

Vyhodnocení charakteristik kalících olejů

Jiří Souček

KMT – 103

Vedoucí diplomové práce : Ing. Daniela Odehnalová, TU Liberec

Konzultant : Helena Dvořáková, Škoda auto a.s., Mladá Boleslav

Vlastimila Pospíšilová, Škoda auto a.s., Mladá Boleslav

Rozsah práce a příloh :

Počet stran :80

Počet příloh :17

Počet obrázků a grafů.....27

Počet tabulek :65

Počet výkresů :2

Počet modelů nebo jiných příloh :0

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Školní rok : 1997-98

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro

Jiřího SOUČKA

obor

Strojírenská technologie

zaměření

Tepelné zpracování a zkoušení materiálu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje diplomovou práci na téma :

Vyhodnocení charakteristik kalících olejů

Zásady pro vypracování :

1. Seznamte se s problematikou kalících olejů a zaměřte se na vliv vývoje par olejů na proces kalení.
2. Experimentálně proveďte vliv charakteristik dvou různých druhů olejů na vlastnosti materiálu po tepelném zpracování.
3. Výsledky vyhodnoťte a formulujte doporučení pro výrobní praxi.

Rozsah průvodní zprávy : cca 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

- [1] PETRÁŠ, L.V.: Kalicí prostředí pro tepelné zpracování kovů. SNTL Praha, 1962
- [2] PLUHAŘ, J. a kol.: Nauka o materiálech. SNTL Praha, 1989.
- [3] BURGDORF, E.H.: Nové postupy kalení a kalicí prostředky. Stuttgart, 1992.

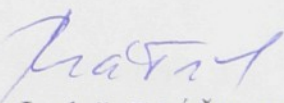
Vedoucí diplomové práce : Ing. Daniela ODEHNALOVÁ
Konzultant : Helena DVOŘÁKOVÁ - ŠKODA a.a.s. Ml. Boleslav
Vlastimila POSPÍŠILOVÁ - ŠKODA a.a.s. Ml. Boleslav

Termín zadání diplomové práce : 15.10.1997

Termín odevzdání diplomové práce : 29.05.1998


Ing. Petr LOUDA, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Ludvík PRÁŠIL CSc.
děkan

V Liberci dne 15.10.1997

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Obor : Tepelné zpracování a zkoušení materiálu
Diplomant : Jiří Souček
Téma práce : Vyhodnocení charakteristik kalících olejů
Číslo DP : 103
Vedoucí DP : Ing. Daniela Odehnalová
Konzultant : Helena Dvořáková, Škoda Auto a.s.
Vlastimila Pospíšilová, Škoda Auto a.s.

Tématem této diplomové práce bylo vyhodnocení charakteristik kalících olejů. Práce je rozdělena na dvě části.

V teoretické části jsem se nejprve zaměřil na způsoby chemicko – tepelného zpracování, kterých bylo užito při výrobě ozubených kol a hnacích hřídelů pro zhotovení převodovky do automobilu Škoda Felicia. Dále je práce soustředěna na problematiku olejů se zvláštním zřetelem na vliv vývoje par na proces kalení. V závěrečné fázi byly popsány nové postupy, kalící prostředky a jejich vzájemné srovnání.

V úvodu experimentální části popisují porovnávaná kalící média. Poté bylo provedeno vlastní vyhodnocení charakteristik kalících olejů a jejich vzájemné porovnání. V dalších kapitolách se zabývám proměřením hnacích hřídelů a ozubených kol. Pro vyhodnocení vlivu záměny ochlazovacího média na materiál jsem využil poznatků ze svého bakalářského projektu. Zde se chtělo dosáhnout snížení rozptylu tvrdostí na povrchu a v jádře. Ve struktuře ke snížení podílu feritu a bainitu. Zjištěné hodnoty byly diskutovány v diskusi výsledků.

Annotation

Topic this chartered work was documentation of characteristic of hardening oils. Work is divided into two parts.

In the theoretical part I'm interested in types chemical – thermal treatment, which was used at production dentate wheels and impulsive shafts for fabrication gear-box to motorcar pity Felicia. Work's also concentrated on the topic of oils with special respect to the influence of the creation of steam on process hardening medium, and their reciprocal comparison.

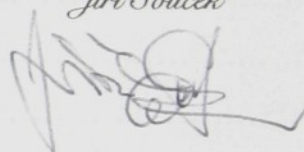
In introduction experimental parts describe collation hardening mediums. After it was done documentation of the characteristic of hardening oils and it's reciprocal comparison. In another chapter I'm interested in the measurement of the impulsive shafts and dentate wheels. For report of the influence of exchange refrigerating medium on material I used knowledge from bachelor project. I wanted to reach the smaller variance between the hardness of the grain and the hardness of the core in structure to reduce the concentration of ferrite and bainite. Ascertained results was discussed in the conclusion.

Poděkování

Úvodem bych chtěl poděkovat především svým rodičům za jejich finanční a hlavně morální pomoc, bez které bych tuto práci nemohl nyní předložit. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Daniele Odehnalové za odborné vedení, Heleně Dvořákové a Vlastimile Pospíšilové za cenné rady a připomínky. Nemohu zajisté ještě opomenout ing. Pavla Stolaře, CSc. z firmy Ecosond s.r.o. a ostatní pracovníky oddělení sériového plánování kalírny Škoda Auto a.s. za pomoc a umožnění vypracování předkládané diplomové práce.

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

Jirí Souček



OBSAH

Seznam použitých symbolů a zkratek.....	9
1. ÚVOD.....	10
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	12
2.1. Cementace.....	12
2.1.1. PODSTATA; VÝHODY A NEVÝHODY CEMENTACE.....	12
2.1.2. ZMĚNA TVARU A ROZMĚRŮ PŘI CEMENTACI.....	13
2.1.2.1. Povrchové a rozměrové vady.....	13
2.1.2.2. Deformace.....	13
2.1.2.3. Strukturní vady.....	13
2.1.3. TVRDOST CEMENTOVANÝCH VRSTEV.....	14
2.1.4. CEMENTAČNÍ ATMOSFÉRY.....	14
2.1. Nitrocementace.....	15
2.2.1. PODSTATA; VÝHODY A NEVÝHODY NITROCEMENTACE.....	15
2.2.2. ZMĚNA TVARU A ROZMĚRŮ.....	16
2.2.2.1. Deformace při ohřevu a během vlastní nitrocementace.....	16
2.2.2.2. Deformace při kalení.....	16
2.2.3. TVRDOST NITROCEMENTOVANÝCH VRSTEV.....	17
2.2.4. NITROCEMENTAČNÍ ATMOSFÉRY.....	17
2.3. Kalicí prostředí.....	18
2.3.1. OCHLAZOVÁNÍ V OLEJÍCH.....	18
2.3.2. VLIV POČÁTEČNÍ TEPLoty OLEJE.....	19
2.4. Vliv vývoje par na proces kalení.....	19
2.4.1. PROCES KALENÍ V PRAXI.....	19
2.4.2. OCHLAZOVACÍ KŘIVKY.....	20
2.5. Nové postupy kalení a kalicí prostředky.....	24
2.5.1. NOVÁ KALICÍ MÉDIA.....	24
2.5.1.1. Syntetické kalicí oleje.....	24
2.5.1.2. Kalicí média na bázi polymerů.....	25
2.5.2. NOVÉ POSTUPY KALENÍ.....	27
2.6. Kontrola procesů a jejich kvality.....	27
2.7. Problémy při kalení a jejich příčiny.....	28

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
3.1. Charakteristika a technická data kalících médií	30
3.2. Ochlazovací křivky	31
3.2.1. ÚVOD DO MĚŘENÍ	31
3.2.2. PRINCIP ZKOUŠKY	32
3.2.3. POPIS OCHLAZOVACÍ KŘIVKY	32
3.2.4. VLASTNÍ MĚŘENÍ	34
3.3. Durixol W 25	51
3.3.1. PROTOKOL PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.1 A č.4	52
3.3.2. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	52
3.3.2.1. Tvrdost na povrchu	52
3.3.2.2. Tvrdost v jádře	53
3.3.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ KALEMÉ VRSTVY	54
3.3.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR	54
3.3.5. DEFORMACE	55
3.4. Ol 46	56
3.4.1. PROTOKOL PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.2	56
3.4.2. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	57
3.4.2.1. Tvrdost na povrchu	57
3.4.2.2. Tvrdost v otvoru	57
3.4.2.3. Tvrdost v jádře	58
3.4.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ KALEMÉ VRSTVY	58
3.4.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR	58
3.5. Stejně podmínky nastavení pecí	59
3.5.1. PROTOKOL PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.1 A č.2	60
3.5.2. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY	61
3.5.2.1. Popis míst, která byla proměřena	61
3.5.2.2. Statistika naměřených hodnot	62
3.5.2.3. Výpočty pro celkovou statistiku	64
3.5.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ KALEMÉ VRSTVY	69
3.5.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR	69
4. DISKUSE VÝSLEDKŮ	72
5. ZÁVĚR	79
6. POUŽITÁ LITERATURA	80

Seznam použitých symbolů a zkratek

HV	[-].....Tvrdost dle Vickerse
HRC	[-].....Tvrdost dle Rockwella
v_1	[° C/s].....Rychlost ochlazování v údobí parního polštáře
v_2	[° C/s].....Rychlost ochlazování v údobí varu s vývinem bublin
v_3	[° C/s].....Rychlost ochlazování v údobí výměny tepla konvekci
t_1	[° C].....Rychlost ochlazování v údobí parního polštáře
t_2	[° C].....Rychlost ochlazování v údobí varu s vývinem bublin
t_3	[° C].....Rychlost ochlazování v údobí výměny tepla konvekci
C-potenciál	[-].....Uhlíkový potenciál
$a_1 \div e_1$	[-].....Označení vzorků olejů a hnacích hřídelů
$a_2 \div e_2$	[-].....Označení vzorků olejů a ozubených kol
$f_{H\beta}$	[mm].....Úhlová úchylka sklonu zubu
F_r	[mm].....Obvodové házení
Rb	[° C].....Rosný bod
R	[-].....Rozpětí
S	[-].....Směrodatná odchylka
D(n)	[-].....Charakteristická hodnota počtu měření
T	[-].....Testovací charakteristika
H	[-].....Testovací hypotéza

1. ÚVOD

Vzestup výroby a technický pokrok si vynucují hledat nové možnosti využití surovin, nahradit deficitní suroviny surovinami z domácích zdrojů; odhalit všechny skryté rezervy, vynalézat a uplatňovat různá zlepšení. To je úkol pro každého pracovníka vstupujícího do výroby. Veliké skryté rezervy máme u nás v nepřímých možnostech úspor správnou volbou způsobu tepelného zpracování. Největší vliv na jakost, vlastnosti a trvanlivost výrobků ve výrobním cyklu má právě tepelné zpracování. Při zpracování výchozího materiálu a polotovarů je tepelné zpracování důležitým činitelem pro zlepšení vlastností, jakosti surovin a polotovarů a pro zvýšení produktivity při dalším jejich zpracování. U hotových výrobků, které se v mnoha případech již tepelně nezpracovávají, má tepelné zpracování výrobku v polotovaru rozhodující vliv na vlastnosti hotového výrobku. Tepelné zpracování hotových výrobků má zvlášť velký význam, protože na něm závisí, zda požadavky kladené na jakost povrchu, na zachování rozměrů i tvarů, na dodržení mechanických vlastností budou splněny.

