Ni – snižují obsah uhlíku v tuhém roztoku).

Při výrobě magneticky tvrdých materiálů je nutné legovat a tepelným zpracováním získat strukturu s jemně dispergovanými částicemi jemné fáze – tyto precipitáty vyvolávají vznik deformace mřížky, jež mají podstatný vliv na pohyb Blochových stěn.

Změna uspořádání má výrazný vliv na magnetické vlastnosti. Proti uspořádávání momentů působí tepelný pohyb atomů. Nad určitou teplotou (Curieho teplota T_c) vymizí u látky feromagnetismus a nad touto teplotu je látka paramagnetická (Fe-768°C, Ni – 365°C). Při T_c nevymizí feromagnetismus skokem, ale v určitém intervalu – Curieova teplotní oblast. Obdobně se mění další vlastnosti materiálu – elektrický odpor, modul pružnosti. Magnetické pole působí na tvar i objem některých materiálů. Změny jsou vyvolány usměrňováním orientace jednotlivých domén. Toto se využívá např. při výrobě ultrazvukových měničů – tzv. magnetostrikce.

Kromě těchto základních magnetických jevů existují ještě další – antiferomagnetismus a ferimagnetismus.

V antiferomagnetických látkách jsou celkové momenty sousedních atomů vyrovnány v opačných směrech, tj. antiparalelně. Patří sem oxidy a chloridy přechodových prvků.

Antiferomagnetická doména je oblast, v níž je jediný společný směr antiferomagnetismu, který však bývá ovlivňován poruchami deformací mřížky. Výsledný magnetický moment domény je nulový, na rozdíl od domény ve feromagnetických látkách.

Nejtypičtější vlastností antiferomagnetik je maximum na křivce susceptibilita κ - teplota T . Zvyšováním teploty se zmenšuje interakce vedoucí k antiparalelnímu uspořádání spinů a při teplotě T_n (což je obdoba Curieho teploty T_c), jsou všechny spiny volné. Nad touto teplotou je materiál paramagnetický.

V případě, že magnetické momenty mají různé velikosti, domény budou mít rovněž výsledný magnetický moment a takové látky nazýváme ferimagnetické – ferity. Sem patří např. oxidy železa Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeO . [2]

2.2. Feromagnetické látky – základní pojmy a definice

2.2.1. Intenzita magnetického pole

Pro intenzitu magnetického pole, vznikajícího kolem vodiče ve vakuu, platí Biotův-Savartův zákon.

Vodič je rozdělen na velmi malé části Δl - každá vzbuzuje v bodě A elementární magnetické pole intenzity ΔH . Proudový element BC svírá s průvodičem r úhel α . Proudový element $i \cdot \Delta l$ způsobí v bodě A magnetické pole o intenzitě: [2]

$$\Delta H = k \frac{i \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha}{r^2}$$

(1)

$$k = \frac{1}{4\pi}$$

(2)

kde ΔH - element intenzity magnet. pole

Δl - element vodiče

r - průvodič

i - proud

ΔH je vždy kolmé k rovině, kterou tvoří element proudu a průvodič

dlouhá cívka

Intenzita homogenního magnetického pole, zdrojem kterého je válcová jednovrstvá cívka – solenoid, je dána vztahem (intenzita ve středu pole):

$$H = \frac{4\pi \cdot n \cdot i}{l}$$

(3)

kde l – délka cívky

n – počet závitů cívky

i – proud [2]

2.2.2. Intenzita magnetizace

Intenzita magnetizace je dána rozdílem indukce v magnetickém materiálu B a indukce ve vakuu B_0 při stejné intenzitě magnetického pole H

$$I = B - B_0 [T] \quad (4) [2]$$

2.2.3. Magnetická indukce

Magnetická indukce pole B je dána silou působící na pohybující se elektrický náboj, popř. na vodič, jímž prochází elektrický proud (jednotkou je T – Tesla). [2]

2.2.4. Magnetický tok

Magnetický tok Φ je součet elementárních toků na celý průřez S . Pro homogenně magnetované těleso pro vektor indukce B kolmý na plochu průřezu S platí:

$$\Phi = B \cdot S [Wb] \quad (5) [2]$$

2.2.5. Permeabilita

Permeabilita vakua μ_0 je konstanta charakterizující magnetické pole ve vakuu (přibližně též ve vzduchu): $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H \cdot m^{-1}]$ (6)

permeabilita: $\mu = \frac{B}{H} [H \cdot m^{-1}] \quad (7)$

kde B – magnetická indukce

H – intenzita

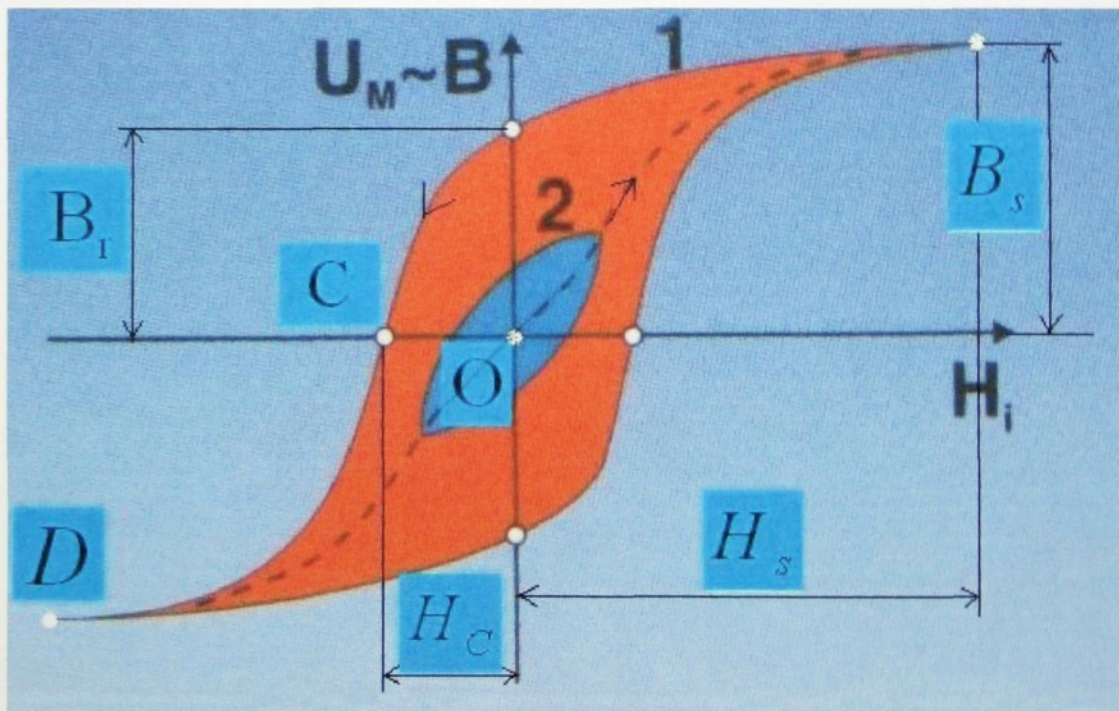
Relativní permeabilita: $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} \quad (8) [2]$

Udává, kolikrát je větší indukce b v daném prostředí proti indukci ve vakuu při stejné intenzitě magnetického pole H . μ_r je bezrozměrné číslo a nezávisí na volbě jednotkové soustavy.

Maximální permeabilita $\mu_{\max}$ je úměrná směrnicí točny, vedené s počátku souřadnic ke křivce prvotní magnetizace. Je nutno vždy udat intenzitu magnetického pole, při kterém byla stanovena. [2]

2.2.6. Hysterezní smyčka

Abychom dostali hysterezní smyčku, magnetujeme materiál podél křivky prvotní magnetizace, až dosáhneme bodu A, kdy je při intenzitě magnetického pole H_s dosaženo nasycení. Potom intenzitu magnetického pole opět postupně snižujeme. Magnetická indukce již nesleduje stejnou křivku. Klesne-li H na nulu, má B určitou hodnotu, které říkám remanentní indukce B_r . Chceme-li remanentní indukci odstranit, musíme použít intenzity obráceného pole. Zvětšíme-li ji na hodnotu velikosti úsečky OC (stačí na zrušení remanentní indukce B_r), dostaneme intenzitu pole H rovnající se koercitivní síle H_c . [2]



Obr. č. 2 Hysterezní smyčka

Magnetická hystereze je způsobena poruchami krystalové mřížky a je možno soudit, že v ideální krystalové mřížce by magnetizační děje probíhaly bez hystereze. [2]

2.3. Nedestruktivní zkoušení materiálů a výrobků

Kvalita, životnost a spolehlivost strojírenských výrobků jsou především dány vlastnostmi používaných konstrukčních materiálů. Užité vlastnosti jsou rovněž ovlivněny celým technologickým postupem výroby včetně faktorů kvality výrobních zařízení.

Je třeba konstatovat, že konstrukční materiály používané pro stavbu strojů a zařízení nejsou téměř nikdy zcela bez vad, což vyplývá ze zákonitostí tvorby struktury, nedokonalosti výrobní technologie (mechanického nebo tepelného zpracování), vlivu lidského faktoru (t.j. nedodržení stanovených parametrů jednotlivých postupů zpracovatelských technologií) a dalších podmínek. Zda bude materiál dále použit nebo vyřazen o tom rozhoduje definice pojmu „vada“. [1]

Pojem vady a základní dělení vad

Vadou materiálu nebo výrobku (odlitků, svaru, výkovku atd.) se rozumí každá odchylka rozměrů, tvaru, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury, mikrostruktury a jiných veličin od vlastností předepsaných technickými normami, technickými podmínkami, případně smluvním vzorem.

Obecně za vady jako nedokonalosti materiálu nebo výrobků považujeme:

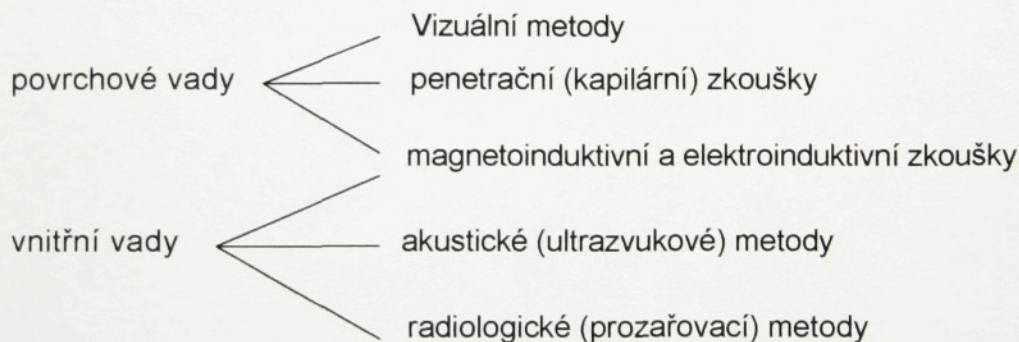
- a) nesprávné chemické složení;
- b) vady struktury (nesprávná struktura, strukturní heterogenity);
- c) nesprávné mechanické nebo fyzikální vlastnosti;
- d) přerušení souvislosti (trhliny, praskliny, zdvojeniny);
- e) dutiny (bubliny a póry, bodliny, staženiny);
- f) vměstky
- g) tvarové a rozměrové vady;
- h) koroze;
- i) opotřebení;
- j) únava;
- k) pnutí v kovech.

Hranici mezi dovolenými odchylkami od běžných hodnot a tím, co již není přípustné, určují normy nebo technické přejímací podmínky dohodnuté mezi výrobcem a odběratelem. [1]

Přehled používaných metod kontroly

Zjišťování vad defektoskopickými metodami je většinou nepřímé. Prostředníkem je fyzikální veličina, která v interakci s prostředím mění své parametry. Změna parametrů této veličiny závisí po kvalitativní i kvantitativní stránce na homogenitě prostředí, tj. zkoušeného materiálu. Anomálie charakteru fyzikálního prostředí způsobují v průběhu zkušební veličiny její lokální změny. Rozbor a měření těchto změn je ekvivalentní zjišťování vad a stanovení jejich velikosti, tvaru a polohy a je základem metod nedestruktivního zkoušení materiálu a výrobků.

Základním kritériem pro rozlišování defektoskopických metod je tedy použitá veličina, energie nebo látka. Obecně však běžně používané defektoskopické zkoušky dělíme podle schopnosti identifikace vad na povrchu nebo uvnitř materiálu (výrobku) takto:



Uvedené metody mohou mít řadu variací. Patří sem tepelné metody, akustická emise, optické metody, mikrovlnná defektoskopie, neutronová radiografie, mžiková radiografie, zkoušky těsnosti a jiné. [1]

2.3.1. Vizuální kontrola

Vizuální kontrola (prohlídka) je nejjednodušší defektoskopickou kontrolou, pomocí které se zjišťuje výskyt povrchových vad výrobků (trhliny, porozita, vnější staženiny a řediny, praskliny, koroze a další). Vizuální kontrola, pokud není jediným způsobem zkoušení, bývá často zařazována před další nedestruktivní zkoušky.

Metody vizuální kontroly lze dělit podle použitých kontrolních pomůcek na:

- a) *přímou kontrolu* - kontrola pouhým okem nebo lupou (zvětšení 3 až 6x),
- b) *nepřímou kontrolu* - kontrola využívá dokonalejších optických a optoelektronických

přístrojů a zařízení (např. endoskopy, periskopy, televizní kamery).

Vizuální kontrola se používá jako vstupní, mezioperační i výstupní prohlídky.

Speciální místo má při kontrole rozměrových změn. [1]

2.3.2. Kapilární (penetrační) zkoušky

Kapilárních zkoušek se používá ke zjišťování necelistvostí povrchu materiálů a výrobků, tj. takových vad, které souvisí bezprostředně s povrchem a jsou na povrchu otevřené, jako např. povrchové trhliny a póry.

Princip těchto zkoušek spočívá v použití vhodné, kapilárně aktivní kapaliny, která se nanese na povrch, pronikne do necelistvosti (trhliny) a po odstranění jejího přebytku s povrchu zkoušeného předmětu vzlíná zpět vlivem působení kapilárních sil, takže povrchovou necelistvost a její tvar zviditelní. Jako detekční kapaliny jsou vhodné pouze takové, které mají malé povrchové napětí (např. petrolej nebo terpentýn), tedy dobře smáčejí povrch. [1]

2.3.3. Metody rozptylových toků (rozptylových polí)

Rozptylový tok vznikne v místě přerušení feromagnetického kontinua (např. ocelového výrobku) z důvodu náhlého vzrůstu magnetického odporu. Rozptylovým tokem se tedy rozumí ta část magnetického toku, která prochází mimo předpokládanou dráhu soustředěnou v průřezu feromagnetického tělesa. Magnetický tok vystoupí v místě vady nad povrch do vzduchu, vlivem magnetické vodivosti vzduchu vadu překlene a vrátí se znovu do předmětu. Problém zkoušení vad se pak redukuje na zjištění existence těchto rozptylových toků. [1]

Způsoby magnetizace

Magnetizace kontrolovaných těles se provádí v podstatě třemi způsoby:

a) magnetizací mezi póly (podélná magnetizace), vzniká rozptylový tok na příčných vadách;

b) průchodem elektrického proudu ve směru podélné osy se vytvoří kolem zkoušené součásti cirkulární magnetické pole (cirkulární neboli příčná

vidi čm?

magnetizace) a vzniká rozptylový tok na podélných vadách;

c) současnou magnetizací příčnou a podélnou vzniká kombinovaná magnetizace (podélná magnetizace je vyvolána stejnosměrným proudem, příčná proudem střídavým).

Optimální podmínky magnetizace polotovarů a výrobků nelze v praxi obecně stanovit. Volba magnetizačních podmínek závisí na magnetických vlastnostech materiálu, na tvaru a rozměrech kontrolovaného tělesa a na velikosti a typu vady. [1]

2.3.4. Metoda magnetického prášku (metoda polévací)

Magnetická prášková nedestruktivní kontrola je založena na tvorbě rozptylových toků a jejich zviditelňování pomocí magnetického prášku. V magnetickém poli rozptylového toku jsou feromagnetické částice prášku pod vlivem přitažlivých sil. Rozptylový tok nad vadou má velkou energii, protože permeabilita v oblasti zkoušené součásti je mnohokrát větší než permeabilita okolí. Rozptylový tok má tedy snahu zmenšit svou energii tak, že způsobuje ukládání feromagnetických částic podél svých siločar. K poklesu energie dochází na úkor mechanické práce, kterou rozptylový tok vynakládá při přemísťování feromagnetických částic (odpor vzduchu, odpor kapalného prostředí, hrubost povrchu, gravitační síla apod.). [1]

2.3.5. Jiné způsoby indikací rozptylových toků

Nanesení feromagnetického prášku na povrch kontrolované součásti není jedinou cestou, jak zviditelnit povrchové vady, případně, jak indikovat příslušné rozptylové toky. Výhoda práškové metody spočívá v jednoduchosti přístrojů a jejich obsluhy, ale co do rychlosti kontroly nestačí výrobnímu tempu, zejména v sériové výrobě. Tam je nutno zavést takové metody kontroly, které by odstranily subjektivní vliv obsluhy a neomezovaly rychlost výroby.

Tomuto požadavku nejlépe vyhovuje registrace rozptylového toku pomocí snímacích sond reagujících na přítomnost rozptylového magnetického pole, vznikem elektrického napětí, které lze dále zesilovat a registrovat. Registraci rovněž umožňuje metoda magnetografická popsaná níže. [1]

Metoda pohyblivé sondy

Snímací cívka je nejjednodušším snímačem rozptylového toku. Pohybem snímací cívky magnetickém poli se v cívce indukuje elektrické napětí úměrné počtu závitů a rychlosti vzájemného pohybu cívky a rozptylového toku.

Indukovaný proud, vzniklý v sondě, je zesílen a zviditelněn např. v osciloskopu. Sondou je nutno pohybovat určitou rychlostí, a v malé vzdálenosti x nad zkoušeným povrchem aby proudový náraz byl dostatečně silný. [1]

Ferosondy

Ferosondy mají velké uplatnění zejména ve vojenství, geologii a v neposlední řadě i v defektoskopii. Sonda se skládá z dvojice solenoidů s jádry z materiálu o velké permeabilitě, u něhož dochází k nasycení při poměrně malé hodnotě intenzity magnetického pole. Obě jádra jsou magnetizována střídavým magnetickým polem stejné intenzity, ale opačného smyslu. Působí-li na sondu spolu se střídavým magnetickým polem i stejnosměrné magnetické pole vady kontrolovaného tělesa, dojde k posunutí magnetizačního průběhu sondy. Tato skutečnost je vlastně podstatou měření stejnosměrných polí ferosondami. [1]

Hallova sonda

Hallova sonda a magnetodiody jsou polovodičové snímače. Hallova sonda registruje magnetické pole změnou elektrického napětí na polovodičovém prvku a magnetodiody změnou vnitřního odporu. [1]

Metoda magnetografická

Magnetografická metoda je jednou z metod indikace rozptylových toků v oblasti vady. Používá se zejména na zkoušení svarů. Na rozdíl od jiných metod se rozptylový tok nejdříve fixuje a pak vyhodnocuje. *Záznam* rozptylových toků se provádí na magnetografický pásek. Proces kontroly pomocí magnetografické metody se skládá ze dvou operací:

1) magnetizace kontrolovaného místa (např. svaru). Při této fázi dojde k záznamu rozptylových

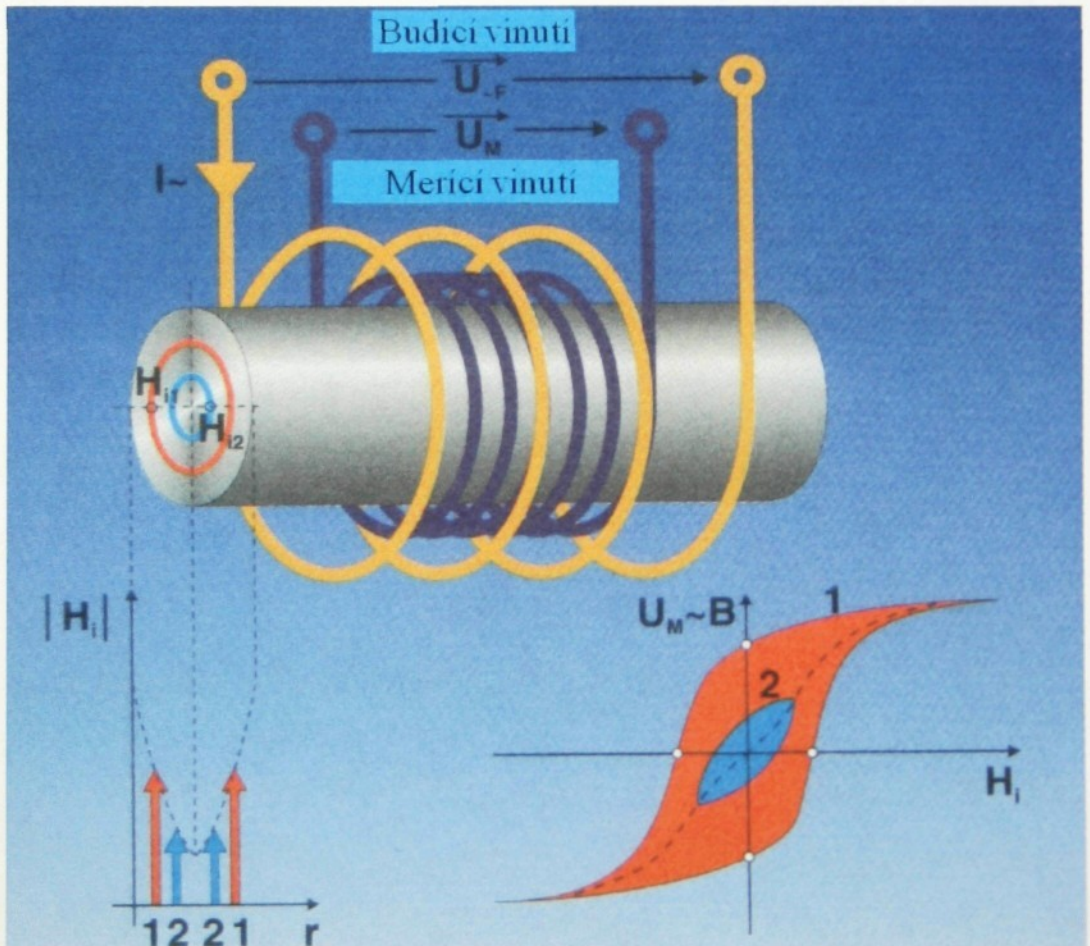
toků na magnetografický pásek, přiložený na povrch zkoušené součásti.

