

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA MATERIÁLU



Diplomová práce

**Magnetická strukturoskopie
netryskaných výkovků a odlitků**

**Magnetic structuroscopy of non shot
blating forged pieces and casts**

2008

Michal Flanderka



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU



Obor : Strojírenská technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

MAGNETICKÁ STRUKTUROSKOPIE NETRYSKANÝCH VÝKOVKŮ A ODLITKŮ

MAGNETIC STRUSCUROSCOPY OF NON SHOT BLATING FORGED PIECES AND CASTS

Michal Flanderka
KMT – 235

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

Rozsah práce a příloh:

Počet stran : 62
Počet obrázků : 22
Počet tabulek : 17
Počet grafů : 10
Počet příloh : 7

V Liberci dne 23.května 2008



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA MATERIÁLU



Studentská 2, 461 17 Liberec

ANOTACE

JMÉNO: Michal Flanderka
OBOR: Strojírenská technologie
ZAMĚŘENÍ: Materiálové inženýrství
TÉMA PRÁCE: Magnetická strukturoskopie netryskaných výkovků a odlitků
ČÍSLO PRÁCE: KMT – DP - 235
VEDOUCÍ PROJEKTU: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.
KONZULTANT: doc.Ing. Břetislav Skrbek, CSc.

Tato diplomová práce se zabývá změnou intenzity zbytkového magnetického pole tepelně zpracovaných ocelí a litin a stanovením vzorců pro nedestruktivní zkoušení vybraných dílů.

Klíčová slova:
magnetická strukturoskopie,
výkovek,
odlitek,
oxidy,
DOMENA.



TECHNICAL UNIVERSITY
FAKULTY OF MECHANICAL
ENGINEERING
DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE



Studentská 2, 461 17 Liberec

ANNOTATION

NAME: Michal Flanderka
SPECIALIZATION: Engineering technology
FOCUSING: Material engineering
SUBJECT OF WORK: Magnetic structuroscopy of non shot blating forged pieces and casts
NUMBER OF WORK: KMT – 235
LEADER OF WORK: doc.Ing. Břetislav Skrbek,CSc.
CONSULTER: doc.Ing. Břetislav Skrbek,CSc.

This graduation theses is survey of change intensity residue magnetic field of thermal works steels and cast irons a determination formula for nondestruct testing choosen parts.

Keywords:
Magnetic structuroscopy,
forged piece,
cast,
oxides,
DOMENA.

Prohlášení:

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

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

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

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Děkuji především panu doc.Ing. Břetislavu Skrbkovi, CSc. za konzultace a rady při tvorbě mé diplomové práce a firmě TEDOM s.r.o., a jejím zaměstnancům, kde jsem prováděl nezbytná měření. Dále bych chtěl poděkovat všem kteří přispěly byť drobnou radou či jinou podporou.

OBSAH

Použité zkratky a symboly	9
1. Úvod.....	10
2. Základní magnetické veličiny:	11
3. Magnetická strukturoskopie:.....	15
3.1 Prostředky impulsní magnetické kontroly:	17
3.2 Frekvenční zkoušení	18
3.3 Metoda magnetického bodového pólu	20
3.3 Účinek koroze	22
3.3.1 Koroze atmosférou při tepelném zpracování	22
4 Teoretické základy oxidace ocelí.....	23
4.1 Vliv jednotlivých činitelů na propal kovu	24
5 Statistika.....	27
5.1 Regresní analýza	27
5.1.1 Rovnice pro výpočet spojnic trendu	27
5.2 Korelace	28
Praktická část	30
6 Trubkové vzorky.....	30
6.1 Měření:.....	31
6.2 Změna IZMP (M) s dobou výdrže	32
6.3 Změna IZMP (M) s tloušťkou oxidické vrstvy	35
7 Válcové vzorky	40
Tab. 8	40
7.1 Porovnání oxidického a broušeného povrchu:	41
7.2 Stanovni vzorců pro nedestruktivní zkoušení:	41
8 Hřídele	42
8.1 Vzorky	42
8.2 Měření.....	44
8.3 Porovnání povrchů	45

8.4 Určení vzorce pro nedestruktivní zkoušení.....	47
9 Ojnice.....	50
9.1 Vzorky	50
9.2 Měření.....	51
9.3 Určení vzorce pro nedestruktivní zkoušení.....	52
10 Brzdové držáky z GJS.....	53
10.1 Vzorky	53
10.2 Měření:	53
10.3 Porovnání povrchů:	54
11 Diskuze výsledků	56
12 Závěr	59
Použitá literatura:	60
Seznam příloh:	61

Použité zkratky a symboly

B	.....	magnetická indukce [T]
Ø	.....	magnetický indukční tok [Wb]
R _m	.....	magnetický odpor [H ⁻¹]
H	.....	intenzita magnetického pole [Am ⁻¹]
μ	.....	poměrná permeabilita prostředí [Hm ⁻¹]
μ ₀	.....	permeabilita vakua [Hm ⁻¹]
M	.....	magnetizace [Am ⁻¹]
MX	.....	x-tý stupeň magnetizace
δM	.....	relativní hodnota intenzity zbytkového magnetického pole [-]
J	.....	polarizace [T]
K	.....	magnetická susceptibilita [-]
m _d	.....	magnetický dipólový moment [Wb.m]
t	.....	čas [min]
T	.....	teplota [°C]
L	.....	tloušťka oxidické vrstvy [μm]
HB	.....	tvrdost dle Brinella
IZMP	.....	intenzita zbytkového magnetického pole
TZ	.....	teplené zpracování

1. Úvod

Současná tvrdá konkurence ve výrobě a zpracování polotovarů (výkovky, odlitky, plechy) vedená přísnými požadavky převážně zahraničních zákazníků (úzké tolerance mechanických vlastností a nezřídka požadavky 100% kontroly) vyžadují aplikace spolehlivých a vysoce produktivních metod nedestruktivní strukturoskopie. Pro řízení jakosti materiálu má informační hodnotu regresní vyjádření výsledků kontroly (přiřazení konkrétních hodnot kontrolované vlastnosti) a nikoliv shlukové (četnost dobrých – špatných měření).

Právě do oblasti strukturoskopie patří i metoda magnetického bodového pólu, díky níž lze například rychle zjistit tvrdost, pevnost nebo hloubku prokalení feromagnetických materiálů a to na základě měření intenzity zbytkového magnetického pole.

Tato diplomová práce se zabývá tím, jaký vliv mají na výsledky magnetické strukturoskopie oxidy vzniklé na povrchu tepelně zpracovaných ocelových a litinových vzorcích a porovnáním vzorců pro nedestruktivní stanovení hodnot HB při měření přes oxidické vrstvy a při měření po jejich odstranění (tryskání, zbroušení).

2. Základní magnetické veličiny:

Magnetická indukce B [T] (tesla):

Je to vektorová veličina, charakterizující magnetické pole. Jednotka magnetické indukce je tesla. Číselně se tato jednotka rovná síle $F = 1\text{ N}$, která působí na jednotku délky přímého vodiče protékaného proudem $I = 1\text{ A}$ a orientovaného kolmo ke směru B . Magnetická indukce také udává hustotu magnetického toku na jednotku kolmé plochy $S = 1\text{ m}^2$. Platí:

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1)$$

kde Φ ... skalární veličina udávající magnetický indukční tok. [Wb]

Magnetický indukční tok Φ [Wb] (weber)

Je to skalární veličina definovaná napětím indukovaným v závitu při časové změně toku dle vztahu:

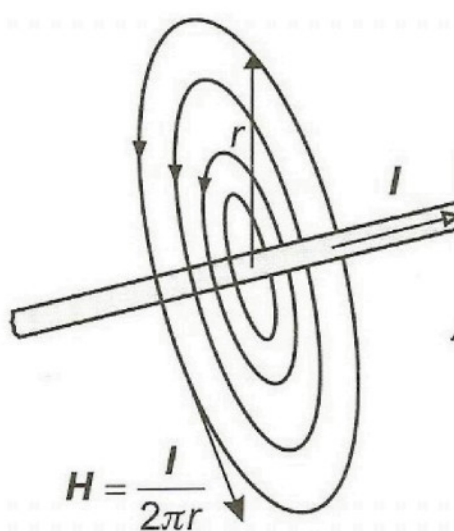
$$u = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

Magnetický odpor (reluktance) R_m [H^{-1}]

Je to odpor, který objekt klade magnetickému toku podobně jako elektrický odpor elektrickému proudu ($1\text{ H} = 1\text{ henry} = \text{jednotka indukčnosti}$).

Intenzita magnetického pole H [A m^{-1}]

Je to vektorová veličina. Intenzita pole ve vzdálenosti r od vodiče protékaného proudem I je dána vztahem dle obr. 1. Obecně se pro výpočet



obr. 1

intenzity magnetického pole používá Biot-Savartův zákon. Permeabilita prostředí. Mezi intenzitou pole H a indukcí B platí:

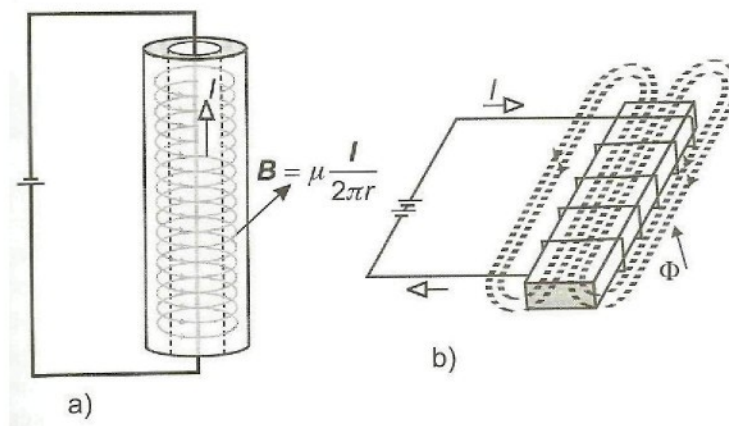
$$H = \frac{B}{\mu \cdot \mu_0}, \quad (3)$$

kde μ ... poměrná (relativní) permeabilita prostředí,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$... permeabilita vakua.

Poměrná permeabilita prostředí (v dalším textu označována jen jako permeabilita) je bezrozměrné číslo udávající magnetické vlastnosti látek. Látky u nichž je $\mu > 1$ se označují jako paramagnetické, látky u nichž $\mu < 1$ jsou diamagnetické a látky feromagnetické mají $\mu \gg 1$. Pro vakuum a prakticky i pro vzduch je $\mu = 1$.

Indukce (indukční čáry) ve feromagnetické trubce způsobená proudem I protékajícím vodičem umístěným uvnitř trubky je znázorněna na obr. 2a, indukční čáry ve feromagnetickém materiálu umístěné v cívce jsou na obr. 2b.



obr. 2

Magnetizace M (Am^{-1})

Představuje vektor, který představuje na základě teorie dipólů fyzikálně intenzitu pole uvnitř tělesa vyvolanou jeho magnetickými vlastnostmi a je definován vztahem:

$$M = \frac{B}{\mu_0} - H \quad (4)$$

Polarizace J [T]:

Jedná se o vektor, který podobně jako magnetizace vyjadřuje změnu pole vyvolanou magnetickými vlastnostmi látek. Umístíme-li feromagnetický objekt do oblasti extrémního magnetického pole o indukci $B_e = \mu_0 H$, způsobí toto pole v objektu magnetizaci M a indukci B_m . Výsledné pole musí mít indukci:

$$B = B_e + B_m = B_e + J \quad (5)$$

neboli magnetická indukce B_m vzniká v důsledku polarizace J feromagnetického materiálu. Polarizace v tělese je způsobena orientací elementárních magnetů (domén), vytvořených pohybem elektrických nábojů uvnitř molekuly. Platí:

$$J = B - \mu_0 H = \mu_0 M = (\mu - 1)\mu_0 H \quad (6)$$

Magnetická susceptibilita κ :

Je bezrozměrný koeficient úměrnosti mezi magnetickou polarizací J a indukcí B_e neboli:

$$J = \kappa \cdot B_e \quad (7)$$

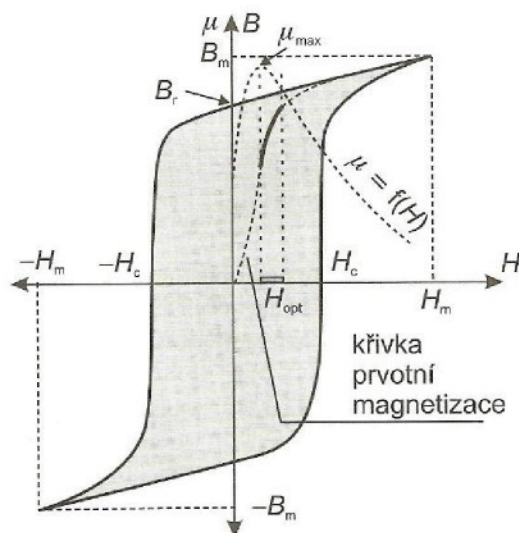
Nachází-li se zmagnetované těleso v magnetickém poli nehomogenním v ose x, působí na něj síla:

$$F_x = m_d \frac{dH}{dx} \quad (8)$$

kde m_d ... magnetický dipólový moment. [Wb.m]

Parametry definované při stejnosměrném magnetování:

Stejnosečná magnetizace objektu závisí nejen na externím magnetickém poli, ale také na historii z předcházejícího zmagnetování. Tento jev je způsoben hystezí (obr. 3). Magnetické domény se uspořádají dle indukčních čar a po odstranění externího pole zůstanou směrově orientované.



obr. 3

Na obrázku 3 je zobrazena statická hysterezní křivka vyjadřující závislost $B = f(H)$ při pomalých změnách intenzity pole od $+H_m$ do $-H_m$. Pro hodnoty $H > H_m$ jsou křivky totožné. Na hysterezní křivce jsou definovány parametry: koercivita H_c a remanence B_r . Křivka prvotní magnetizace odpovídá závislosti $B = f(H)$ za předpokladu, že se intenzita pole zvyšuje ze stavu dokonalého odsmagnetování. [2]

3. Magnetická strukturoskopie:

Magnetické metody umožňují vysokou produktivitu s vysokou citlivostí ke kontrolovanému parametru. Magnetický impulzivní způsob kontroly mechanických vlastností plochých výrobků se ve výrobě hutních závodů kromě Ruska, Ukrajiny a Běloruska také uplatňuje u firmy EKO ocel (Německo) a VSŽ Košice. Zařízení (ozn. IMPOK, IMA) vyvinul Institut fyzika Národní akademie věd Běloruska. [1]

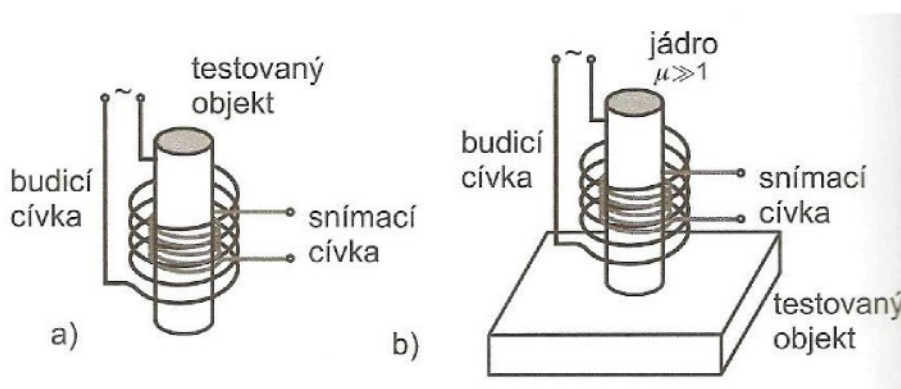
Charakteristikou feromagnetických ocelí a litin jsou bloky stejně orientovaných atomů – takzvané domény, které tvoří subzrna krystalické struktury. Polarizaci vnějším magnetickým polem dochází u domén se shodnou a blízkou polarizací s vnějším polem k růstu posunem Blochových zón, nebo ke skokovým změnám polarizace Barkhausenovými přeskoky. Po zániku vnějšího magnetického pole H_0 se nevrátí všechny domény do původního stavu. Vzniká remanentní polarizace I_r . Zmagnetované místo má vlastní magnetické pole o intenzitě H_r . Vratným změnám brání atomy vázané v molekulách, atomární pnutí a mřížkové poruchy. [5]

$$B = H_0 - \frac{N \cdot I_r}{\mu} \quad [A/m] \quad (9)$$

Proto složky, které obsahují karbidy, martenzit, dislokace a hranice zrn vykazují vysokou hodnotu I_r . Demagnetizační činitel N charakterizuje vnější i vnitřní geometrické poměry rozhraní feromagnetika.[5]