Při určování vhodného tepelného zpracování se vychází většinou z materiálu a z požadovaných vlastností tzn., že pro danou součást určíme nejvhodnější a nejehospodárnější způsob tepelného zpracování. Způsob tepelného zpracování nelze však určit teprve během výroby; musí být k němu přihlíženo již při návrhu konstrukce součásti a při volbě jejího materiálu tak, aby hotový výrobek vyhovoval co nejlépe provozním podmínkám.[4]

Ohřev oceli na požadovanou teplotu, výdrž na této teplotě a ochlazování určitou rychlostí má rozhodující vliv na tepelné zpracování. Požadovaných změn struktury a vlastností oceli se tedy dosáhne pomocí určitých změn teploty. Ohřev na předepsanou teplotu je základním úkonem při všech postupech tepelného zpracování. Po ohřevu následuje výdrž, která je důležitá k prohrátí celého průřezu. Zaručuje také, zda-li průběh příslušných reakcí bude v požadovaném rozsahu (vyrovnání chemického složení, rozpuštění karbidů apod.). Rozdíly teploty na povrchu a v jádře vyvolávají vnitřní pnutí, která mohou vést k deformacím nebo až ke vzniku trhlin. Aby se tomuto zabránilo, musí se přizpůsobit rychlost ohřevu velikosti průřezu, tvarové složitosti součásti, druhu oceli atd. [9]

Cílem této diplomové práce bylo ověřit vliv záměny kalicího média na kalení ozubených kol a hnacích hřídelů, které se používají pro výrobu převodovky pro automobil ŠKODA FELICIA. Uvedený experiment byl proveden za pomoci odborných konzultací pí.Dvořákové a pí.Pospíšilové z výrobní technologie závodu M2 v kalárně automobilového

koncernu ŠKODA AUTO a.s. Naměřené hodnoty a údaje pro metalografický rozbor byly provedeny v technologické a chemické laboratoři M2.

Hlavním cílem bylo prověřit vliv charakteristik dvou olejů na vlastnosti materiálu po tepelném zpracování. Jedním z nich byl stávající olej OL 46 naší produkce, který se používal již u typu ŠKODA FAVORIT. Druhým médiem byl zahraniční olej DURIXOL W 25 německé firmy Burgdorf. Tímto olejem chce firma ŠKODA AUTO a.s. nahradit stávající olej typu OL 46.

3.3.3. VÝSLEDKY A VÝHODY A NEVÝHODY CEMENTACE

Cementace je způsob chemicko-tepelného zpracování při kterém se do povrchové vrstvy oceli nasycuje uhlíkem. Cementace získává tvrdé vrstvy, které odlišují ocel od základoviny a zvyšují tvrdost a odolnost povrchu oceli. Je to velmi jednoduchý proces, který se provádí v peci s nasycenou atmosférou. Cementace umožňuje dosáhnout povrchové tvrdosti oceli, která odpovídá tvrdosti tvrdých ocelí, a zároveň zachovat vysokou pevnost a plasticitu oceli v jádru. Cementace se provádí v peci s nasycenou atmosférou, která obsahuje uhlík. Uhlík se nasycuje do povrchové vrstvy oceli a vytváří tvrdou vrstvu. Tato vrstva je odolná proti opotřebení a deformaci. Cementace se provádí v peci s nasycenou atmosférou, která obsahuje uhlík. Uhlík se nasycuje do povrchové vrstvy oceli a vytváří tvrdou vrstvu. Tato vrstva je odolná proti opotřebení a deformaci.

Cementace umožňuje dosáhnout povrchové tvrdosti oceli, která odpovídá tvrdosti tvrdých ocelí, a zároveň zachovat vysokou pevnost a plasticitu oceli v jádru. Cementace se provádí v peci s nasycenou atmosférou, která obsahuje uhlík. Uhlík se nasycuje do povrchové vrstvy oceli a vytváří tvrdou vrstvu. Tato vrstva je odolná proti opotřebení a deformaci.



3.3.3.1. Vliv teploty a času na tvrdost povrchu oceli po cementaci

Při cementaci v plynné prostředí se tvrdost povrchu oceli zvyšuje. Pro dosažení tvrdosti oceli se používá vysoce teploty, pro které je nutné použít speciální peci. Při cementaci v plynné prostředí se tvrdost povrchu oceli zvyšuje. Pro dosažení tvrdosti oceli se používá vysoce teploty, pro které je nutné použít speciální peci.

3.3.3.2. Vliv teploty a času na tvrdost povrchu oceli po cementaci

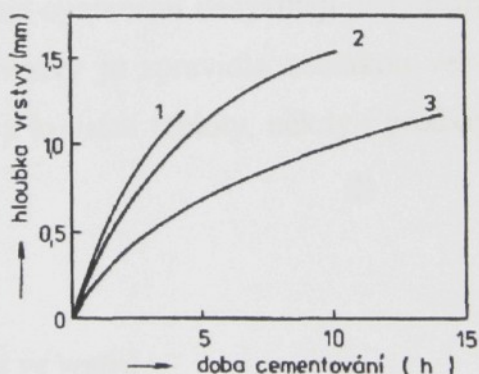
2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Cementace

2.1.1. PODSTATA; VÝHODY A NEVÝHODY CEMENTACE

Cementace je způsob chemicko-tepelného zpracování, při kterém se nauhličuje slabá povrchová vrstva. Cementací získáme tvrdé vrstvy, které odolávají dobře opotřebení a zvyšují únavovou pevnost součástí tím, že se zvýší poměr mezi hodnotou meze únavy a meze pevnosti. Cementujeme houževnaté oceli s nízkým obsahem uhlíku, obvykle tak dlouho, až obsah uhlíku v povrchové vrstvě dosáhne eutektoidní nebo v některých případech i nadeutektoidní koncentrace. Po skončení cementace je ocel kalena a popuštěna na nízkou teplotu, čímž je proces cementace ukončen a ocel získává požadované vlastnosti.

Ocel se cementuje různými způsoby. Dříve se využívalo sypkého prostředí, nyní se ale více používá prostředí plynné, hlavně z ekonomických důvodů. V nepoměrně menší míře se cementuje v prostředí kapalném. [11]



OBR. č.1 ZÁVISLOST HLOUBKY CEMENTOVANÉ VRSTVY NA DOBĚ CEMENTOVÁNÍ (PŘI 900° C) 1 – v lázni; 2 – v plynu; 3 – v prášku [9]

Při cementaci v plynném prostředí se teplota pohybuje obvykle v rozsahu 900 až 930° C. Pro uhlíkové oceli se používá vyšší teploty; pro oceli slitinové teploty nižší. Při cementaci v plynném prostředí je možné měnit nauhličovací potenciál atmosféry v dosti širokých mezích. To znamená, že nauhličovací schopnost atmosféry je možno udržet na dostatečné výši i při vysokých teplotách tím, že se zvýší poměrně snadno podíl aktivních složek atmosféry.

Poměrně vysokou teplotou a dlouhou dobou setrvání na teplotě při cementaci většinou značně hrubne zrno, čímž se mohou zhoršit mechanické vlastnosti. Nepříznivě na mechanické vlastnosti působí rovněž značná nehomogenita chemického složení v průřezu součástky, což má

za následek nepříznivě rozložené vnitřní napětí, které je dále zvětšováno nestejnými objemovými změnami povrchu a jádra součásti při ochlazování a zvláště pak po zakalení. [11]

2.1.2. ZMĚNA TVARU A ROZMĚRŮ PŘI CEMENTACI

➤ 2.1.2.1. Povrchové a rozměrové vady

a; Hrubý nebo zvlněný povrch

Hrubý nebo zvlněný povrch hladce obrobených součástí nasvědčuje tomu, že ocel při cementování zhrubla a že došlo i ke změnám objemu ve vrstvě. Ve struktuře velmi často zjišťujeme cementitové síťové nebo měkká místa. Vzniklou vadu lze napravit jen broušením.

b; Povrchové jizvy

Tyto vady jsou způsobeny nečistotami v cementačním prášku (sírou, nerozmíchanými alkáliemi), ale i stykem předmětu s elektrodou v kalicí lázni. Náprava je možná pouze odbroušením. [5]

➤ 2.1.2.2. Deformace

Kalení z příliš vysoké teploty, dvojnásobné nebo opakované kalení a hluboké cementování bývá příčinou nečekaně velkých deformací. Jinou příčinou může být i velké obrábění materiálu při výrobě, když se součásti mezi operacemi nevyžíhají pro odstranění vnitřního pnutí. Trhliny a odlupování nebo vydrolování vrstvy je zpravidla známkou velmi hrubých závad při vlastním cementování, velkého přehřátí a kolísání teploty, někdy i prudkého zakalení (do vody místo do oleje). [5]

➤ 2.1.2.3. Strukturní vady

a; Nesprávné rozdělení uhlíku ve vrstvě

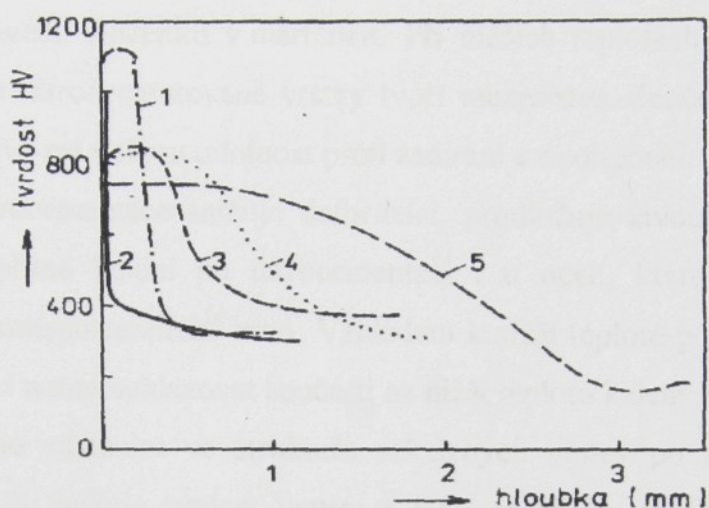
Ve správné cementační vrstvě má být přechod obsahu uhlíku od nadeutektoidního přes eutektoidní k podeutektoidnímu perlitu až ke směsi perlit-ferit a postupně až ke struktuře jádra plynulý. O prudkém nauhličení vlivem velkého difusního spádu uhlíku svědčí příliš ostrý přechod, spojený s vyloučením cementitu na povrchu. Náprava je možná pouze žiháním.

b; Volný cementit v cementační vrstvě

Jen tehdy, má-li volný cementit síťovou podobu, zhoršuje-li houževnatost vrstvy a může zavinit vydrolování nebo zvětšuje-li se při broušení % zmetků s brusnými trhlinami, musí se provést opatření k jeho zneškodnění. Účinným prostředkem je difuzní žihání. [5]