2) snímání zápisu z feromagnetického pásku. Největší zbytkový (remanentní) magnetismus bude mít ta část pásku, do které se „zapsal“ rozptylový tok v místě nad vadou. [1]

2.3.6. Metoda magnetoinduktivní

Magnetoinduktivní metodou lze kontrolovat takové vlastnosti materiálu, jako je chemické složení, struktura, tvrdost, pevnost, elektrická vodivost či permeabilita a dále tato metoda umožňuje i měření konkrétních hodnot tvrdosti nebo hloubky zakalené vrstvy. Tyto vlastnosti ji předurčují pro rychlou a spolehlivou kontrolu vstupního materiálu i finálního výrobku a to i při požadavku 100 % kontroly u hromadně vyráběných dílů při splnění vysokých nároků na kvalitu. [5]

Popis metody



Obr. č. 2 Princip magnetoinduktivní metody

Zkoušený vzorek, jehož vlastnosti mají být kontrolovány magnetoinduktivní metodou, je vložen do zkušební cívky. Tato cívka se skládá z budícího a z měřicího vinutí. Budící vinutí, napájené střídavým proudem o zvoleném kmitočtu, vytváří střídavé elektromagnetické pole. Toto pole působí na zkoušený vzorek a indukuje v něm elektrické napětí, které ve vodivém prostředí vzorku protlačí

elektrický proud. Současně se vznikem tohoto proudu vzniká i střídavé elektromagnetické pole, které působí proti původnímu budicímu poli. Toto sekundární pole indukuje v měřicím vinutí zkušební cívky napětí, které vlastní přístroj vyhodnocuje jako změřený signál. Průběh indukovaného napětí v měřicím vinutí závisí především na tvaru a velikosti hysterézní smyčky zkoušeného materiálu, konkrétně na průběhu magnetické indukce.

A právě vlastnosti materiálu, jako je tvrdost, pevnost, hloubka zakalení či chemické složení ovlivňují tvar a velikost hysterézní smyčky materiálu a tím i změřený signál.

Napájíme-li budicí vinutí relativně malým proudem sinusového průběhu, je maximální amplituda intenzity budicího pole také relativně malá. Zkoušený materiál se nachází v magneticky nenasyceném stavu a indukované napětí v měřicím vinutí má také sinusový průběh. Napájíme-li však budicí vinutí relativně velkým proudem sinusového průběhu a tedy působíme na zkoušený materiál relativně silným sinusovým budicím polem, dostává se zkoušený materiál do stavu magnetického nasycení (saturace) a indukované napětí v měřicím vinutí má již nesinusový průběh. Kromě první harmonické obsahuje toto indukované napětí i další vyšší harmonické. Změnou intenzity budicího pole v poměrně širokém rozsahu je možné více či méně magneticky nasycovat zkoušený materiál a tím ovlivňovat množství a velikost vyšších harmonických ve změřeném signálu. Vhodnou volbou intenzity budicího pole lze tedy nalézt tu část hysterézní smyčky, na které se nejvíce projevují ty vlastnosti materiálu, které chceme zkoušet. Dále je nutné vzít v úvahu, že intenzita budicího pole působícího na zkoušený materiál je největší na jeho povrchu a s rostoucí hloubkou vniku do tohoto materiálu poměrně rychle klesá. Tím se s rostoucí hloubkou materiálu zmenšuje i hysterézní smyčka materiálu v dané hloubce. [5]

Vyšší harmonické signálu jsou z hlediska kvality zkoušení významným parametrem, neboť zkoušené vlastnosti materiálu se kromě první harmonické projevují i na vyšších harmonických. Rozlišení dvou, svými vlastnostmi velmi podobných materiálů na základě analýzy pouze první harmonické změřeného signálu není v řadě případů možné, neboť rozdíly mezi oběma materiály se mohou výrazněji projevovat až na vyšších harmonických. Typickým příkladem vlastností materiálu, které se projevují především na vyšších harmonických jsou změny struktury zkoušeného materiálu. Je tedy zřejmé, že u magneto induktivní

metody zkoušení vlastností kovových materiálů hraje velmi důležitou roli optimální volba intenzity budicího pole a následně harmonická analýza změřeného signálu - t.j. možnost samostatného vyhodnocení jednotlivých harmonických. Dalším zkušebním parametrem, který významně ovlivňuje měření je tzv. zkušební frekvence, což je frekvence sinusového budicího proudu. Čím vyšší je zkušební frekvence, tím menší je hloubka vniku budicího pole do zkoušeného materiálu a naopak. Zkušební frekvence je tedy vedle intenzity budicího pole dalším parametrem, který zásadně vymezuje vyhodnocovanou vrstvu materiálu. [5]

2.3.6.1. Druhy zkoušení

Jednofrekvenční zkoušení

Magnetoinдукtivní metodu lze pro zkoušení vlastností kovových materiálů použít několika různými způsoby. Nejjednodušším způsobem je Jednofrekvenční zkoušení, kdy pro danou zkušební úlohu je zvolena optimální zkušební frekvence a nastaven optimální budicí proud. Výhodou této koncepce je jednoduchost a rychlost zkoušení. Určitou nevýhodou může být u náročnějších zkušebních úloh nižší spolehlivost měření, neboť zvolené nastavení přístroje je optimalizováno pro zkoušení určité nebo určitých vlastností materiálu, ale toto jedno nastavení nemusí být vhodné pro všechny vlastnosti zkoušeného materiálu, které bychom chtěli kontrolovat. Tuto nevýhodu lze odstranit vícefrekvenčním (víceparametrickým) zkoušením. [5]

Vícefrekvenční zkoušení

Podstatou vícefrekvenčního zkoušení je kombinace různých zkušebních frekvencí a budicích proudů tak, abychom maximálním možným způsobem zvýšili spolehlivost měření. Jednotlivé vlastnosti zkoušeného materiálu se při různém nastavení zkušební frekvence a budicího proudu projevují různě silně. Lze tedy vybrat několik nastavení parametrů přístroje, při kterých se jednotlivé zkoušené vlastnosti materiálu projevují nejsilněji a s takto optimalizovanými parametry přístroje daný materiál současně zkoušet. Získáme tak řadu dílčích výsledků (pro každou sadu parametrů přístroje jeden výsledek), jejichž vzájemným

porovnáním a automatickým vyhodnocením získáme jednoznačný zkušební výsledek. [5]

Postupné vícefrekvenční zkoušení

Principiálně lze vícefrekvenční zkoušení rozdělit na tzv. postupné zkoušení, kdy dochází ke zkoušení jednotlivými frekvencemi postupně za sebou a na tzv. současné (pulsní) zkoušení, kdy dochází ke zkoušení všemi nastavenými frekvencemi najednou pomocí budicího proudu, jehož průběh je definován superpozicí všech nastavených frekvencí.

Výhodou postupného zkoušení je možnost skutečně optimálního nastavení jednotlivých parametrických sad pro danou zkušební úlohu, neboť ke každé zvolené zkušební frekvenci lze nastavit optimální velikost budicího proudu. Určitým omezením však někdy může být nižší zkušební rychlost způsobená právě postupným zkoušením jednotlivými frekvencemi za sebou. [5]

Současné vícefrekvenční zkoušení

Další variantou magnetoinduktivní metody je současné vícefrekvenční (pulsní) zkoušení. Myšlenka tohoto zkoušení vychází z teorie, že pulsní signál lze rozložit na základní harmonickou vlnu signálu a teoreticky nekonečné množství vyšších harmonických signálů, které představují další zkušební frekvence. V praxi však dochází k vyhodnocování pouze určitého počtu vybraných zkušebních frekvencí. Pro současné vícefrekvenční zkoušení je charakteristická vysoká zkušební rychlost, neboť zkoušení všemi vybranými frekvencemi probíhá současně. Na rozdíl od postupného vícefrekvenčního zkoušení však nelze pro jednotlivé zkušební frekvence nastavit optimální velikost budících proudů, neboť všechny frekvence využívají pouze jednoho budicího proudu. [5]

2.3.7. Zkoušky ultrazvukem

Akustické vlny všech frekvencí jsou elastické kmity látky, které se šíří prostorem rychlostí, závislou na mechanických vlastnostech prostředí a nepřesahují rámeček pružné deformace.

2.3.7.1. Metody ultrazvukové defektoskopie

Rozlišujeme čtyři základní defektoskopické ultrazvukové metody:

Průchodová metoda

Základem průchodové metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Pracuje se dvěma ultrazvukovými sondami, které se umísťují vždy souose na protilehlých stěnách zkoušeného materiálu, z nichž jedna pracuje jako vysílač ultrazvukové energie a druhá jako přijímač.

Průchodové metody lze použít jen ke kontrole předmětů s rovnoběžnými povrchy (rovinnými nebo zakřivenými). Hlavní uplatnění nacházejí při kontrole plechů (zejména tenkých), plátovaných materiálů, ložiskových pánví apod. [1]

Odrázová metoda

Odrázová metoda je nejrozšířenější. Je založena na impulsním provozu ultrazvukového zdroje. Do kontrolovaného předmětu se vysílají krátké ultrazvukové impulsy, které se odrážejí od povrchu předmětu a jeho vnitřních vad. Po odrazu v materiálu se ultrazvukové vlny vrátí buď na tentýž, nebo na druhý měnič (jednosondový nebo dvousondový provoz), který pracuje jako přijímač.

Tato metoda je velmi citlivá, výsledky lze dobře reprodukovat. Při použití odrazové metody stačí, když je přístupná jedna strana zkoušeného výrobku. Je vhodná pro kontrolu materiálů tlustších než 10 mm, dále k měření tloušťek, stanovení útlumu, elastických konstant materiálu apod. [1]

Rezonanční metoda

Při rezonanční metodě se do zkoušeného předmětu vysílají ultrazvukové vlny, jejichž frekvence se plynule mění. Když se tloušťka předmětu (plechu) rovná celistvému násobku poloviční délky vlny vysílaného ultrazvukového vlnění, vznikne v předmětu stojaté vlnění. Při stojaté vlně vysílač dodává minimální energii do kontrolovaného předmětu, který se při stojaté vlně dostane do vlastní rezonance buď na základní, nebo některé vyšší harmonické frekvenci. Rezonanční metoda je určena pro měření tloušťek stěn (zhruba od 0,1 do 100 mm), lze ji použít pro zjišťování některých vhodně orientovaných vad, které jsou rovnoběžné s povrchem, jak je tomu u zdvojených plechů. Stačí pro měření přístupná jedna strana. [1]

Metoda umožňující zviditelnění vnitřních vad

Při této metodě se ultrazvukové vlnění vysílá do zkoušeného předmětu spojitě. Princip metody záleží v průchodu ultrazvuku materiálem a ultrazvukovou optikou, která vytváří podle zákonů geometrické optiky obraz eventuální poruchy na přijímači, který je vlastně měničem obrazu, neboť mění ultrazvukový obraz na viditelný. Na rozdíl od předcházejících metod umožňuje tato metoda zjistit nejen přítomnost vady, ale poznat i její tvar, polohu uložení v materiálu popř. určit i druh. [1]

2.3.8. Zkoušky pronikavým zářením (zkoušky radiologické)

Významná metoda nedestruktivního zkoušení materiálu a výrobků, zejména svarů a odlitků je prozařování pronikavým zářením. Používá se záření rentgenové, záření gama a záření neutronové. Jako zdroje pronikavého záření slouží rentgeny, betatrony (resp. lineární urychlovače) a radioizotopy. Kontrola prozařováním je svým dokumentárním charakterem kontrolou průkaznou a je podmíněna získáním jakostního zobrazení zkoušeného předmětu pro konečné závěry v klasifikaci vad. Radiologické zkoušky tedy nabyly značného významu zejména ve slévárenství, ve svařování, v různých hutních provozech, ve stavebnictví a v oboru plastických hmot. [1]

2.4. Statistika

2.4.1. Regresní analýza

Často chceme nejen rozhodnout, zda veličiny jsou závislé, či nezávislé, ale i určit jak spolu hodnoty proměnných souvisejí. Chtěli bychom tedy najít vzorec (rovnici) pro výpočet jedné proměnné na základě druhé. Při používání takových vzorců si musíme uvědomovat, že na rozdíl od matematiky nejsou z rovnice hodnoty závisle proměnné určeny jednoznačně, ale jsou zatíženy několika chybami. S těmito chybami úzce souvisí kvalita (vypovídající schopnost) a vhodnost či nevhodnost rovnice. Závislost mezi proměnnými jsem měřil pomocí korelačního koeficientu. Proměnou, kterou zkoumáme nazýváme závisle proměnnou. Znaky, které ovlivňují závisle proměnnou (určují její změny) nazýváme

nezávisle proměnnými. Rovnice (funkce) popisující typ závislosti mezi proměnnými se nazývá regresní rovnice (funkce). Podle toho, o jaký druh závislosti se jedná, mluvíme o lineární, logaritmické, kvadratické atd., rovnici (funkci).

V regresní funkci předpokládáme, že nezávisle proměnná X nabývá hodnot $X_1, X_2, \dots, X_n$ a závisle proměnná Y nabývá odpovídajících hodnot $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ (kde n je počet pozorování). Snažím se nalézt, jak určit z hodnoty nezávisle proměnné X hodnotu závisle proměnné Y . [6]

2.4.1.1. Rovnice pro výpočet spojnic trendu

Lineární

Metodou nejmenších čtverců vypočte přímku představovanou následující rovnicí:

$$y = m \cdot x + b \quad (9)$$

kde m je směrnice a b je průsečík s osou Y .

Logaritmická

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot \ln x + b \quad (10)$$

kde c a b jsou konstanty a $\ln$ je přirozený logaritmus.

Exponenciální

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot e^{b \cdot x} \quad (11)$$

kde c a b jsou konstanty a e je základ přirozeného logaritmu.

Mocninná

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot x^b \quad (12)$$

kde c a b jsou konstanty. [6]

2.4.2. Korelace

Analytický nástroj Korelace měří vztah mezi dvěma sadami dat, která jsou vážena, aby nebyla závislá na použité jednotce míry. Na základě následujících vzorců vrátí výpočet korelačního koeficientu souboru kovarianci dvou sad dat dělenou součinem jejich směrodatných odchylek.

Korelaci můžeme použít k testování závislosti dvou sad dat. Závislost znamená, že vysoké hodnoty v jedné sadě odpovídají vysokým hodnotám ve druhé sadě (kladná korelace) nebo že nízké hodnoty v jedné sadě odpovídají vysokým hodnotám ve druhé sadě (záporná korelace). Pokud jsou hodnoty v obou sadách nezávislé, bude korelace blízká nule. [6]

Rovnice korelačního koeficientu je:

$$(13) \quad \rho_{x,y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

$$(14) \quad -1 \leq \rho_{x,y} \leq 1$$

$$(15) \quad Cov(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (17) \quad \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2$$

μ ... střední hodnota

σ ... střední směrodatná odchylka

Cov ... kovariance

ρ ... korelační koeficient

n ... počet hodnot

X, Y ... sady dat [6]

3. Praktická část

V praktické části bylo cílem zjistit, která z jednotlivých typů regresních analýz je nejvhodnější pro stanovení matematických modelů mezi intenzitou povrchového pole H a tvrdostí HV . Nejjednodušším kritériem funkčnosti nedestruktivní kontroly je koeficient korelace K (mezi měřenou fyzikální veličinou a hledanou mechanickou vlastností) větší jak 0.9.

3.1. Technické parametry vzorků

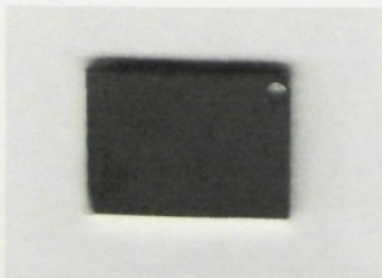
Vzorky, na kterých bylo prováděno měření intenzity povrchového pole a měření tvrdosti, měly rozměry 27x20x3 mm (vzorek pro metalografii) a 120x20x3 mm (vzorek pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU). Jsou znázorněny níže.



Obr. č. 4 Základní vzorek (I)



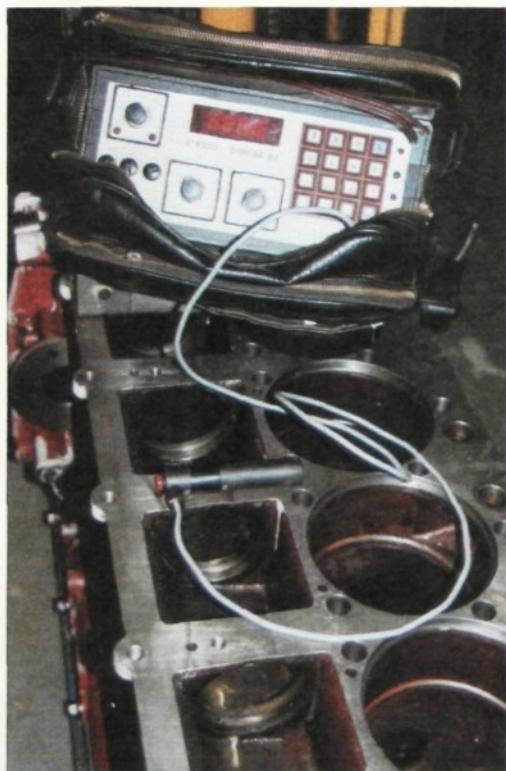
Obr. č. 5 Tyč pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU



Obr. č. 6 Vzorek pro metalografii (M)

3.2. Použité přístroje

Metalografické šetření byly provedeny na mikroskopu „NEOPHOT 32“ a měření tvrdosti na povrchu na přístroji „ZWICK 3212“. Měření tvrdosti v jádře a gradienty tvrdosti bylo provedeno na mikrotvrdoměru „Micrometr 2100“. Na obrázku níže je strukturoskop DOMENA, který slouží pro měření intenzity magnetického pole.

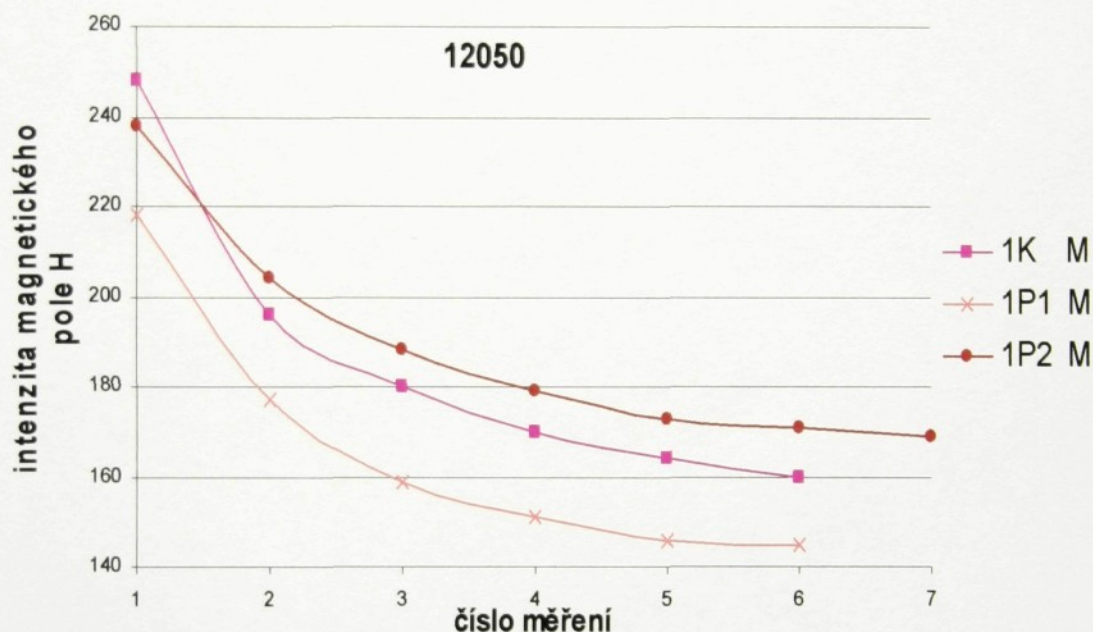


Obr. č. 7 Přenosný bateriový strukturoskop DOMENA B2.B

3.3. Sestavení grafů intenzit magnetických polí H závislých na počtu měření

Po obdržení hodnot intenzit magnetických polí H pro různé typy vzorků, které byli dodány vedoucím bakalářské práce Doc. Ing. Břetislavem Skrbkem, byli vytvořeny přehledné tabulky (příloha 13 – příloha 16). Ukázka tabulky je zobrazena níže.

120x20x3 mm. Velikosti hodnot intenzit mag. pole H byly různé, z toho vyplývá, že velikost intenzity povrchového pole H je závislá na velikosti měřeného vzorku.

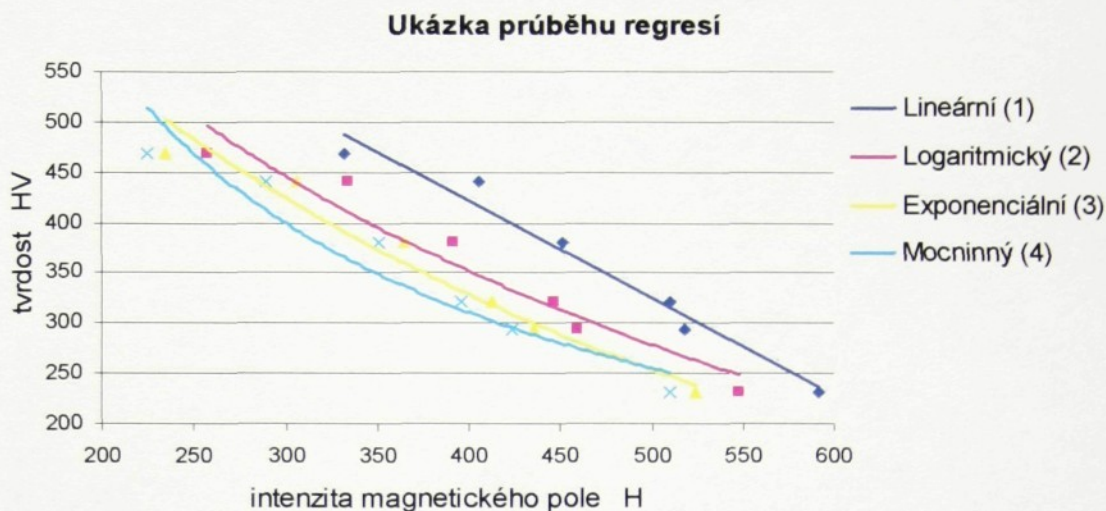


Graf č. 1 Ukázka závislosti intenzit magnetického pole H na počtu měření

Z grafů je patrné, že intenzita magnetického pole je při prvním měření nejvyšší a s přibývajícím počtem měření klesá.

3.4. Sestrojení regresních analýz

Po dodání hodnot tvrdostí a naměřených hodnot intenzit magnetického pole H byly sestrojeny grafy závislostí (příloha 20 – příloha 31) a následně sestrojeny lineární, logaritmické, exponenciální a mocninné regresní přímky.



$$y = -0,9691x + 809,77$$

$$y = -328,52\ln(x) + 2320,2$$

$$y = 919,21e^{-0,0026x}$$

$$y = 59311x^{-0,8766}$$

Graf č. 2 Ukázka závislosti intenzit magnetického pole H na tvrdosti a průběhu regresí

Před vytvořením grafů regresí byly vzorky rozděleny do skupin. Pro materiál 12050 a 14260 byly rozděleny na skupinu kalených + popouštěných a na skupinu žíhaných. Vzorků žíhaných bylo pouze dva kusy a proto se tato bakalářská práce žíhanými vzorky nezabývá. Takto vytvořené skupiny byly z důvodu odlišné struktury vzorků žíhaných a kalených + popouštěných. Software Excel k těmto regresním přímkám, které jsou umístěny v legendě grafů (příloha 20 – příloha 31) a seřazeny (pro 1 až 7 měření), vypočte rovnice regrese. Typy regresí jsou znázorněny v teoretické části v odstavci 2.4.1. Regresní analýza.