Navyšováním amplitudy střídavého sinusového magnetizačního proudu je indukované napětí ve snímací cívce nejprve sinusové, tj. s převládající první harmonickou složkou a postupně při magnetickém sycení v oblasti nelineární magnetizační křivky nesinusové s obsahem vyšších harmonických složek. Volbou amplitudy magnetizačního proudu se mění geometrie hysterezi křivky a optimální volbou této geometrie lze získat požadované informace o tělese. Posouzení vlastnosti testovaného objektu je vyhodnoceno spektrální analýzou

výstupního napětí na snímací cívce. Analýza vlastností materiálu tělesa v různé hloubce se docílí postupným navyšováním frekvence magnetizačního proudu, tj. volbou hloubky vniku elektromagnetického pole. Hysterezi křivka se s hloubkou vniku zmenšuje. Jinou možností je testování pulzním proudem s velkým počtem harmonických složek s následnou spektrální analýzou.[2]



(obr. 4 Uspořádání při magnetoinduktivní metodě)

Vyhodnocování signálů u magneto-induktivní metody je založeno na automatickém porovnávání s kalibračními měřeními na přesně definovaných materiálech a tvarech vzorků. Velmi často se při vyhodnocování používají příznakové metody a rozpoznávání. [2]

Přednosti impulsního magnetování před střídavým (vířivé proudy) a stejnosměrným:

- získání velmi vysokých hodnot H_m bez tepelných efektů v sondě.
- bezkontaktní působení bez vlivu velikosti oddálení snímače od povrchu výrobku, napětí a chem. složení na výsledky měření.

Pro nízkouhlíkové oceli se aplikuje kontrola stavu rekrystalizace za studena tvářených výrobků po rekrystalizačním žhání. Do teplot žhání 400 °C se nemění mechanické vlastnosti, magnetické jen mírně. Nejvyšší změny

mechanických i magnetických vlastností nastávají mezi 500 – 550 °C. I tak hodnoty koercivní síly H_c a magnetické polarizace J_r leží na velmi nízké hladině. Proto byla zvolena výhodnější kontrola podle gradientu normální složky intenzity pole ∇H_{rn} bodového magnetického pólu.

Obsah 0,02 – 0,07% Al potlačuje stárnutí oceli, zvyšuje plastické vlastnosti a mění množství magnetických vlastností, přičemž jejich tendence v závislosti na teplotě žhání zůstává zachována.

Neuklidněné oceli do obsahu 0,22%C, nehledě na jakost oceli, se ke kontrole rekrytalizace impulzivní magnetickou metodou rovněž hodí.

Při kontrole středně uhlíkatých ocelí (0,35 – 0,75%C) a rozsahu žhání 550 – 900 °C magnetické ale i mechanické vlastnosti monotónně klesají (bez výrazného poklesu v určitém intervalu) a kontrola rekrytalizace je také možná. [1]

3.1 Prostředky impulsní magnetické kontroly:

Základní prvek všech uvedených přístrojů tvoří vzduchová magnetizační příložná cívka s ferosondou – gradientem v ose. Některé varianty obsahují doplňující dvě postupné kompenzační cívky dovolující rozšířit meze měření ∇H_{rn} do 10^5 A/m^2 , snížit teplotní závislost do 0,015%/°C v intervalu $T < 0; 50 > ^\circ\text{C}$.

IMA. Značka skrývá sedm modelů přístrojů (impulzivní magnetický analyzátor 2 až 5 b). IMA 2 až 4a určeny ke kontrole tvrdosti, R_m , R_p a A plochých za studena tvářených ocelí do tloušťky 4 mm po žhání. IMA 5, 5a, b pro silnější plechy. U IMA5b umožněna předběžná demagnetizace kontrolované oblasti. Umožňuje automatický výběr optimální amplitudy magnetizace pro potlačení vlivu oddálení h . To umožňuje měřit bez rušivých účinků různých vrstev do 3 mm.

ILK (impulzivní lokální kontrolér) měří mechanické vlastnosti konstrukčních ocelí pro zušlechťování ($C > 0,3\%$). Po kalení oceli následuje

popuštění v intervalu teplot 400 – 600 °C. Klasickou metodou bodového pólu se nedosáhne jednoznačných závislostí H_c , H_m či ∇H_m na teplotě popuštění. Pro přístroje ILK se však podařilo najít pracovní režim, který podává jednoznačné přesné výsledky kontroly zušlechťených ocelových dílů. Klíč k úspěchu dává demagnetizační impuls H_{mp} , který má nižší intenzitu jak hlavní H_m a následuje ihned po odeznění elektromagnetických relaxačních procesů v materiálu vyvolaných hlavním impulzem. Velikost H_{mp} se stanoví pro nejtěsnější závislost na teplotě popuštění dané oceli. Příznivé výsledky získány pro oceli do 0,75%C nelegované i legované Cr, Ni, Mo, V, Si, Mn.

KIM. Přístroje s postupnou magnetizací řadou jednapolárních impulsů, jejichž amplituda roste a pak klesá do nulové hodnoty H_m . Měření ∇H_m pak nezávisí na předchozím magnetickém stavu. Určeno pro velké součásti s velkými zbytkovými intenzitami polí po manipulaci elektromagnetickými jeřáby či po práškové defektoskopii.

ELIPS. Určený pro součásti s výraznou anizotropií texturou a svary. Umožňují namagnetovat povrch jen v úzkém pásu. Změřená informace H_m tak přísluší určité orientaci struktury.

IMPOK. Přístroje zabudované ve výrobních linkách plochých výrobků z ocelí od $L = 0,15\text{mm}$ a nízkým obsahem C do 0,15%. Společným znakem těchto přístrojů je impulzivní periodická magnetizace z dvou protilehlých sond nad oběma povrchy. [1]

3.2 Frekvenční zkoušení

Jednofrekvenční zkoušení

Magnetoinduktivní 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 budící 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. [4]

Vícefrekvenční zkoušení

Podstatou vícefrekvenčního zkoušení je kombinace různých zkušebních frekvencí a budících proudů tak, abychom maximálním možným způsobem zvýšili spolehlivost měření. Jednotlivé vlastnosti zkoušeného materiálu se při různém nastavení zkušební frekvence a budícího 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. [4]

Postupné vícefrekvenční zkoušení:

Principiálně lze vícefrekvenční zkoušení rozdělit na tzv. postupné zkoušení, kdy dochází ke zkoušení jednotlivými frekvencemi postupně za sebou a na tzv. současně (pulsní) zkoušení, kdy dochází ke zkoušení všemi nastavenými frekvencemi najednou pomocí budícího 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 budícího proudu. Určitým omezením však někdy může být nižší zkušební rychlost způsobená právě postupným zkoušením jednotlivými frekvencemi za sebou. [4]

Současné vícefrekvenční zkoušení

Další variantou magnetoinдукtivní 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 využívají pouze jednoho budícího proudu. [4]

3.3 Metoda magnetického bodového pólu

V současné době se k měření metodou magnetického bodového pólu používá přístrojů řady DOMENA, které navazují na sérii REMAG. Díky neustálému vývoji této metody můžeme přístroji DOMENA měřit nejen tvrdost feromagnetických materiálů, ale pevnost a hloubku prokalení.

Ve srovnání s klasickými způsoby měření tvrdosti je tato metoda velmi rychlá a je možné změřit tvrdost materiálu i přes povrchovou vrstvu.[6]

Princip měření metodou magnetického pólu:

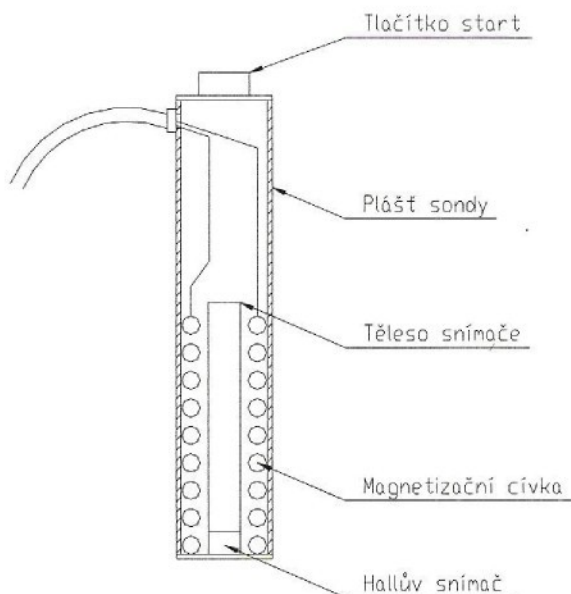
Jak již název napovídá, využívá tento způsob měření magnetických vlastností materiálu, čehož lze ovšem použít jen u feromagnetik.

Feromagnetické látky si udrží své magnetické vlastnosti v důsledku existence poruch krystalové mřížky (dislokací) a dalších překážek jako jsou atomy uhlíku, cementitu, nebo martenzitu, které brání návratu domén do původní orientace a do celkově magneticky neutrálního stavu.

Souvislost mezi mechanickou a magnetickou tvrdostí materiálu je dána přítomností magneticky tvrdých strukturních složek (lamely perlitického cementitu, martenzit), které jsou zároveň i mechanicky tvrdé.

Princip této metody spočívá v měření intenzity zbytkového magnetického pole kontrolovaného materiálu pod čelem sondy jejíž hodnota přímo závisí na množství a disperzi perlitu nebo martenzitu.

Při měření metodou magnetického bodového pólu se nejprve zmagnetizuje povrch zkoušeného materiálu přiloženou sondou (viz obr. 5), jejíž magnetizační cívka je napájena trojúhelníkovitými impulsy opačné polarity. Hallův snímač, který je umístěn v ose cívky na povrchu čela sondy, změří intenzitu zbytkového pole po předposledním impulsu, který je kladný. Následuje poslední záporný impuls, po jehož ukončení se opět změří intenzita zbytkového pole. Absolutní součet kladné a záporné intenzity zbytkového pole se ukáže na displeji měřicího přístroje. Tímto způsobem se dosáhne reprodukovatelných hodnot zmagnetování měřeného místa a eliminuje se nepříznivý vliv rušivých magnetických polí. [6]



obr. 5 – Schéma přiložné sondy

3.3 Účinek koroze

V technické praxi se setkáváme s nutností měřit metodou magnetického pólu na odlitku či výkovku zkorodovaném či okujeném, těsně po vytlučení z formy. Kysličníky Fe vykazují silnou magnetickou remanenci. [5]

3.3.1 Koroze atmosférou při tepelném zpracování

Materiál: Litina EN GJL 250, EN GJS 700-2. Měření na 12ti vzorcích prováděno na identických místech před a po tepelném zpracování, otryskání. Byly simulovány žíhací procesy používané pro LLG a LKG v běžné praxi.

Při žíhání do 600°C i po dobu několika hodin vznikají oxidy, jejichž vliv na změnu Hr lze zanedbat. Při vyšších teplotách ruší okuje radikálně výsledek měření struktury – tab.1

Žíhání	Teplota [°C]	Výdrž [hod]	Růst v % Hr	Hr po otryskání
Na odstr. pnutí	630	3	5,3 +- 0,7	260
Naměko	730	5	30+-13	160
Na rozpad cem.	950	4	101 +- 5	180

Tab.1

Reakcí mezi formou a tuhnoucí litinou vznikají rovněž feromagnetické vrstvy, jejichž rušivý účinek se nejvíce projeví na odlitcích s feritickou maticí. Test na 6ti odlitcích z EN GJV-350 prokázal vyšší hodnoty Hr o 12 – 40% na surovém povrchu (písková forma bez nátěrů) vůči tryskanému povrchu. [5]

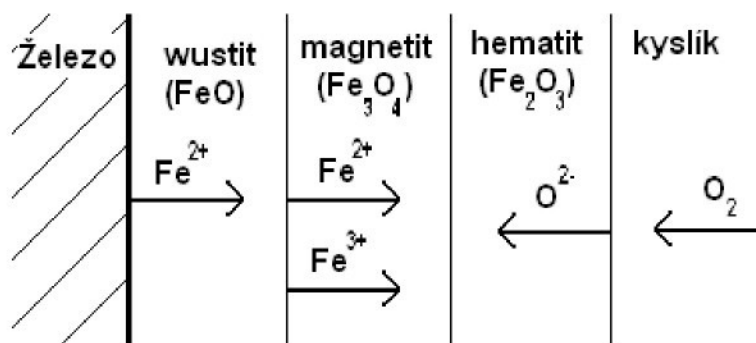
4 Teoretické základy oxidace ocelí

Ohřev oceli v běžných typech plamenem ohřívaných pecí i v elektrických pecích se vzdušnou atmosférou je vždy doprovázen oxidací povrch kovu.

Oxidace oceli probíhá již při pokojové teplotě jako rezivění. Zvýšením teploty na 200 až 300 °C a výše se pokrývá povrch oceli náběhovými barvami. Se zvýšením teploty se zvyšuje i rychlost oxidace a proces probíhá nejintenzivněji při teplotách nad 1000°C. [3]

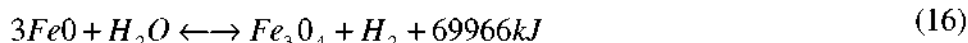
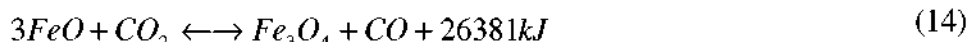
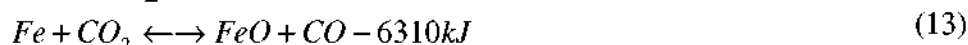
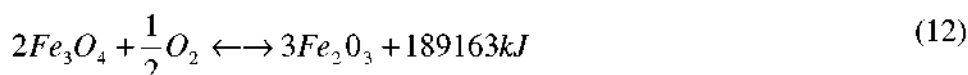
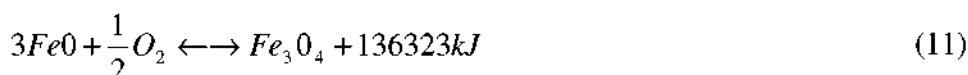
Při oxidaci se tvoří tři kysličníky železa:

- kysličník železnatý FeO (wustit), stálý při teplotách nad 570°C, teplota tavení 1377°C;
- kysličník železnato-železitý Fe₃O₄ (magnetit), stálý v celém rozsahu teplot, tedy od teploty pokojové do teploty tavení (1538°C);
- kysličník železitý Fe₂O₃ (hematit), stálý od nízkých teplot do teploty tavení (1565°C).



obr.6 - Schéma difúzních pochodů v oxidické vrstvě během oxidace železa v kyslíku

Oxidace železa může probíhat podle těchto vratných reakcí:



Vratnost těchto reakcí je dána teplotou, tlakem, počáteční koncentrací a dobou, která je k dispozici pro dosažení rovnovážného stavu; značný vliv na dosažení rovnovážného stavu má i přítomnost účinných katalyzátorů.