2.1.3. TVRDOST CEMENTOVANÝCH VRSTEV

Zbytkový austenit v cementační vrstvě zmenšuje tvrdost vrstvy, neboť mění její vlastnosti v opačném smyslu než cementit. Ani o zbytkovém austenitu nemůžeme říci, že by byl škodlivý. V některých případech je větší houževnatost vrstvy, způsobená zbytkovým austenitem právě vítána. Je tomu tak např. u ozubených kol, kde je měkčí a houževnatější vrstva vysoko legované cementační oceli, jež obsahuje zbytkový austenit, i při menší tvrdosti lépe zabíhává, takže chod je méně hlučný. [5]



OBR. č.2 TVRDOST A HLOUBKA POVRCHOVÉ VRSTVY :

1 – nitridované; 2 – karbonitridované; 3 – nitrocementované; 4 – cementované; 5 – povrchově kalené [9]

2.1.4. CEMENTAČNÍ ATMOSFÉRY

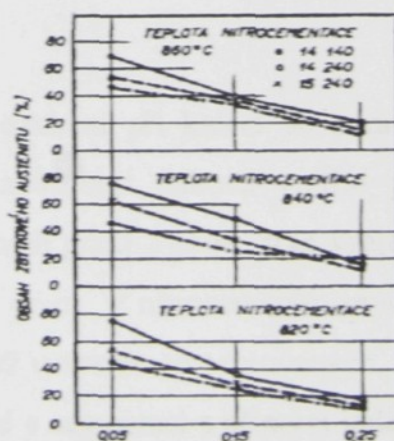
K výrobě atmosfér se používají obvykle plyny, které jsou bohaté na uhlovodíky, jako je např. metan CH_4 , propan C_3H_8 , butan C_4H_{10} , popř. zemní plyn nebo svítiplyn. Mohou to být i tuhé nebo kapalné látky, např. uhlík, minerální oleje, benzín, petrolej atd. Podle toho, jaké látky bohaté na uhlík jsou k dispozici, užívají se na výrobu cementačních atmosfér různá zařízení. Nejčastěji se setkáváme s použitím plynů, které jsou upraveny v endotermických generátorech. Nejvíce se rozšířily samostatně konstruované pecní jednotky pro cementování MONOCARB. Jsou konstruovány jako šachtové pece o různém vnitřním průměru uzavřené vzduchotěsně víkem. Do prostoru pece je vháněna čerpadlem kapalina (např. směs 40 % terpentinu, 30 % acetonu, 30 % lihu), která se po kapkách odpařuje na žhavé niklové destičce umístěné pod víkem. Vznikající cementační atmosféra se v prostoru pece udržuje v pohybu nucenou cirkulací a součástky vložené do pece se rovnoměrně nauhličují. [11]

2.2.1. PODSTATA; VÝHODY A NEVÝHODY NITROCEMENTACI

Při nitrocementaci dochází k nasycování povrchu oceli v plynné atmosféře uhlíkem a dusíkem. U většiny součástí je teplota nitrocementace vyšší než 800°C ; nejčastěji 840 až 860°C . Tyto vrstvy jsou v podstatě obdobné vrstvám cementovaným. Jejich požadovaných mechanických vlastností dosahujeme jejich ochlazením z nitrocementační teploty takovou rychlostí, aby nastala přeměna uhlíko-dusíkového austenitu v martenzit. Při nižších teplotách nitrocementace (kolem 700°C) se na povrchu nitrocementované vrstvy tvoří mezivrstva sloučenin železa s uhlíkem a dusíkem. Tato mezivrstva má velkou odolnost proti zadírání a opotřebení.

Nižší teplota nitrocementace snižuje deformaci, prodlužuje životnost pecních zařízení a především umožňuje přímé kalení po nitrocementaci i u ocelí, které nemají v podmínkách cementace zaručené jemné austenitické zrna. Vzhledem k nižší teplotě pochodu není při přímém kalení po nitrocementaci nutné ochlazovat součásti na nižší teplotu kalení.

Obsah zbytkového austenitu ve struktuře zakalených vrstev po nitrocementaci zvyšuje dusík. Zbytkový austenit snižuje tvrdost vrstvy a jeho obsah je omezen nejnižší přípustnou tvrdostí povrchu. Zbytkový austenit ve struktuře vrstvy zvyšuje také její plasticitu. S růstem plasticity vrstvy dochází ke zvýšení rázové houževnatosti a v menší míře také ke zvýšení pevnosti v ohybu nitrocementovaných ocelí, ale na druhé straně brzdí vznik únavových poruch způsobených únavou materiálu a zvyšuje únavovou pevnost součástí, u nichž jako chemicko-tepelného zpracování byla využita nitrocementace. Přítomnost dusíku v tuhém roztoku zvyšuje stabilitu podchlazeného austenitu. Nitrocementační vrstvy, mají proto vyšší prokalitelnost než vrstvy cementované. Vysoká prokalitelnost umožňuje kalit nitrocementované součásti z nelegované oceli do oleje. [10]



OBR. 3.3 ROZLOŽENÍ ZBYTKOVÉHO AUSTENITU VE VRSTVÁCH OCELÍ ČSN 14 140, 14 240 A 15 240, NITROCEMENTOVANÝCH PŘI TEPLITÁCH 820 , 840 A 860°C A KALENÝCH PŘÍMO DO OLEJE [10]

Nevýhody nitrocementace jsou ve srovnání s jejími přednostmi méně závažné. Patří k nim hlavně větší technologická náročnost pochodu, při kterém je nutné udržovat nahličovací i nitridační schopnost plynne atmosféry ve vhodných mezích. Za nevýhodu je možno považovat také to, že hloubka nitrocementovaných vrstev je omezena časovou závislostí rychlosti růstu prakticky na 0,7 až 0,8 mm. [10]

2.2.2. ZMĚNA TVARU A ROZMĚRŮ PŘI NITROCEMENTACI

Celkové deformace po nitrocementaci vznikají působením několika činitelů.

➤ 2.2.2.1. Deformace při ohřevu a během vlastní nitrocementace

K prvním deformacím dochází už při ohřevu. Velikost deformací závisí hlavně na tom, zda v materiálu byla vnitřní pnutí, která se za vyšších teplot uvolňují plastickou deformací. Tepelná a strukturní pnutí mají také určitý vliv na velikost deformace. Tato pnutí vznikají při ohřevu a při přeměně feriticko-perlitické hmoty v austenit. [10]

➤ 2.2.2.2. Deformace při kalení

Největší podíl deformací vzniká zpravidla při kalení. Deformace při kalení je účelné rozdělit na tvarové a rozměrové změny kol jako celku a na deformace ozubení.

a; Tvarové a rozměrové změny při kalení

U ocelí s martenzitickou strukturou v jádru a s nízkým obsahem uhlíku nastává vlivem austenitického ohřevu a kalení určité smrštění nejdelších rozměrů a smrštění otvorů a štěrbin. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se tyto rozměry naopak zvětšují. Největší tvarovou a rozměrovou stálost jádra mají oceli, které obsahují 0,23 až 0,24 % uhlíku. U ocelí s obsahem uhlíku větším než 0,3 % je vždy potřebné počítat s určitým sklonem k roztažení. [10]

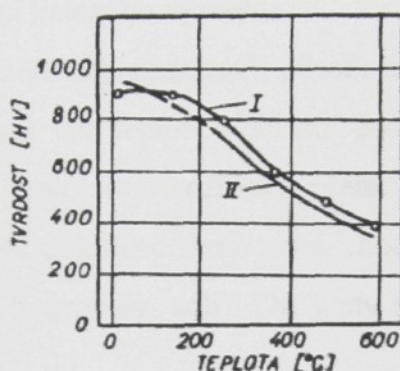
b; Deformace ozubení při kalení

Na celkových deformacích ozubení při kalení se podílí deformace jádra a deformační účinek vrstvy. Deformace jádra způsobují tlaková vnitřní pnutí. U symetrického tvaru se deformační účinek tlakových vnitřních pnutí z obou stran vzájemně ruší a deformace způsobená vrstvou závisí na nerovnoměrnosti pnutí. V nitrocementovaných vrstvách jsou nerovnoměrnosti tlakových vnitřních pnutí menší než u vrstev cementovaných. U většiny typů ozubených kol se nitrocementací dosáhne ve srovnání s cementací s přímým kalením zmenšení deformací o 30 až 50 %. [10]

2.2.3. TVRDOST NITROCEMENTOVANÝCH VRSTEV

Na tvrdost zakalených nitrocementačních vrstev je nutno uvažovat vliv dvou činitelů, tj. jednak aditivní účinek uhlíku a dusíku na tvrdost martenzitu, jednak účinek zbytkového austenitu. V povrchových oblastech, kde obsah uhlíku a dusíku je vyšší, má převažující účinek na tvrdost struktury vysoký obsah zbytkového austenitu. Vliv uhlíku a dusíku je zde druhořadý.

Obsah zbytkového austenitu je poměrně nízký v oblastech, která jsou více vzdálena od povrchu. V této oblasti zbytkový austenit významně nesnižuje tvrdost struktury. Obsah dusíku je však už v těchto oblastech nízký a tvrdost martenzitu je v podstatě určována jen obsahem uhlíku. Zbytkový austenit je proto hlavním činitelem, který ovlivňuje rozložení tvrdosti v zakalených nitrocementačních vrstvách.



OBR. č.4 ZÁVISLOST TVRDOSTI CEMENTOVANÉ A NITROCEMENTOVANÉ VRSTVY NA TEPLITĚ POPOUŠTĚNÍ

1 – cementovaná vrstva; 2 – nitrocementovaná vrstva [10]

Rengstorff, Bever a Floe [10] zjistili, že přítomnost dusíku v nitrocementovaných vrstvách se projevuje zpomalením poklesu tvrdosti s popouštěcí teplotou.

2.2.4. NITROCEMENTAČNÍ ATMOSFÉRY

Nitrocementační atmosféry lze rozdělit do tří skupin. Na atmosféry vyrobené smíšením nosné atmosféry s uhlovodíky a čpavkem, na atmosféry vyrobené z uhlovodíku a čpavku a na atmosféry z kapalin.

Atmosféry na základě nosné atmosféry s přídavkem uhlovodíků a čpavku jsou nejvýznamnějším typem nitrocementačních atmosfér. Jsou nejlevnější a je možné je vyrobit ve velkých objemech. Jejich nauhličovácí a nitridační účinek lze ovládat volbou různého přídavku uhlovodíku a čpavku. Používají se zejména ve větších zařízeních jako jsou průchozí a komorové pece. U těchto atmosfér je důležitým technologickým problémem kontrola a regulace nosné atmosféry. [10]

2.3. Kalicí prostředí

Při tepelném zpracování má správná volba kalicího prostředí rozhodující vliv na jakost výrobků. Pro oceli u nichž je kritická rychlost vysoká (uhlíkové oceli), se používá intenzivně působících prostředí, jako je voda nebo vodní roztoky. U ocelí u nichž je kritická rychlost nízká (legované oceli) postačí, když bude působit prostředí mírnější např. olej nebo vzduch. Na volbu kalicího prostředí má kromě oceli vliv také velikost a tvar výrobku, který chceme tepelně zpracovat. Prostor s větší ochlazovací intenzitou se u téže oceli použije v případě, kdy vzrůstá velikost průřezu. Příliš velká rychlost ochlazování není žádoucí. Mezi povrchem a jádrem vzniká během ochlazování velký rozdíl teplot, který je příčinou strukturních a tepelných pnutí vedoucích k deformaci, popř. k praskání kaleného výrobku.