3.5. Výpočet korelačních koeficientů

Do rovnic regresí pro určité číslo měření (1 až 7) byly dosazeny hodnoty intenzit magnetického pole H naměřené na přístroji Domena (příloha 32 – příloha 39). Ukázka tabulky takto vzniklých hodnot je uvedena níže.

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							12050 I	
1	2	3	4	5	6	7	kalení + popouštění	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
488,0	485,8	483,4	481,3	480,9	479,4		1K	468
416,3	419,3	420,9	423,5	424,8	425,8	435,0	1P1	440
371,7	368,6	369,0	369,3	368,7	370,3	374,5	1P2	381
315,5	320,5	326,7	329,2	329,8	331,2	336,4	1P3	322
307,8	309,1	306,5	304,4	302,7	301,2	299,3	1P4	294
236,1	232,1	229,0	227,9	228,5	227,6	222,3	1P5	230,5
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
495,7	495,9	494,8	493,2	492,7	491,6		1K	468
409,7	411,1	413,0	416,2	417,7	419,3	444,0	1P1	440
363,9	358,5	358,3	358,3	357,7	359,3	369,4	1P2	381
312,3	315,4	320,0	321,7	322,1	323,2	329,4	1P3	322
305,6	306,0	303,2	301,0	299,6	298,1	294,2	1P4	294
248,6	248,5	246,2	244,9	245,4	244,3	230,4	1P5	230,5

Tab. č. 2 Ukázka tabulky hodnot vzniklých dosazením do rovnic regresí

Takto vzniklé hodnoty byly porovnány s tvrdostí na povrchu naměřenou na přístroji „ZWICK 3212“ a byl vytvořen korelační koeficient (příloha 40 - příloha 41).

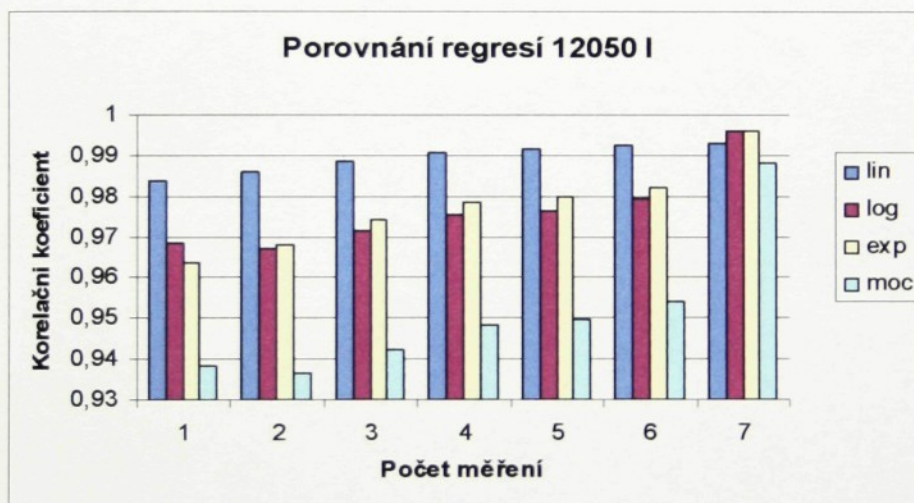
Korelační koeficient podobně jako kovariance udává, do jaké míry se vzájemně mění dvě měřené proměnné. Na rozdíl od kovariance je u korelačního koeficientu použito měřítko; jeho hodnota tedy nezávisí na jednotkách, v nichž jsou dané dvě měřené proměnné vyjádřeny. Korelační koeficient musí mít hodnotu v rozsahu od -1 do +1 (včetně). Závislost znamená, že vysoké hodnoty jedné proměnné odpovídají vysokým hodnotám druhé proměnné (kladná korelace) nebo že nízké hodnoty jedné proměnné odpovídají vysokým hodnotám druhé proměnné (záporná korelace). Pokud jsou hodnoty obou proměnných nezávislé, bude korelace blízka nule.

12050 I	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,983878	0,986094	0,988628	0,990764	0,991564	0,992743	0,992787
logaritmická	0,968586	0,967381	0,971529	0,975615	0,976521	0,979454	0,996063
exponenciální	0,963858	0,9682	0,974055	0,978683	0,979902	0,982173	0,99606
mocninná	0,938404	0,936636	0,94219	0,948327	0,9498	0,954243	0,988047

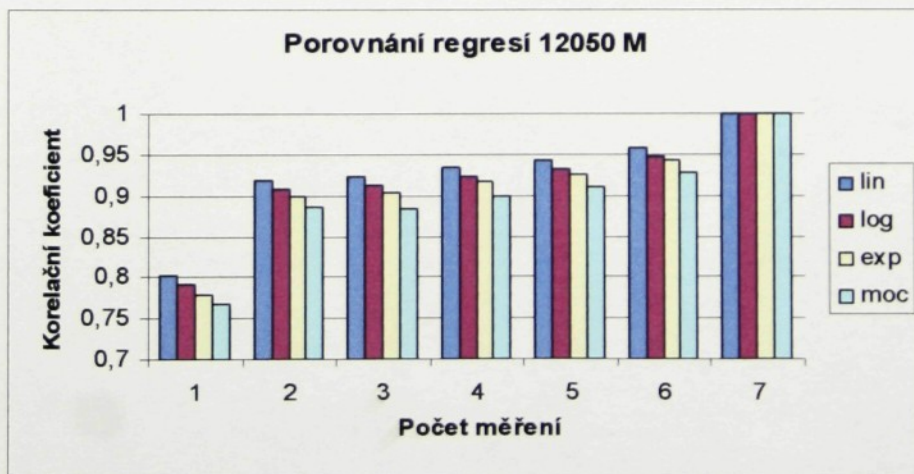
Tab. č. 3 Ukázka tabulky korelačních koeficientů pro materiál 12050 I

3.6. Porovnání regresí

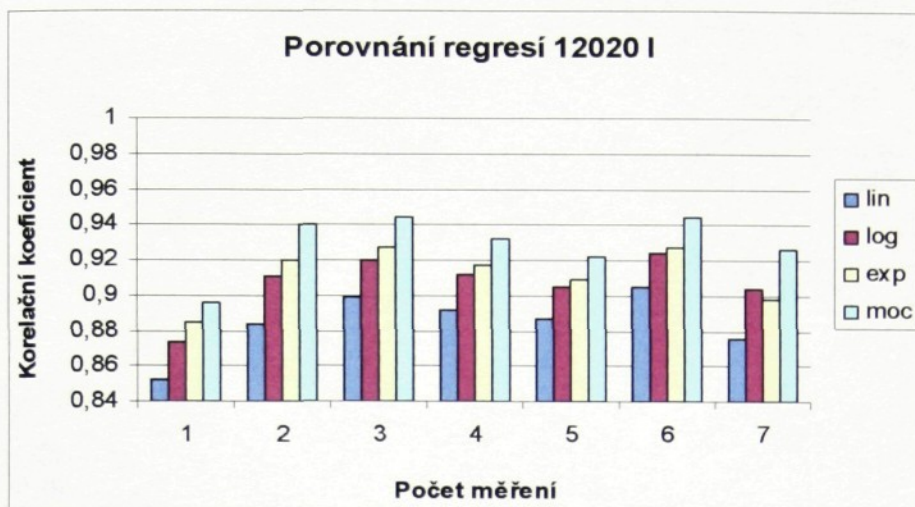
Pro zjednodušení výběru nejvhodnějšího typu regrese byly vytvořeny grafy hodnot korelačních koeficientů.



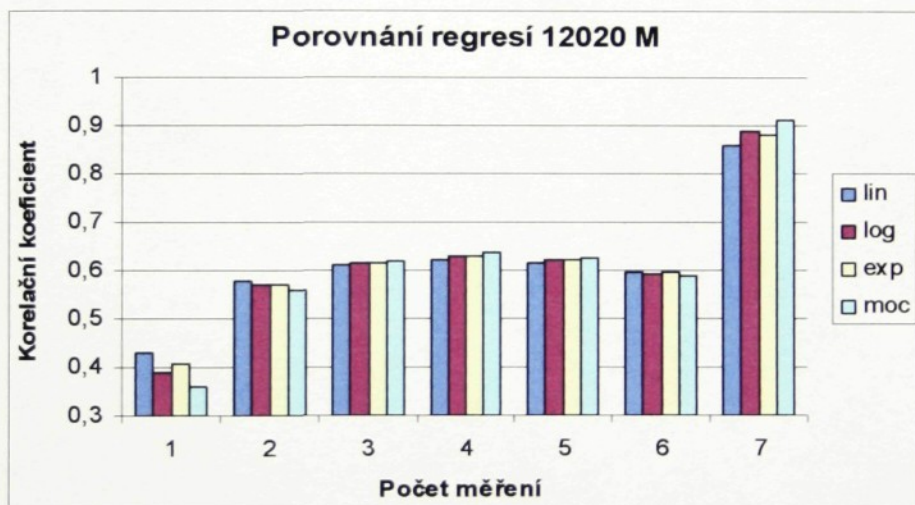
Graf č. 3 Porovnání regresí materiálu 12050 I



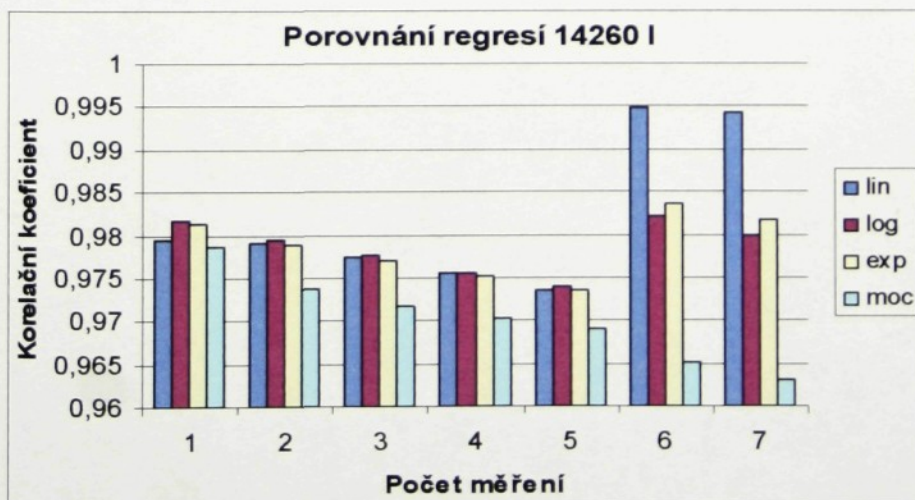
Graf č. 4 Porovnání regresí materiálu 12050 M



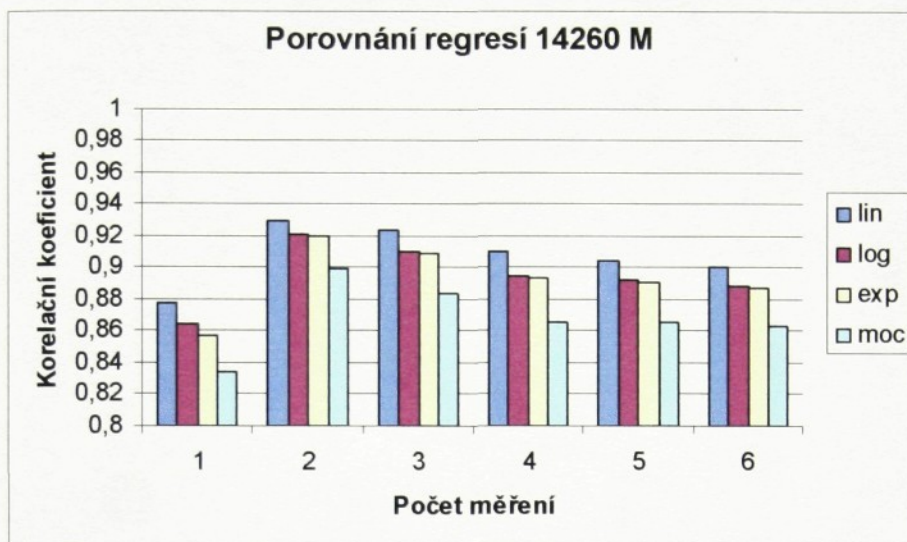
Graf č. 5 Porovnání regresí materiálu 12020 I



Graf č. 6 Porovnání regresí materiálu 12020 M



Graf č. 7 Porovnání regresí materiálu 14260 I



Graf č. 8 Porovnání regresí materiálu 14260 I

U Grafu č. 4 Porovnání regresí materiálu 12050 M se může zdát, že korelační koeficient v sedmém opakovaném měření v identickém bodě je roven 1. Ve skutečnosti je roven 0,99 jak je možno ověřit v příloze 40. Toto zdání je dáno rozsahem hodnot na ose y v porovnání s ostatními grafy.

Z porovnání výsledků korelačních koeficientů jednotlivých typů regresních analýz vyplývá, že matematický model mezi intenzitou povrchového pole H a tvrdostí HV je nejvhodnější získávat pomocí lineární regrese. Z grafů je zřejmé, že hodnota korelačního koeficientu stoupá s počtem měření. Tím stoupá i přesnost.

4. Diskuse

Z grafů (příloha 17 – příloha 19) je patrné, že intenzita magnetického pole je při prvním měření nejvyšší a s přibývajícím počtem měření klesá. Tento pokles je z důvodu, že po zániku vnějšího magnetického pole se nevrátí všechny domény do původního stavu. Vzniká remanentní polarizace I_r , která je daná strukturou.

Zmagnetované místo má vlastní magnetické pole o intenzitě H_r . Vratným změnám brání atomy feromagnetika vázané v molekulách a atomární napětí.

$$H_r = H_0 - N \times (I_r/\mu) \quad [A/m]$$

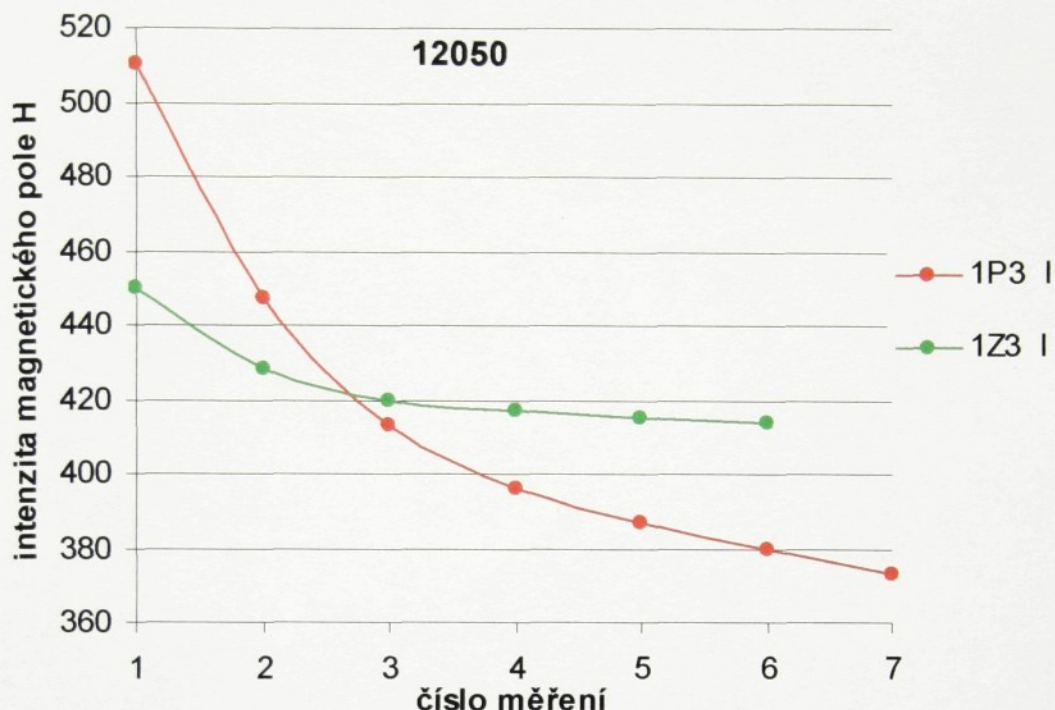
kde μ je permeabilita a H_0 je intenzita vnějšího magnetického pole. Demagnetizační činitel N charakterizuje vnější i strukturní geometrické poměry rozhraní feromagnetik.

U vzorků z oceli 12050 se zvětšuje velikost intenzity mag. pole H a zmenšuje velikost tvrdosti HV se zvyšující se teplotou popouštění od 300°C do 660°C. Malé vzorky s označením 'M' nedosahují takových velikostí intenzity mag. pole H jako vzorky velké 'I', z toho vyplývá vliv demagnetizačního činitele N .

U vzorků z oceli 12020 opět platí, že čím je vyšší popouštěcí teplota, tím je vyšší intenzita mag. pole a nižší tvrdost. Se zvětšující se vrstvou cementace od 0,2 až 1,1 mm se zvětšuje velikost intenzity mag. pole H . U tohoto typu vzorku se měnila struktura jen povrchových vrstev.

U vzorků z oceli 14260 platí to samé jako v předešlých případech. Ale ještě navíc platí, že po žihání na měkko je při druhém a třetím měření velikost intenzity mag. pole stejně velká jako u popouštění na 660°C.

Metalografická struktura všech typů vzorků ocelí 12050, 12020 a 14260 je podrobně popsána v příloze 1 až v příloze 12.



Graf č. 9 Ukázka rozdílu strmostí poklesu intenzity magnetického pole H v závislosti na pořadí opakovaného měření v identickém bodě

Dále z grafů (příloha 17 a příloha 19) vyplývá, že kalený a popouštěný stav od stavu žíhaného se dá rozlišit strmostí poklesu intenzity magnetického pole H v závislosti na pořadí opakovaného měření v identickém bodě. U žíhaných vzorků je strmost poklesu intenzity magnetického pole H malá, kdežto u vzorků kalených a popouštěných je strmost velká. Pro ještě zřetelnější znázornění byly vytvořeny tabulky rozdílu těchto hodnot mezi prvním a druhým pořadím opakovaného měření v identickém bodě a mezi prvním a třetím.

Vzorky žíhané byly v tabulce označeny modře. U vzorků kalených a popouštěných byla ponechána barva černá. Z tabulky č. 3 a z grafu č. 9 je vidět jak markantní je rozdíl poklesu intenzity magnetického pole H mezi již výše zmiňovanými vzorky žíhanými a kalenými + popouštěnými.

Značka vzorku	Druh měření	rozdíl mezi 1 a 2 hodnotou	rozdíl mezi 1 a 3 hodnotou
12050			
1K	I	115	74
	M	88	52
1P1	I	134	72
	M	73	41
1P2	I	118	60
	M	69	34
1P3	I	137	63
	M	71	35
1P4	I	107	58
	M	73	37
1P5	I	102	44
	M	54	31
1Z3	I	36	22
	M	14	10

Značka vzorku	Druh měření	rozdíl mezi 1 a 2 hodnotou	rozdíl mezi 1 a 3 hodnotou
14260			
3K	I	76	99
	II	79	102
	M	56	73
3P1	I	76	101
	M	44	63
3P2	I	72	100
	M	43	62
3P3	I	63	91
	M	40	58
3P4	I	75	103
	M	43	63
3P5	I	68	101
	M	45	67
3Z1	I	33	63
	M	27	45
3Z3	I	20	25
	II	22	32

Tab. č. 4 Tabulka rozdílů intenzity magnetického pole H v závislosti na pořadí opakovaného měření v identickém bodě

Vysoké hodnoty korelačních koeficientů (graf 3 – graf 8) v sedmém opakovaném měření v identickém bodě a v některých případech již šestém měření jsou dány menším souborem hodnot než v prvním a pátém opakovaném měření v identickém bodě. Je to dáno tím, že počet opakovaných měření intenzity magnetického pole H v identickém bodě byl různý u každého vzorku. Proto doporučuji brát ohled na korelační koeficienty pouze do pátého měření a v některých případech do šestého.

Doporučení pro výrobce přístrojů DOMENA z hlediska naprogramování režimu měření

Pro materiál 12050 I pro první měření : $y = -0,9691 \cdot x + 809,77$

při korelačním koeficientu 0,983878

ještě přesnější hodnoty bude dosaženo při šestém opakovaném měření v

identickém bodě a to matematickým modelem : $y = -0,9088 \cdot x + 676,58$

při korelačním koeficientu 0,992743

Pro materiál 12050 M pro šesté měření : $y = -2,9359 \cdot x + 894,66$

při korelačním koeficientu 0,957418

Pro materiál 12020 I pro třetí měření : $y = 1 \cdot 10^6 \cdot x^{-1,369}$

při korelačním koeficientu 0,94407

Pro materiál 12020 M je příliš malý korelační koeficient při všech opakovaných měřeních v identickém bodě, nepřesáhne hodnotu 0,62. Z tohoto důvodu (velká nepřesnost) není uveden matematický model.

Pro materiál 14260 I je pro první měření matematický model :

$$y = -1,3183 \cdot x + 1017,2$$

při korelačním koeficientu 0,979495

Pro materiál 14260 M je pro druhé měření matematický model :

$$y = -2,7379 \cdot x + 997,7$$

při korelačním koeficientu 0,92976

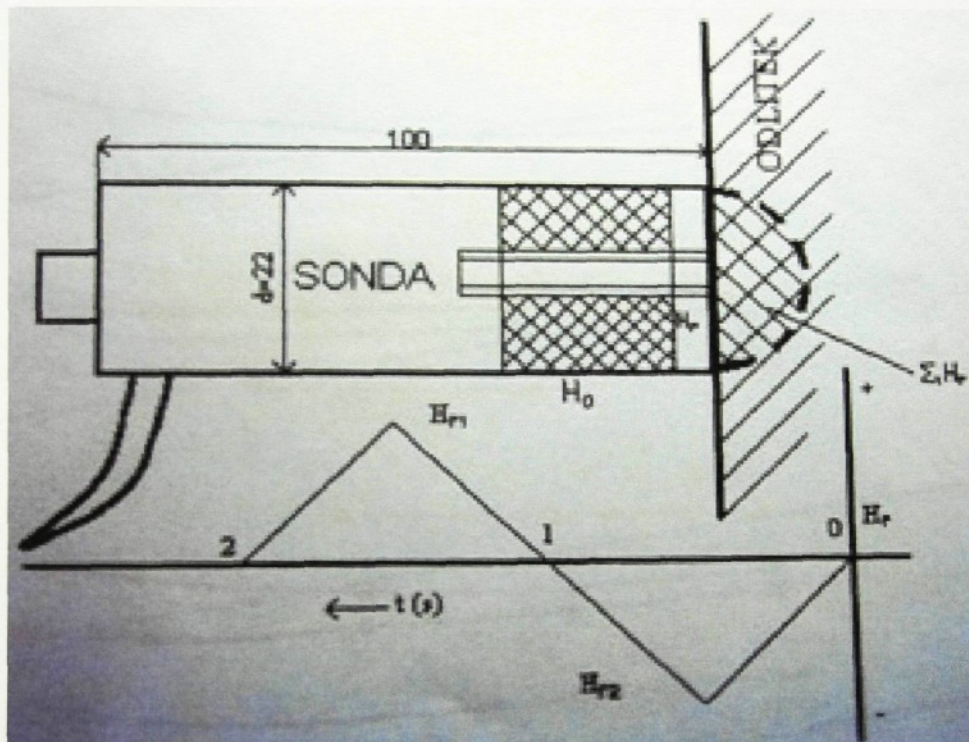
kde za 'x' se dosadí intenzita povrchového pole H a po vypočítání vychází 'y', kterému je rovna tvrdost HV.