Značný vliv v procesu oxidace železa má i přilnavost okujů k povrchu kovu. [3]

4.1 Vliv jednotlivých činitelů na propal kovu

Pro rychlost oxidace u železa a oceli je limitující difúze přes vrstvu kyslíčnicků, takže propal kovu závisí mimo jiné především na činitelích majících vliv na difúzi, tj. na době a teplotě ohřevu, složení pecní atmosféry a chemickém složení oceli. Na tvorbu okujů tak působí mnoho činitelů, jež mají vliv nejen na mechanismus a kinetiku reakcí probíhajících při oxidaci kovu, ale zároveň i na strukturu, charakter a množství okujů.[3]

Vliv teploty a doby ohřevu:

Prakticky lze vznik okujů pozorovat až od teplot 600 – 650 °C, přičemž do teploty 900°C je oxidace pomalá. Nad touto teplotou pak nastává stále rychlejší nárůst vrstvy okujů. Při teplotách nad 1275 – 1300°C vzrůstá rychlost oxidace skokem v souvislosti s tavením okujů, které způsobuje neustále

obnažování nezoxidovaného kovu. Rychlost oxidace je v této oblasti šestkrát až sedmkrát větší než při teplotě 900°C.

Poněvadž oxidace oceli probíhá podle zákonů difuze, lze závislost mezi tloušťkou nebo hmotností okují a dobou oxidace vyjádřit parabolickou rovnicí:

$$y^2 = k \cdot \tau \quad (18)$$

kde y ... hmotnost nebo tloušťka okují;

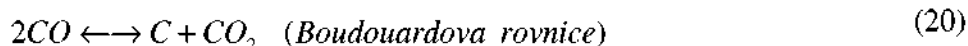
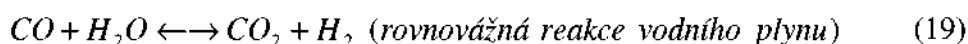
τ ... doba oxidace;

k ... konstanta respektující změnu rychlosti oxidace v závislosti na teplotě

Vliv pecní atmosféry:

Plyny, z nichž se skládá pecní atmosféra, mohou v závislosti na teplotě a vzájemném poměru působit na materiál oxidačně (např. O_2 , CO_2 , H_2O a SO_2), redukčně (CO a H_2) nebo se chovat neutrálně (N_2). Nauhličující účinek mají CO a CH_4 , naopak oduhličující CO_2 , H_2 a H_2O .

Mimo již uvedené reakce 10 - 17 se uplatňují i rovnovážné reakce probíhající mezi plyny navzájem.



[3]

Vliv chemické složení kovu a dalších činitelů:

Množství okují, tvořících se na oceli různého chemického složení, nebude za jinak shodných podmínek stejné. Na průběh okysličení dalších vrstev oceli má značný vliv druh a vlastnosti okují, tvar a rozměr ohřívaného materiálu, způsob ohřevu atd. U nízkouhlíkových ocelí vznikají pórovité vrstvy okují slabě lnoucí k povrchu oceli a umožňují další pronikání kyslíku k nezoxidované oceli, a tedy i další oxidaci.

Oceli s vyšším obsahem uhlíku (podle literárních údajů nad 3% C) mají nižší opal. Jev je vysvětlován oxidací uhlíku za vzniku CO, který částečně chrání povrch kovu před dalším okysličením.

Při ohřevu legovaných ocelí, obsahujících Cr, Al, Si, Ni, tvoří legovací prvek na povrchu oceli dobře lnoucí ochranný kysličník z čistě legovací složky, který brání difúzi oxidačních plynů. A tím i další oxidaci základního materiálu.

[3]

5 Statistika

5.1 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 . [4]

5.1.1 Rovnice pro výpočet spojnic trendu

Lineární:

Metodou nejmenších čtverců vypočte přímku představovanou následující rovnicí:

$$y = m \cdot x + b \quad (22)$$

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

Logaritmická:

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot \ln x + b \quad (23)$$

kde c a b ... konstanty

$\ln$... přirozený logaritmus.

Exponenciální

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot e^{b \cdot x} \quad (24)$$

kde c a b ... konstanty

e ... základ přirozeného logaritmu.

Mocninná

Metodou nejmenších čtverců vypočte křivku proloženou body podle následující rovnice:

$$y = c \cdot x^b \quad (25)$$

kde c a b ... konstanty.

5.2 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 blízka nule. [4]

Rovnice korelačního koeficientu je:

$$\rho_{x,y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (26)$$

$$-1 \leq \rho_{x,y} \leq 1 \quad (27)$$

$$\text{cov}(X,Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \mu_x) \cdot (y_i - \mu_y)] \quad (28)$$

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \quad (29)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2 \quad (30)$$

kde μ ... střední hodnota
 σ ... střední směrodatná odchylka
 cov ... kovariance
 ρ ... korelační koeficient
 n ... počet hodnot
 X, Y ... sady dat

[4]

Praktická část

6 Trubkové vzorky

K dispozici jsem měl trubky z materiálu 11 353 a 15 020 (vlastnosti viz tab. 2 a 3).

C	P	S	P+S
max 0,18	max 0,05	max 0,05	max 0,09

použití: jednoúčelová ocel k výrobě
bezešvých trubek

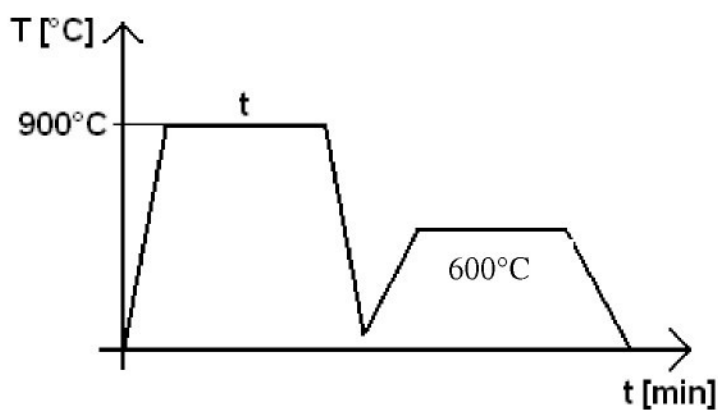
Tab.2 Materiál 11 353

C	Mn	Si	Mo	Al	P	S
0,12 - 0,20	0,50 - 0,80	0,15 - 0,37	0,25 - 0,35	max. 0,015	max. 0,04	max. 0,04

použití: Žáropevná ocel se zvýšenou odolností proti korozi

Tab. 3 Materiál 15 020

Tepelné
zpracování jsem
provedl v elektrické
peci a zakalil do
vody z teploty
900°C - délka
výdrže t =
15/30/45/60min.
(Obr. 7).



obr. 7

Jak prokázala měření tvrdosti na čelech (viz příloha 1) jedná se o oceli nekalitelné – rozdíl tvrdostí činí 5 HB (11 353) respektive 6 HB (15 020)



obr. 8 rozpětí vzorků



obr. 9 DOMENA B2

6.1 Měření:

Po zapnutí DOMENY B2 (obr. 9) a nastavení přepínače na magnetizaci na příslušný stupeň, bylo před každou sérií měření zařízení zkalibrováno pomocí etalonu na hodnotu $M = 180$.

Vzorky jsem rozdělil po 180° v jednom místě jsem přístrojem DOMENA B2 prováděl měření na stupeň M2 a v druhém místě na stupeň M6.



obr. 10 - měření vzorků

6.2 Změna IZMP (M) s dobou výdrže

Naměřené hodnoty jsem pomocí vzorce

$$\delta M = \frac{M_{ix} - M_{i0}}{M_{i0}} \cdot 100 \quad (31)$$

kde δM ... relativní hodnota intenzity zbytkového
magnetického pole

M_{ix} ... absolutní hodnota

M_{i0} ... absolutní hodnota M u vzorku bez TZ

převědl do relativních hodnot (Tab. 4 a 5)

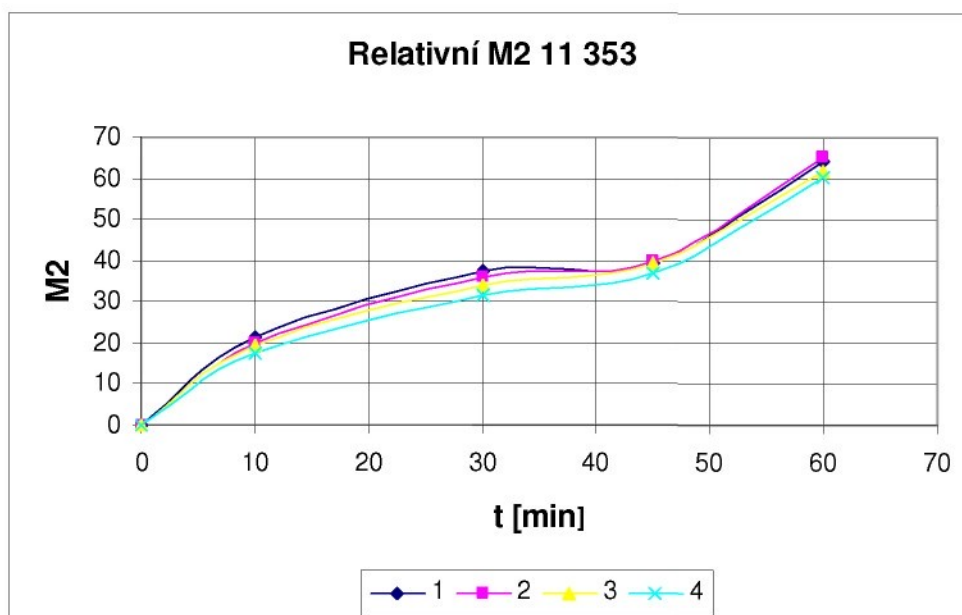
M2 13353					M6 11 353				
čas [min]	číslo měření				čas [min]	číslo měření			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	21,3	19,9	19,3	17,7	10	-0,2	3,2	3,0	6,5
30	37,4	35,8	34,2	31,5	30	21,9	26,4	25,8	28,9
45	39,5	40,0	39,6	37,1	45	34,4	38,2	38,1	43,0
60	64,2	65,3	61,8	60,4	60	36,0	39,9	37,0	40,0

Tab. 4 hodnoty M2 a M6 11 353

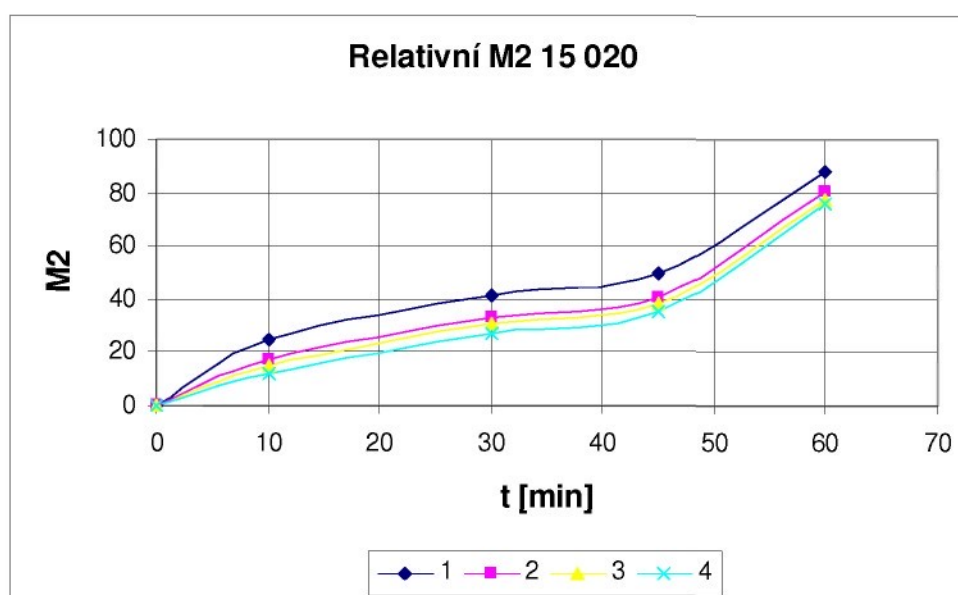
M2 15 020					M6 15 020				
čas [min]	číslo měření				čas [min]	číslo měření			
	1	2	3	4		1	2	3	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	24,7	17,3	15,0	11,8	10	-2,8	-2,6	-1,6	-1,4
30	41,6	33,1	31,1	27,4	30	15,4	13,1	12,1	12,6
45	49,4	40,5	38,1	35,3	45	31,9	30,8	29,1	28,2
60	87,8	80,1	77,8	75,7	60	49,3	50,1	51,0	51,8

Tab. 5 hodnoty M2 a M6 15 050

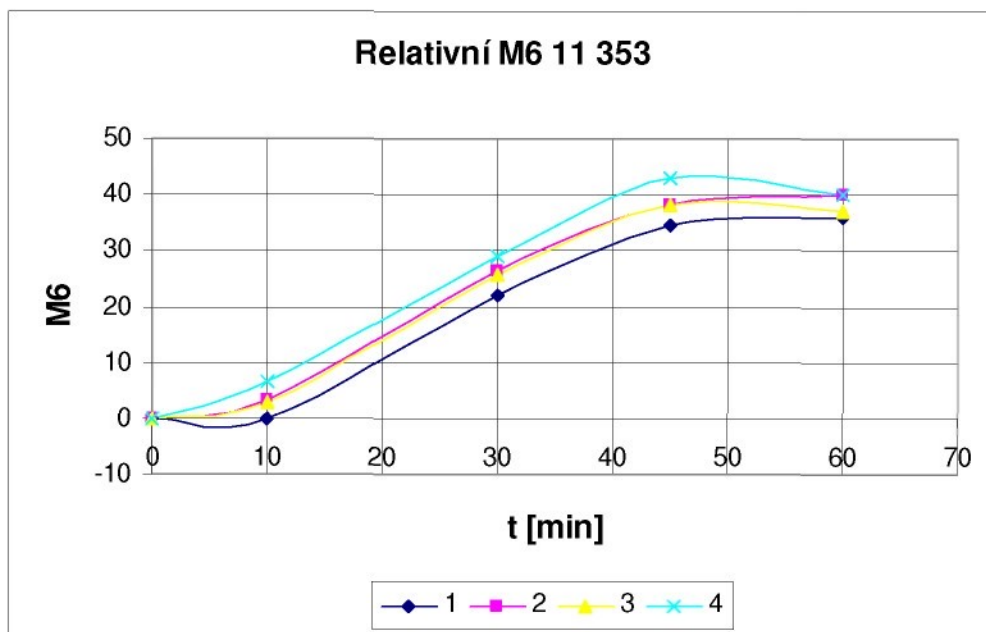
Ze zjištěných hodnot jsem dále vytvořil grafy relativních závislostí M na t:



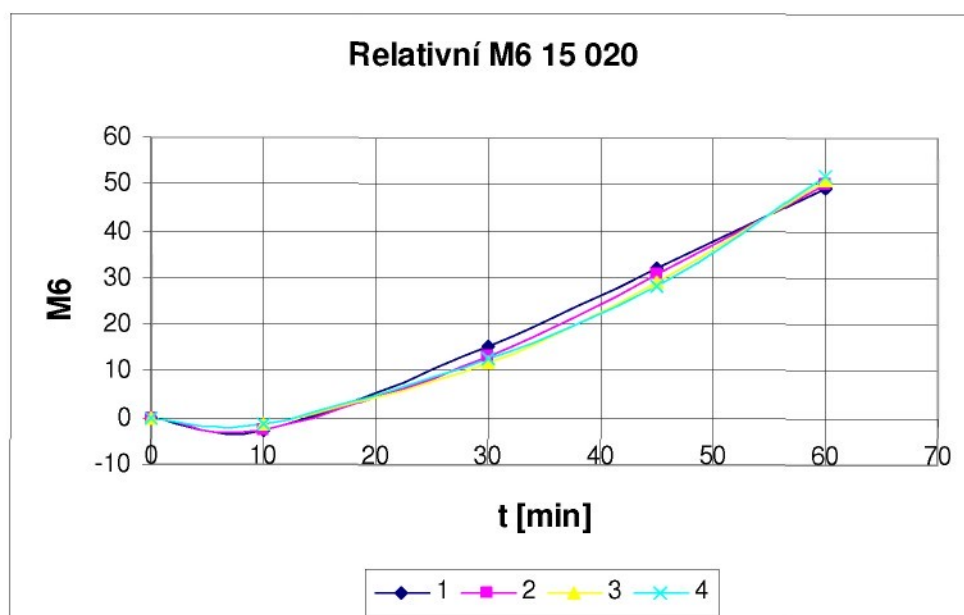
Graf 1



Graf 2



Graf 3



Graf 4

Jak je patrné z grafů při stupni magnetizace M2 dochází k pozvolnému nárůstu intenzity zbytkového magnetického pole a to až do výdrže 45 minut, následně dochází ke zrychlenému nárůstu a to u obou materiálů.