Kalicím prostředím, které nejintenzivněji působí na tepelný pochod je voda. Její výhodou je vysoká ochlazovací účinnost za teplot v oblasti perlitické přeměny, nevýhodou je značná ochlazovací intenzita i za teplot martenzitické přeměny (vznik vnitřních pnutí). Ochlazovací účinek vody se zvýší pomocí cirkulace lázně nebo vhodnými přísadami, které zmenšují stabilitu parního polštáře (kyseliny, hydroxidy, soli). Do vody se kalí převážně výrobky z uhlíkových a nízkoalegovaných ocelí.

Ochlazování v oleji probíhá obdobně jako ve vodě převážně odpařováním. Vzhledem k tomu, že oleje mají oproti vodě větší viskozitu a malou měrnou tepelnou kapacitu je rychlost ochlazování značně nižší než ve vodě. Příznivá je zejména intenzita ochlazování v oblasti martenzitické přeměny, která je vůči vodě nižší. Důsledkem nižší intenzity ochlazování jsou menší vnitřní pnutí i u tvarově složitých součástí. Do oleje se kalí legované oceli.

Vysokolegované oceli s velmi nízkou kritickou rychlostí se dají zakalit ochlazováním na klidném vzduchu nebo v proudu vzduchu. Oceli kalitelné vzduchem jsou označovány jako samokalitelné a vzniklé deformace jsou u nich minimální. [9]

2.3.1. OCHLAZOVÁNÍ V OLEJÍCH

Široké používání olejů při kalení je možno vysvětlit zvláštnostmi jejich ochlazovací schopnosti, které podstatně snižují výskyt trhlin a deformací po kalení. Používá se rostlinných olejů, živočišných tuků, ale především olejů minerálních. V závislosti na způsobu získávání se ropné oleje rozdělují na destilační, zbytkové a smíšené.

Var olejů začíná při vyšších teplotách než var vody (asi o 150 až 300° C více). Současně s varem nastává rozklad olejů, a proto na výrobcích nevzniká parní polštář jako při ochlazování ve

vodě, nýbrž polštář páry a plynů. Polštář plynů a páry je v olejích stabilní při vyšších teplotách než ve vodě (450 až 700° C). Stabilita se ztrácí při teplotě 300 až 500° C. [8]

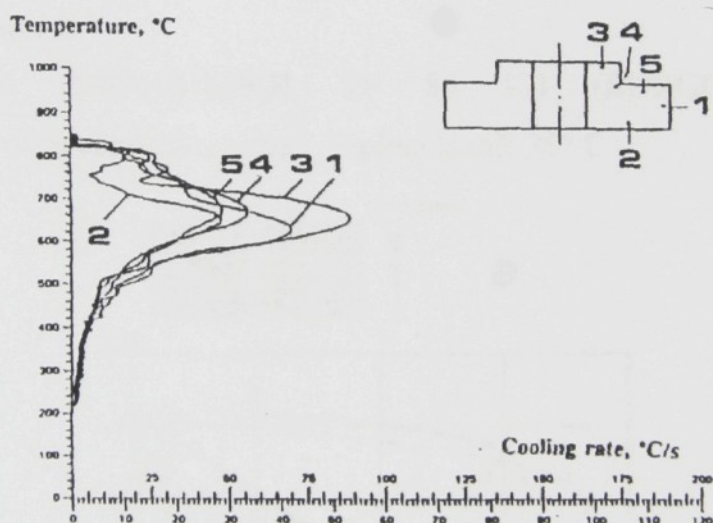
2.3.2. VLIV POČÁTEČNÍ TEPLoty OLEJE

Teplota oleje se většinou udržuje v rozmezí 20 až 60° C. Nižší teplota způsobuje značné zvýšení viskozity, snížení rovnoměrnosti ochlazování, a proto není žádoucí. Značným přehříváním oleje až do teplot 120 až 150° C vzrůstá nebezpečí vzplanutí. [8]

2.4. Vliv vývoje par na proces kalení

2.4.1. PROCES KALENÍ V PRAXI

V reálných podmínkách při kalení dílů nejrůznějšího tvaru a velikosti je proces ochlazování složitější než průběh ochlazování tepelné sondy v laboratorních podmínkách. Na povrchu součásti je ochlazovací rychlost nejvyšší, s narůstající hloubkou klesá. Naměřené hodnoty lze tedy bez velké chyby vztáhnout jen na malé díly. Ochlazovací rychlost i délka parního polštáře v částech kalené součásti závisí také na poloze, při které je v lázni kalen.



OBR. č.5 PRŮBĚH OCHLAZOVACÍ RYCHLOSTI

I když jednotlivé body, u kterých je na obrázku znázorněn průběh ochlazovací rychlosti, jsou přibližně ve stejné hloubce pod povrchem, hodnoty maximální ochlazovací rychlosti se liší až o 50 %. Určit reálný průběh kalení není tedy jednoduchý. [7]

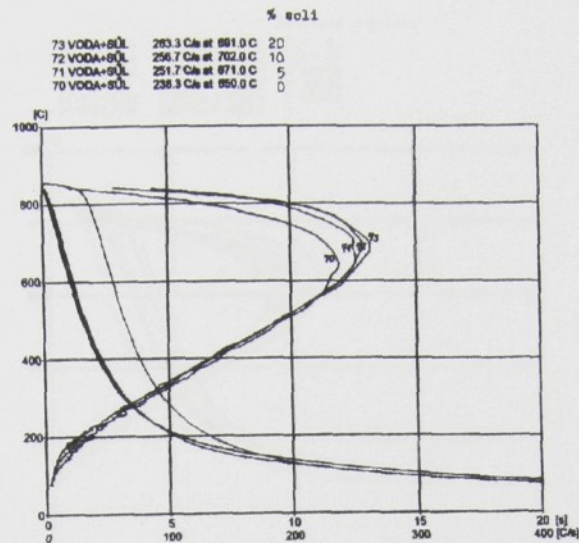
2.4.2. OCHLAZOVACÍ KŘIVKY

Ochlazovací křivky byly naměřené přístrojem IVF – QUENCHOTEST s inconelovou sondou průměru 12,5 mm a délky 60 mm. Hodnota ochlazovací rychlosti naměřená tímto přístrojem má nepřesnost 5 %.

a;Voda se soli

Podmínky: Běžná kuchyňská sůl (NaCl) v koncentracích 0,5,10,20 % (hmotnostní procenta).

Teplota lázně: 20° C

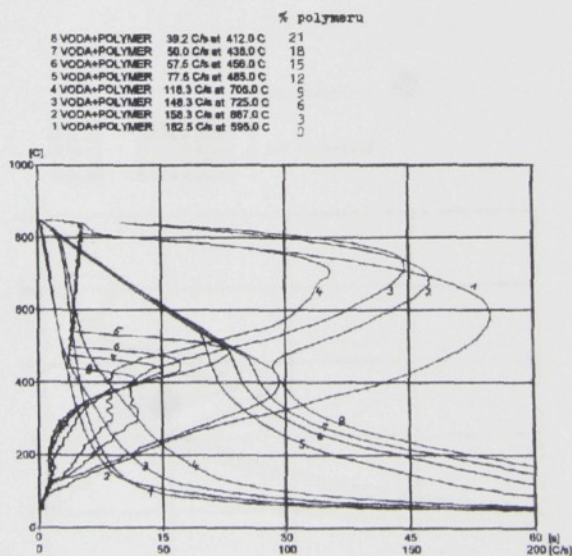


OBR. č.6 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY VODY S PŘÍDAVKEM SOLI

Přidavek soli zvyšuje ochlazovací rychlost vody,omezuje stabilitu parního polštáře (nepříliš výrazný parní polštář u čisté vody je při 5-ti % koncentraci zcela potlačen). [7]

b; Vodní roztok polymeru

Podmínky: Polymer POLYQUENCH VP 85 KB (BURGDORF) v koncentracích 0,3,6,9,12,15,18,21 % (objemová procenta). Teplota lázně: 30° C

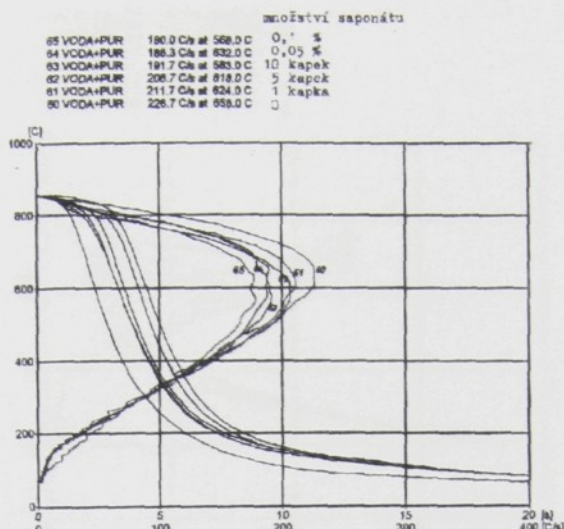


OBR. č.7 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY VODY S PŘÍDAVKEM POLYMERU

Maximální ochlazovací rychlost s rostoucí koncentrací výrazně klesá. Markantní nárůst parního polštáře při koncentraci 12 % polymeru je způsoben absencí víření při pokusech, na které jsou roztoky polymeru velmi citlivé (při nedostatečné cirkulaci dochází k potlačení varu). Lze předpokládat, že při dostatečné cirkulaci by maximální ochlazovací rychlost výrazně stoupla (o 50 až 100 % podle rychlosti víření) a období parního polštáře by se výrazně zkrátilo. [7]

c; Voda znečištěná saponátem

Podmínky: Mycí prostředek na nádobí PUR v množstvích: 1,5,10 kapek (v 800 ml vody); 0,4; 0,8 ml tj. 0,05 a 0,1 %. Teplota lázně: 20° C

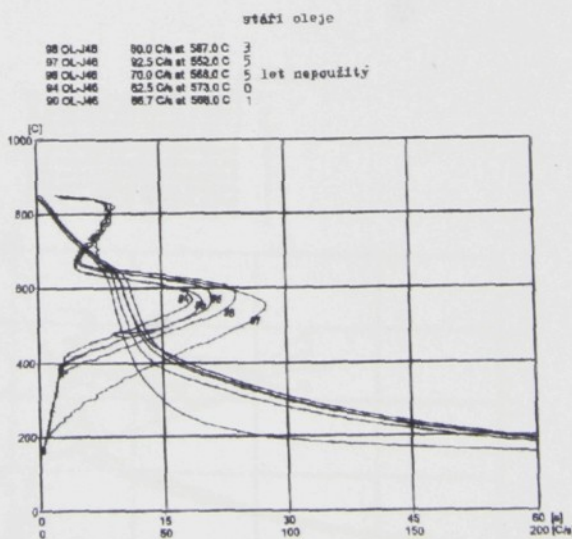


OBR. č.8 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY VODY ZNEČIŠTĚNÉ SAPONÁTEM

Průběhy ochlazovacích křivek prokazují nepříznivý vliv znečištění saponátem. Maximální ochlazovací rychlost klesá, parní polštář je stabilnější. [7]

d; Olej OL 46 v průběhu provozu

Podmínky: Teplota lázně: 60° C. Vzhledem k tomu, že údaje o stárnutí oleje u různých uživatelů jsou obtížně porovnatelné, bylo cílem měření spíše zjištění rozptylu ochlazovacích schopností vzorků z různých provozů.