Hodnota korelačního koeficientu a tím větší přesnost lze zvýšit větším počtem měření intenzity povrchového pole H. Matematické modely pro další měření jsou uvedeny v příloze 20 – příloha 31.

U materiálu 12020 byl počítán matematický model ze souboru hodnot všech tlouštěk cementačních vrstev a možná z tohoto důvodu vychází malý korelační koeficient.

Je možno měřit hloubku cementační vrstvy? Pokud budu chtít znát odpověď na tuto otázku, tak doporučuji zkoumat větší množství vzorků na různé cementované tloušťky.

Přístroje DOMENA se běžně používají pro měření tvrdosti u litin, z podílu perlitu v matrici.



Obr. č. 8 Princip měření parametrů matrice magnetickým bodovým pólem

Pro oceli se nepoužívají z důvodu nepoužitelnosti hodnot získaných jednoduchým měřením. Tato práce se zabývá vícenásobným měřením.

Jedno měření intenzity magnetického pole H v identickém bodě trvá přibližně 4 až 5 vteřin. Pro šesté měření intenzity magnetického pole H v identickém bodě bude potřeba již 24 až 30 sekund. Uživatel přístrojů DOMENA by s tímto časem měl počítat např. při návrhu automatické linky při 100% kontrole produkce výrobků.

Reference přístrojů řady DOMENA je umístěna v příloze 41.

5. Závěr

V rámci předložené bakalářské práce bylo provedeno :

- Seznámení s magnetickými způsoby měření
- Zkoumání vzorků vhodným metalografickým rozbořem
- Stanovení matematických modelů mezi intenzitou povrchového pole H a tvrdostí HV
- Shrnutí zjištěných poznatků

Zjištěné poznatky :

- Matematický model mezi intenzitou povrchového pole H a tvrdostí HV je nejvhodnější získávat pomocí lineární regrese
- Hodnota korelačního koeficientu a tím větší přesnost lze zvýšit větším počtem opakovaného měření intenzity povrchového pole H v identickém bodě.
- Oceli kalené, popouštěné a žíhané se hodí pro zjišťování tvrdostí magnetickou strukturoskopií
- Oceli žíhané mají strmější pokles intenzity magnetického pole H v závislosti na opakovaném měření v identickém bodě oproti ocelím kaleným a popuštěným

Z práce plyne doporučení pro výrobce přístrojů DOMENA z hlediska naprogramování režimu měření na ocelích.

5. Použitá literatura

- [1] PTÁČEK, L. a kol. : Nauka o materiálu I., CERM Brno, 2001
- [2] VĚCHET, M. : Defektoskopie v otázkách a odpovědích, SNTL Praha, 1989
- [3] JENÍČEK, L., RYŠ, P. a kol.: Nauka o materiálu I – 2 – A Vlastnosti kovů, Academia Praha, 1975
- [4] MÍŠEK, B., PTÁČEK, L., : Defektoskopie a provozní diagnostika. Nakladatelství VUT Brno, 1992
- [5] RICHTER, P. : Kontrola železných materiálů magnetoinduktivní metodou. Dokument FOERSTER TECOM, s.r.o., Praha 10
- [6] Návod k programu Microsoft Office Excel 2003

Použité symboly

κ ... magnetická susceptibilita

μ ... magnetická permeabilita

ΔH ... element intenzity magnet. pole

Δl ... element vodiče

r ... průvodič

i ... proud

l ... délka cívky

n ... počet závitů cívky

I ... intenzita magnetizace

B ... magnetická indukce materiálu

B_0 ... indukce ve vakuu

H ... intenzita magnetického pole

Φ ... magnetický tok

S ... průřez

μ_0 ... permeabilita vakua

μ_r ... relativní permeabilita

H_c ... koercitivní síle ⁹

B_r ... remanentní indukce

X ... nezávisle proměnná

Y ... závisle proměnná

c, b, m ... konstanty

e ... základ přirozeného logaritmu

μ ... střední hodnota

σ ... střední směrodatná odchylka

Cov ... kovariance

ρ ... korelační koeficient ^{2 k}

n ... počet hodnot

T ... teplota

T_c ... Curieova teplota

al. hustota proudového pole?

Poděkování

Závěrem této práce děkuji panu doc. Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za odborné vedení mé bakalářské práce, všem pracovníkům KMT, kteří my byli ochotně nápomocni při řešení různých problémů spojených s touto prací.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 – Příloha č. 3 : Metalografický rozbor a tvrdost materiálu 12050
- Příloha č. 4 – Příloha č. 9 : Metalografický rozbor a tvrdost materiálu 12020
- Příloha č. 10 – Příloha č. 12 : Metalografický rozbor a tvrdost materiálu 14260
- Příloha č. 13 : Tabulka hodnot intenzit mag. pole materiálu 12050
- Příloha č. 14 – Příloha č. 15 : Tabulka hodnot intenzit mag. pole materiálu 12020
- Příloha č. 16 : Tabulka hodnot intenzit mag. pole materiálu 14260
- Příloha č. 17 : Graf intenzity mag. pole materiálu 12050
- Příloha č. 18 : Graf intenzity mag. pole materiálu 12020
- Příloha č. 19 : Graf intenzity mag. pole materiálu 14260
- Příloha č. 20 – Příloha č. 23 : Grafy regresních analýz materiálu 12050
- Příloha č. 24 – Příloha č. 27 : Grafy regresních analýz materiálu 12020
- Příloha č. 28 – Příloha č. 31 : Grafy regresních analýz materiálu 14260
- Příloha č. 32 – Příloha č. 39 : Hodnoty po dosazení do rovnic regresí
- Příloha č. 40 – Příloha č. 41 : Hodnoty korelačních koeficientů
- Příloha č. 41 : Reference přístrojů řady DOMENA

Materiál jakosti 12050

Vzorek 1K

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C

Mikrostruktura:

Je tvořena mírně heterogenní směsí martenzitu a dolního bainitu. Na povrchu je patrná vrstva silně naleptaná bez výrazné vnitřní morfologie - pravděpodobně se jedná o oduhličenou a silně zoxidovanou oblast do hloubky max. 0,016 mm.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 509 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 586,2 HV a maximální 623,2 HV. Průměrná hodnota byla 611,3 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 334,1 HV a maximální 636,6 HV. Průměrná hodnota byla 568,9 HV.

Vzorek 1P1

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno na 300° C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Mikrostruktura je téměř shodná se strukturou vzorku 1K. Jedná se o směs mírně heterogenního martenzitu a dolního bainitu s nevýraznými znaky řádkovitého odmišení. Zoxidovaná a oduhličená vrstva sahá do max. hloubky cca 0,024 m. Stupeň popuštění není výrazně vyšší než u vzorku 1K.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 453 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 505 HV a maximální 521,5 HV. Průměrná hodnota ze byla 512,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 288,5 HV a maximální 521,8 HV. Průměrná hodnota byla 485 HV.

Vzorek 1P2

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno na 420° C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Mikrostruktura je opět martenziticko-bainitická se znaky řádkovitého odmišení. Zoxidovaná a oduhličená vrstva, projevující se u povrchu silným přeleptáním a hlouběji polygonálními zrnky feritu nepřevyšuje hloubku 0,03mm. Nepatrně vyšší stupeň popuštění oproti vzorkům 1P1a 1K.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 361 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 398 HV a maximální 416,4 HV. Průměrná hodnota byla 407,2 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 295,6 HV a maximální 420,6 HV. Průměrná hodnota byla 387,6 HV.

Vzorek 1P3

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno na 500° C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Mikrostruktura je opět martenziticko-bainitická. Povrchová, výrazně oxidická a na ni navazující oduhličená oblast sahá do celkové max. hloubky 0,034 mm. Vyšší stupeň popuštění dokumentuje mírný nárůst procenta velmi jemných globulek cementitu.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 309 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 327,7 HV a maximální 336,2 HV. Průměrná hodnota byla 333,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 284,8 HV a maximální 334,7 HV. Průměrná hodnota byla 322,3 HV.

Vzorek 1P4

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno na 580° C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Celkový vzhled struktury nevybočuje ze série vzorků IP. Opět zaznamenáváme směs martenzitu a dolního bainitu s nízkým stupněm heterogenity. Povrchová degradovaná vrstvička dosahuje max. tloušťky 0,038 mm. Sferoidizace částic cementitu dále roste.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 272 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 293,3 HV a maximální 310 HV. Průměrná hodnota ze byla 299,5 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 249,9 HV a maximální 308,7 HV. Průměrná hodnota byla 292,3 HV.

Vzorek 1P5

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 830 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno na 660° C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Na povrchu byla zjištěna vnější atmosférou silně ovlivněná vrstva o celkové tloušťce max. 0,042 mm, která je složena ze tří mezivrstev:

- Zcela degradovaná oxidická vrstvička o průměrné tloušťce 0,008 mm.
- Na tuto vrstvičku navazuje zoxidovaná a oduhličená vrstva o tloušťce max. 0,014 mm.
- Třetí mezivrstvu tvoří oblast úplného oduhličení o průměrné tloušťce 0,020 mm. Částečné oduhličení zasahuje do hloubky cca 0,080 mm. Mikrostrukturu jádra lze charakterizovat jako homogenní sorbit s nepatrnými znaky původní řádkovitosti.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 235 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 241,4 HV a maximální 249,9 HV. Průměrná hodnota byla 244,5 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 166,5 HV a maximální 247,7 HV. Průměrná hodnota byla 227,3 HV.

Vzorek 1Z1

Tepelné zpracování:

Výchozí stav

Mikrostruktura:

Z hlediska čistoty je materiál na dobré úrovni - podle ČSN 420471 odpovídá množství oxidických vměstků stupni č.2. Struktura je perlitická s přesně neohraničenými zbytkovými zrnky feritu. Perlit si místně zachovává lamelární kresbu, místy jsou lamely rozpadlé na částice, která u okrajů zrn již výrazně sferoidizují. Celkový charakter struktury odpovídá základnímu žíhání – stav .2. Povrch je velmi mírně oduhličen (do 0,006 až 0,012 mm) a okujen (max. 0,024 mm).

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 185 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 187,8 HV a maximální 197,6 HV. Průměrná hodnota byla 192,9 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 174 HV a maximální 200 HV. Průměrná hodnota byla 191,2 HV.

Vzorek 1Z3

Tepelné zpracování:

Žíháno na měkko 700° C - 3 hodiny, ochlazovat v peci, chránit proti oduhličení

Mikrostruktura:

Vzhled mikrostruktury se od vzorku 1Z1 příliš neliší. Měkké žíhání se projevilo určitým rozdifundováním zrn perlitu a vyšším stupněm rozpadu a sferoidizace lamel. Celkově lze provedené zpracování hodnotit opět jako základní žíhání nebo nedokonalé měkké žíhání (stav .2 až .3)

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 162 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 165,3 HV a maximální 176,6 HV. Průměrná hodnota byla 170,6 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 140,3 HV a maximální 180,6 HV. Průměrná hodnota byla 165,5 HV.

Materiál jakosti 12020

Vzorek 2KA

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 780° C ; napuštěno 150° C 1 hodinu.

Mikrostruktura:

Do hloubky 0,05 mm sahá výrazné oduhličená oblast, strukturně tvořená bainitem, martenzitem a většími útvary přesyceného feritu a také drobnými útvary polygonálního feritu. Hluběji ubývá bainitický podíl, takže v hloubce 0,1 mm strukturu tvoří výrazně jehlicovitý nízkouhlíkový martenzit. Struktura jádra je tvořena jemným nevýrazně jehlicovitým nízkouhlíkovým martenzitem a drobnými řetízky karbidů po hranicích zrn. Z hlediska čistoty tento vzorek vykazuje vysoké procento dlouhých, intenzivně přetvářených sulfidických vměstků.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 396,5 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 436,3 HV a maximální 453,9 HV. Průměrná hodnota byla 447,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 319,5 HV a maximální 443,1 HV. Průměrná hodnota byla 416,5 HV.

Vzorek 2KB

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 780° C; popustit na 300° C

Mikrostruktura:

Do hloubky 0,012 mm zasahuje dokonalé oduhličení v podobě feritických, téměř pravoúhlých zrn. Směrem do jádra pozvolna narůstá množství a velikost zrn martenzitu a velmi pomalu klesá koncentrace tvarově složitých zrn přesyceného feritu. Jádro s strukturně příliš neliší od povrchu, pouze podíl feritu se snížil na cca 30%. Výskyt feritu svědčí o méně dokonalé austenitizaci oproti vzorku 2KA. Místy se opět vyskytují velmi dlouhé přetvářené sulfidy.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 217,6 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 208,2 HV a maximální 223,7 HV. Průměrná hodnota byla 217 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 193,1 HV a maximální 224,6 HV. Průměrná hodnota byla 215,2 HV.

Vzorek 2KC

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 780° C; popustit na 500° C

Mikrostruktura:

Charakter mikrostruktury tohoto vzorku je z hlediska austenitizace, zakalení i stupně oduhličení shodný se vzorkem 2KB, vyšší popouštěcí teplota se však výrazně projevila na rozpadu zrn martenzitu a patrné sferoidisaci rozpadlých částic.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 212,2 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 193,7 HV a maximální 200,5 HV. Průměrná hodnota byla 196,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 183,4 HV a maximální 201,5 HV. Průměrná hodnota byla 189,1 HV.

Vzorek 2C1A

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,2 - 0,3 mm) v peci (Degussa) a kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C. Napustit 150° C-1 hod.

Mikrostruktura:

Mikrostrukturu cementační vrstvy tvoří mírně heterogenní jemně jehlicovitá směs martenzitu a menšího množství dolního bainitu. Částečný rozpad jehlic a náznaky sferoidizace těchto částic napovídají, že tento vzorek byl po kalení popuštěn. Směrem do jádra přibývá bainitických útvarů a v jádře lze vedle mírně hrubozrnnějšího dolního bainitu pozorovat i výskyt drobných polygonálních zrn feritu. Tloušťka cementované vrstvy dosahuje 0,4 mm.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 775,4 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 435,6 HV a maximální 440,7 HV. Průměrná hodnota byla 438,2 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 435,1 HV a maximální 714,2 HV. Průměrná hodnota byla 568,4 HV.

Vzorek 2C1B

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,2 - 0,3 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780° C do oleje 70° C; popuštěno 300° C.

Mikrostruktura:

Cementační vrstvu tvoří martenzit a malý podíl spodního bainitu ve vyšším stupni popuštění. Hloubka vrstvy činí v průměru 0,5 mm. V jejích horních partiích je patrná přítomnost řídce vyloučených útvarů cementitu, sledujících hranice zrn. Struktura jádra, tvořená zrnny bainitu s vysokým podílem zrn feritu (cca 50%) svědčí o nízké austenitizační teplotě.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 546,1 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 238,6 HV a maximální 254,3 HV. Průměrná hodnota byla 246,2 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 244,6 HV a maximální 552,6 HV. Průměrná hodnota byla 402,5 HV.

Vzorek 2C2A

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C Napustit 150°C - 1 hod.

Mikrostruktura:

Mikrostruktura cementační vrstvy je tvořena poměrně homogenním popuštěným martenzitem, její celková hloubka neodpovídá předpisu - sahá do hloubky max. 0,35 mm. Hlouběji přechází v zrna bainitického typu s rostoucím podílem feritických zrn. Materiál vzorku obsahuje opět vyšší koncentraci dlouhých, přetvářených sulfidů.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 810,8 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 324,3 HV a maximální 339,3 HV. Průměrná hodnota byla 334,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 327,6 HV a maximální 709,7 HV. Průměrná hodnota byla 491 HV.

Vzorek 2C2B

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C ; popuštěno 300 °C

Mikrostruktura:

Na povrchu vzorku byla zjištěna vrstvička oxidů o tloušťce 6-8 um. Dále od povrchu do hloubky okolo 0,04 mm tvoří strukturu martenzit a přechodové složky bainitického charakteru. Další část cementované vrstvy tvoří jemný martenzit. V hloubce cca 0,35 mm se začínají objevovat první zrnka feritu, kterých směrem do jádra přibývá. Strukturu ve střední části vzorku tvoří jemný martenzit a drobná polygonální zrnka feritu. Na celé ploše sledovaného vzorku jsou patrné výrazně protažené sirníkové vměstky.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 573,1 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 183,8 HV a maximální 194,4 HV. Průměrná hodnota byla 188,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 185,3 HV a maximální 320,7 HV. Průměrná hodnota byla 241,9 HV.

Vzorek 2C2C

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C; popuštěno 500 °C

Mikrostruktura:

Na povrchu vzorku byla zjištěna vrstvička oxidů o tloušťce 6-8 um. Dále od povrchu do hloubky okolo 0,04 mm tvoří strukturu martenzit a přechodové složky bainitického charakteru. Další část cementované vrstvy tvoří jemný martenzit. V hloubce cca 0,35 mm se začínají objevovat první zrnka feritu, kterých směrem do jádra přibývá. Strukturu ve střední části vzorku tvoří jemný martenzit a drobná polygonální zrnka feritu. Na celé ploše sledovaného vzorku jsou patrné výrazně protažené sirníkové vměstky.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 401,7 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 171,4 HV a maximální 176,5 HV. Průměrná hodnota byla 173,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 171,3 HV a maximální 396,3 HV. Průměrná hodnota byla 264,8 HV.

Vzorek 2C3A

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C. Napustit 150°C - 1 hod.

Mikrostruktura:

Cementační vrstvu lze rozdělit na 3 pásma:

- Pásmo od povrchu do hloubky cca 0,2 mm je martenziticko-bainitické s postupně klesajícím podílem bainitu.
- Pásmo od 0,2 do 0,5 mm je tvořeno převážně martenzitem ve stádiu mírného popuštění (do 200° C).
- V pásmu od 0,5 do 0,9 mm opět narůstá podíl dolního bainitu. Jádro vzorku tvoří směs dolního bainitu a martenzitu a od hloubky 1,1

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 650,1 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 445,9 HV a maximální 464,5 HV. Průměrná hodnota byla 456,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 443,1 HV a maximální 693,7 HV. Průměrná hodnota byla 595,9 HV.

Vzorek 2C3B

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C ; popuštěno 300 °C

Mikrostruktura:

Cementační vrstva je opět strukturně třífázová:

- Pásmo do 0,2 mm tvoří horní bainit a polygonální zrna resp. jemné obálky feritu.
- Pásmo do 0,8 mm je bainiticko-martenzitické s rostoucím podílem popuštěného martenzitu.
- Od hloubky 0,8 - 0,9 mm přibývá bainitická složka. Jádro tvoří dvorce bainitu, mírně popuštěný martenzit a zrnka feritu.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 475,6 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 353,7 HV a maximální 369,1 HV. Průměrná hodnota byla 362,3 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 299,9 HV a maximální 556,4 HV. Průměrná hodnota byla 454,5 HV.

Vzorek 2C3C

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C; popuštěno 500 °C

Mikrostruktura:

Cementační vrstva vykazuje intenzivní oduhličení do hloubky 0,02, kde je struktura bainiticko-feritická, hlouběji bainiticko-martenzitická ve vysokém stupni popuštění. Hloubka vrstvy dosahuje cca 0,4 mm. V jádře se téměř nevyskytuje ferit jako samostatná strukturní složka a jádro lze hodnotit jako strukturně homogenní. Je tvořeno vysokopopuštěným dolním bainitem (sorbitem). Výrazné oduhličení povrchu; vysoký stupeň popuštění, není podkalené jádro správná austenitizace

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 388,9 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 312,1 HV a maximální 324,3 HV. Průměrná hodnota byla 318,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 234,1 HV a maximální 399,2 HV. Průměrná hodnota byla 353,4 HV.

Vzorek 2C4A

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C. Napustit 150° C-I hod.

Mikrostruktura:

Cementační vrstva je tvořena mírně popuštěným, vcelku homogenním martenzitem s minimálním množstvím útvarů dolního bainitu, se známkami velmi mírného oduhličení povrchu do cca 0,1 mm. Celková hloubka vrstvy: cca 1,0 mm. Přejít do jádra je pozvolný a projevuje se výraznými bainitickými jehlicemi. Jádro je převážně tvořeno poměrně homogenním dolním bainitem. Příznivý průběh nasycení uhlíkem, velmi mírné oduhličení, nepodkalené jádro - dobrá austenitizace.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 795 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 518,1 HV a maximální 542,8 HV. Průměrná hodnota byla 533,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 518,7 HV a maximální 765,6 HV. Průměrná hodnota byla 657,6 HV.

Vzorek 2C4B

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C ; opuštěno 300° C

Mikrostruktura:

Cementační vrstva je tvořena výšepopuštěným martenzitem a pomalu rostoucím podílem popuštěného dolního bainitu, u povrchu mírné stopy oduhličení do hloubky cca 0,02 mm. Celková hloubka vrstvy se pohybuje v rozmezí 1,05 až 1,15 mm. V přechodové oblasti se vyskytují delší jehlice přechlazeného bainitického feritu. V jádře je struktura tvořena hrubšími zrny popuštěného dolního bainitu a místně vyloučenými ojedinělými útvary feritu. Mírné oduhličení povrchu; vyšší stupeň popuštění (v souladu s předpisem); hrubozrnější jádro (vyšší kalicí teplota)

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 608,4 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 442,7 HV a maximální 456,6 HV. Průměrná hodnota byla 448,9 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 448,6 HV a maximální 627,8 HV. Průměrná hodnota byla 557,1 HV.

Vzorek 2C4C

Tepelné zpracování:

Cementováno (0,4 - 0,6 mm) v peci (Degussa), kaleno na vrstvu z 780 ° C do oleje 70° C; popuštěno 500 °C

Mikrostruktura:

Cementační vrstvu tvoří vysokopopuštěný martenzit s nevýraznými známkami oduhličení do hloubky 0,03 mm. Celková hloubka vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,95 až 1,05 mm. Jádro je tvořeno vysokopopuštěným nízkouhlíkovým martenzitem a horním bainitem s ojedinělými zrnky feritu. Společným znakem vzorků 2C4 je vyloučení většího množství protažených sulfidu.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 432 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 292 HV a maximální 297,3 HV. Průměrná hodnota byla 294,9 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 282,7 HV a maximální 414 HV. Průměrná hodnota byla 360,7 HV.