Při magnetizaci stupněm M6 je do 10 minut míra intenzity zbytkového magnetického pole téměř konstantní. Posléze dochází k nárůstu hodnot, který u materiálu 11 353 ustává v čase výdrže 45 minut. U materiálu 15 020 je narůstající tendence i v čase 60 minut.

6.3 Změna IZMP (M) s tloušťkou oxidické vrstvy

Následně jsem odebral vzorky a změřil tloušťku vzniklých oxidů po jednotlivých dobách výdrže na teplotě 900°C (tab. 6)

11 353				15 020			
t [min]	M2	M6	L [μm]	t [min]	M2	M6	L [μm]
0	133,5	133,7	0	0	122,7	117,1	0
10	166,4	130,0	47,7	10	148,8	116,9	65,8
30	189,0	154,3	74,6	30	168,6	142,8	74,8
45	199,4	176,4	85,9	45	171,1	157,4	95,4
60	250,7	199,7	93,3	60	201,4	159,3	113,5

Tab. 6

Získanými body v závislosti $L = f(M)$ jsem proložil spojnici trendu a to polynomickou 2. stupně a posléze logaritmickou (Grafy 5 – 10) a určil rovnice regrese. Potvrdilo se, že intenzita zbytkového magnetického pole při stupni M2 je ovlivněna převážně oxidy, kdežto při M6 proniká magnetizace hlouběji do materiálu – závislost tloušťky oxidické vrstvy na IZMP již není tak výrazná.

U materiálu 11 353 je zřejmá maximální vrstva oxidů cca. 93,3 μm (viz graf 5).

Získané rovnice jsou:

pro mat. 11 353: $L = -0,091M^2 + 4,23M - 413 [\mu\text{m}]$ (32)

s $R = 0,998$

a $L = 154\ln(M) - 743 [\mu\text{m}]$ (33)

s $R = 0,945$

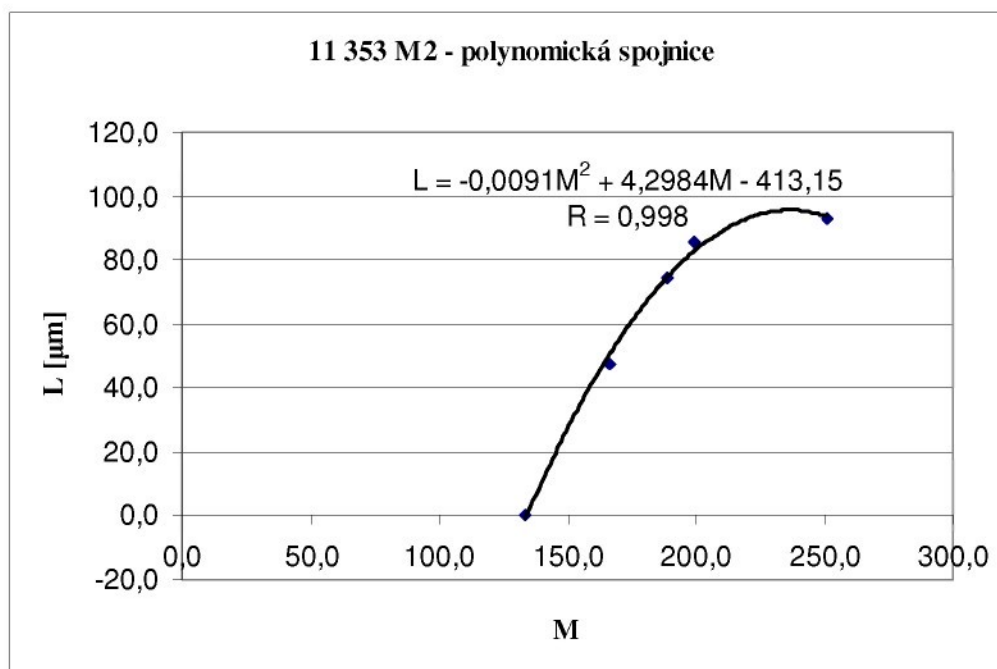
pro mat. 15 020: $L = -0,014M^2 + 5,88M - 511 [\mu\text{m}]$ (34)

s $R = 0,983$

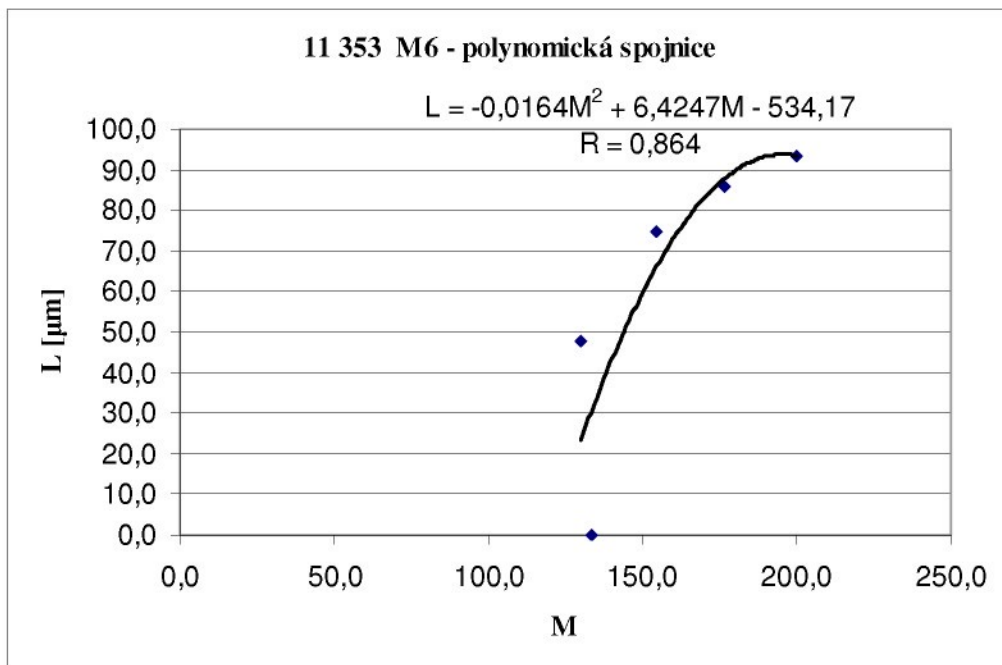
a $L = 226,9\ln(M) - 1082 [\mu\text{m}]$ (35)

s $R = 0,968$

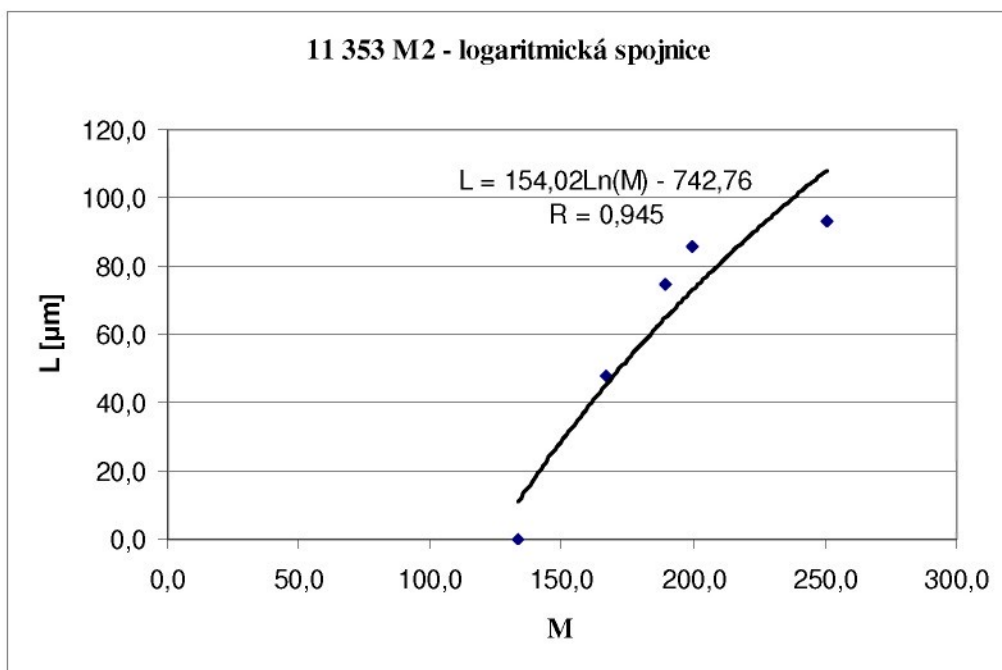
Grafy $L = f(M)$:



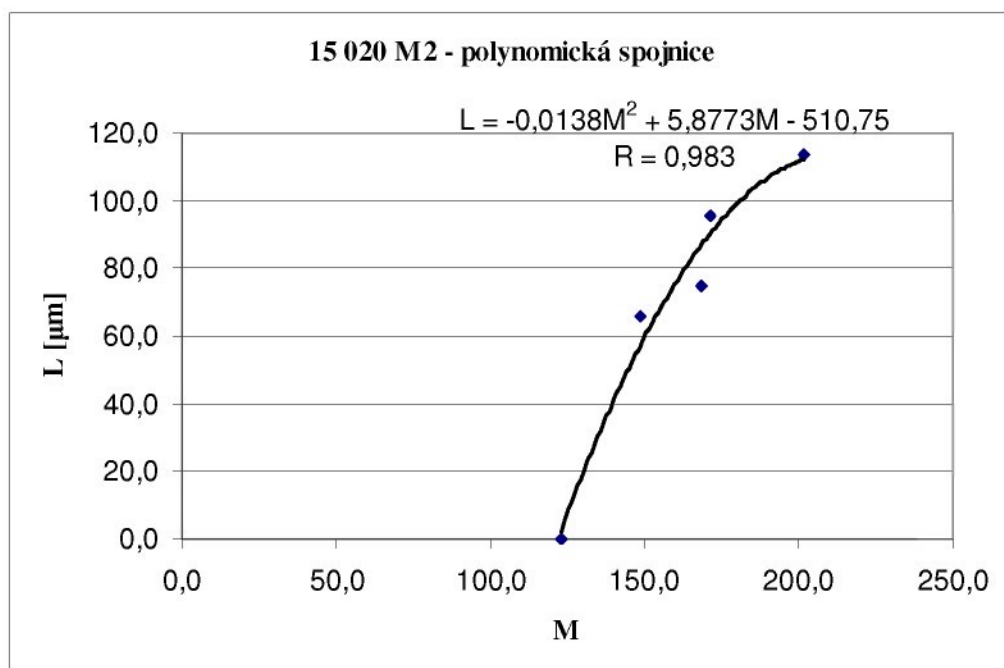
Graf 5



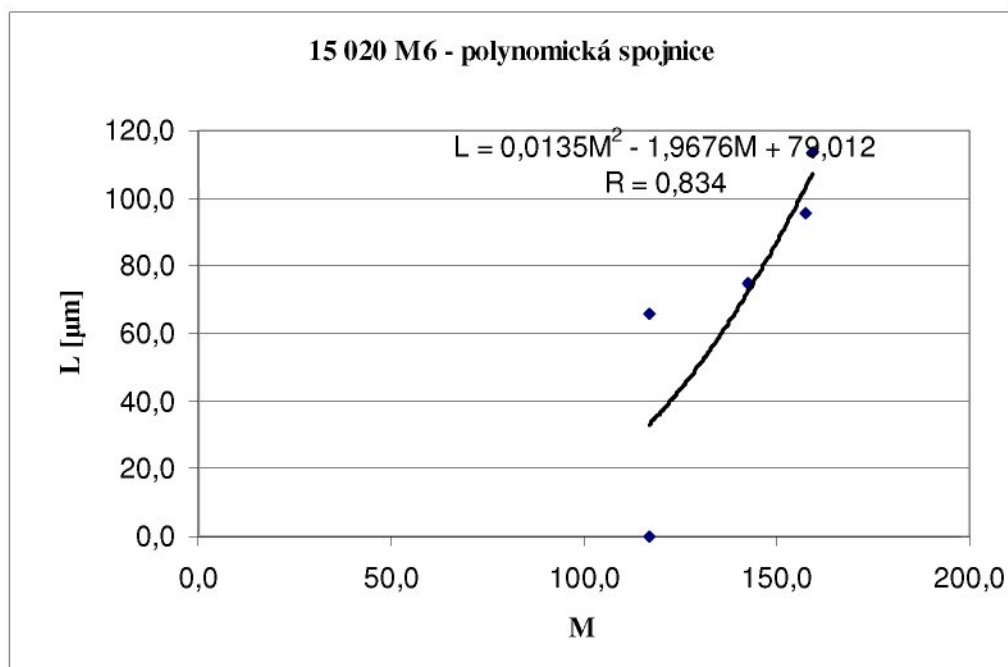
Graf 6



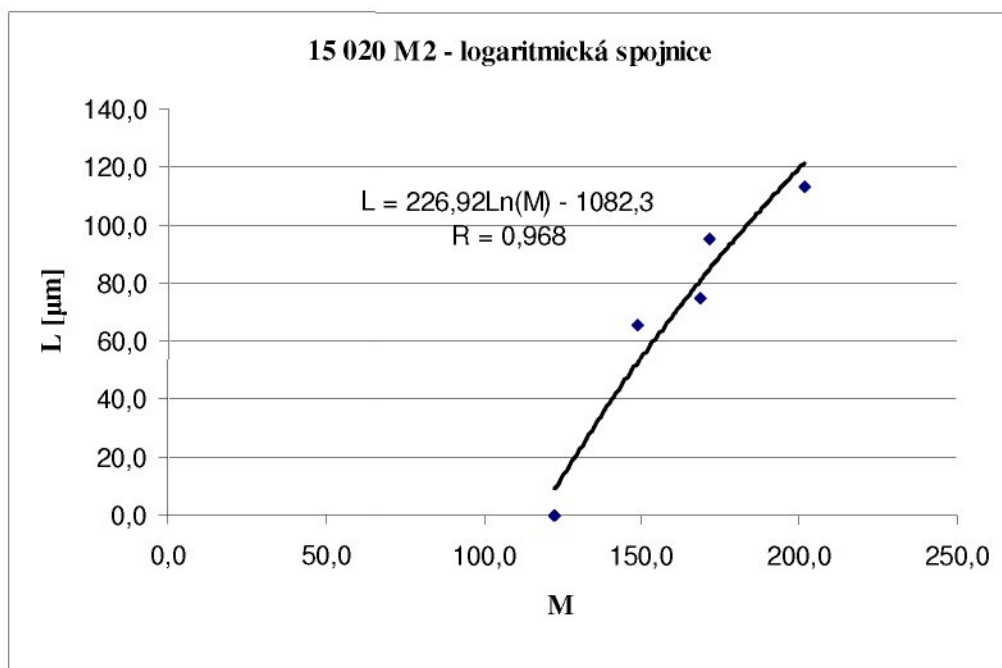
Graf 7



Graf 8



Graf 9



Graf 10

7 Válcové vzorky

K dispozici jsem měl měření provedená na tepelně zpracovaných válcových vzorcích (viz obr. 11 a tab. 8) z materiálu 15 141 (tab. 7)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
0,38-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,9-1,2	max. 0,5	0,15-0,30	max. 0,035	max. 0,035

použití: Vhodná pro povrchová kalení. Užívá se na velmi namáhané strojní součásti a součásti silničních motorových vozidel, kde se požaduje při vysoké pevnosti i vyšší houževnatost, zejména hřídele a spojovací součásti.