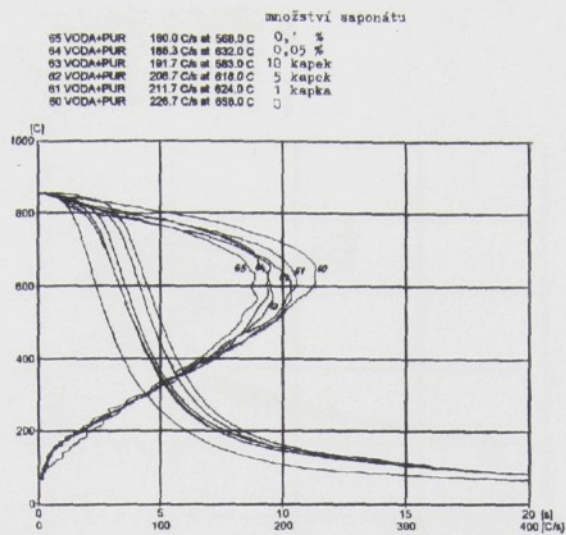


OBR. č.9 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY OLEJE OL 46 V PRŮBĚHU PROVOZU

Etalonovou křivkou je průběh ochlazovací rychlosti vzorku 94 (nepoužitý olej). Všechny ostatní vzorky vykazují zvýšení maximální ochlazovací rychlosti o různě velké diferencí. Délka parního polštáře zůstává přibližně stejná. [7]

c; *Voda znečištěná saponátem*

Podmínky: Mycí prostředek na nádobí PUR v množstvích: 1,5,10 kapek (v 800 ml vody); 0,4; 0,8 ml tj. 0,05 a 0,1 %. Teplota lázně: 20° C

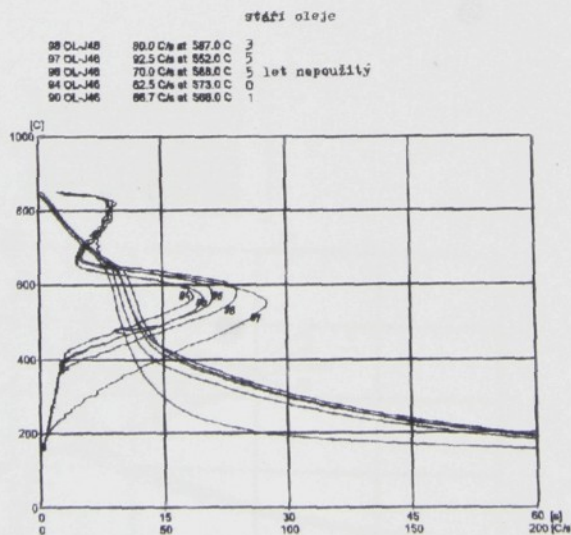


OBR. č.8 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY VODY ZNEČIŠTĚNÉ SAPONÁTEM

Průběhy ochlazovacích křivek prokazují nepříznivý vliv znečištění saponátem. Maximální ochlazovací rychlost klesá, parní polštář je stabilnější. [7]

d; *Olej OL 46 v průběhu provozu*

Podmínky: Teplota lázně: 60° C. Vzhledem k tomu, že údaje o stárnutí oleje u různých uživatelů jsou obtížně porovnatelné, bylo cílem měření spíše zjištění rozptylu ochlazovacích schopností vzorků z různých provozů.

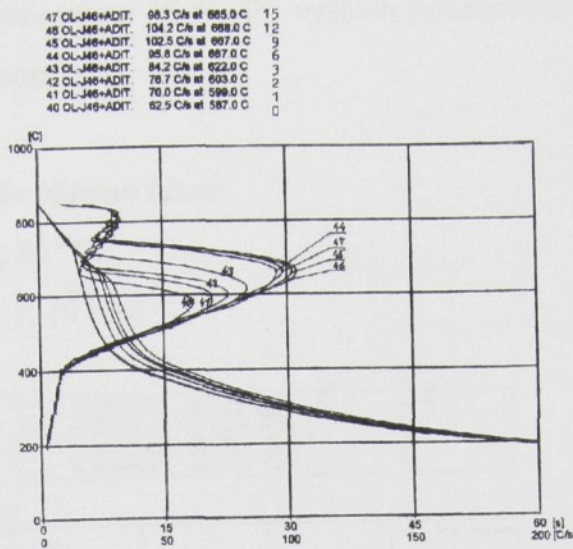


OBR. č.9 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY OLEJE OL 46 V PRŮBĚHU PROVOZU

Etalonovou křivkou je průběh ochlazovací rychlosti vzorku 94 (nepoužitý olej). Všechny ostatní vzorky vykazují zvýšení maximální ochlazovací rychlosti o různě velké diferenci. Délka parního polštáře zůstává přibližně stejná. [7]

e; Olej Ol 46 s přidavkem aditiva DURIXOL C

Podmínky: Koncentrace 0,1,2,3,6,9,12,15,18,21 % aditiva. Jde o objemová procenta, odměřená při teplotě 20° C. Teplota lázně: 80° C

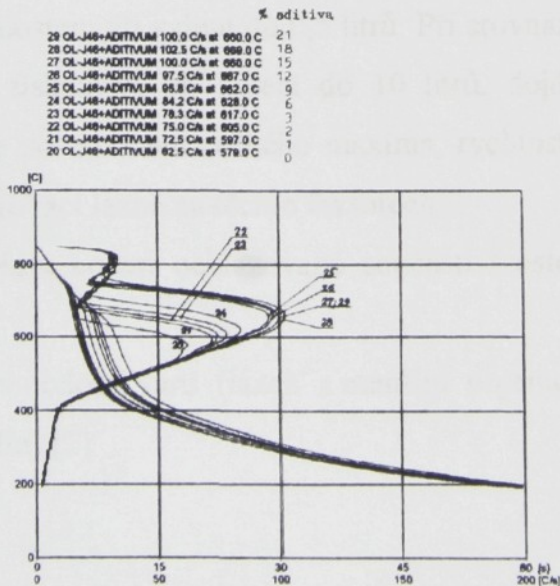


OBR. č.10 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY OLEJE OL 46 S PŘÍDAVKEM ADITIVA DURIXOL C

Období parního polštáře se od koncentrace 6 % zkracuje méně než na polovinu oproti neaditivovanému oleji. Maximální ochlazovací rychlost narůstá z 62 C/s (základní olej) na 104 C/s (při koncentraci 12 %). Hranicí účinnosti tohoto aditiva je koncentrace cca. 12 %. Při vyšších podílech již k dalšímu nárůstu kalících schopností nedochází, naopak hodnota maximální ochlazovací rychlosti mírně klesá. [7]

f; Olej OL 46 s přidavkem aditiva HARTEOLWIRKSTOFF W72H

Podmínky: neuvedeny



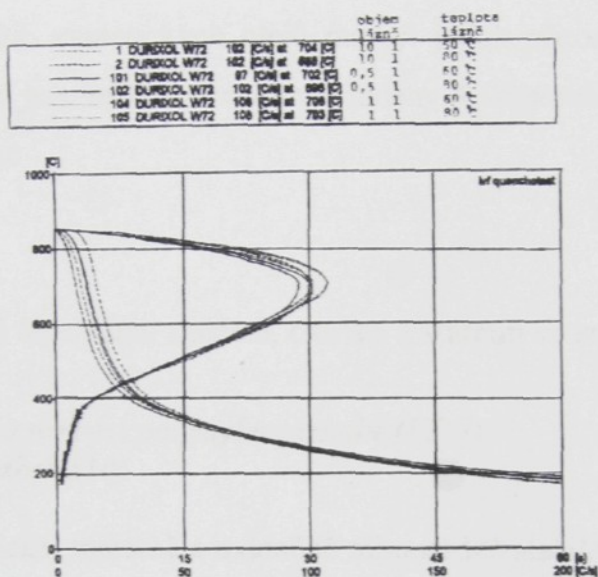
OBR. č.11 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY OLEJE OL 46 S PŘÍDAVKEM ADITIVA HARTEOLWIRKSTOFF W 72

Toto aditivum opět výrazně zlepšuje ochlazovací schopnosti základního oleje. Při koncentraci 9 % je období parního polštáře zkráceno na polovinu. K nárůstu maximální ochlazovací rychlosti dochází pomaleji než při použití aditiva DURIXOL C. Svého maxima dosáhne tento parametr při koncentraci 18 %. Při vyšších koncentracích opět dochází k mírnému zhoršení ochlazovacích vlastností. [7]

g; Olej DURIXOL W 72 – vliv objemu lázně

Podmínky: Teplota lázně: 60, 80° C

Objem lázně: 0,5; 1; 10 litrů



OBR. č.12 OCHLAZOVACÍ KŘIVKY OLEJE DURIXOL W 72 – VLIV OBJEMU LÁZNĚ

Jak je vidět na grafu, při ochlazování do objemu 1 litr oleje vykazují rychlosti při obou teplotách nárůst oproti rychlostem při kalení do 0,5 litrů. Při srovnání těchto ochlazovacích křivek s ochlazovacími křivkami získanými při kalení do 10 litrů, dojdeme k závěru, že při dalším zvyšování objemu lázně se po dosažení určitého maxima, rychlost ochlazování zmenšuje. Je to způsobeno závislostí ochlazovací lázně na těchto faktorech:

- dostatek chladného média kolem ochlazované součásti (roste se zvětšujícím se objemem lázně)
- samocirkulace média v období varu (lázeň s menším objemem snadněji cirkuluje vlivem turbulence parních bublin) [2]

2.5. Nové postupy kalení a kalicí prostředky

2.5.1. NOVÁ KALICÍ MÉDIA

➤ 2.5.1.1. Syntetické kalicí oleje

V dnešní době jsou již k dispozici vysokovýkonné minerální kalicí oleje použitelné téměř ve všech technologiích tepelného zpracování. Aplikace sahá od ocelí považovaných dříve za kalitelné do vody, např. cementační ocel 12 020 nebo ocel používaná ve šroubárenském průmyslu 12 122 až po vysokolegované nástrojové oceli. Životnost olejů je téměř neomezená a dosahuje 30 a více let. Vývoj a použití syntetických olejů má při jejich přirozeně výrazně vyšších cenách smysl pouze tehdy, pokud jsou na kalicí médium kladeny další nároky jako např.