Vzorek 2Z1

Tepelné zpracování:

Výchozí stav

Mikrostruktura:

Zjištěn vysoký obsah nečistot. Podle ČSN 420671 se obsah bodových oxidických vměstků pohybuje mezi stupni 3 a 4. Vyloučení sulfidů je velmi jemné ve stupni č. 1 (č. 2). Mikrostruktura je výrazně řádkovitá, velmi jemnozrná (velikost zrna podle ČSN 420462 - stupeň 10), tvořená feritem a přechodovým perlitem bez lamelami kresby.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 171,6 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 147,2 HV a maximální 149,9 HV. Průměrná hodnota byla 148,8 HV.

Materiál jakosti 14260

Vzorek 3Z1

Tepelné zpracování:

Normalizačně žíháno

Mikrostruktura:

Silná oxidická vrstva na povrchu (tl. 0,02 až 0,04 mm) je většinou odloupaná. Dále následuje cca 0,3 mm tlustá úplně oduhličená vrstva sloupkovitých útvarů feritu a do hloubky 0,1 mm zasahující oblast částečného oduhličení. Na protilehlé straně plechu je oduhličení podstatně méně intenzivní a převážně i do menší hloubky. Strukturu tvoří lamelami až přechodový perlit s místním výskytem obálek feritu. Struktura vykazuje vyšší stupeň heterogenity a místní náznaky počátku růstu zrna ve srovnání se vzorkem 3Z3.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 279 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 170,9 HV a maximální 321,6 HV. Průměrná hodnota byla 303,6 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 241,3 HV a maximální 321,5 HV. Průměrná hodnota byla 301,7 HV.

Vzorek 3Z3

Tepelné zpracování:

Výchozí stav

Mikrostruktura:

Na povrchu zjištěna oxidací a oduhličením částečně degradovaná vrstvička do hloubky 0,006 mm. Na ni navazuje intenzivní oduhličení do hloubky 0,026 mm. Struktura se vyznačuje jemným perlitickým zrnem a vysokou homogenitou. Detail struktury jádra ukazuje na vyšší stupeň rozpadu a následné sferoidizace drobných lamel perlitu - zpracování odpovídá ne zcela dokonalému měkkému žíhání (stav .3 až .2). Místně byla zjištěna vyšší koncentrace protáhlých sulfidických vměstků.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 239 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 249,7 HV a maximální 259,1 HV. Průměrná hodnota byla 253,8 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 182 HV a maximální 259,1 HV. Průměrná hodnota byla 238,6 HV.

Vzorek 3K

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C.

Mikrostruktura:

Celková hloubka oxidací a oduhličením ovlivněné vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,03 mm. Strukturu podpovrchové oblasti tvoří výrazně jehlicovitý hrubší martenzit. Jádro tvoří homogenní, poměrně jemný martenzit. Místa jsou patrné shluky řádkovitých sulfidů.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 606 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 793,2 HV a maximální 813 HV. Průměrná hodnota byla 804,7 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 606,6 HV a maximální 819,8 HV. Průměrná hodnota byla 730,7 HV.

Vzorek 3P1

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20 st.C a popuštěno 300 °C s výdrží 30 minut; ochlazení ve vodě.

Mikrostruktura:

Na povrchu opět oxidací částečně degradovaná vrstvička přechází v úzké pásmo (řádek) feritu. Martenzitická struktura v celém průřezu vzorku nese stopy popuštění - ztrátu tetragonity v podobě výraznějšího naleptání jehlic a jejich počínajícího rozpadu.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 526 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 664,2 HV a maximální 674,1 HV. Průměrná hodnota byla 671,3 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 522 HV a maximální 688,7 HV. Průměrná hodnota byla 623,9 HV.

Vzorek 3P2

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno 420 °C s výdrží 30 minut; ochlazení ve vodě.

Mikrostruktura:

Povrchové oduhličení je ve srovnání se vzorkem 3P1 místně výraznější. Globularizace rozpadlých jehlic je zřetelnější. V jádře se ve struktuře objevují znaky struktury dolního bainitu, zřejmě jako následek nižší ochlazovací intenzity při kalení tohoto vzorku.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 467 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 542,2 HV a maximální 563,9 HV. Průměrná hodnota byla 553,1 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 451,6 HV a maximální 563,6 HV. Průměrná hodnota byla 513,9 HV.

Vzorek 3P3

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno 500 °C s výdrží 30 minut; ochlazení ve vodě.

Mikrostruktura:

Povrchová degradace i oduhličení je na stejné úrovni jako u vzorku 3P2. Stupeň rozpadu a sferoidizace martenzitických jehlic je nepatrně vyšší.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 407 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 459,4 HV a maximální 476,1 HV. Průměrná hodnota byla 470,3 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 376,8 HV a maximální 475,3 HV. Průměrná hodnota byla 440,3 HV.

Vzorek 3P4

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno 580°C s výdrží 30 min. Voda.

Mikrostruktura:

Povrchová oblast včetně feritického proužku je téměř shodná se vzorkem 3P3. Struktura v rozhodující části průřezu je velmi blízká téměř homogennímu sorbitu.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 321 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 393,5 HV a maximální 400,2 HV. Průměrná hodnota byla 397,4 HV.

Gradient tvrdosti:

Minimální naměřená hodnota byla 283,3 HV a maximální 404,9 HV. Průměrná hodnota byla 366,9 HV.

Vzorek 3P5

Tepelné zpracování:

Kaleno na vrstvu z 840 ° C při výdrži max. 15 min. do oleje 20° C a popuštěno 660°C s výdrží 30 min. Voda

Mikrostruktura:

Minimální strukturní rozdíly oproti vzorku 3P4. Struktura jádra je jednoznačně sorbitická.

Tvrdost na povrchu:

Průměrná hodnota měření byla 299 HV.

Tvrdost v jádře:

Minimální naměřená hodnota byla 316,4 HV a maximální 322,9 HV. Průměrná hodnota byla 319,3 HV.

Gradient tvrdosti:

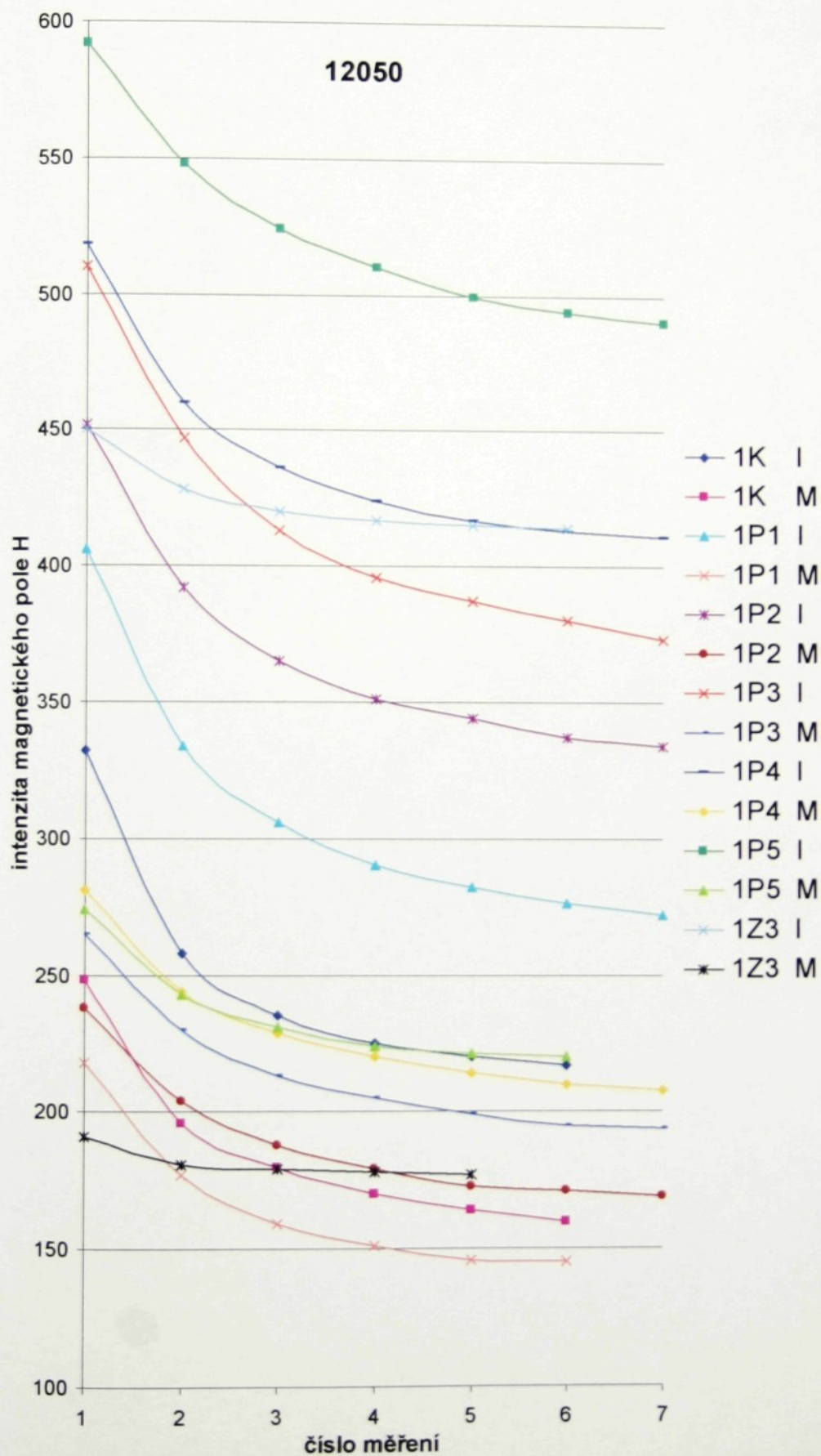
Minimální naměřená hodnota byla 262,9 HV a maximální 324,6 HV. Průměrná hodnota byla 312,8 HV.

Značka vzorku	Druh měření	Pořadí opakovaného měření v identickém bodě								Poznámky:
		1	2	3	4	5	6	7	8	
12050		I., II., III. ---- tyče pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU M ----- vzorek pro metalografii E ----- referenční vzorek, založen								
1K	I	332	258	235	225	220	217			
	II M E III	248	196	180	170	164	160			
1P1	I	406	334	306	290	282	276	272		
	II M E V	218	177	159	151	146	145			
1P2	I	452	392	365	351	344	337	334		
	II M E III	238	204	188	179	173	171	169		
1P3	I	510	447	413	396	387	380	373		
	II M E III	265	230	213	205	199	195	194		
1P4	I	518	460	436	424	417	413	411		
	II M E III	281	244	229	220	214	210	208		
1P5	I	592	548	524	510	499	494	490		
	II M E III	274	243	231	224	221	220			
1Z3	I	450	428	420	417	415	414			
	II M E III	191	181	179	178	177				

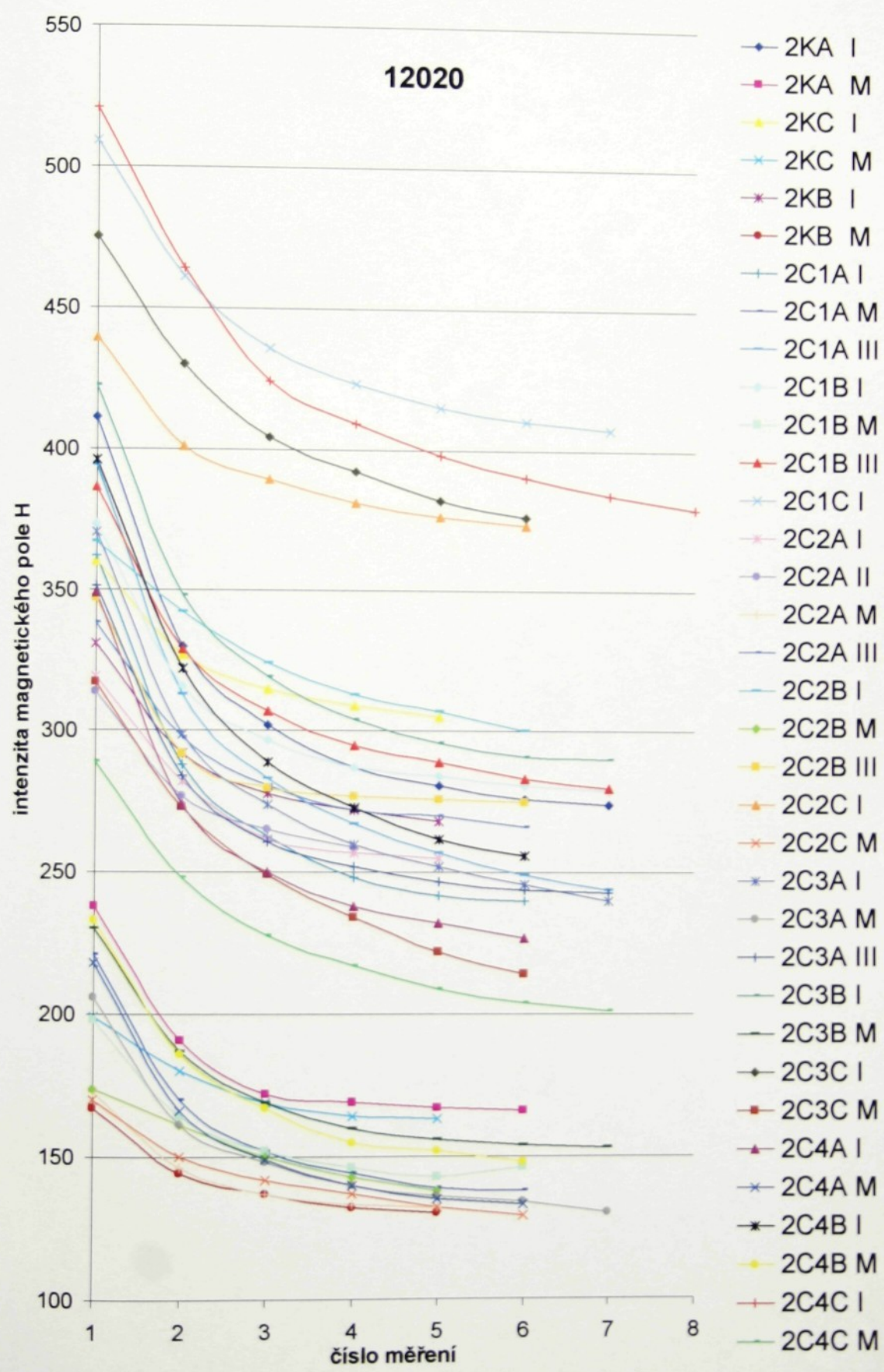
Značka vzorku	Druh měření	Pořadí opakovaného měření v identickém bodě								Poznámky:
		1	2	3	4	5	6	7	8	
12020		I., II., III. ---- tyče pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU M ----- vzorek pro metalografii E ----- referenční vzorek, založen								
2KA	I	411	330	302	287	281	276	274		
	II									
	M	238	191	172	169	167	166			
	E									
	III									
2KC	I	360	327	315	309	305				
	II									
	M	199	180	169	164	163				
	E									
	III									
2KB	I	331	292	278	272	268				
	II									
	M	167	144	137	132	130				
	E									
	III									
2C1A	I	362	288	263	248	242	240			
	II									
	M	221	170	152	144	139	138			
	E									
	III	394	313	283	267	257	249	244		
2C1B	I	373	316	297	287	284	281	279		
	II									
	M	198	164	152	146	143	146			
	E									
	III	386	329	307	295	289	283	280		
2C1C	I	509	461	436	423	415	410	407		
	II									
	M									
	E									
	III									
2C2A	I	319	282	262	257	255				
	II	314	277	265	259					
	M	173	146	137	133	132				
	E									
	III	338	298	281	272	270	266			
2C2B	I	367	342	324	313	307	300			
	II									
	M	174	161	150	143	138				
	E									
	III	347	292	280	277	276	275			
2C2C	I	439	401	389	381	376	373			
	II									
	M	170	150	142	137	132	129			
	E									
	III									
2C3A	I	370	299	274	260	252	246	240		
	II									
	M	206	161	148	140	136	134	130		
	E									
	III	351	284	261	252	247	244	243		

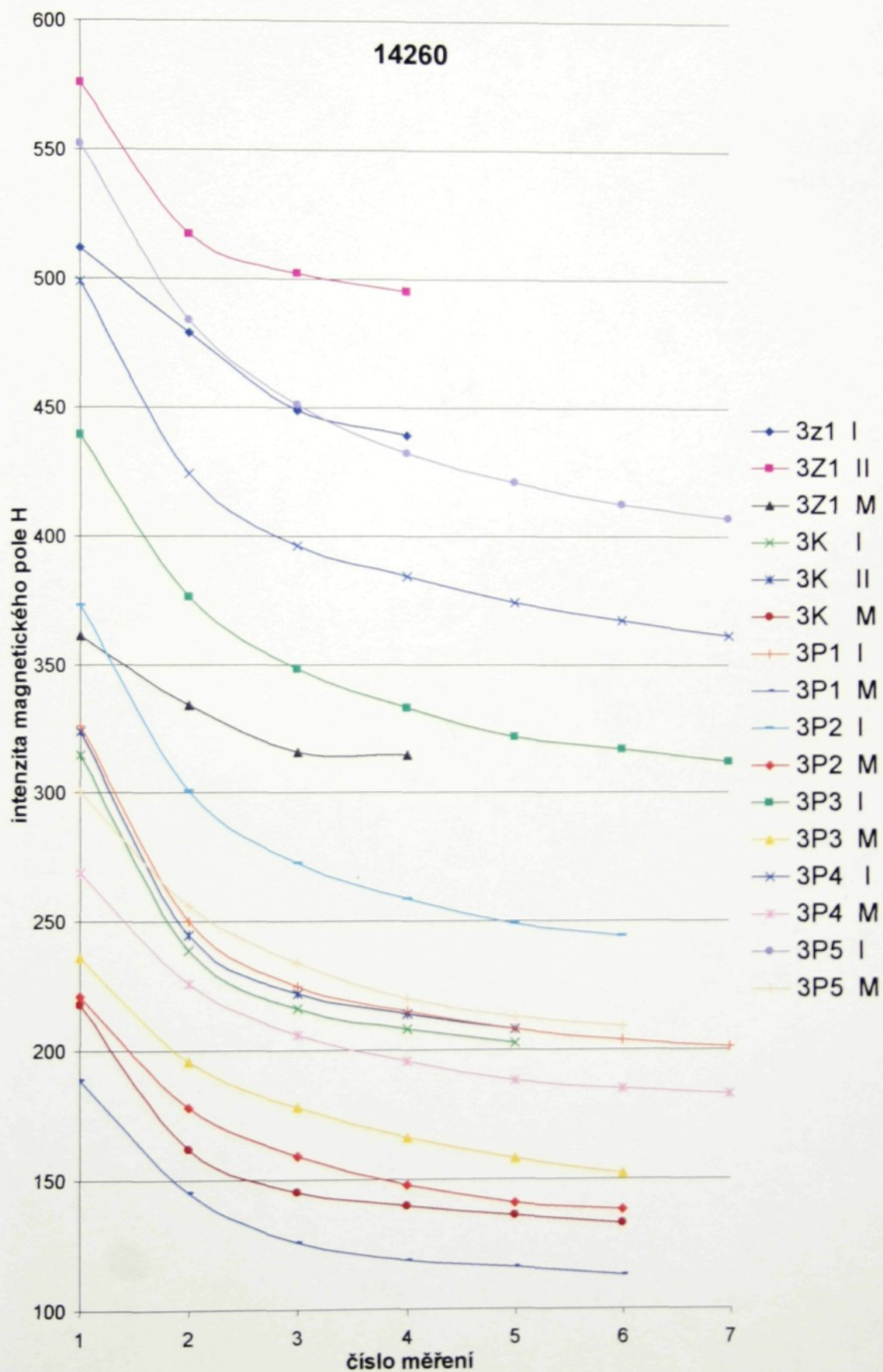
Značka vzorku	Druh měření	Pořadí opakovaného měření v identickém bodě								Poznámky:
		1	2	3	4	5	6	7	8	
12020		I., II., III. ----- tyče pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU M ----- vzorek pro metalografii E ----- referenční vzorek, založen								
2C3B	I	422	348	319	304	296	291	290		
	II									
	M	230	187	169	160	156	154	153		
	E									
2C3C	I	475	430	404	392	382	376			
	II									
	M	317	273	249	234	222	214			
	E									
2C4A	I	349	274	250	238	232	227			
	II									
	M	218	166	149	140	135	133			
	E									
2C4B	I	396	322	289	273	262	256			
	II									
	M	233	186	167	155	152	148			
	E									
2C4C	I	521	464	424	409	398	390	384	379	
	II									
	M	289	248	228	217	209	204	201		
	E									
	III									