Tab. 7



Obr. 11

číslo vzorku	kalící teplota	kalící medium	popouštěcí teplota	HB
1	850/1,5hod.	voda (15+10 °C)	500/1hod.	363
2	850/1,5hod.	voda (15+10 °C)	580/1hod.	315
3	850/1,5hod.	voda (15+10 °C)	660/1hod.	268

Tab. 8

7.1 Porovnání oxidického a broušeného povrchu:

	HB	oxidy		broušeno		nárůst [%]	
		1. měř	Ø 2. - 4. měř.	1. měř	Ø 2. - 4. měř.	1. měř	Ø 2. - 4. měř.
1	363	171	134,4	146,7	122,2	16,6	9,9
2	315	197	160,3	153,3	131,2	28,5	22,2
3	268	212	181,4	182,6	159,6	16,1	13,7
					průměr	20,4	15,3

Tab. 9

Nárůst intenzity zbytkového magnetického pole u zušlechtěných vzorků je průměrně 20,4% při prvním měření a 15,6% u Ø 2. – 4. měření.

7.2 Stanovní vzorců pro nedestruktivní zkoušení:

Z naměřených hodnot jsem vypočetl hodnoty pro lineární vzorec

$$HB = M \times B + A$$

kde M ... naměřená intenzita zbytkového magnetického pole

A,B ... zjištěné konstanty

s korelací K

oxidické vzorky

B	- 2,27
A	753,2
K	-0,989

zbroušené vzorky

B	-2,33
A	690,1
K	-0,937

$$HB = M \times (-2,27) + 206,9 \quad (36)$$

Míra přesnosti K = 98,9%

$$HB = M \times (-2,33) + 690,1 \quad (37)$$

Míra přesnosti K = 93,7%

I přes malý počet vzorků bylo dosaženo velkých přesností a je zřejmé, že interpolační křivka má sestupný charakter (záporná korelace K).

8 Hřídele

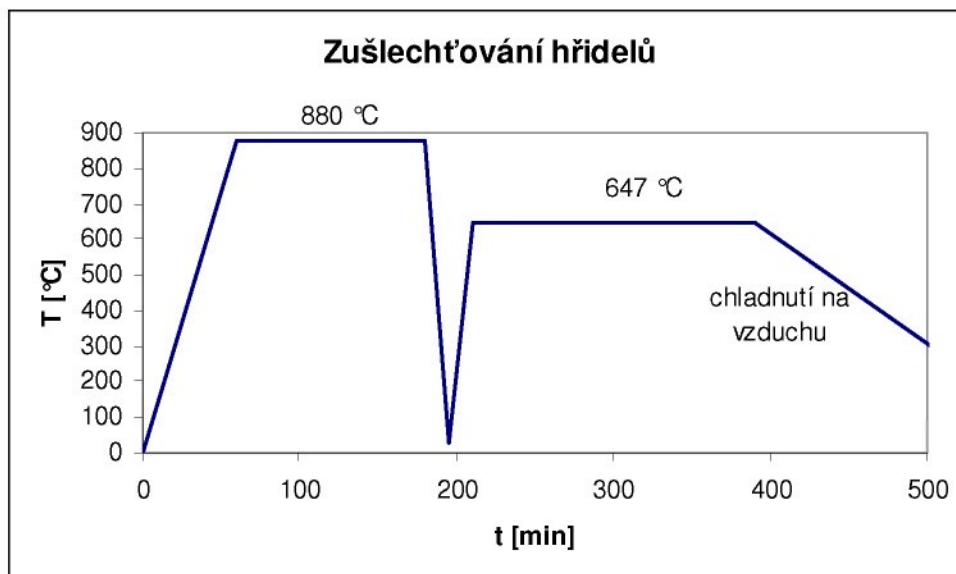
8.1 Vzorky

Ke zkoušení jsem si vybíral vzorky z hřídelů z 41CrS4 (Tab. 10) které se po zušlechťení viz obr. 12 vyrábí v hodnotách 265 – 285 HB (Tolerovat je možno 242 – 290 HB, přičemž hodnot nižších než 266 HB nebývá zpravidla dosahováno).

C	Si	Mn	P	S	Cr
0,38 - 0,45	max. 0,40	0,60 - 0,90	max. 0,035	0,020 - 0,040	0,90 - 1,20

použití: Součásti pro vozidla a motory, jako hřídele, nápravy, součásti řízení.

Tab. 10



obr. 12 - Zušlechťování hřídele

Při kontrole vybrány hřídele kalené v šachtové peci bez ochranné atmosféry s následujícími hodnotami HB 269, 272, 277, 285 a 290, kromě toho byly vyrobeny neshodné hřídele (Teplota popouštění byla snížena cca o 40°C přičemž rozdíl v tloušťce vzniklých oxidů lze zanedbat) s hodnotami HB 305, 307 a 309.

Dále byly vybrány vzorky zušlechtěné v lince víceúčelových pecí firmy DEGUSSA, tzn. tepelně zpracované v ochranné atmosféře a to s hodnotami tvrdostí 270 – 292 HB viz tabulka 7 (DEGUSSA).



obr. 13

- a) šachtová pec + zušlechtěná hřídel
- b) DEGUSSA + zušlechtěná hřídel
- c) tryskač + opískovaná hřídel

8.2 Měření

Jak již bylo výše uvedeno kusy k magnetické strukturoskopii jsem vybíral dle jejich tvrdosti, kterou jsem měřil na tvrdoměru REICHERTER EČ/T:520 Ø10mm/3000N (obr. 14).



obr. 14

Po zapnutí DOMENY B2 a nastavení přepínače na magnetizaci na příslušný stupeň, bylo zařízení zkalibrováno pomocí etalonu na hodnotu etalonu $M = 180$. Měření intenzity zbytkového magnetického pole jsem na stupeň magnetizace M4 a po demagnetizaci nově testován stupněm M6 a to na dvou místech:

- 1) válcová část 90° pootočená od místa tvrdosti obr. 15a
- 2) kruhová čelní plocha obr. 15b – (Lepší dotyk sondy+bez potřeby prizmatického přípravku X větší vzdálenost od kontrolního místa měření)



obr. 15

Následně byly hřídele demagnetizovány opískovány a měření byla opakována na tryskaném povrchu (obr. 16).



Obr. 16

8.3 Porovnání povrchů

Stupeň magnetizace M4:

Oxidický povrch x povrch opískovaný:

	HB	oxidy		pískováno		nárůst [%]	
		1. měř	Ø 2.-4. měření	1. měř	Ø 2.-4. měření	1. měř	Ø 2.-4. měření
I	305	288,9	249,3	238,2	223,4	21,3	11,6
II	309	290,6	247,3	236,1	230,2	23,1	7,4
III	307	281,3	236,4	242,7	231,6	15,9	2,1
IV	290	279,9	228,9	239,5	232,1	16,9	-1,4
V	269	275,5	229,8	225,5	207,2	22,2	10,9
VI	272	289,0	235,7	237,9	229,6	21,5	2,7
VII	277	297,3	239,7	254,1	249,3	17,0	-3,8
VIII	285	303,0	247,5	259,4	246,4	16,8	0,4
průměr						19,3	3,7

Tab. 11

Povrch chráněný ochranou atmosférou x povrch opískovaný:

	degusa			pískováno			nárůst [%]	
	HB	1. měř	Ø 2.-4. měření	HB	1. měř	Ø 2.-4. měření	1. měř	Ø 2.-4. měření
1	292	276,2	229,7	290	239,5	232,1	15,4	-1,0
2	270	234,7	191,4	269	225,5	207,2	4,1	-7,6
3	275	288,4	234,1	272	237,9	229,6	21,2	2,0
4	275	288,4	234,1	277	254,1	249,3	13,5	-6,1
5	288	293,0	238,7	285	259,4	246,4	12,9	-3,1
6	282	283,4	230,2	285	259,4	246,4	9,2	-6,6
průměr							12,7	-3,7

Tab. 12

Povrch netryskaný vykazuje oproti povrchu opískovanému při první magnetizaci o 19,3 % větší intenzitu zbytkového magnetického pole. Rozdíl intenzity zbytkových magnetických polí u průměru následujících tří měření již není výrazný – tj. 3,7%

Povrch hřidelů TZ pomocí pecí DEGUSSA má při prvním měření intenzitu zbytkového magnetického pole o 12,7 % vyšší. Průměrná hodnota dalších tří měření je dokonce o 3,8% nižší u než u opískovaného povrchu.

Stupeň magnetizace M6:

Oxidický povrch x povrch opískovaný:

	HB	oxydy		pískováno		nárůst [%]	
		1. měř	Ø 2.–4. měření	1. měř	Ø 2.–4. měření	1. měř	Ø 2.–4. měření
I	305	203,8	198,0	241,5	237,1	8,6	8,1
II	309	219,0	216,6	239,1	240,9	1,4	-3,2
III	307	209,6	209,6	237,3	235,1	17,9	19,1
IV	290	218,5	217,0	265,4	256,3	-22,4	-21,6
V	269	230,2	209,6	257,6	248,3	7,0	8,0
VI	272	236,6	234,4	245,5	245,6	-2,0	-4,4
VII	277	215,4	212,6	252,7	253,1	3,2	2,0
VIII	285	219,2	208,7	242,2	242,1	6,5	5,0
průměr						2,5	1,6

Tab. 13

Povrch chráněný ochranou atmosférou x povrch opískovaný:

degusa			pískováno			nárůst [%]	
HB	1. měř	Ø 2.–4. měření	HB	1. měř	Ø 2.–4. měření	1. měř	Ø 2.–4. měření
292	320,2	270,6	290	265,4	256,3	20,7	5,6
270	298,0	257,6	269	257,6	248,3	15,7	3,7
275	291,0	250,9	277	252,7	253,1	15,2	-0,9
280	260,1	217,5	277	252,7	253,1	2,9	-14,0
288	254,0	220,3	285	242,2	242,1	4,9	-9,0
průměr						9,9	-2,4

Tab. 14

Povrch netryskaný vykazuje oproti povrchu opískovanému při první magnetizaci o 2,5 % větší intenzitu zbytkového magnetického pole. Rozdíl intenzity zbytkových magnetických polí u průměru následujících tří měření je minimální (1,6%).

Povrch hřidelů TZ pomocí pecí DEGUSSA má při prvním měření intenzitu zbytkového magnetického pole o 11,8 % vyšší. Průměrná hodnota dalších tří měření je dokonce o 2,9% nižší u než u opískovaného povrchu.

8.4 Určení vzorce pro nedestruktivní zkoušení

Z naměřených hodnot jsem vypočetl hodnoty pro lineární vzorec

$$HB = M \times B + A$$

Kde M ... naměřená intenzita zbytkového magnetického pole

A,B ... zjištěné konstanty

s korelací K

M4 oxidy – válcová část:

B	0,00
A	290,4
K	-0,002

$$HB = M \times (-0,004) + 290,4 \quad (38)$$

Míra přesnosti K = 0,2%

M4 tryskáno – válcová část:

B	0,02
A	283,7
K	0,015

$$HB = M \times 0,02 + 283,7 \quad (39)$$

Míra přesnosti K = 1,5%

M4 oxidy – kruhové čelo

B	-0,50
A	411,5
K	-0,749

M4 tryskáno – kruhové čelo

B	-0,52
A	396,1
K	-0,423

M4 DEGUSSA – válcová část

B	0,28
A	206,9
K	0,753

M4 DEGUSAA – kruhové čelo

B	0,43
A	184,3
K	0,552

M6 oxidy – válcová část:

B	0,00
A	288,2
K	0,006

M6 tryskáno – válcová část:

B	-0,92
A	518,1
K	-0,569

M6 oxidy – kruhové čelo

B	-1,17
A	544,6
K	-0,755

M6 tryskáno – kruhové čelo:

B	-0,58
A	419,0
K	-0,620

Ani jeden ze zjištěných vztahů nemá dostatečnou korelaci vzhledem ke změřeným hodnotám. Některé hodnoty zbytkové magnetizace se jeví jako nezávislé na tvrdosti (M4 válcová část - oxidický povrch i povrch tryskaný a M6 válcová část oxidická). Ostatní hodnoty mají zápornou hodnotu korelace a tedy spojnice trendu má klesající tendenci. (Ze vzrůstající intenzitou zbytkového magnetického pole klesá tvrdost).

Měření na kruhovém čele, které vykazuje u oxidických povrchů vysokou hodnotu přiblížení (0,75 pro M4 i M6 na netryskaném povrchu) se

v praxi při výpadku jednoho topného okruhu šachtové pece neosvědčilo – viz příloha 4.

U netryskaných dílů by na chybě mohla být porezita vzniklých oxidů a tím i nedokonalý kontakt sondy DOMENY B2 se vzorkem. Provedené pokusy na otryskané hřídeli však naznačují, že magnetická strukturoskopie přístrojem DOMENA B2 je pro dané tepelné zpracování materiálu nevhodná.

9 Ojnice

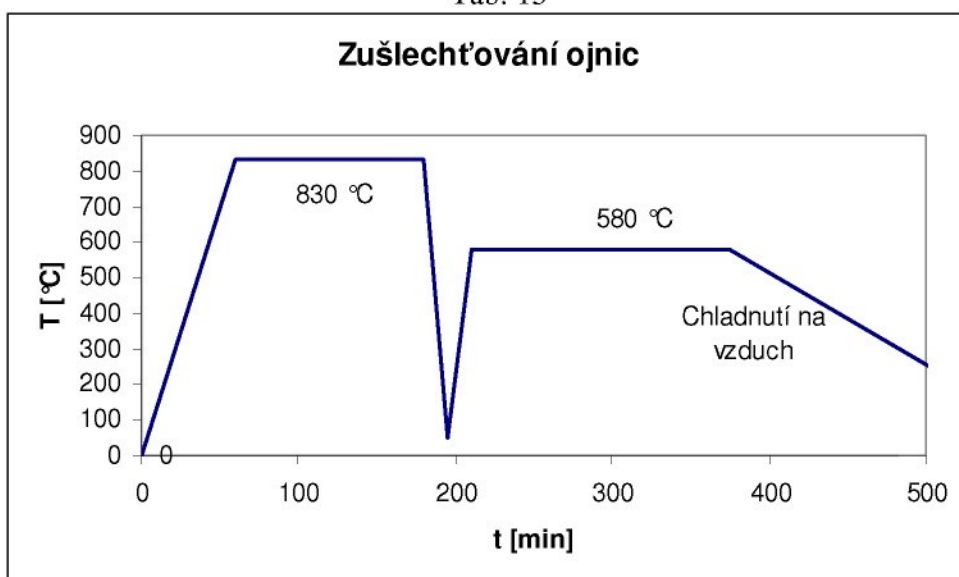
9.1 Vzorky

K měření jsem si vybíral vzorky z ojnic (obr. 18) z oceli 13 240 (Tab. 15), které po zakalení mají rozmezí tvrdostí 239 – 285 HB.