- fyziologická nezávadnost
- ekologická neškodnost
- snadná omyvatelnost
- ještě vyšší odolnost proti tepelnému zatížení, oxidaci a stárnutí ve srovnání s minerál. oleji.[1]

a; Syntetická kalicí média na bázi polyetylenglykolu (PEG) (Synabol 240, Synabol 310)

Jsou to plně syntetické, teplotně a oxidačně mimořádně stabilní vysokovýkonné kalicí oleje skýtající následující výhody:

- vysokou odolnost proti tvorbě páry současně při nízké viskozitě
- nízkou spotřebu kalicího média
- ochlazovací schopnost ovlivnitelnou teplotou lázně
- použitelnost v otevřených lázních do teploty 160 až 180° C
- dobrou biologickou odbouratelnost (látky nepatří mezi substance ohrožující vodní zdroje).

Oba produkty jsou vodou rozpustné a lze je omývat čistou vodou. Syntetické kalicí oleje na bázi PEG se hodí pro velmi zatěžované lázně, např. pro šachtové pece, kalení do teplého oleje součástí citlivých na deformace v otevřené lázni.

Nevýhodou kalicích olejů na bázi PEG je ve srovnání s minerálními oleji kromě vysoké ceny rovněž skutečnost, že jsou hyroskopické. Z toho důvodu se provozují při teplotách lázně vyšších než 100° C, aby ochlazovací schopnost nebyla ovlivněna vlhkostí naabsorbovanou ze vzduchu.

PEG kalicí oleje tvoří s oplachovou vodou roztok a nedají se oddělit odlučovači oleje. [1]

b; Syntetické oleje na bázi esterů

Syntetické oleje na bázi esterů:

- jsou extrémně odolné proti stárnutí i odpařování a jsou současně velmi tekuté

- mají minimální ztráty v důsledku odpařování a výnosu
- nechají se snadno oprat
- zakalí intenzivně a rovnoměrně i velmi hustě uspořádané vsázky nebo nasypané malé díly
- mají příznivé vlastnosti z hlediska fyziologického působení (v čerstvém stavu neobsahují aromatické či polycyklické sloučeniny).
- jsou biologicky snadno odbouratelné a nepatří mezi látky ohrožující vodní zdroje.

Cena kalících olejů na bázi esterů je významně vyšší než cena oleje minerálního. [4]

➤ 2.5.1.2. Kalící média na bázi polymerů

Při vývoji nových kalících prostředků na bázi polymerů jsou sledovány zejména tyto cíle:

- ochlazovací schopnost se blíží oleji
- příznivé fyziologické účinky kalících roztoků i jejich par
- dlouhá životnost, snadná likvidace
- nízké náklady

a; Kalící polymery na bázi polyalkylenglykolu (PAG)

Konvenční kalící polymery na bázi (PAG) se používají převážně při indukčním kalení a při kalení plamenem, ale také při kalení v lázni, např. při kalení po cementaci a zušlechťování ve velkosériové výrobě v průběžných pecích. Kalící účinnost je možné nastavit pomocí použité koncentrace v rozmezí mezi olejem a vodou.

Při vývoji nových produktů jako je např. SERVISCOL 98 a OSMANIL BF bylo těžiště zejména v minimalizaci zatížení pracoviště a životního prostředí při dodržení vynikajících vlastností z hlediska kalení.

Nové kalící prostředky:

- neobsahují formaldehydové nebo fenolické konzervační prostředky
- jsou stabilní při kalení a nevyvíjejí kouř
- zajišťují účinnou ochranu proti korozi a proti napadení barevných kovů [1]

b; Modifikované kalící prostředky na bázi PAG

Konvenční PAG kalící polymery se používají převážně pro nelegované a nízkolegované oceli. Pro vysoko legované materiály musí být použity koncentrace 15 a více %, aby se zabránilo tvorbě kalících trhlin. Pro tyto aplikace byl vyvinut výrazně mírnější kalící polymer POLYQUENCH 500D mající následující výhody:

- snížení koncentrace roztoku na polovinu ve srovnání s konvenčním PAG roztokem
- minimalizace zbytků na povrchu součásti, minimální lepivost, malé množství vznikajícího kouře při popouštění

- při použití vyšších koncentrací vhodný i pro tvarově složité součásti
- snížení nákladů na cca 40 až 50 %. [1]

c; Kalicí polymery na bázi polyvinylpyrolidonu (PVP)

Kalicí prostředky na bázi PVP jsou používány vzhledem ke své nízké ochlazovací schopnosti blížící se oleji zejména pro kalení a zušlechťování vysokolegovaných ocelí jako přímá náhrada oleje. Zatímco POLYQUENCH VP85K byl z počátku používán pro zušlechťování výkovků v průběžných pecích nebo pro kalení z teploty tváření, používá se v současné době stále více při kalení vsázek v otevřených kalících lázních, zejména u vysokolegovaných nástrojových ocelí a citlivých litin.

Ve srovnání s kalicími oleji poskytuje tyto výhody:

- kalicí lázeň je nehořlavá a ani při kalení velkých vsázek nevznikají plameny, saze či kouř
- ochlazovací schopnost cca. 20 % roztoku odpovídá přibližně ochlazovací schopnosti mírného kalicího oleje
- kalené vsázky je možné vyjímat z kalicího roztoku před vyrovnáním teplot a bezprostředně popouštět, aby se zabránilo tvorbě trhlin u kritických součástí nebo materiálů
- čisté náklady na kalicí prostředek jsou přibližně poloviční ve srovnání s olejem.

Nevýhodou je jako u všech kalících polymerů větší nárok na sledování, kontrolu a péči o lázeň. [1]

d; Kalicí polymery na bázi akrylátů (ACR)

Polymerní kalicí prostředky na bázi akrylátů (ACR) mají kalicí charakteristiky podobné oleji, což umožňuje zpracování širokého rozsahu legovaných ocelí a materiálů s vyšší zakalitelností. ACR upravují konvenční třístupňový proces kalení vytvářením vysoce viskózních na polymer bohatých vrstev okolo komponent, které jsou obzvláště efektivní ve snižování kalicí rychlosti během konvekční fáze. Používají se při koncentracích 15-25 %, přičemž poskytují kalicí charakteristiky velmi podobné kalicím olejům s normální rychlostí. Se zvyšující se teplotou ACR se prodlužuje fáze odpařování a snižuje maximální rychlost ochlazování. Se zvyšující se intenzitou míchání dochází ke zkracování fáze odpařování a k zvýšení maximální rychlosti ochlazování. [16]

e; Kalicí polymery na bázi polyetyloxazolinu (PEO)

Produkty založené na PEO mají do největší míry kalicí charakteristiky nejvíce podobné oleji tzn., že se používají v širokém rozsahu aplikací – od indukčního kalení ocelí a litiny po vanové kalení vysoce kalitelných ocelových odlitků a výkovků. Polymery PEO se mohou použít v širokém rozsahu koncentrací mezi 5-25 % v závislosti na aplikaci. Mají nejméně stabilní

odpařovací fázi ze všech polymerových kalících prostředků, což je obzvláště důležité během indukčního kalení a při kalení s nízkou kalitelností. Při koncentracích 15-25 % je rychlost ochlazování téměř identická s oleji. To rozšiřuje rozsah aplikací na kritické vysoce legované oceli. Odpařovací stupeň se však u produktů PEO snadno přeruší a zcela zmizí s turbulentním mícháním. To je obzvláště důležité při kalení materiálů s nízkou kalitelností. [16]

2.5.2. NOVÉ POSTUPY KALENÍ

Pec a kalící lázeň bývaly v minulosti prostorově odděleny. U většiny moderních zařízení pro tepelné zpracování jsou pec a lázeň integrovány do jedné plynostěné skříně. Výrobci zařízení musí zaručit kompletní výsledek tepelného zpracování a jsou proto nuceni věnovat větší pozornost než dříve i periferiím kalící pece, tj. např. pračkám a kalícím lázním.

S cílem dosáhnout optimální a rovnoměrnou tvrdost pro každý kalený výrobek, minimalizovat deformaci při kalení a snížit či zcela odstranit náročnost praní kaleného výrobku před a po tepelném zpracování a redukovat celkové náklady byly vyvinuty následující postupy kalení:

- řízený oběh lázně
- oscilace(pohyb nahoru a dolů) těsně uspořádaných vsázek v kalícím médiu
- reverzační pás u pásových kalících pecí za účelem řízení doby ochlazování
- systémy trysek zaměřených na vynášecí pás z kalící lázně pásové pece
- zaplavování ze zdroje pro kalení dílů ve velkých sériích
- zlepšení kalení přetlakem plynu ve vakuových pecích dosahujících ochlazovacích účinků podobných oleji použitím vysokých tlaků (20 bar a výše) a speciálních plynů, např. vodíku nebo hélia.

Jako zvláštní postup kalení je v této souvislosti zmínit Wunningem, vyvinuté kalení plynem v poli trysek, kterým se dosahuje téměř bezdeformační kalení rotačně symetrických dílů. Tato technologie se nabízí zejména pro tepelné zpracování ve výrobních linkách. [1]

2.6. *Kontrola procesu a jeho kvality*

Jako nejúčinnější a nejvhodnější prostředek pro snížení nákladů při kalení se prosazuje stále častěji sledování lázně. Kontrolní měření nezbytná při procesu zajišťování kvality mohou být prováděna přímo v podniku nebo dodavateli oleje.

Při kontrole kalících médií je třeba upozornit zejména na přímé měření ochlazovací schopnosti podle ISO 9950. Pro zkoušení a kontrolu kalícího účinku jsou v celosvětovém měřítku používány dva komerčně dostupné přístroje pracující pomocí této metody:

IVF QUENCHOTEST a QUENCHALYZER.

Pro měření koeficientu přestupu tepla různých kalících prostředků byla nedávno představena SOMMEREM FEM-ALFA SONDA pracující ve spojení s výpočetní metodou konečných prvků. Metoda umožňuje určení faktoru intenzity ochlazování H pro jednotlivá ochlazovací média za konkrétních podmínek použití (teplota lázně, víření). Do této doby musel být faktor intenzity ochlazování H, používaný v moderních zařízeních pro tepelné zpracování k předpovědi výsledků kalení, odhadován a výsledky dodatečně korigovány. [1]

S podobným cílem jsou v Hartereinstitutut Bremen prováděny pokusy se sondou umožňující on line měření koeficientu přestupu tepla při kalení.

Firmou AICHELIN vyvinutý přístroj ALPHAALARM neměří na rozdíl od předchozího případu hodnotu koeficientu α , ale je používán ke sledování funkce kalící lázně a signalizuje např. výpadek víření lázně.