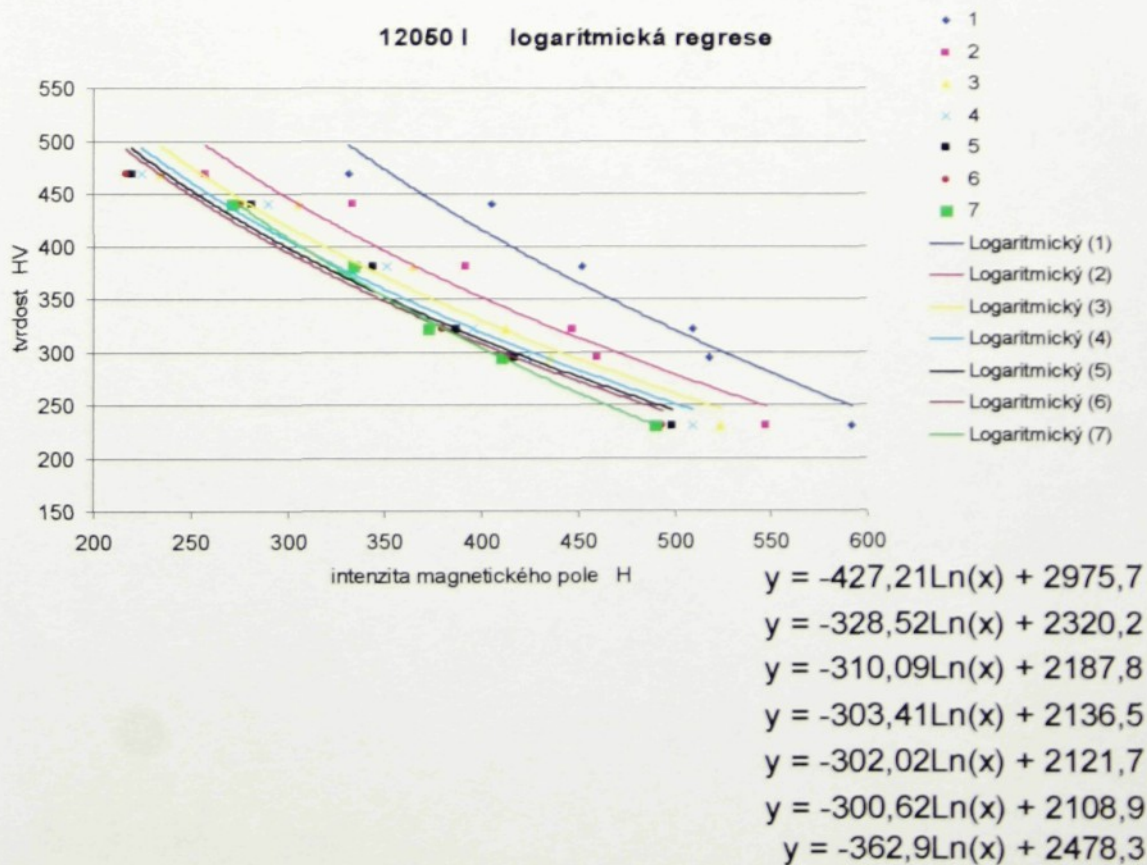
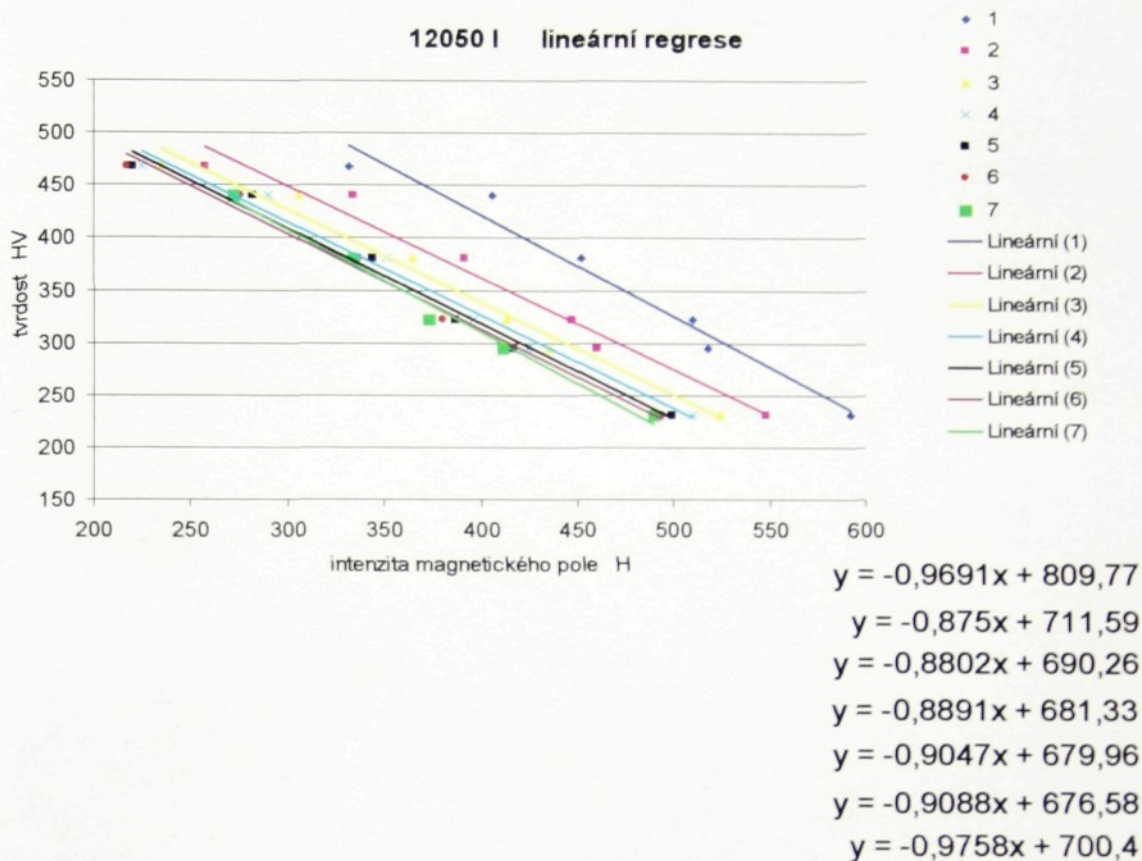
Značka vzorku	Druh měření	Pořadí opakovaného měření v identickém bodě								Poznámky:
		1	2	3	4	5	6	7	8	
14260		I., II., III. ---- tyče pro fyzikální a pevnostní zkoušky na AVFU M ----- vzorek pro metalografii E ----- referenční vzorek, založen								OX ---z oxidované
3Z1	I	512	479	449	439					
	II	576	517	502	495					
	M	361	334	316	315					
	E	424	399	387	379	376	374			
	III									
3Z3	I	478	458	453	445	441	438			
	II	484	462	452	445	440	435			
	M									
	E	354	346	341	339	336	336			
	III									
3K	I	315	239	216	208	203				OX
	II	324	245	222	214	208				OX
	M	218	162	145	140	136	133			OX
	E									
	III									
3P1	I	326	250	225	215	208	204	201		OX
	II									
	M	189	145	126	119	116	113			OX
	E									
	III									
3P2	I	373	301	273	259	249	244			OX
	II									
	M	221	178	159	148	141	138			OX
	E									
	III									
3P3	I	439	376	348	333	322	317	312		
	II									
	M	236	196	178	166	158	152			
	E									
	III									
3P4	I	499	424	396	384	374	367	361		
	II									
	M	269	226	206	196	188	185	183		
	E									
	III									
3P5	I	552	484	451	432	421	412	407		
	II									
	M	301	256	234	220	213	209			
	E									
	III									

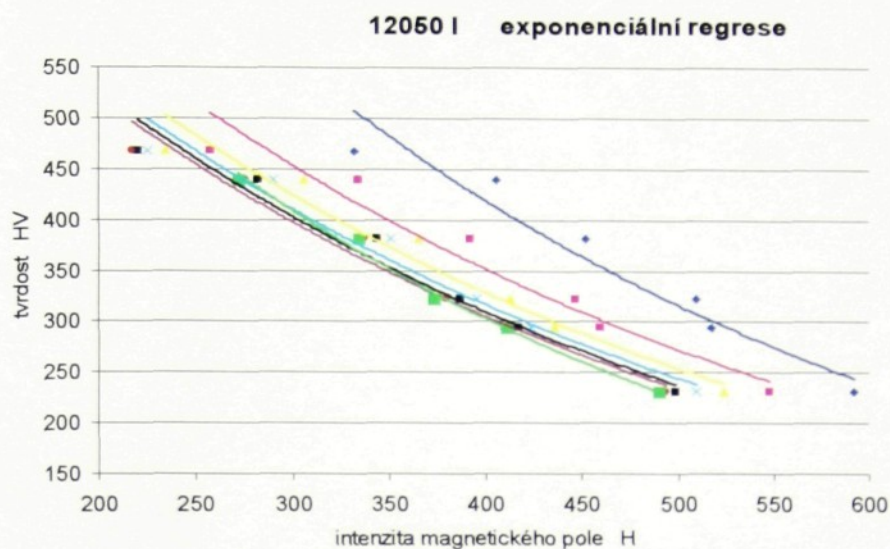


12020









$$y = 1294,8e^{-0,0028x}$$

$$y = 975,68e^{-0,0026x}$$

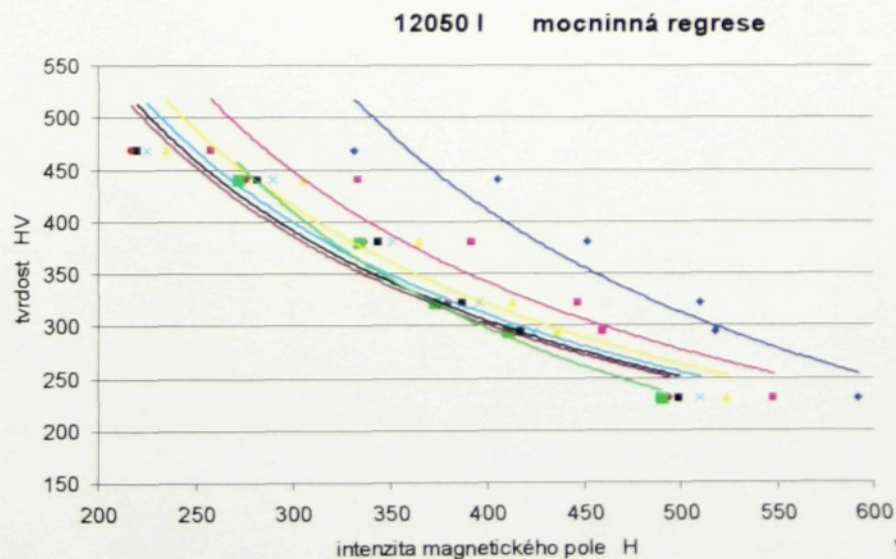
$$y = 919,21e^{-0,0026x}$$

$$y = 896,39e^{-0,0026x}$$

$$y = 892,46e^{-0,0026x}$$

$$y = 884,51e^{-0,0027x}$$

$$y = 1011,5e^{-0,003x}$$



$$y = 659251x^{-1,2317}$$

$$y = 99397x^{-0,9467}$$

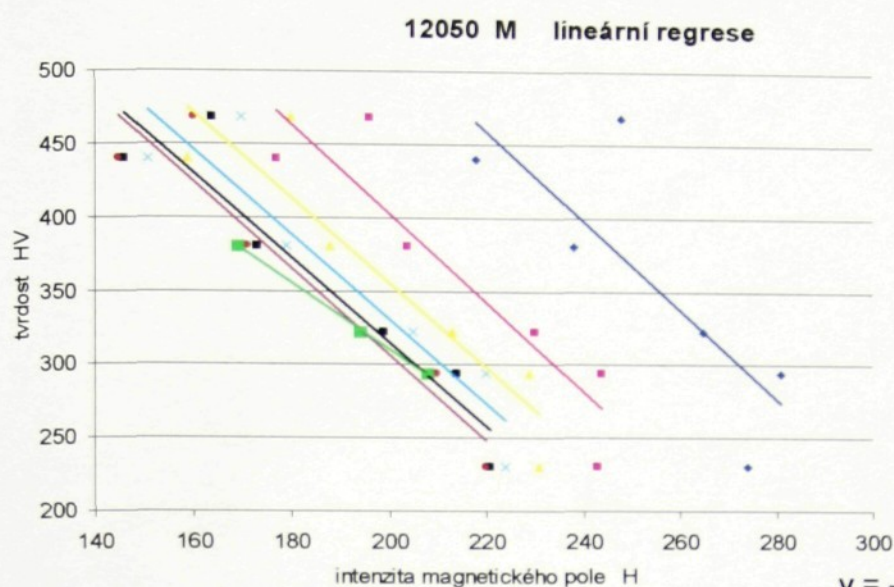
$$y = 68486x^{-0,8952}$$

$$y = 59311x^{-0,8766}$$

$$y = 56734x^{-0,8723}$$

$$y = 54929x^{-0,8691}$$

$$y = 230028x^{-1,11}$$



$$y = -3,0493x + 1130,4$$

$$y = -3,0256x + 1008,4$$

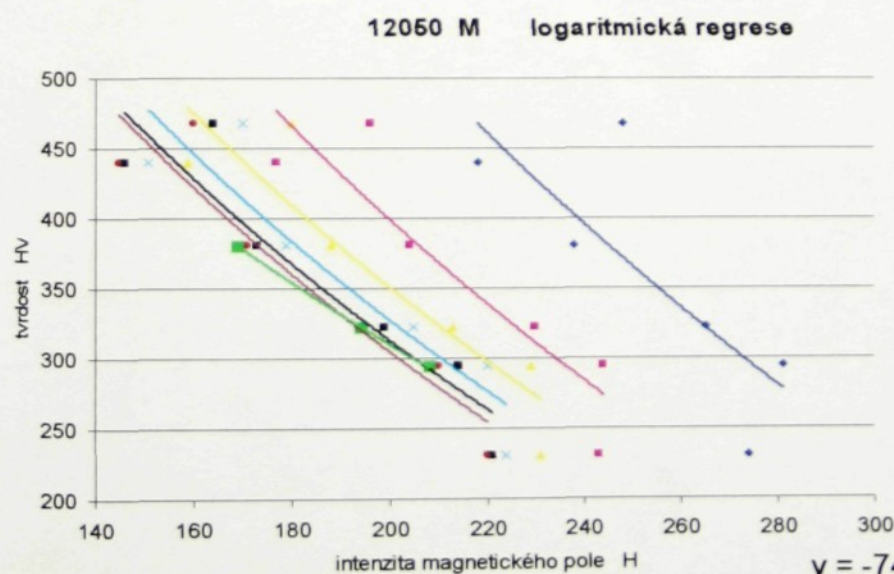
$$y = -2,8872x + 933,35$$

$$y = -2,8837x + 908,14$$

$$y = -2,8707x + 890,34$$

$$y = -2,9359x + 894,66$$

$$y = -2,2459x + 759,81$$



$$y = -749,81\ln(x) + 4505$$

$$y = -632,58\ln(x) + 3750,8$$

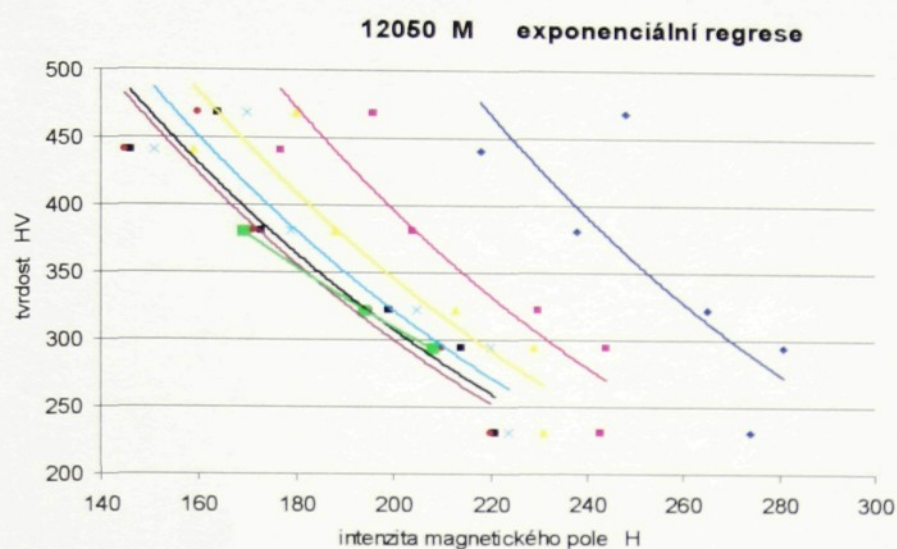
$$y = -556,07\ln(x) + 3297,1$$

$$y = -532,97\ln(x) + 3151,2$$

$$y = -517,62\ln(x) + 3055,7$$

$$y = -525,91\ln(x) + 3091,3$$

$$y = -420,21\ln(x) + 2536,4$$



$$y = 3334,2e^{-0,0089x}$$

$$y = 2294,3e^{-0,0088x}$$

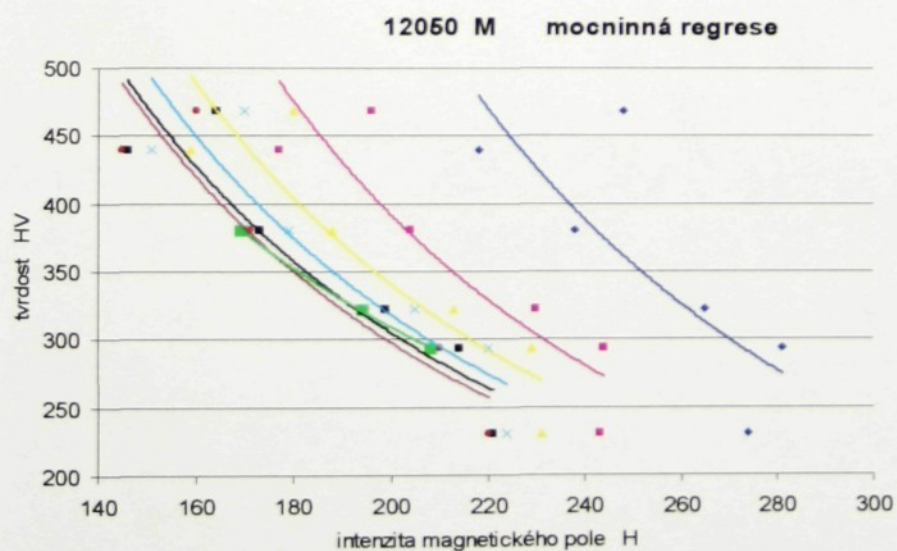
$$y = 1860,5e^{-0,0084x}$$

$$y = 1731,4e^{-0,0084x}$$

$$y = 1652,4e^{-0,0084x}$$

$$y = 1679,5e^{-0,0086x}$$

$$y = 1172,9e^{-0,0067x}$$



$$y = 6E+07x^{-2,1934}$$

$$y = 6E+06x^{-1,8314}$$

$$y = 2E+06x^{-1,6167}$$

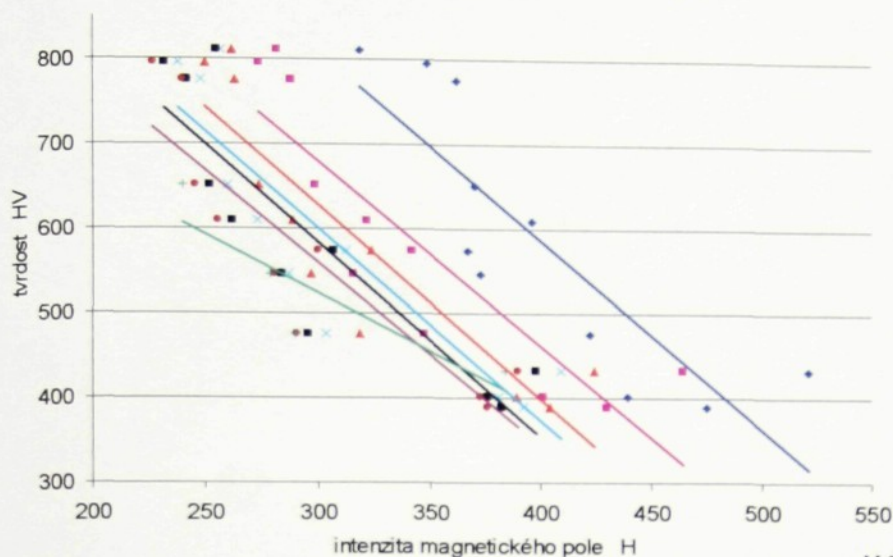
$$y = 1E+06x^{-1,5504}$$

$$y = 910486x^{-1,51}$$

$$y = 1E+06x^{-1,5368}$$

$$y = 225725x^{-1,2444}$$

12020 I lineární regrese



$$y = -2,2362x + 1480$$

$$y = -2,1835x + 1334,5$$

$$y = -2,2916x + 1315,1$$

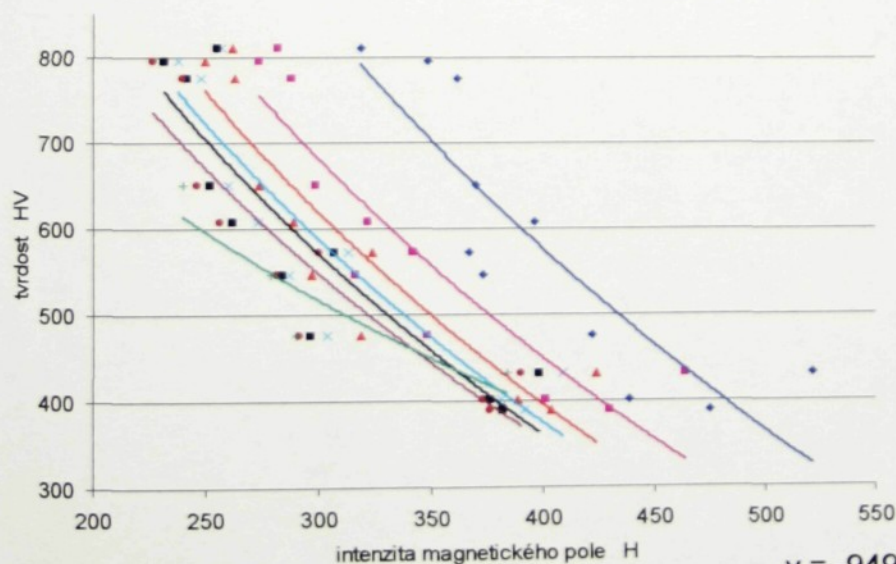
$$y = -2,2762x + 1282,7$$

$$y = -2,3093x + 1276,8$$

$$y = -2,1583x + 1207,8$$

$$y = -1,3644x + 932,88$$

12020 I logaritmická regrese



$$y = -949,02\ln(x) + 6262,3$$

$$y = -806,39\ln(x) + 5281,2$$

$$y = -775,68\ln(x) + 5043,3$$

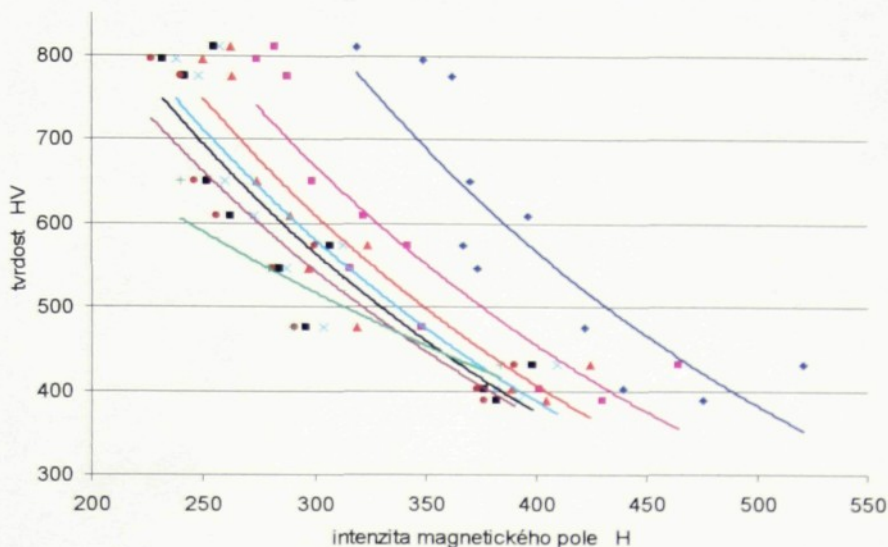
$$y = -740,57\ln(x) + 4812$$

$$y = -731,38\ln(x) + 4742,7$$

$$y = -673,33\ln(x) + 4388,3$$

$$y = -438,78\ln(x) + 3019,6$$

12020 I exponenciální regrese



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- Exponenciální (1)
- Exponenciální (2)
- Exponenciální (3)
- Exponenciální (4)
- Exponenciální (5)
- Exponenciální (6)
- Exponenciální (7)