C	Mn	Si	P	S
0,33 - 0,41	1,10 - 1,40	1,10 - 1,40	max. 0,035	max. 0,035

Použití: Středně namáhané strojní součásti a části silničních vozidel zvláště odolné proti opotřebení

Tab. 15



Obr. 17



Obr. 18 - ojnice

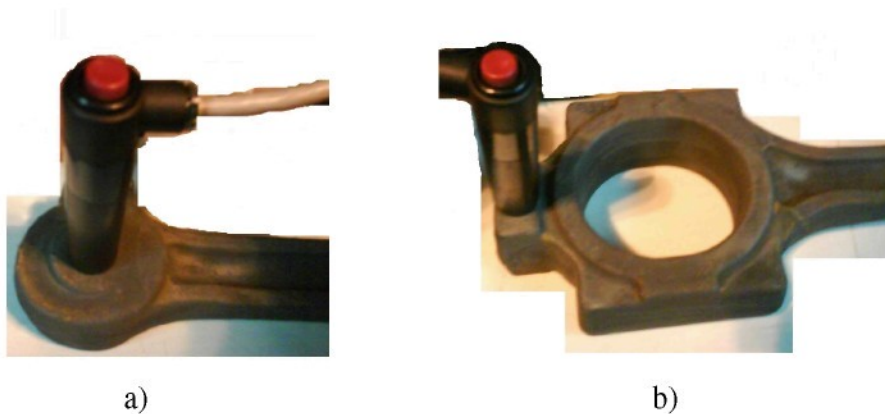
9.2 Měření

Klasické měření pomocí tvrdoměru REICHERTER EČ/T:520 $\varnothing 10\text{mm}/3000\text{N}$ (obr. 14) se provádí na dvou místech

- 1) Oko pístního čepu (Obr. 19a)
- 2) Vývažek ojnice. (Obr. 19b)

Tyto místa jsem zvolil i pro kontrolu strukturoskopem DOMENA B2 (Kalibrována pomocí etalonu na $M = 180$).

Měření jsem prováděl pro určení vzorce pro nedestruktivní zkoušení materiálu přes oxidickou vrstvu přístrojem DOMENA B2 (Kalibrace na etalon $M = 180$). Posléze po úpravě povrchu jsem provedl měření tvrdostí pomocí tvrdoměru.



Obr.19

9.3 Určení vzorce pro nedestruktivní zkoušení

Z naměřených hodnot jsem vypočetl hodnoty pro lineární vzorec

$$HB = M \times B + A$$

Kde M ... naměřená intenzita zbytkového magnetického pole

A, B ... zjištěné konstanty

s korelací K

Oko pístitního čepu:

B	0,98
A	62
K	0,69

$$HB = M \times 0,98 + 62 \quad (40)$$

Míra přesnosti $K = 69\%$

Vývažek ojnice:

B	0,54
A	150
K	0,73

$$HB = M \times 0,54 + 150 \quad (41)$$

Míra přesnosti $K = 73\%$

Získané vzorce mají poměrně vysoké hodnoty korelace, které by se pravděpodobně ještě více narostly při vyšším rozsahu měřeného rozmezí tvrdosti, to však vzhledem ke krátkodobosti zakázky nebylo možné rozšířit.

10 Brzdové držáky z GJS

10.1 Vzorky

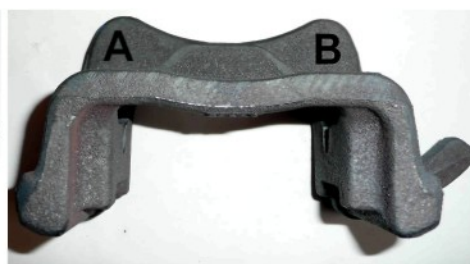
K dispozici jsem měl 6 ks držáků brzd z GJS – 550 (Obr. 20) o složení tab. 16. Díly byly žíhány na snížení tvrdosti při teplotě 650 – 700°C a výdrž 2 hod., čímž bylo dosaženo rozmezí tvrdosti 222 – 168 HB a výdrž 2 hod.

C	Si	Mn	S
3,62 – 3,75	2,11 – 2,40	0,19 – 0,27	0,006 – 0,009
P	Cu	Al	Mg
0,03 – 0,04	0,38 – 0,47	0,008 – 0,10	0,031 – 0,034

Tab. 16 Složení GJS - 500



Obr. 20



Obr. 21 – místa měření

10.2 Měření:

Každý z držáků brzd jsem měřil přístrojem DOMENA B2 (kalibrce na $M = 180$) na dvou místech označených A a B viz obr. 21 stupněm magnetizace M4 následovala demagnetizace obroušení oxidů a nové měření intenzity zbytkového magnetického pole. Následně byly v jednotlivých místech zjištěny tvrdosti pomocí tvrdoměru REICHERTER EČ/T:520 Ø10mm/3000N (obr. 14).

10.3 Porovnání povrchů:

Vzorek	Místo měření	Tvrdost [HB]	Oxidy		Zbroušeno		nárůst [%]	
			1. měř.	Ø 2.-4. měření	1. měř.	Ø 2.-4. měření	1. měř.	Ø 2.-4. měření
1	A	207	138,1	137,2	148,3	146,3	-6,9	-6,2
	B	202	141,0	133,0	145,8	142,5	-3,3	-6,7
2	A	219	171,4	167,3	143,5	144,4	19,5	15,8
	B	222	164,4	162,1	161,1	162,2	2,0	-0,1
3	A	187	107,1	107,4	111,1	109,7	-3,6	-2,1
	B	184	117,9	115,6	121,0	120,3	-2,6	-3,9
4	A	180	101,1	98,5	87,0	86,5	16,2	13,8
	B	180	105,5	105,1	97,8	97,1	7,8	8,2
5	A	175	96,5	94,9	101,9	98,8	-5,3	-4,0
	B	177	98,4	95,8	103,2	100,7	-4,7	-4,8
6	A	171	102,3	90,7	99,5	96,7	2,9	-6,2
	B	168	102,0	90,7	94,7	93,5	7,7	-3,0
průměr							2,5	0,1

Tab. 17

Průměrný rozdíl hodnot intenzity zbytkového magnetického pole o velikosti 2,5 % u první magnetizace respektive 0,1% u průměru 2-4 magnetizace ukazuje, že žíhání nemělo na magnetické vlastnosti GJS – 550.

3.4 Určení vzorců pro nedestruktivní měření tvrdosti:

Z naměřených hodnot jsem vypočetl hodnoty pro lineární vzorec

$$HB = M \times B + A$$

kde M ... naměřená magnetizace

A,B ... zjištěné konstanty

s korelací K

Oxidický povrch:

B	0,67
A	108
K	0,96

$$HB = M \times 0,67 + 108 \quad (42)$$

Míra přesnosti K = 96%

Obroušený povrch:

B	0,68
A	109
K	0,93

$$HB = M \times 0,68 + 109 \quad (43)$$

Míra přesnosti K = 93%

Stanovením vzorců pro lineární závislost $HB = f(M)$ s vysokou mírou K (96 respektive 93%) potvrdilo zjištění předešlé kapitoly (3.3), že TZ nemělo vliv na magnetické vlastnosti litiny GJL – 550.

11 Diskuze výsledků

Jak prokázala měření na trubkových vzorcích (kapitola 1) dochází po tepelném zpracování, tedy vlivem oxidických vrstev, k nárůstům intenzity zbytkového magnetického pole (IZMP) a to při nízkém stupni magnetizace (M2) v podstatě téměř ihned nebo již po krátké výdrži (10 minut) na teplotě při vyšší intenzitě magnetizace (M6).

Určením tloušťek oxidačních vrstev pomocí metalografických výbrusů jsem zjistil, že je lze určit pokud je dané místo měřeno při malém stupni magnetizace (V konkrétním případě M2.), kdy je ovlivněna převážně povrchová vrstva. Nevýhodou je však strmost křivky a tedy velký rozdíl ΔL při malé změně ΔM , což je dáno rychlou tvorbou oxidů.

Porovnání zoxidovaného (šachtová pec) a otryskávaného povrchu na hřídelích (kapitola 2.1.3) tento nárůst magnetizace jen potvrzuje a v průměru činí 19,3 % u prvního měření respektive 3,7% u Ø 2.-4. měření na totožném místě. U povrchu, kde k oxidaci díky ochranným atmosférám (CO_2 při kalení a N_2 při popuštění) bylo zabráněno (DEGUSSA) došlo k nárůstu o 12,7% u 1. měření a k poklesu o 3,8% u Ø 2.-4. měření na stejném místě.

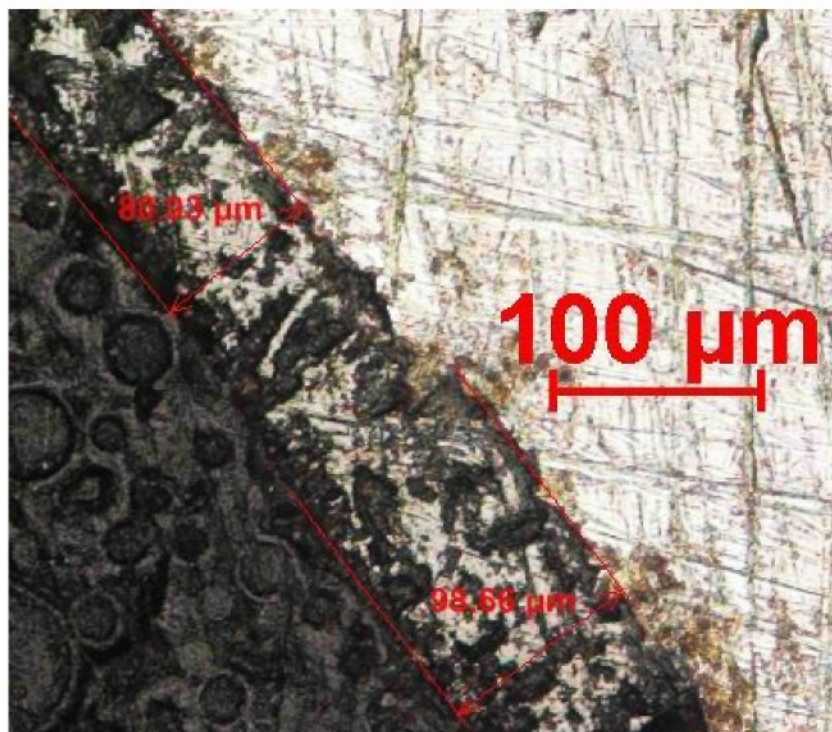
Nárůst intenzity zbytkového magnetického pole i u povrch, který byl chráněn proti oxidaci při tepelném zpracování je zapříčiněn vystavením výrobků atmosféře při přechodu z kalicí do popouštěcí pece. Rozdíl mezi povrchy bez a s ochrannými atmosférami by byl větší, ale při manipulaci s hřídelemi zakalenými v šachtové peci dochází k samovolnému odpadávání části vrstvy okují.

Vzorce pro nedestruktivní určování tvrdosti u hřídelů (kapitola 2.1.4) pomocí přístroje DOMENA B2 nelze použít, neboť nejvyšší dosažená míra korelace 75,5% je v místě čela, shodou okolností bylo dosaženo stejné přesnosti u M4 i M6, toto místo se však při výpadku jednoho topného okruhu

ukázalo jako velmi nepřesné (viz příloha 4) a tedy ani při zlepšení přesnosti nedestruktivního zkoušení by jej nebylo možné doporučit pro uvedení do praxe. Příčinou selhání této metody je zřejmě přítomnost legur, zejména chrómu. Svůj vliv zajisté může mít i rozdílná tloušťka oxidů (obr. 22), jelikož se však nepovedlo stanovit vzorce ani při tryskaném povrch, lze předpokládat, že přísada Cr má na IZMP majoritní vliv.

Řešením by mohlo být v použití demagnetizačního pulzu o slabší intenzitě, čímž by měla být dosažena jednoznačná závislost M na teplotě popuštění oceli, což však výše zmíněný přístroj neumožňuje.

Porovnávání hodnot změn intenzit zbytkového magnetického pole popuštěných u držáků brzd z GJS – 550 (kapitola 3.3) žádné výrazné změny neprokázalo (2,5% u prvního impulzu a 0,1% u průměru dalších tří). Lze tedy vyvozovat, že při TZ zpracování nebylo dosaženo teploty, kdy dochází k prudkému nárůstu tvorby oxidů a které se obvykle u ocelí a litin pohybuje kolo 600°C



Obr. 22 – 11 353 - 60 min. – 200x nelept.

Stanovené vzorce pro nedestruktivní měření tvrdosti (kapitola 3.4) $HB = 0,67M + 108$ pro oxidický povrchy a $HB = 0,68M + 109$ pro povrch broušený mají velkou míru přesnosti 96/93%.

12 Závěr

Provedená měření jednoznačně prokázala nárůst intenzity změny magnetického pole u zušlechtěných ocelí, u litiny, která byly žíhána, nebyl tento nárůst výraznějšího rázu.

Stanovit spolehlivé vzorce pro nedestruktivní měření tvrdosti zušlechtěných hřídelů z materiálu 41CrS4 se pomocí přístroje DOMENA B2 nepodařilo, v tomto ohledu by mohl být úspěšnější nově vyvíjený strukturuometr DOMENA II – PROMAG.

Většího úspěchu při stanovování vzorců bylo dosaženo u ojníc z materiálu 13 240, kde bylo dosaženo přesnosti 69 – 73 % i při nízkém rozptylu hodnot tvrdosti (28HB). Při rozšíření tohoto rozmezí lze očekávat i zlepšení přesnosti výsledků.

Vzorce stanovené pro měření tvrdosti litiny GJL - 550 vyžíhané na měkko pomocí strukturuometrů DOMENA 2, lze použít v praxi, magnetická strukturoskopie je tedy u litin použitelná i při žíhání do 700°C.