Pro solné lázně byl vyvinut firmou Leybold Durferrit speciální postup, při kterém se měří kalící lázeň a ta je porovnávána s požadovanou hodnotou a regulována přidavkem vody do lázně. [1]

2.7. Problémy při kalení a jejich příčiny

KALÍCÍ OLEJE		POLYMERNÍ KALÍCÍ MÉDIA	
<i>Příčina</i>	<i>Nápravná akce</i>	<i>Příčina</i>	<i>Nápravná akce</i>
OHEŇ		PĚNĚNÍ	
Nemožnost ponořit vsázku		Strhávání vzduchu	Zkontrolovat na
Zhroucení vsázky	Zajistit pečlivé		vzduchové netěsnosti
Selhání el. Zdvíhadla	Zajistit řízený při poruše bezpečný sjížděcí systém na základě gravitace		Kavitace čerpadla
			Tvoření vírů oběžným kolem
Nízká hladina oleje	Kontrola na netěsnosti a doplňování podle potřeby	Kontaminace	Identifikace,eliminace zdroje
		Objem lázně příliš malý	Zvýšit hladinu kapaliny
Přehřátí oleje		KOROZE	
Neúčinný chladič	Kontrolovat činnost chladiče	Ochuzení o inhibitory koroze	Přidat příslušný inhibitor koroze
Nevhodná cirkulace	Problémy s čerpadlem	Nekompatibilita materiálu	Posoudit návrh systému
	Blokovaná potrubí		
Nedop. objem lázně	Nízký objem oleje	Koncentrace polymeru příliš nízká	Zvýšit koncentraci
	Zvýšit velikost nádrže		
DEFORMACE A PRASKLINY		DEFORMACE A PRASKLINY	
Nestejněměrné míchání	Kontrola činnosti čerpadel a oběžných	Koncentrace příliš	Zvýšit koncentraci
		Teplota lázně příliš	Zvýšit teplotu
Oxidace oleje	Zkontrolovat stav olejového filtru nebo jej vyměnit	Teplota lázně příliš vysoká (PAG nebo PEO)	Zajistit, že teplota je pod teplotou inverzní rozpustnosti

KALÍČÍ OLEJE		POLYMERNÍ KALÍČÍ MÉDIA	
<i>Příčina</i>	<i>Nápravná akce</i>	<i>Příčina</i>	<i>Nápravná akce</i>
DEFORMACE A PRASKLINY		DEFORMACE A PRASKLINY	
Nesprávné kalíčí médium	Uvažovat o nasazení pomalejší kalíčí rychlosti nebo technik termálního kalení	Nestejněměrné míchání	Zkontrolovat činnost čerpadel nebo oběžných kol
Teplota lázně příliš	Zvýšit teplotu	Degradace polymeru	Zkontrolovat stav polymeru; dle potřeby vyměnit
Konstrukce komponenty	Minimalizovat změny tloušťky průřezu a vyhnout se ostrým rohům a místům zvyšujícím namáhání	Nesprávný typ polymeru	Vybrat alternativní produkt
		Přítomnost povrchových defektů nebo koncentrátorů	Eliminovat vady
Oduhličení	Zkontrolovat atmosféru pece	Nevhodné aplikace	Uvažovat o alternativním kalíčím médiu
Přehřátí pece	Zkontrolovat termočlánky a přístrojové vybavení		
NEODPOVÍDAJÍCÍ TVRDOT NEBO MECHANICKÉ VLASTNOSTI		NEODPOVÍDAJÍCÍ TVRDOT NEBO MECHANICKÉ VLASTNOSTI	
Nevhodné kalíčí médium	Uvažovat o použití rychlejších olejů nebo vodních kalíčích	Koncentrace příliš	Zvýšit koncentraci
		Teplota lázně příliš	Snížit teplotu
Nízká teplota oleje	Zvýšit teplotu	Zbytkový austenit	Kontrola podmínek nauhličování
Nedostatečné míchání	Kontrola účinnosti systému, systém podle potřeby modifikovat		Uvažovat o ochlazení pod bod mrazu a znovupopouštění
Austenitická teplota je příliš nízká	Kontrola termočlánků a přístrojového vybavení		Uvažovat o vícenásobném
	Zvýšení teploty pece	Oduhličení	Kontrola atmosféry
Nedostatečná doba ponoření	Prodloužení doby ponoření	Nedostatečné míchání	Zkontrolovat činnost čerpadel nebo
Oduhličení	Kontrola atmosféry		Zkontrolovat konstrukci kalíčí
Zbytkový austenit	Kontrola podmínek nauhličování	Austenitická teplota je příliš nízká	Kontrola termočlánků a přístrojového
	Uvažovat o ochlazení pod bod mrazu a znovupopouštění	Pěnění	Zvýšení teploty pece
	Uvažovat o vícenásobném		viz. nápravné akce podrobně popsané ve statí PĚNĚNÍ
VYSOKÉ VYNÁŠENÍ		VYSOKÉ VYNÁŠENÍ	
Těžce oxidovaný olej	Olej ošetřit nebo	Povrchová teplota komponenty příliš	Ponechat déle v kalíčí lázni
Uspořádání komponenty	Zlepšit upevnění a odtoky		
Nedostatečné odkapávání	Prodloužení doby odkapávání	Koncentrace polymeru příliš vysoká pro	Snížit koncentraci

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experiment bylo využito 10 hnacích hřídelů z materiálu 14 220 (dle DIN 16 Mn Cr) a ozubených kol z materiálu 14 140 (dle DIN 37 Cr 4) druhé rychlosti, které se používají ke zhotovení převodovky do automobilu Škoda Felicia. Výrobky byly tepelně zpracovány v průběžných pecích č.1, 2 a 4 v kalírně M 2 automobilového koncernu Škoda Auto a.s. U pecí č.1 a 4 (hnací hřídele – cementace) bylo jako kalícího média použito oleje Durixol W 25. U pece č.2 (ozubená kola - nitrocementace) bylo využito oleje OL 46, který je používán ve stávající technologii.

V obou případech došlo během výroby časovou posloupností cca. jednoho měsíce vždy k odběru vzorků olejů za účelem vyhodnocení ochlazovacích charakteristik a k zjištění rozptylu maximální ochlazovací rychlosti. Dále bylo provedeno vyhodnocení ochlazovacích charakteristik porovnávaných olejů z hlediska závislosti na teplotě ochlazovací lázně a z hlediska závislosti na přítomnosti vody.

3.1. Charakteristika a technická data kalících médií

Olej **DURIXOL W 25** jehož výrobcem je německá firma Burgdorf, je vysokovýkonný minerální olej s vysokým odpařovacím procesem a velkou tepelnou stabilitou. U tohoto oleje nevznikají během výroby žádné nebezpečné produkty ani reakce. Může se používat nejen do otevřených koupelí, ale i pro rychlé kalení v uzavřených zařízeních pecí pro dosažení optimálního a rovnoměrnějšího kalícího účinku. [13]

Technické údaje – DURIXOL W 25 :

Hustota při 20° C.....	0,879 gml ⁻¹
Viskozita při 20°C.....	141,3 mm ² s ⁻¹
Viskozita při 40°C.....	46 mm ² s ⁻¹
Viskozita při 50°C.....	36,6 mm ² s ⁻¹
Bod vzplanutí.....	228° C

OL 46 je naší produkce. Patří mezi oleje ložiskové (OL 46) rafinované, které obsahují antioxidační přísadu a mají předepsanou oxidační stálost. Jsou určeny pro dlouhodobé náplně mazacích soustav strojů pracujících v krytých (temperovaných) prostorách. OL 46 se používá pro ložiska větších elektromotorů, ventilátorů apod., dlouhodobé mazací soustavy obráběcích strojů, nenáročné hydrauliky lisů, klikové mechanismy pístových strojů aj.; k přípravě kalících lázní. [15]

Technické údaje – Ol 46 :

Viskozita při 40°C.....	41,4 až 50,6 mm ² s ⁻¹
Bod tuhnutí.....	-4° C
Bod vzplanutí.....	190° C
Obsah pryskyřic.....	1,2 % hmotnosti
Anilinový bod.....	45 až 85° C

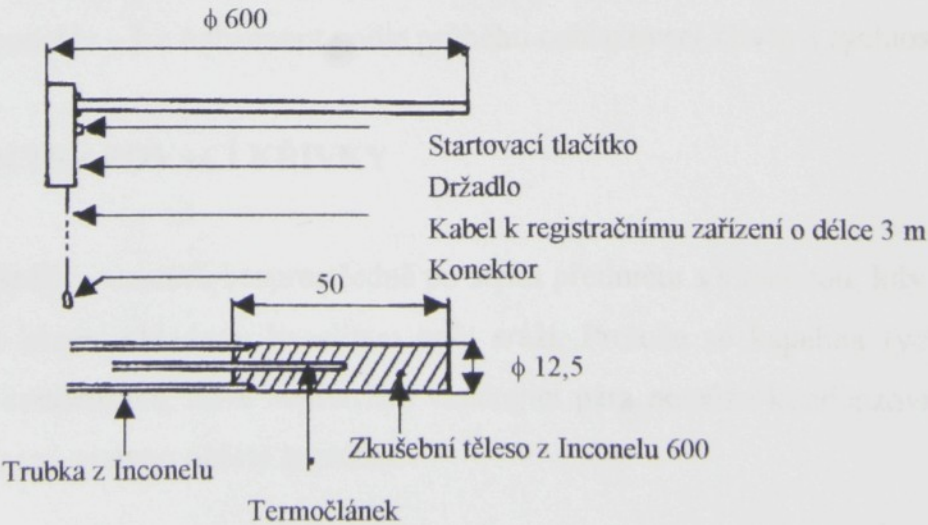
3.2. Ochlazovací křivky

3.2.1. ÚVOD DO MĚŘENÍ

a; Zkušební tělísko

Pro vlastní vyhodnocení chování kalícího média je možné využít různých metod, jejichž výsledky jsou navzájem obtížně srovnatelné. Z tohoto důvodu bylo pro výzkum kalících médií v roce 1983 vyvinuto zkušební tělísko a v roce 1995 byla norma ISO 9950 “určení ochlazovacích charakteristik – pomocí sondy z niklové slitiny” vyhlášena. Zkušební tělísko je z materiálu INCONEL 600 s rozměry 12,5 × 60 mm. Jeho chemické složení je následující :

62÷69 % Ni; 3÷4 % Mn; 1,25 % Si a 0,15 % C.



OBR. č. 13 SCHEMA ZKUŠEBNÍHO TĚLÍSKA

b; Zkušební přístroj

K měření jsem používal přístroj IVF QUENCHOTEST, jehož výrobcem je IVF Institut for Verkstadstechnik Forskninng Göteborg. Tento přístroj má tyto možnosti :

- je to přenosný přístroj tzn., že je možné ho použít v laboratoři i v kalírně
- je schopen digitálně zaznamenávat měřené hodnoty
- umožňuje zobrazení křivek teplota/čas a křivek teplota/rychlost ochlazení
- ukládá do paměti až 50 charakteristik
- je schopen zpracovat data pomocí PC

Naměřené hodnoty jsem zpracovával pomocí programu IVF QUENCHOTEST.

3.2.2. PRINCIP ZKOUŠKY

Při pokusu se zkušební tělísko ohřeje v peci na počáteční teplotu (v mém případě činila vždy 850°C). Tato teplota je měřena vestavěným termočlánkem typu K (NiCr/NiAl) o ϕ 1,5 mm, jehož teplý spoj je izolován.

Jestliže zkušební tělísko dosáhlo teploty cca. 855°C (lze ji sledovat na displeji) začneme měření. A to tak, že stiskneme startovací tlačítko, přičemž zkušební tělísko ponoříme do pozorovaného média. Protože doba přenosu mezi pecí a kalící lázní může být případ od případu různá užíváme jako počáteční teploty 855°C a nikoliv mezinárodní normou uváděných 850°C . Vyšší nastavení teploty zaručuje, že zkušební tělísko má při ponoření do kalícího média nejméně teplotu 850°C . Během ochlazování je teplota průběžně sledována registračním zařízením a měřené hodnoty digitálně uloženy. Doba měření byla vždy nastavena na 1 minutu.