$$y = 2741,8e^{-0,0039x}$$

$$y = 2134,4e^{-0,0039x}$$

$$y = 2068,2e^{-0,0041x}$$

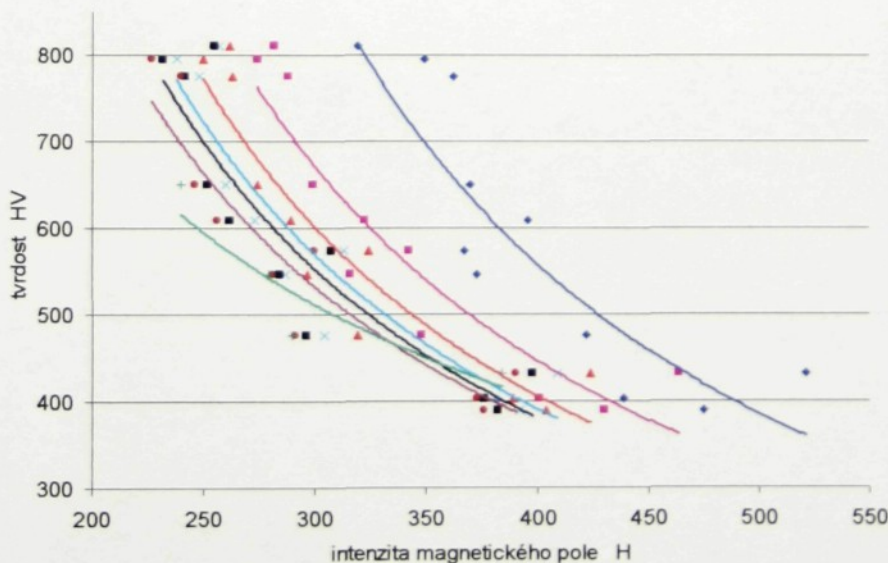
$$y = 1959,3e^{-0,0041x}$$

$$y = 1942,8e^{-0,0041x}$$

$$y = 1759,4e^{-0,0039x}$$

$$y = 1129,5e^{-0,0026x}$$

12020 I mocninná regrese



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- Mocninný (1)
- Mocninný (2)
- Mocninný (3)
- Mocninný (4)
- Mocninný (5)
- Mocninný (6)
- Mocninný (7)

$$y = 1E+07x^{-1,6654}$$

$$y = 2E+06x^{-1,4204}$$

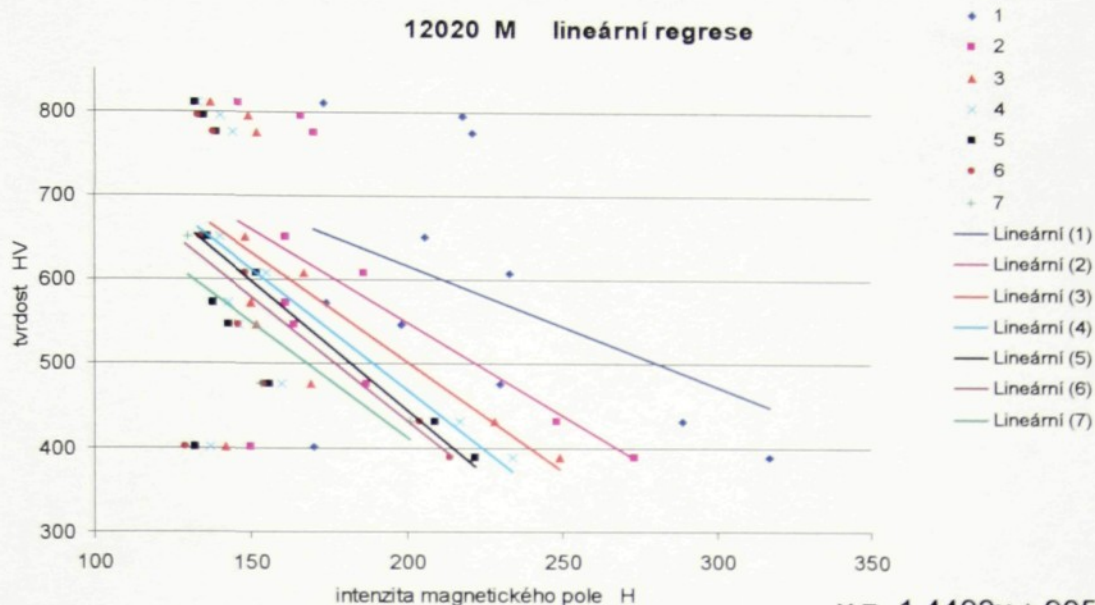
$$y = 1E+06x^{-1,369}$$

$$y = 1E+06x^{-1,3108}$$

$$y = 900687x^{-1,2969}$$

$$y = 538298x^{-1,2132}$$

$$y = 59159x^{-0,8331}$$



$$y = -1,4402x + 905,01$$

$$y = -2,2157x + 992,25$$

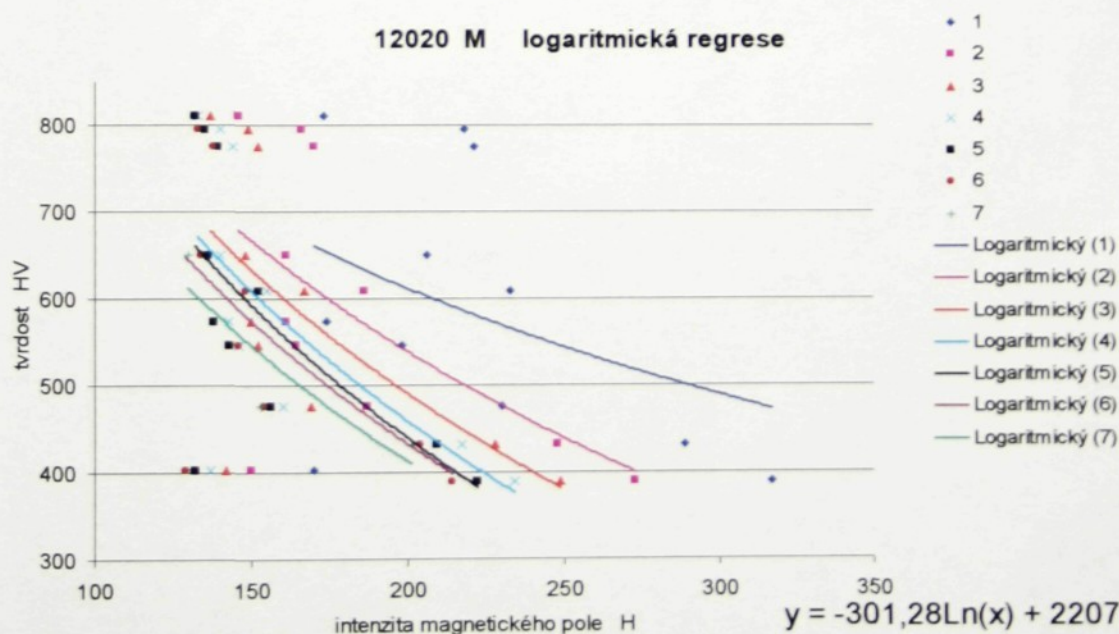
$$y = -2,609x + 1024,1$$

$$y = -2,8629x + 1042,2$$

$$y = -3,064x + 1058,8$$

$$y = -2,9291x + 1019,3$$

$$y = -2,7421x + 961,63$$



$$y = -301,28\ln(x) + 2207,4$$

$$y = -446,63\ln(x) + 2904,8$$

$$y = -496,35\ln(x) + 3119,7$$

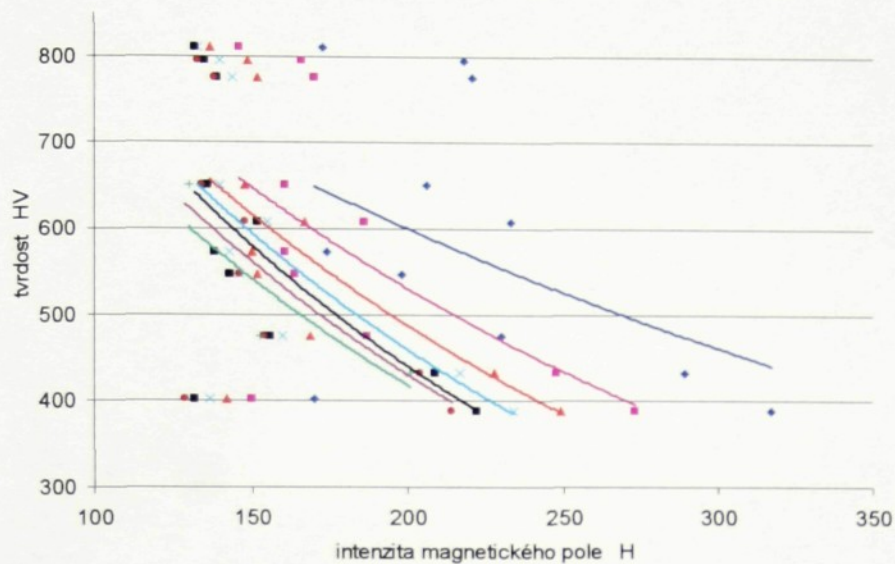
$$y = -521,35\ln(x) + 3220,4$$

$$y = -533,52\ln(x) + 3265,6$$

$$y = -493,15\ln(x) + 3044,6$$

$$y = -465,35\ln(x) + 2877,2$$

12020 M exponenciální regrese



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- Exponenciální (1)
- Exponenciální (2)
- Exponenciální (3)
- Exponenciální (4)
- Exponenciální (5)
- Exponenciální (6)
- Exponenciální (7)

$$y = 1016e^{-0,0026x}$$

$$y = 1180,4e^{-0,004x}$$

$$y = 1249,6e^{-0,0047x}$$

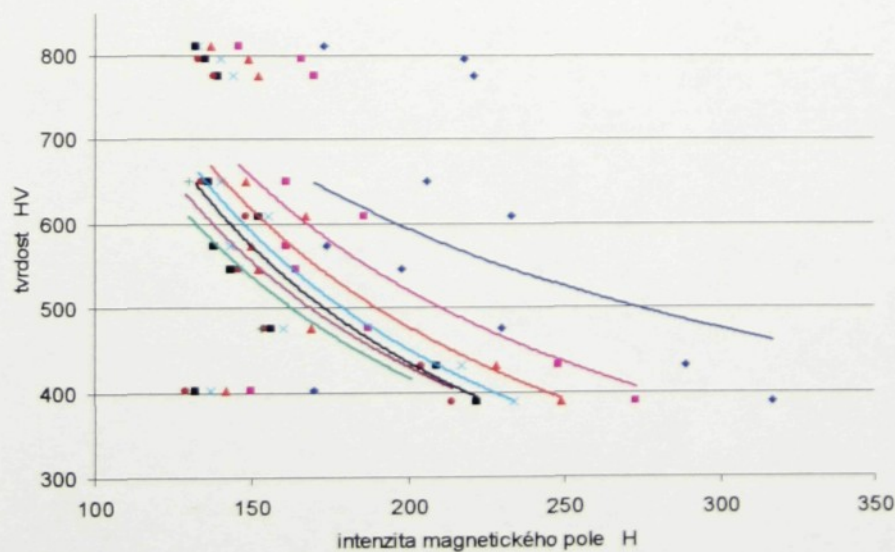
$$y = 1292,7e^{-0,0052x}$$

$$y = 1330e^{-0,0055x}$$

$$y = 1248,7e^{-0,0053x}$$

$$y = 1179,8e^{-0,0052x}$$

12020 M mocninná regrese



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- Mocninný (1)
- Mocninný (2)
- Mocninný (3)
- Mocninný (4)
- Mocninný (5)
- Mocninný (6)
- Mocninný (7)