Použitá literatura:

- (1) Impulzivní magnetická kontrola struktury výrobků z oceli – Břetislav Skrbek - TU Liberec
- (2) Kreidl, M., Šmíd, R. Technická diagnostika. BEN – technická literatura Praha 2006, ISBN 80-7300-158-6
- (3) Doc. Ing. Rudolf Kremer, CSc., Ing. Karel Obroučka, CSc.; Ohřev kovů – STNL Praha 1974
- (4) Grus Milan; Vztah strukturně-mechanických a magnetických vlastností vybraných ocelí.
- (5) Doc. Ing. Břetislav Skrbek, Csc., Ing. Vladimír Nosek; Lokální magnetická strukturoskopie – vliv kvality povrchu na výsledku
- (6) Netáhlo, P. ; Měření metodou magnetického bodového pólu na tenkých stěnách ocelí a litin
- (7) Predikce mechanických vlastností materiálů na základě strukturních charakteristik; Sborník přednášek ze VII vědecké konference; MS VTS a DI OSD; ISBN 80-02-0140 1-4
- (8) Ing. Kreibich, CSC., RNDr. Karel Hoch; Koroze a technologie povrchových úprav; ČVUT Praha; ISBN 80-01-00476-7

Seznam příloh:

- 1) Tvrdosti vzorků 11 353 a 15020
- 2) Materiálové listy
- 3) Hodnoty hřídelů
- 4) Hodnoty měkkého hřídele
- 5) Hodnoty ojníc
- 6) Hodnoty držáků brzd
- 7) Metalografické výbrusy

Seznam příloh

- 1) Tvrdosti vzorků 11 353 a 15020
- 2) Materiálové listy
- 3) Hodnoty hřídelů
- 4) Hodnoty měkkého hřídele
- 5) Hodnoty ojnic
- 6) Hodnoty držáků brzd
- 7) Metalografické výbrusy

1) Tvrdosti trubkových vzorků 11 353 a 15020

11 353

čas [min]	1	2	3	Ø
0	136	135	138	136
10	140	135	138	138
30	139	128	135	134
45	137	129	133	133
60	130	138	137	135

15 020

čas [min]	1	2	3	Ø
0	155	146	164	155
10	148	148	153	150
30	154	157	157	156
45	154	162	152	156
60	152	160	154	155

2) Materiálové listy

11 353

ČSN 41 1353

STN 41 1353

Nelegovaná konstrukční ocel

na bezešvé trubky

OCEL

11 353

Chemické složení [hm. %]

C	P	S	P+S
max 0,18	max 0,050	max 0,050	max 0,090

Polotovary

[1] bezešvé trubky tvářené za tepla

[2] přesné bezešvé trubky tvářené za studena

Mechanické vlastnosti

Polotovary	[1]					
Rozměr t [mm]	≤12	12–25	25–36	≤12	12–15	25–36
Stav	. 0			. 1		
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min	245	235	226	235	226	216
Mez pevnosti R _m [MPa]	min 343			343–441		
Tažnost A ₅ [%] min	24			25		
Tvrdost HB max	–			135		
Modul pružnosti E [GPa]	206					
Polotovary	[2]					
Rozměr t [mm]	≤10			≤10		
Stav	. 0			. 1		
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min	0,8 · R _m			226		
Mez pevnosti R _m [MPa]	min 392			343–441		
Tažnost A ₅ [%] min	5			25		
Tvrdost HB max	–			135		
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min	100 °C		200 °C		300 °C	
za zvýšených teplot	186		167		137	

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Konduktivita
ρ [kg · m ⁻³]	c _p [J · kg ⁻¹ · K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ _t [W · m ⁻¹ · K ⁻¹]	λ _e [MS · m ⁻¹]
7 850	458	11,7 · 10 ⁶	52	5,9

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

normalizační žhání

900–930 °C

ochlazovat na vzduchu

SVAŘITELNOST						
podle ČSN 05 1310 při tloušťce stěny do 25 mm – zaručená nad 25 mm – zaručená podmíněná (doporučen předehřev 150–200 °C)						
doporučené přídavné materiály pro svařování:						
plamenem ručně		G 42 G 44				
el. obloukem ručně		E 44.71 E 44.72 E 44.83				
el. obloukem poloautomatem v CO ₂		P 44.23 C				
OBROBITELNOST		soustružení, hoblování			frézování, vrtání	
stav .0, .1		16b			15b	
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY					zkouška smáčknutím podle ČSN 42 0415.4 vzdálenost tlačných desek [mm] $H = \frac{1,09 D \cdot a}{0,09 \cdot D + a}$	
zkouška rozšiřováním (vrcholový úhel 45°) podle ČSN 42 0415.5						
d/D	0,9	0,8	0,7	0,6			0,5
$\frac{D_u - D}{D} \cdot 100$ [%]	10	12	14	16	20	
Použití						
Jednoúčelová ocel k výrobě bezešvých trubek. Vhodná na trubkové konstrukce staticky namáhaných součástí a na potrubí. Nelze použít na nosné části konstrukcí podle ČSN 73 1401 a ČSN 73 6205.						
Ostatní vlastnosti						
Druh oceli podle způsobu výroby		Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030	
uklidněná		žlutá – žlutá			002	
Porovnání se zahraničními materiály						
ISO		EURO			Německo	
–	–	–	–	St35 USt37	DIN 2391/2 DIN 1626	
Francie		Velká Británie			Rusko	
–	–	CFS3 360	BS 6323/4-82 BS 3602/1-87	10	GOST 8731-87	
USA		Japonsko			Kanada	
1020	ASTM A519-82	STKM12A	JIS G3445-88	–	–	
Itálie		Rakousko			Švédsko	
Fe360 Fe360 Fe360	UNI 8913-87 UNI 6403-86 UNI 7729-84	–	–	1233	SS 141233	
Polsko		Maďarsko			Norsko	
R35	PN H84024-75	–	–	12111	NS 12111	
Finsko		Švýcarsko			Španělsko	
–	–	–	–	–	–	
Austrálie		Rumunsko			–	
1020	AS 1442-92	OLT35	STAS 8183-80	–		

15 020

ČSN 41 5020				Žárupevná molybdenová ocel				OCEL								
STN 41 5020								15 020								
Chemické složení [hm. %]																
C		Mn		Si		Mo		Al		P		S				
0,12–0,20		0,50–0,80		0,15–0,37		0,25–0,35		max (0,015)		max 0,040		max 0,040				
Polotovary																
[1] bezešvé trubky						[4] výkovky										
[2] přesné bezešvé trubky						[5] tyče										
[3] tlusté plechy																
Mechanické vlastnosti																
Polotovary			[1]			[2]			[3]							
Rozměr t [mm]			tl. stěny do 36			tl. stěny do 12,5			< 16		16–40		40–60			
Stav			.1			.1			.1							
Mez kluzu R _s [MPa] min			270			285			275		265		265			
Mez pevnosti R _m [MPa]			450–600			450–600			440–590							
Tažnost A _g [%] min			podél 22			podél 22			napříč 24				napříč 23			
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min			podél 78 napříč 59			–			napříč 59							
Polotovary			[4]						[5]							
Rozměr t, d [mm]			< 250						< 40		> 40					
Stav			.5						.1							
Mez kluzu R _s [MPa] min			250						256		246					
Mez pevnosti R _m [MPa]			440–590						430–550							
Tažnost A _g [%] min			podél 17						18							
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min			59						49							
Tvrdost HB			–						120–170							
Modul pružnosti E [GPa] za zvýšených teplot			20 °C		100 °C		200 °C		300 °C		400 °C		500 °C		600 °C	
			211		204		196		186		177		164		127	
Mez kluzu R _s 0,2 [MPa] min za zvýšených teplot			200 °C		250 °C		300 °C		350 °C		400 °C		450 °C		500 °C	
Polotovary [1] [2]			255		235		206		186		177		167		147	
Polotovary [3]			245		226		196		177		167		157		137	
Polotovary [4] [5]			218		200		167		153		148		143		139	
Fyzikální vlastnosti																
Teplota [°C]			20		100		200		300		400		500		600	
Teplotní součinitel roztažnosti α [K ⁻¹] · 10 ⁻⁶			–		12,5		13,1		13,6		14,0		14,4		14,7	

Odolnost proti degradačním procesům

ODOLNOST PROTI TEČENÍ

Mez pevnosti při tečení v tahu R_{mT} [MPa] (střední hodnoty)

Teplota [°C]	460	480	500	520	540	550
$R_{mT}/10^4$	278	219	168	121	84	68
$R_{mT}/10^6$	204	149	103	67	(42)	(33)
$R_{mT}/2 \cdot 10^6$	184	131	87	55	(34)	–
$R_{mT}/2,5 \cdot 10^6$	179	125	82	52	(32)	–

ODOLNOST PROTI KOROZI

zvýšená odolnost proti korozi v prostředí vodní páry

Technologické údaje

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

normalizační žhání	900–940 °C	ochlazovat na vzduchu
popouštění	600–650 °C	
žhání ke snížení prnutí	580–630 °C	
teploty přeměn	$A_{C1} \sim 723$ °C	$A_{C3} \sim 840–880$ °C

TVAŘITELNOST

teploty tváření 1 100–850 °C

SVAŘITELNOST

podle ČSN 05 1310 zaručená podmíněná do tl. 25 mm bez předehřevu
nad tl. 40 mm předehřev na 150–200 °C

doporučené přídatné materiály pro svařování

el. obloukem ručně E Mo - 2 B dle ČSN 05 5051, E Mo - 2 K dle ČSN 05 5052, E Mo - 4 B dle ČSN 05 5053

OBROBITELNOST

stav .1 R_m max = 560 MPa

soustružení, hoblování

15b

frézování, vrtání

15b

TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

zkouška lánavosti podle ČSN 42 0401

úhel ohybu

$\alpha = 180^\circ$

$\varnothing$ trnu D = 3a

zkouška smáčkutím podle ČSN 42 0415.4

vzdálenost tlačných desek

$$H = \frac{1,08 \cdot D \cdot a}{0,08 \cdot D + a}$$

Použití

Žárupevná ocel, dobře tvárná za tepla i za studena, dobře obrobitelná, se zvýšenou odolností proti korozi v prostředí vodní páry. Vhodná pro energetické a chemické zařízení do 530 °C.

Ostatní vlastnosti

Druh oceli podle způsobu výroby	Barevné značení podle ČSN 42 0010	Třída odpadu podle ČSN 42 0030
martinská nebo kyslíková konvertorová	bilá – žlutá – zelená	051

41CrS4

WNr. (číslo materiálu) 1.7039		Cr-S ocel k zušlechťování		OCEL Kurzname (značka) 41CrS4	
Chemické složení [hm. %]					
C	Si	Mn	P	S	Cr
0,38–0,45	max 0,40	0,60–0,90	max 0,035	0,020–0,040	0,90–1,20
Normy DIN					
DIN EN 10083/1-98 – oceli k zušlechťování					
DIN 1652/4-90 – oceli k zušlechťování					
Mechanické vlastnosti					
Rozměr t, d [mm]	d ≤ 16; t ≤ 8		d = 17–40; t = 9–20	d = 41–100; t = 21–60	
Stav	zušlechťený				
Mez kluzu R_{yk} nebo $R_p 0,2$ [MPa] min	800		660	560	
Mez pevnosti R_m [MPa]	1 000–1 200		900–1 100	800–950	
Tažnost A [%] min	11		12	14	
Kontrakce Z [%] min	30		35	40	
Nárazová práce KV [J] min	30		35	35	
Rozměr t, d [mm]	–				
Stav	žháný na měkko				
Mez kluzu R_{yk} nebo $R_p 0,2$ [MPa] min	–				
Mez pevnosti R_m [MPa]	–				
Tažnost A [%] min	–				
Kontrakce Z [%] min	–				
Nárazová práce KV [J] min	–				
Tvrdost HB max	241				
Fyzikální vlastnosti					
Hustota ρ [kg . m ³] 7 850					
Technologické údaje					
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ					
normalizační žhání	840–880 °C	ochlazovat na vzduchu			
kalení)	820–860 °C	min 30 minut na teplotě, ochlazovat v oleji nebo ve vodě			
popouštění	540–680 °C	min 60 minut na teplotě			
prokalitelnost Jominy 1,5	53–61 HRC	(u oceli se zúženým pásem rozptylu 53–58 HRC, resp. 56–61 HRC)			
TVAŘITELNOST					
teploty tváření	1 050–850 °C				
OBROBITELNOST					
ocel se zlepšenou obrobitelností					

Použití					
Součásti pro vozidla a motory, jako hřídele, nápravy, součásti řízení, vhodná pro seriovou výrobu tliskovým obráběním.					
Ostatní vlastnosti					
způsob výroby: volí výrobce					
desoxidace: uklidněná					
Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Česká republika	
41CrS4	ISO 683/1	41CrS4	EN 10083/1-91	41CrS4	ČSN EN 10083/1-91
Francie		Velká Británie		Rusko	
42C4 u	NF A35-553-87	41CrS4	BS EN 10083/1-91	—	—
42C4 u	NF A35-552-86				
41CrS4	NF EN 10083/1-91				
USA		Japonsko		Kanada	
—	—	—	—	—	—
Itálie		Rakousko		Švédsko	
41CrS4	UNI EN 10083/1-91	41CrS4	ÖNORM EN 10083/1-91	41CrS4	SS EN 10083/1-91
Polsko		Maďarsko		Norsko	
—	—	Cr3 E	MSZ 61	41CrS4	NS EN 10083/1-91
Finsko		Švýcarsko		Španělsko	
41CrS4	SFS EN 10083/1-91	41CrS4	EN 10083/1-91	41CrS4	UNE EN 10083/1-91
Austrálie		Belgie		Bulharsko	
—	—	41CrS4	NBN EN 10083/1-91	—	—
Brazílie		Čína		Jugoslávie	
—	—	—	—	Č.4181	JUS C.B9.021-89
Rumunsko		—		—	
40Cr10S	STAS 791-88	—		—	
41CrS4	STAS EN 10083/1-91	—		—	
Poznámky					
1) teploty při spodní hranici přichází v úvahu pro kalení do vody, při horní hranici pro kalení do oleje					

13 240

ČSN 41 3240	Mn-Si ocel k zušlechťování	OCEL
STN 41 3240		13 240

Chemické složení [hm. %]

C	Mn	Si	P	S
0,33–0,41	1,10–1,40	1,10–1,40	max 0,035	max 0,035

Polotovary

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| [1] předvalky | [5] pásy válcované za tepla |
| [2] tyče válcované za tepla | [6] výkovky |
| [3] tenké plechy válcované za tepla | [7] dráty tažené za studena |
| [4] tlusté plechy válcované za tepla | [8] tyče tažené za studena |

Mechanické vlastnosti

Polotovar	[2] [6] [7] [8]	[2]	[2] [6]	[3] [4]
Rozměr t, d [mm]	–	40 ¹⁾	25 ¹⁾	1,0–10,0
Stav	.3	.6	.7	.3
Mez kluzu R_p nebo $R_{p0.2}$ [MPa] min	–	540	635	–
Mez pevnosti R_m [MPa]	–	780–930	880–1030	max 760
Tažnost A_5 [%] min	–	14	13	–
Kontrakce Z [%] min	–	45	45	–
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²]	–	49	39	–
Tvrdost HB	max 217	239–285	269–317	max 217
Modul pružnosti E [GPa]	206			
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	79			

Polotovar	[6]	[2]				
Rozměr t, d [mm]	≤ 300	≤ 16	16–40	40–100	100–240	
Stav	.6	.6				
Mez kluzu R_p nebo $R_{p0.2}$ [MPa] min	440	785	635	540	440	
Mez pevnosti R_m [MPa]	690–830	980–1180	880–1030	780–930	690–830	
Tažnost A_5 [%] podél min	13	11	12	14	15	
Kontrakce Z [%] min	–	35	40	45	50	
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ⁻²] min	podél 24,5	–				
Tvrdost HB	208–253	–				
Teplota [°C]	20	100	200	250	300	350 400
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	635	610	525	485	430	360 220
za zvýšených teplot	540	515	445	415	370	315 190

Fyzikální vlastnosti

Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Rezistivita
ρ [kg.m ⁻³]	c_p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ_s [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	ρ [Ω.m]
7 850	–	11,8.10 ⁻⁶	42	230.10 ⁻⁹

Odolnost proti degradačním procesům									
ODOLNOST PROTI UNAVĚ									
Mez únavy při napětí:									
R _m [MPa]	střídavém			mířivém			v ohybu za rotace (zkušební tyč)		
	ohyb	tah-tlak	krut	ohyb	tah	krut	hladká	vrub 2 mm	vrtání 2 mm
880	420	335	250	640	560	380	410	230	260
780	380	300	220	575	500	335	375	200	235
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
normalizační žhání	850–900°C			ochlazovat na vzduchu					
žhání na měkko	640–720°C			ochlazovat v peci					
kalení	820–850°C			ochlazovat ve vodě					
	840–890°C			ochlazovat v oleji					
popuštění	530–680°C			ochlazovat ve vodě, tvárově					
	530–670°C			složité součásti v oleji					
				ochlazovat na vzduchu					
teploty přeměn	A _{c1} ~ 740°C			A _{c3} ~ 810°C			M _s ~ 345°C		
tvrdost povrchově kalené vrstvy	D ≤ 40 mm			55 ± 2 HRC					
	41 < D ≤ 100 mm			53 ± 2 HRC					
optimální průměr zušlechtění	50mm (voda)			23 mm (olej)					
nejnižší doporučená teplota použití (R _m = 930 MPa) při namáhání – statickém –50°C									
– dynamickém –30°C (pro KCU2 min 34 J.cm ⁻²)									
TVAŘITELNOST									
třída tvářitelnosti za tepla 1	teploty tváření 1 150–800°C			pomalu ochlazovat					
OBROBITELNOST									
	soustružení			frézování			vrtání		
stav .3 HB ≤ 217	11b			11b			11b		
stav .6 HB ≤ 253	10b			10b			10b		
stav .6 HB ≤ 285	10b			9b			9b		
stav .6 HB ≤ 359	8b			8b			8b		
TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY									
zkouška lámavosti podle ČSN 420401									
pro polotovary [3] [4] úhel ohybu α = 90° Ø t _{mu} = 3a									
Použití									
Vhodná na středně namáhané strojní součásti a části silničních vozidel zvláště odolné proti opotřebení, např. hřídele, nápravy, čepy kol, ojnice, páky, třmeny, šroubová vřetena lisů, šrouby.									
Ostatní vlastnosti									
Druh oceli podle způsobu výroby				Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030		
–				fialová–žlutá–červená			001		