$$y = 10802x^{-0,5476}$$

$$y = 36024x^{-0,7997}$$

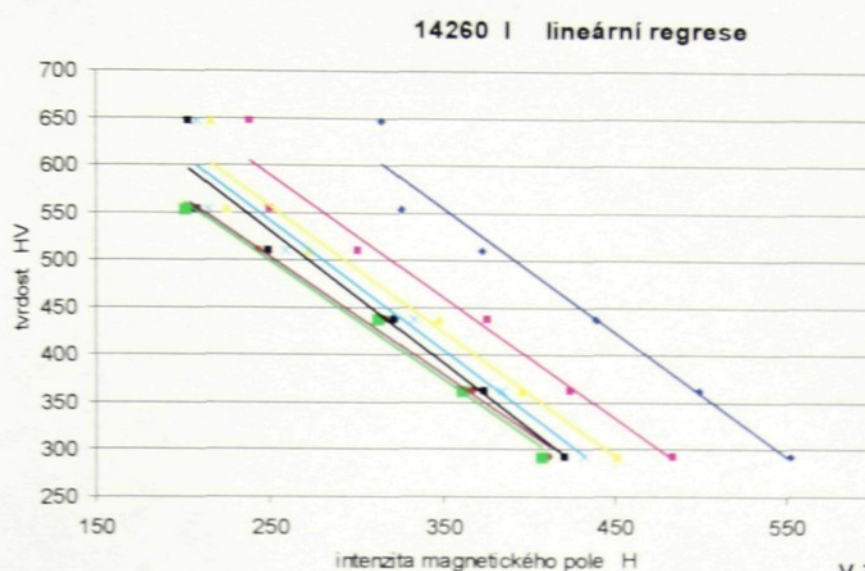
$$y = 52885x^{-0,8885}$$

$$y = 64089x^{-0,9356}$$

$$y = 68954x^{-0,9559}$$

$$y = 48216x^{-0,8909}$$

$$y = 43609x^{-0,8775}$$



$$y = -1,3183x + 1017,2$$

$$y = -1,2812x + 909,86$$

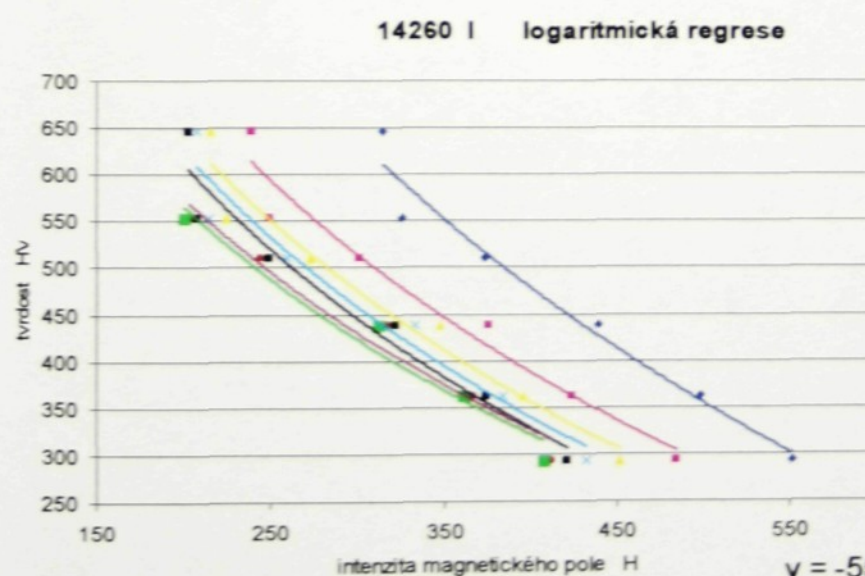
$$y = -1,32x + 886,99$$

$$y = -1,3625x + 882,79$$

$$y = -1,389x + 878,37$$

$$y = -1,2328x + 811,89$$

$$y = -1,252x + 812,44$$



$$y = -553,43\ln(x) + 3794,2$$

$$y = -439,02\ln(x) + 3018,2$$

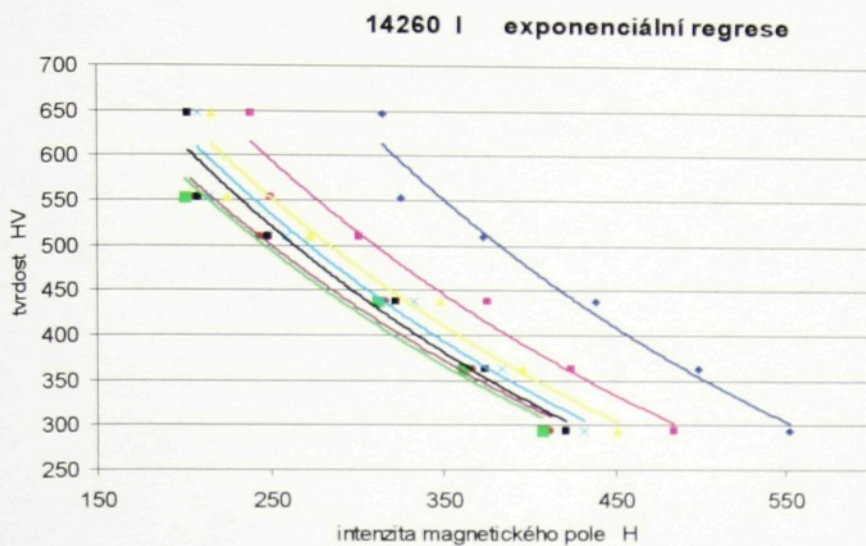
$$y = -415,25\ln(x) + 2844$$

$$y = -411,63\ln(x) + 2805,9$$

$$y = -408,83\ln(x) + 2777,6$$

$$y = -359,49\ln(x) + 2480,4$$

$$y = -354,07\ln(x) + 2442,5$$



$$y = 1569,6e^{-0,003x}$$

$$y = 1228,5e^{-0,0029x}$$

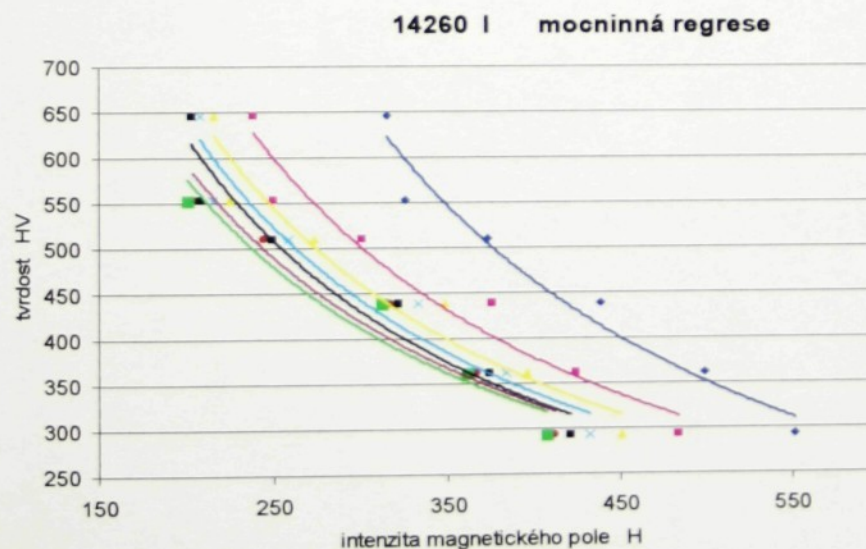
$$y = 1166,7e^{-0,003x}$$

$$y = 1156,1e^{-0,0031x}$$

$$y = 1146,3e^{-0,0031x}$$

$$y = 1050,3e^{-0,003x}$$

$$y = 1046,7e^{-0,003x}$$



$$y = 796558x^{-1,2435}$$

$$y = 136149x^{-0,9824}$$

$$y = 92173x^{-0,9292}$$

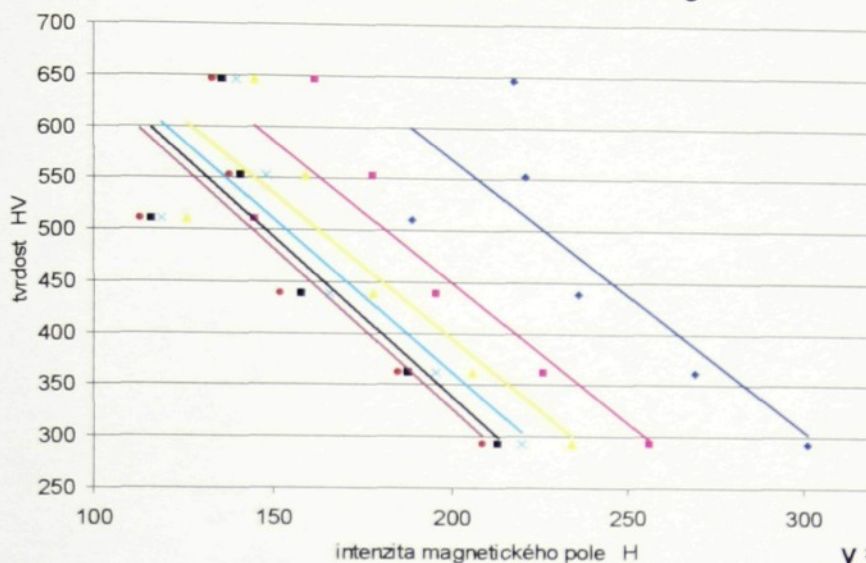
$$y = 85010x^{-0,9219}$$

$$y = 80512x^{-0,9172}$$

$$y = 55977x^{-0,8582}$$

$$y = 49778x^{-0,8408}$$

14260 M lineární regrese



$$y = -2,6575x + 1102,1$$

$$y = -2,7379x + 997,7$$

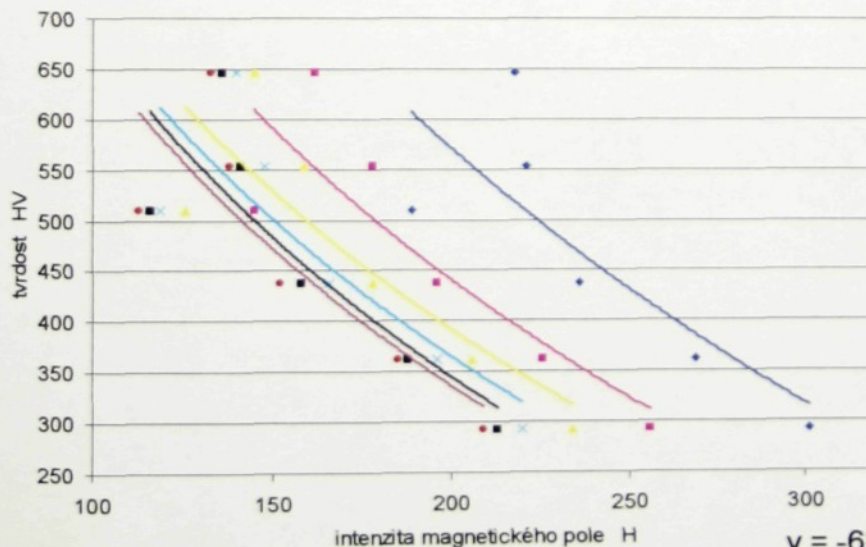
$$y = -2,8051x + 956,95$$

$$y = -2,9599x + 954,89$$

$$y = -3,0848x + 956,46$$

$$y = -3,091x + 946,11$$

14260 M logaritmická regrese



$$y = -627,39\ln(x) + 3895,7$$

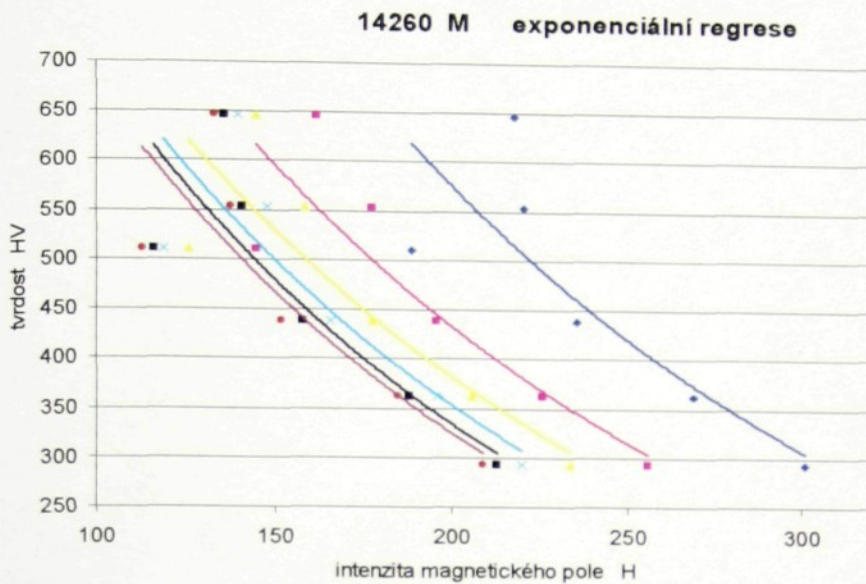
$$y = -524,36\ln(x) + 3219$$

$$y = -476,94\ln(x) + 2919$$

$$y = -474,85\ln(x) + 2881$$

$$y = -483,1\ln(x) + 2904,7$$

$$y = -474,39\ln(x) + 2849,4$$



$$y = 2040,7e^{-0,0063x}$$

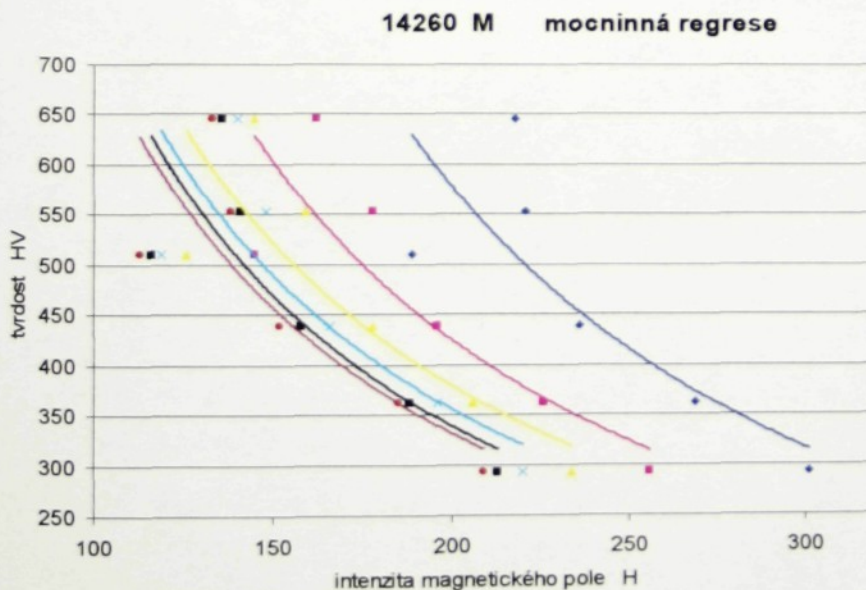
$$y = 1556,6e^{-0,0064x}$$

$$y = 1416,2e^{-0,0065x}$$

$$y = 1416,2e^{-0,0069x}$$

$$y = 1427,1e^{-0,0073x}$$

$$y = 1395,8e^{-0,0073x}$$



$$y = 2E+06x^{-1,4894}$$

$$y = 271157x^{-1,2191}$$

$$y = 135725x^{-1,1099}$$

$$y = 127983x^{-1,1109}$$

$$y = 137943x^{-1,134}$$

$$y = 122641x^{-1,116}$$

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							12050 I	
1	2	3	4	5	6	7	kalení + popouštění	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
488,0	485,8	483,4	481,3	480,9	479,4		1K	468
416,3	419,3	420,9	423,5	424,8	425,8	435,0	1P1	440
371,7	368,6	369,0	369,3	368,7	370,3	374,5	1P2	381
315,5	320,5	326,7	329,2	329,8	331,2	336,4	1P3	322
307,8	309,1	306,5	304,4	302,7	301,2	299,3	1P4	294
236,1	232,1	229,0	227,9	228,5	227,6	222,3	1P5	230,5
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
495,7	495,9	494,8	493,2	492,7	491,6		1K	468
409,7	411,1	413,0	416,2	417,7	419,3	444,0	1P1	440
363,9	358,5	358,3	358,3	357,7	359,3	369,4	1P2	381
312,3	315,4	320,0	321,7	322,1	323,2	329,4	1P3	322
305,6	306,0	303,2	301,0	299,6	298,1	294,2	1P4	294
248,6	248,5	246,2	244,9	245,4	244,3	230,4	1P5	230,5
exponenciální regrese							značka vzorku	tvrdost HV
511,1	498,9	499,0	499,4	503,7	492,3		1K	468
415,4	409,4	414,8	421,7	428,7	419,8	447,3	1P1	440
365,2	352,1	355,9	359,9	364,9	356,1	371,4	1P2	381
310,5	305,2	314,1	320,1	326,3	317,0	330,4	1P3	322
303,6	295,0	295,9	297,7	301,8	290,0	294,8	1P4	294
246,8	234,7	235,4	238,0	243,9	233,0	232,6	1P5	230,5
mocninová regrese							značka vzorku	tvrdost HV
517,3	518,0	516,4	514,3	513,5	511,9		1K	468
403,8	405,6	407,7	411,7	413,5	415,3	456,5	1P1	440
353,8	348,6	348,2	348,3	347,7	349,2	363,4	1P2	381
304,9	307,8	311,7	313,3	313,7	314,6	321,5	1P3	322
299,1	299,6	297,0	295,1	294,0	292,6	288,7	1P4	294
253,7	253,8	251,9	251,0	251,4	250,4	237,5	1P5	230,5

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							12050 M	
1	2	3	4	5	6	7	kalení + popouštění	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
374,2	415,4	413,7	417,9	419,5	424,9		1K	468
465,7	472,9	474,3	472,7	471,2	469,0		1P1	440
404,7	391,2	390,6	392,0	393,7	392,6	380,3	1P2	381
322,3	312,5	318,4	317,0	319,1	322,2	324,1	1P3	322
273,5	270,2	272,2	273,7	276,0	278,1	292,7	1P4	294
294,9	273,2	266,4	262,2	255,9	248,8		1P5	230,5
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
371,0	412,0	409,5	414,0	415,9	422,2		1K	468
467,7	476,5	478,4	477,1	476,1	474,0		1P1	440
401,8	386,7	385,3	386,5	388,3	387,2	380,8	1P2	381
321,3	310,8	315,8	314,2	315,8	318,2	322,8	1P3	322
277,3	273,4	275,6	276,6	278,2	279,2	293,5	1P4	294
296,2	276,0	270,7	267,0	261,5	254,7		1P5	230,5
exponenciální regrese							značka vzorku	tvrdost HV
366,8	408,9	410,2	415,2	416,7	424,2		1K	468
479,0	483,3	489,3	487,0	484,7	482,6		1P1	440
400,9	381,1	383,5	384,9	386,4	385,9	378,0	1P2	381
315,3	303,1	310,9	309,4	310,6	314,0	319,7	1P3	322
273,4	268,0	271,8	272,8	273,8	276,0	291,1	1P4	294
291,0	270,4	267,3	263,8	258,2	253,2		1P5	230,5
mocninná regrese							značka vzorku	tvrdost HV
335,9	380,3	451,8	348,3	412,0	409,9		1K	468
445,6	458,4	552,1	418,5	491,0	476,9		1P1	440
367,6	353,4	421,1	321,5	380,0	370,1	381,2	1P2	381
290,4	283,7	344,1	260,5	307,6	302,5	321,1	1P3	322
255,4	254,6	306,1	233,5	275,6	269,9	294,4	1P4	294
269,9	256,5	301,8	227,1	262,6	251,3		1P5	230,5

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							12020 I	
1	2	3	4	5	6	7	cem., kal., popoušt.	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
645,9	644,5	634,5	629,4	621,0	601,3	552,2	2C1B	546,1
652,6	681,6	687,2	690,9	694,9	676,9	605,4	2C3A	650,1
536,3	574,6	584,1	590,7	593,2	579,7	537,2	2C3B	475,6
314,9	321,4	343,5	351,7	357,7	366,1	409,0	2C4C	432
659,3	587,7	572,6	570,2	567,8	560,3		2C2B	573,1
498,3	458,9	423,7	415,5	408,5	402,8		2C2C	401,7
417,8	395,6	389,3	390,4	394,6	396,3		2C3C	388,6
699,6	736,2	742,2	741,0	741,0	717,9		2C4A	795
594,5	631,4	652,8	661,3	671,8	655,3		2C4B	608,4
670,5	705,7	712,4	718,2	717,9	689,8		2C1A	775,4
766,7	718,8	714,7	697,7	687,9			2C2A	810,8
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
642,6	639,8	626,8	620,8	611,2	591,8	548,7	2C1B	546,1
650,3	684,4	689,3	693,9	698,6	681,4	614,8	2C3A	650,1
525,5	562,0	571,4	578,1	580,9	568,3	531,8	2C3B	475,6
325,5	330,1	350,6	358,4	364,3	371,1	408,6	2C4C	432
658,0	576,1	559,3	556,5	554,2	547,8		2C2B	573,1
488,0	447,7	417,5	410,9	405,9	401,1		2C2C	401,7
413,2	391,4	388,1	389,9	394,3	395,7		2C3C	388,6
705,7	754,8	760,4	759,4	759,1	735,5		2C4A	795
585,8	624,7	648,0	657,8	670,1	654,6		2C4B	608,4
671,0	714,6	721,1	728,9	728,2	698,0		2C1A	775,4
791,0	731,6	724,0	702,5	689,9			2C2A	810,8
exponenční regrese							značka vzorku	tvrdost HV
640,1	622,4	612,0	604,0	606,4	588,1	546,6	2C1B	546,1
647,7	665,0	672,5	674,8	691,4	674,1	604,9	2C3A	650,1
528,8	549,4	559,2	563,4	577,3	565,6	531,2	2C3B	475,6
359,4	349,4	363,6	366,3	380,0	384,4	416,0	2C4C	432
655,3	562,4	547,9	543,0	551,8	546,1		2C2B	573,1
494,9	446,8	419,7	410,9	415,8	410,8		2C2C	401,7
430,0	399,0	394,7	392,7	405,7	406,0		2C3C	388,6
702,9	733,1	742,1	738,4	750,5	725,9		2C4A	795
585,2	608,0	632,4	639,7	663,6	648,3		2C4B	608,4
668,2	694,2	703,5	708,8	720,3	690,0		2C1A	775,4
790,2	710,6	706,4	683,1	682,9			2C2A	810,8

mocninná regrese							značka vzorku	tvrdost HV
521,3	563,0	411,9	600,1	592,7	575,8	542,7	2C1B	546,1
528,3	609,0	460,0	683,1	692,1	676,6	615,3	2C3A	650,1
424,4	490,9	373,5	556,5	561,8	551,9	525,5	2C3B	475,6
298,8	326,2	253,0	377,2	382,6	386,9	415,9	2C4C	432
535,6	503,2	365,6	535,6	535,8	531,8		2C2B	573,1
397,4	401,4	284,7	413,9	411,9	408,3		2C2C	401,7
348,5	363,5	270,3	398,8	403,5	404,4		2C3C	388,6
582,3	689,4	521,5	767,0	770,5	745,9		2C4A	795
471,8	548,1	427,6	640,7	658,1	644,7		2C4B	608,4
547,9	642,3	486,5	726,7	729,5	697,2		2C1A	775,4
676,4	661,8	489,0	693,5	681,6			2C2A	810,8

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							12020 M	
1	2	3	4	5	6	7	cem., kal., popoušt.	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
608,3	635,5	638,0	641,4	642,1	626,8	605,2	2C3A	650,1
573,8	577,9	583,2	584,1	580,8	568,2	542,1	2C3B	475,6
488,8	442,8	429,2	421,0	418,4	421,8	410,5	2C4C	432
586,7	615,6	627,5	629,9	632,9	615,1		2C1A	775,4
619,9	628,9	627,5	624,2	620,6	591,7		2C1B	546,1
660,2	659,9	653,6	650,0	654,4	641,4		2C2C	401,7
448,5	387,4	374,5	372,3	378,6	392,5		2C3C	388,6
591,0	624,4	635,4	641,4	645,2	629,7		2C4A	795
569,4	580,1	588,4	598,5	593,1	585,8		2C4B	608,4
655,9	668,8	666,7	661,4	654,4			2C2A	810,8
654,4	635,5	632,8	632,8	636,0			2C2B	573,1
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
602,2	635,3	639,3	644,1	644,6	629,2	612,1	2C3A	650,1
569,0	568,4	573,5	574,5	571,4	560,6	536,3	2C3B	475,6
500,2	442,3	424,8	415,6	415,4	422,0	409,3	2C4C	432
581,0	611,0	626,1	629,4	633,0	614,7		2C1A	775,4
614,2	627,0	626,1	622,2	617,8	586,9		2C1B	546,1
660,1	666,9	659,9	655,4	660,5	648,0		2C2C	401,7
472,4	399,4	381,1	376,3	383,2	398,4		2C3C	388,6
585,2	621,6	636,0	644,1	648,5	632,9		2C4A	795
565,1	570,8	579,4	591,0	585,3	580,2		2C4B	608,4
654,8	679,0	677,7	670,8	660,5			2C2A	810,8
653,1	635,3	632,7	633,0	636,8			2C2B	573,1
exponenciální regrese							značka vzorku	tvrdost HV
594,7	619,9	623,3	624,2	629,5	613,8	600,1	2C3A	650,1
558,7	558,7	564,7	562,6	563,9	552,1	532,5	2C3B	475,6
479,3	437,7	427,9	418,3	421,3	423,5	414,8	2C4C	432
571,9	598,0	611,7	611,4	619,2	600,9		2C1A	775,4
607,2	612,5	611,7	605,0	605,7	576,0		2C1B	546,1
653,0	647,8	641,1	634,0	643,5	630,3		2C2C	401,7
445,6	396,1	387,7	382,9	392,3	401,7		2C3C	388,6
576,4	607,7	620,3	624,2	633,0	617,1		2C4A	795
554,4	560,9	570,0	577,4	576,5	569,9		2C4B	608,4
648,0	658,3	656,3	647,4	643,5			2C2A	810,8
646,3	619,9	617,4	614,5	622,6			2C2B	573,1

mocninná regrese							značka vzorku	tvrdost HV
584,0	619,1	623,8	629,3	629,7	614,0	609,0	2C3A	650,1
549,8	549,3	554,4	555,4	552,3	542,4	527,8	2C3B	475,6
485,2	438,3	424,9	417,6	417,6	422,2	415,5	2C4C	432
562,0	592,8	609,2	612,9	616,7	598,1		2C1A	775,4
596,8	610,1	609,2	605,1	600,2	568,8		2C1B	546,1
648,8	655,2	647,2	642,2	647,9	635,1		2C2C	401,7
461,2	405,9	392,9	389,2	394,2	404,6		2C3C	388,6
566,2	604,2	620,1	629,3	634,1	618,1		2C4A	795
545,9	551,6	560,3	572,1	566,2	562,0		2C4B	608,4
642,6	669,5	668,1	660,2	647,9			2C2A	810,8
640,6	619,1	616,4	617,0	620,9			2C2B	573,1

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							14260 I	
1	2	3	4	5	6	7	kalení + popouštění	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
601,9	603,7	601,9	599,4	596,4			3K	646
525,5	524,2	526,6	529,9	532,5	511,1		3P2	510
587,4	589,6	590,0	589,9	589,5	560,4	560,8	3P1	553
438,5	428,1	427,6	429,1	431,1	421,1	421,8	3P3	438
359,4	366,6	364,3	359,6	358,9	359,5	360,5	3P4	362
289,5	289,8	291,7	294,2	293,6	304,0	302,9	3P5	293
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
610,6	613,9	611,9	608,8	605,4			3K	646
517,0	512,7	514,7	518,5	521,9	542,7		3P2	510
591,6	594,2	595,0	595,2	595,5	605,8	564,8	3P1	553
426,9	415,0	413,9	415,1	416,8	450,4	409,1	3P3	438
356,0	362,2	360,2	356,4	355,6	398,8	357,4	3P4	362
300,1	304,1	306,2	308,0	307,2	358,0	315,0	3P5	293
exponenciální regrese							značka vzorku	tvrdost HV
610,1	614,3	610,3	606,7	610,9			3K	646
512,6	513,2	514,4	518,0	529,7	505,1		3P2	510
590,3	595,0	594,0	593,7	601,5	569,5	572,7	3P1	553
420,6	412,9	410,7	411,8	422,5	405,8	410,5	3P3	438
351,3	359,2	355,6	351,6	359,6	349,3	354,4	3P4	362
299,6	301,9	301,5	303,0	310,8	305,2	308,7	3P5	293
mocninná regrese							značka vzorku	tvrdost HV
623,1	627,3	624,4	620,1	615,8			3K	646
505,0	500,1	502,3	506,6	510,6	500,2		3P2	510
597,1	600,2	601,1	601,4	602,2	583,3	576,1	3P1	553
412,4	401,9	400,8	401,8	403,3	399,6	398,1	3P3	438
351,7	357,2	355,5	352,4	351,6	352,4	352,1	3P4	362
310,2	313,6	315,0	316,1	315,4	319,1	318,3	3P5	293

Pořadí opakovaného měření v identickém bodě							14260 M	
1	2	3	4	5	6	7	kalení + popouštění	
lineární regrese							značka vzorku	tvrdost HV
522,8	554,2	550,2	540,5	536,9	535,0		3K	646
599,8	600,7	603,5	602,7	598,6	596,8		3P1	553
514,8	510,4	510,9	516,8	521,5	519,6		3P2	510
474,9	461,1	457,6	463,5	469,1	476,3		3P3	438
387,2	378,9	379,1	374,7	376,5	374,3		3P4	362
302,2	296,8	300,6	303,7	299,4	300,1		3P5	293
logaritmická regrese							značka vzorku	tvrdost HV
517,5	551,3	545,4	534,5	531,4	529,5		3K	646
607,1	609,4	612,4	611,6	608,2	606,8		3P1	553
508,9	501,9	501,4	508,1	514,0	512,0		3P2	510
467,7	451,4	447,6	453,6	459,0	466,1		3P3	438
385,6	376,7	377,9	374,7	375,0	372,9		3P4	362
315,1	311,3	317,1	319,8	314,7	315,1		3P5	293
exponenciální regrese							značka vzorku	tvrdost HV
516,8	552,0	551,8	539,0	528,8	528,6		3K	646
620,4	615,4	624,4	623,1	611,9	611,7		3P1	553
507,1	498,2	503,8	510,1	509,8	509,7		3P2	510
461,4	444,0	445,3	450,5	450,3	460,2		3P3	438
374,8	366,4	371,2	366,3	361,8	361,7		3P4	362
306,4	302,4	309,4	310,4	301,4	303,5		3P5	293
mocninná regrese							značka vzorku	tvrdost HV
657,9	549,0	541,7	528,5	525,1	522,9		3K	646
813,7	628,5	633,1	633,0	628,9	627,2		3P1	553
644,6	489,5	489,0	496,8	504,1	501,8		3P2	510
584,5	435,2	431,4	437,4	443,0	450,5		3P3	438
481,0	365,9	366,9	363,7	363,8	361,8		3P4	362
406,9	314,3	318,5	319,9	315,7	315,8		3P5	293

12050 I	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,983878	0,986094	0,988628	0,990764	0,991564	0,992743	0,992787
logaritmická	0,968586	0,967381	0,971529	0,975615	0,976521	0,979454	0,996063
exponenciální	0,963858	0,9682	0,974055	0,978683	0,979902	0,982173	0,99606
mocninná	0,938404	0,936636	0,94219	0,948327	0,9498	0,954243	0,988047

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 12050 I

12050 M	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,802509	0,918155	0,923905	0,935192	0,943982	0,957418	0,99914
logaritmická	0,792956	0,90895	0,911661	0,923593	0,932838	0,948506	0,999883
exponenciální	0,779924	0,899911	0,90292	0,916193	0,926145	0,942653	0,999966
mocninná	0,76754	0,886064	0,884922	0,898989	0,909293	0,928171	0,99987

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 12050 M

12020 I	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,852001	0,884035	0,898547	0,891624	0,886768	0,904316	0,875229
logaritmická	0,873398	0,910814	0,920361	0,911765	0,904542	0,924263	0,904242
exponenciální	0,88436	0,919953	0,926739	0,916688	0,908369	0,926949	0,898098
mocninná	0,895983	0,940569	0,94407	0,93248	0,922039	0,9438	0,926051

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 12020 I

12020 M	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,430754	0,576309	0,60969	0,620919	0,615933	0,597115	0,860713
logaritmická	0,387291	0,569658	0,614883	0,629922	0,621411	0,593835	0,887806
exponenciální	0,405821	0,571747	0,614252	0,628934	0,621094	0,594935	0,883251
mocninná	0,361083	0,560784	0,61737	0,637135	0,624912	0,588038	0,910366

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 12020 M

14260 I	číslo měření						
regrese:	1	2	3	4	5	6	7
lineární	0,979495	0,979035	0,977532	0,97565	0,973561	0,994775	0,994308
logaritmická	0,981835	0,979507	0,977547	0,975641	0,973984	0,982076	0,979941
exponenciální	0,981269	0,97893	0,977076	0,975154	0,97357	0,983668	0,981748
mocninná	0,978759	0,973655	0,971613	0,970218	0,969037	0,965201	0,963021

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 14260 I

14260 M	číslo měření					
regrese:	1	2	3	4	5	6
lineární	0,877063	0,92976	0,92392	0,909938	0,90467	0,900235
logaritmická	0,864806	0,921381	0,910502	0,89459	0,892353	0,888401
exponenciální	0,857432	0,919423	0,909619	0,893469	0,891055	0,887593
mocninná	0,834094	0,899454	0,883154	0,865057	0,866032	0,862934

Tabulka korelačních koeficientů pro materiál 14260 M

Reference přístrojů řady DOMENA

STROJÍRNY POLDY a.s.
Kladno

měření hloubky indukčně kalených vrstev
čepů klikových hřídelů

Agrostroj (AGS) – slévárna
Hodonín

odlitky z LKG, tvrdost HB

JIHOMORAVSKÁ ARMATURKA
Hodonín

odlitky z LKG, tvrdost HB

MORA Moravia slévárna
Mariánské údolí

odlitky z LLG a LKG
separace tvrdých odlitků

MŽ – slévárna fitinků
Olomouc
MŽ – slévárna LKG

odlitky z LLG a LKG
tvrdost HB
odlitky z LKG

ANAH s.r.o.
Prostějov

odlitky z LKG, tvrdost HB

TŽ – slévárny
Třinec

odlitky z LKG, tvrdost HB

ŠKODA MOTORY a.s.
Jablonec

odlitky z LLG – přejímka
provozní diagnostika

U třech uživatelů slouží nejméně dvě DOMENY.

Prohlášení:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo) a § 35 (o nevýdělečném užití díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 3. 1. 2004

Podpis: Milan Guas