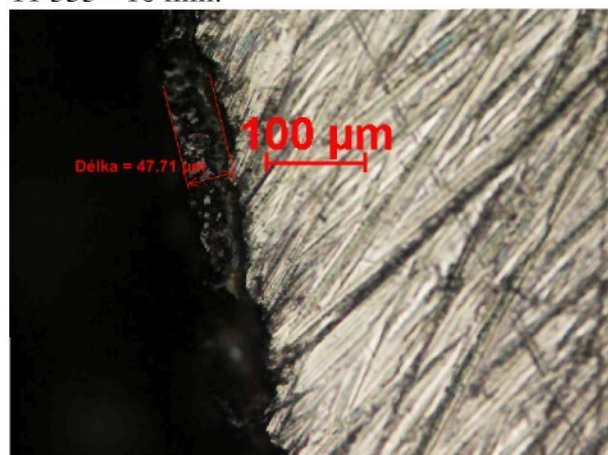
15 142

ČSN 41 5142		Cr–Mo ocel k zušlechťování				OCEL	
STN 41 5142		a povrchovému kalení				15 142	
Chemické složení [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
0,38–0,45	0,50–0,80	0,17–0,37	0,90–1,20	max 0,50	0,15–0,30	max 0,035	max 0,035
Polotovary							
[1] tyče válcované za tepla							
[2] výkovky							
Mechanické vlastnosti							
Polotovary	[1]						
Rozměr t, d [mm]	–	40 ¹⁾	≤ 16	16-40	40-100	100-160	
Stav	.3	.7					
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	–	765	883	765	637	559	
Mez pevnosti R _m [MPa]	–	981-1 177	1 079-1 275	981-1 177	883-1 079	785-932	
Tažnost A ₅ [%] min podél	–	11	10	11	12	13	
Kontrakce Z [%] min	–	45	40	45	50	55	
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ²] min	–	49	–				
Tvrdość HB	max 217	300-359	–	–	–	–	
Modul pružnosti E [GPa]	216						
Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	83						
Polotovary	[2]						
Rozměr t, d [mm]	≤ 250			250-500		≤ 250	
Stav	.6					.7	
Mez kluzu R _e nebo R _p 0,2 [MPa] min	539			490		569	
Mez pevnosti R _m [MPa] min	735			686		785	
Tažnost A ₅ [%] min	podél 14 tang. 11			podél 15 tang. 12		podél 13 tang. 11	
Vrubová houževnatost KCU 3 [J.cm ²] min	podél 39,2 tang. 34,3			podél 39,2 tang. 29,4		podél 34,3 tang. 29,4	
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] min při 300 °C	431			392		441	
Mez kluzu R _p 0,2 [MPa] za zvýš. teplot	20 °C	100 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
	765	740	690	650	610	540	455
	560	535	490	460	430	395	355
Fyzikální vlastnosti							
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Teplotní součinitel roztažnosti		Tepelná vodivost		Rezistivita	
ρ [kg.m ⁻³]	c _p [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	α [K ⁻¹]		λ _t [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		ρ [Ω.m]	
7 850	–	11,1.10 ⁻⁶		42		190.10 ⁻⁹	

Odolnost proti degradačním procesům									
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ									
Mez únavy [MPa]									
R _m [MPa]	při střídavém napětí			při mříjivém napětí			v ohybu za rotace (zkuš. tyč)		
	v ohybu	tah-tlak	v krutu	v ohybu	v tahu	v krutu	hladká	vrub 2 mm	vrtání 2 mm
1080	500	410	310	790	685	460	505	315	–
880	420	335	250	640	560	380	410	230	260
780	390	305	225	590	515	350	380	205	240
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
normalizační žhání				870-890 °C		ochlazovat na vzduchu			
kalení				840-880 °C		ochlazovat v oleji			
popouštění				540-680 °C		ochlazovat na vzduchu			
žhání na měkko				700-740 °C					
teploty přeměn				A _{c1} ≈ 750 °C		A _{c3} ≈ 780 °C		M _s ≈ 330 °C	
tvrdost povrchově kalené vrstvy pro				Ø ≤ 40 mm		56 ± 2 HRC		41-100 mm 54 ± 2 HRC	
optimální průměr pro zušlechťení				120 mm (voda)		90 mm (olej)			
TVARITELNOST									
teploty tváření				1 100–800 °C					
OBROBITELNOST				soustružení		frézování		vrtání	
stav .3		HB ≤ 214		12b		12b		12b	
stav zušl.		HB ≤ 269		11b		11b		11b	
stav zušl.		HB ≤ 331		10b		10b		10b	
stav zušl.		HB ≤ 385		9b		8b		8b	
nejnižší doporučená teplota použití									
při dynamickém namáhání R _m = 880-1 030 MPa				- 40 °C		(pro KCU 2 [J.cm ⁻²] min 44)			
R _m = 780-930 MPa				- 60 °C		(pro KCU 2 [J.cm ⁻²] min 39)			
při statickém namáhání R _m = 780-930 MPa				- 80 °C					
Použití									
Vhodná pro povrchové kalení. Užívá se na velmi namáhané strojní součásti a součásti silničních motorových vozidel, kde se požaduje při vysoké pevnosti i vyšší houževnatost, zejména hřídele a spojovací součásti.									
Ostatní vlastnosti									
Druh oceli podle způsobu výroby				Barevné značení podle ČSN 42 0010			Třída odpadu podle ČSN 42 0030		
martinská nebo elektroocel				bílá-hnědá-oranžová			048		

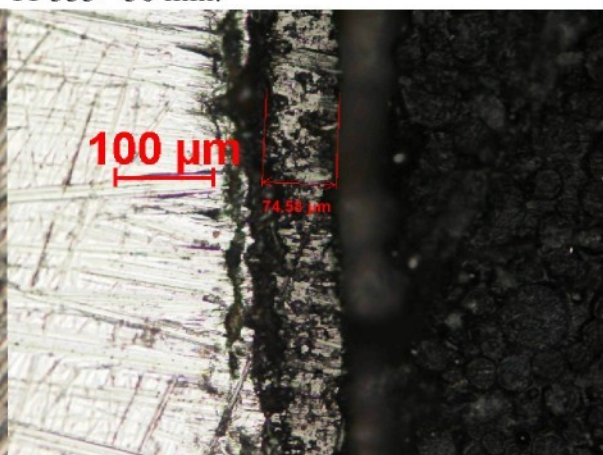
7) Metalografické výbrusy

11 353 - 10 min.



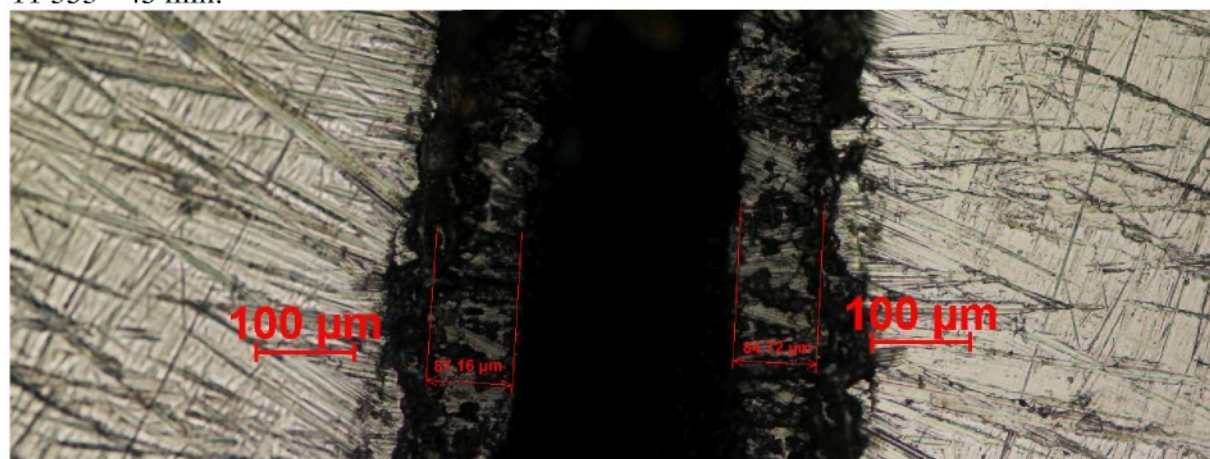
(200x, nelept.)

11 353 - 30 min.

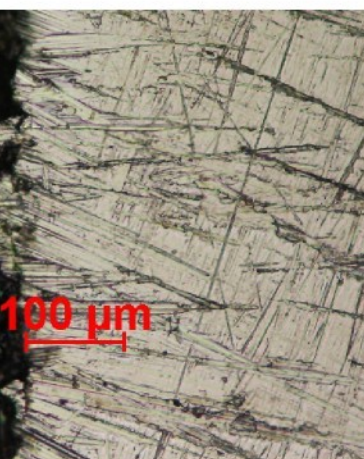


(200x, nelept.)

11 353 - 45 min.



(200x, nelept.)

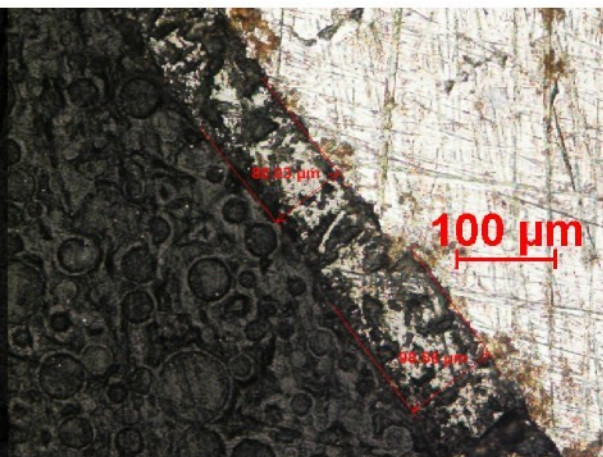


(200x, nelept.)

11 353 - 60 min.

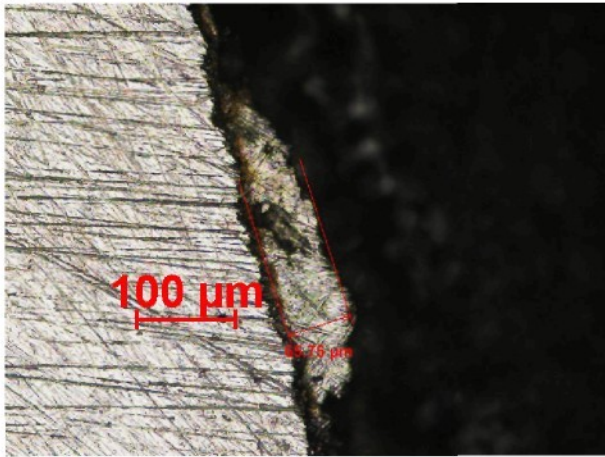


(200x, nelept.)



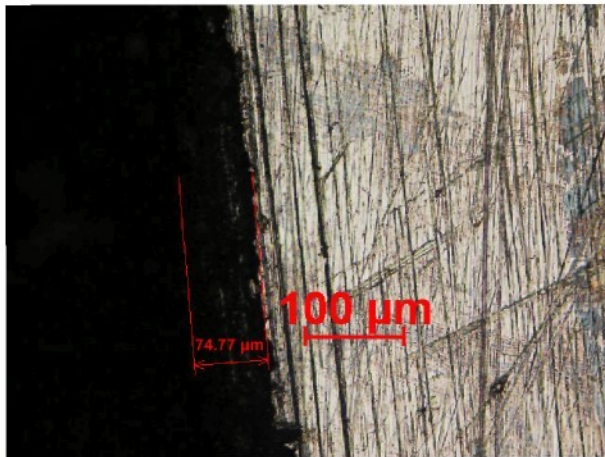
(200x, nelept.)

15 020 - 10 min.

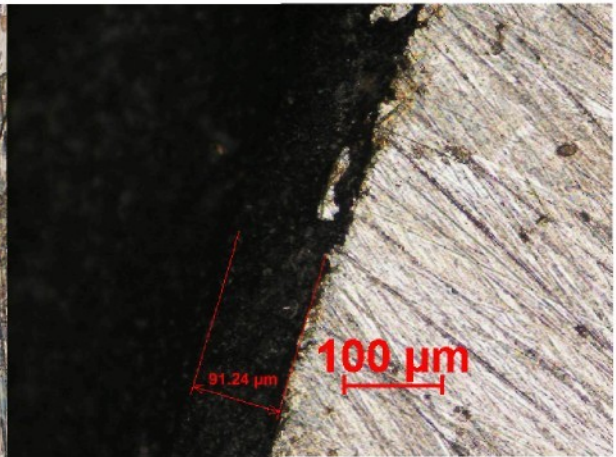


(200x, nelept.)

15 020 - 30 min.

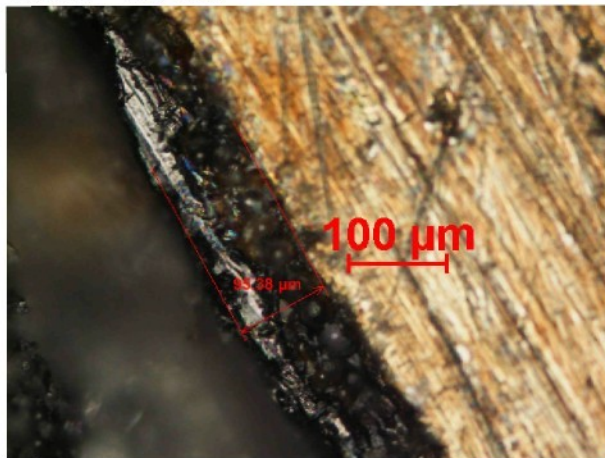


(200x, nelept.)



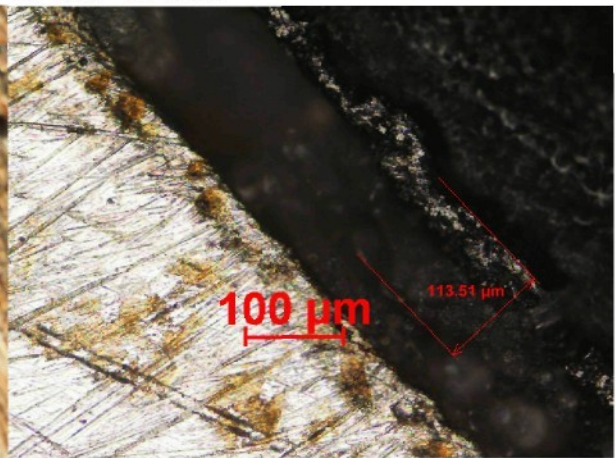
(200x, nelept.)

15 020 - 45 min.



(200x, nelept.)

15 020 - 60 min.



(200x, nelept.)