Ochlazovací schopnosti charakterizují dvě křivky :

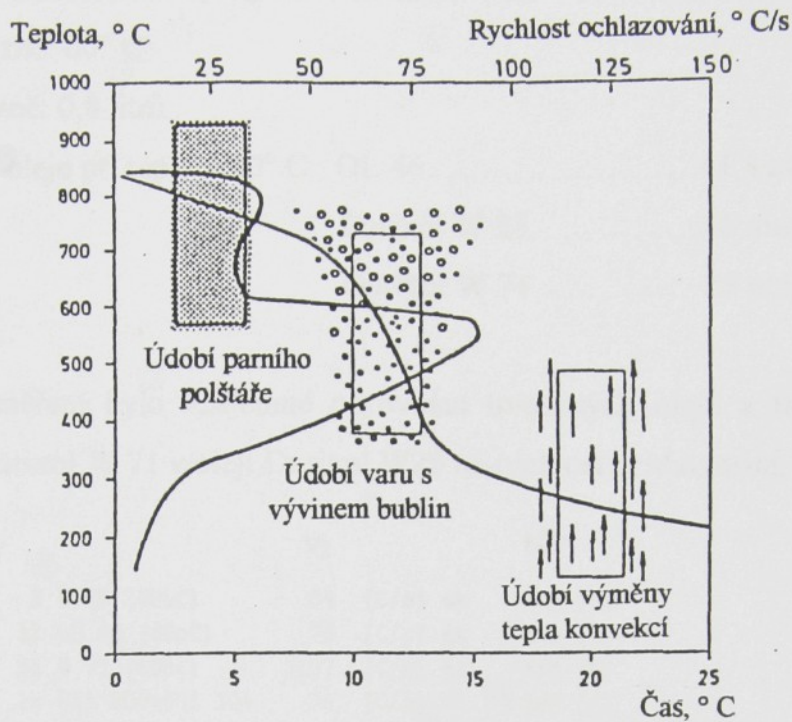
- Ochlazovací křivka – závislost teploty sondy na čase
- Průběh ochlazovací rychlosti v čase tj. derivace ochlazovací křivky [$^{\circ}\text{C/s}$]

Další kritéria hodnocení ochlazovací křivky :

- Maximální ochlazovací rychlost [$^{\circ}\text{C/s}$] a teplota při níž bylo této rychlosti dosaženo
- Údobí parního polštáře – lze odhadnout podle průběhu ochlazovací křivky i rychlosti

➤ 3.2.3. POPIS OCHLAZOVACÍ KŘIVKY

Údobí parního polštáře – nastává bezprostředně po styku předmětu s kapalinou, kdy se její část mění v páru a poté okolní chladnou kapalinou opět sráží. Protože se kapalina rychle ohřívá, zpomaluje se další kondenzace, nová nepřetržitě vznikající pára nemůže kondenzovat a vytváří parní polštář, obklopený vrstvou ohřáté kapaliny.



OBR. č.14 SCHEMA OCHLAZOVACÍ KŘIVKY

Údobí varu s vývinem bublin – začíná při úplném porušení parního polštáře, které nastává při ochlazení povrchu na kritickou teplotu. Toto údobí se vyznačuje nejrychlejším odváděním tepla, kdy kapalina smáčí kovový povrch a je s ním v přímém styku a také tvorbou bublinek. Rychlost odvádění tepla závisí nejvíce na teplotě vypařování ochlazující kapaliny, ale také na bublinkách páry a na charakteru výměny tepla s kapalinou.

Údobí výměny tepla konvekční – nastává při poklesu teploty ochlazovaného povrchu pod bod varu kapaliny. Rychlost odvádění tepla je v tomto údobí poměrně malá a je v podstatě určena hodnotou tepelného obsahu, hustotou a tepelnou vodivostí kapaliny a rozdílem teplot mezi povrchem a kapalinou. Velký vliv má také rychlost cirkulace kapaliny. [8]

3.2.4. VLASTNÍ MĚŘENÍ

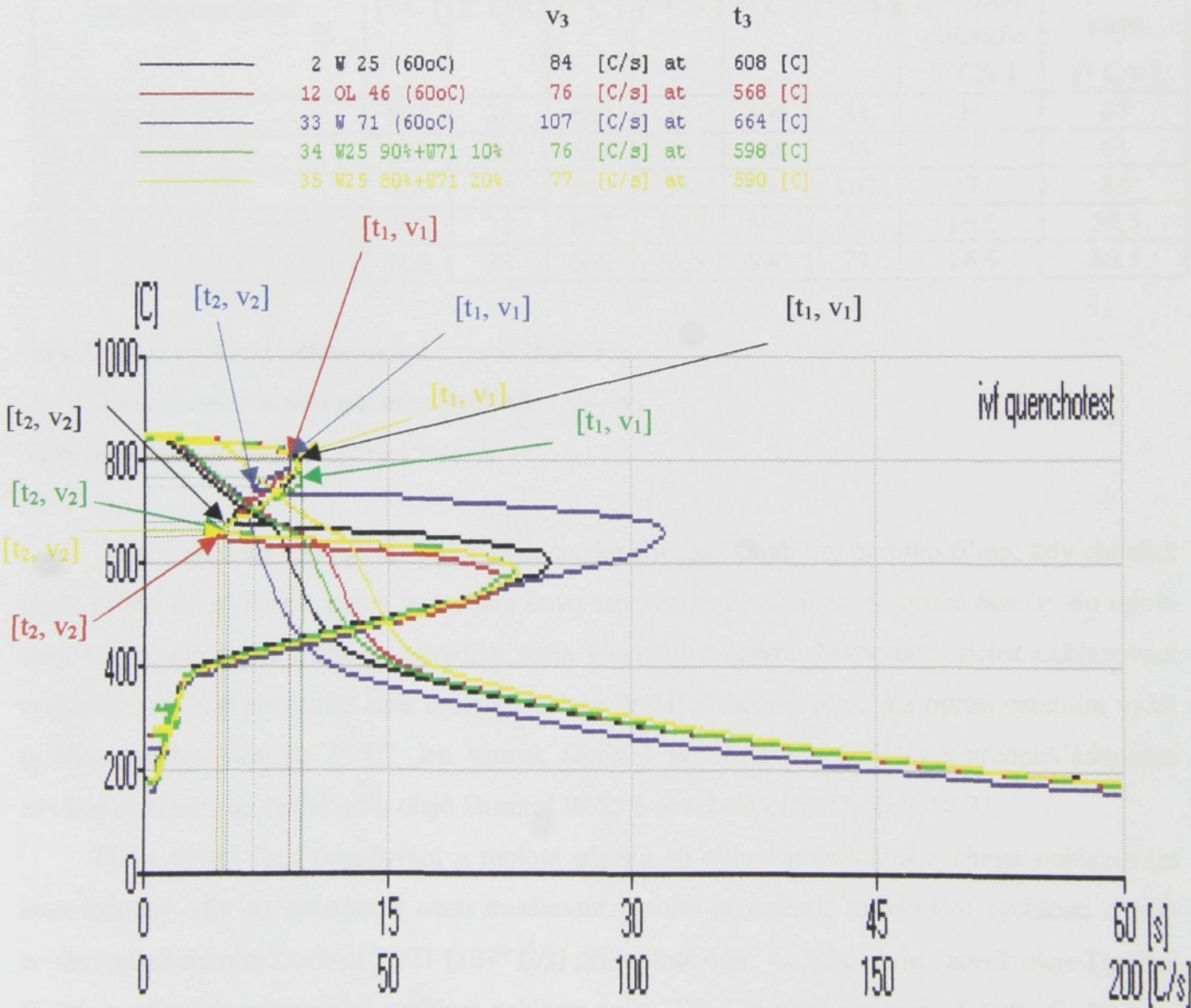
a; olej Durixol W 25, Durixol W 71, OL 46 a Durixol W 25 s obsahem Durixolu W 71

Podmínky : Teplota lázně: 60° C

Objem lázně: 0,8 litrů

Viskozita oleje při teplotě 40° C : OL 46.....41,4 až 50,6 mm²s⁻¹
Durixol W 25.....46 mm²s⁻¹
Durixol W 71.....25 mm²s⁻¹

Cílem tohoto měření bylo vzájemné porovnání uvedených olejů a také zjistit, jak se projeví obsah oleje Durixol W 71 v oleji Durixol W25 na rychlost ochlazování.



GRAF č.1 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJE DURIXOL W 25, DURIXOL W71, OL 46 A DURI-XOLU W25 KOMBINOVANÉHO S DURIXOLEM W 71

Nejdříve dochází k plynulému ochlazování sondy s počáteční teploty 850° C. Přibližně po 10 sekundách dosáhne ochlazování první fáze tj. údobí parního polštáře. Tato fáze ochlazování

je charakteristická vytvořením parního filmu okolo sondy. Je to perioda relativně pomalého ochlazování během níž se přenos tepla uskutečňuje vyzařováním a kondukcí přes parní obal. Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře je nejnižší u vzorku Durixol W 71, což je způsobeno nižší viskozitou oleje. U ostatních olejů je tento rozdíl srovnatelný, což je do jisté míry překvapením hlavně u olejů Durixol W 25 s obsahem Durixolu W 71. Zde by měl být rozdíl rychlosti ochlazování nižší než u oleje Durixol W 25 a OL 46.

TABULKA č.1 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – SOUHRN OLEJŮ

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
2 W 25 (60° C)	800	33	680	17	608	84	16	67
12 OL 46 (60° C)	807	30	653	15	568	76	15	61
33 W 71 (60° C)	807	30	747	23	664	107	7	84
34 W25 90%+W71(60°C)	773	32	673	16,5	598	76	16,5	59,5
35 W25 80%+W71(60°C)	800	33	660	16,5	590	77	16,5	60,5

Maximální rychlost ochlazování : v₃ při teplotě t₃

Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře : v₁ – v₂

Rozdíl rychlosti v údobí varu : v₃ – v₂

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu, kdy chladicí lázeň přijde do styku s horkým povrchem kovu tzn., že se dostáváme do druhé fáze tj. do údobí varu s vývinem bublin. Zde je odvádění tepla vysoce intenzivní. Markantní nárůst ochlazovací rychlosti můžeme pozorovat opět u oleje Durixol W 71. Z dalších olejů má oproti ostatním vyšší rychlost ochlazování [o 7° C] jen vzorek Durixol W 25. I zde nedošlo k předpokládanému zvýšení ochlazovací rychlosti u olejů Durixol W 25 s obsahem oleje Durixol W 71.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlosti ochlazování dosahuje olej Durixol W 71 [107° C/s] při teplotě 664° C. Následuje vzorek oleje Durixol W 25, u něhož je maximální rychlost ochlazování o 23° C/s nižší při teplotě 608° C. Rozptýl maximální ochlazovací rychlosti u ostatních vzorků je 1° C/s, což má z pohledu ochlazovací křivky jen malý vliv na výsledné vlastnosti kaleného materiálu.

Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

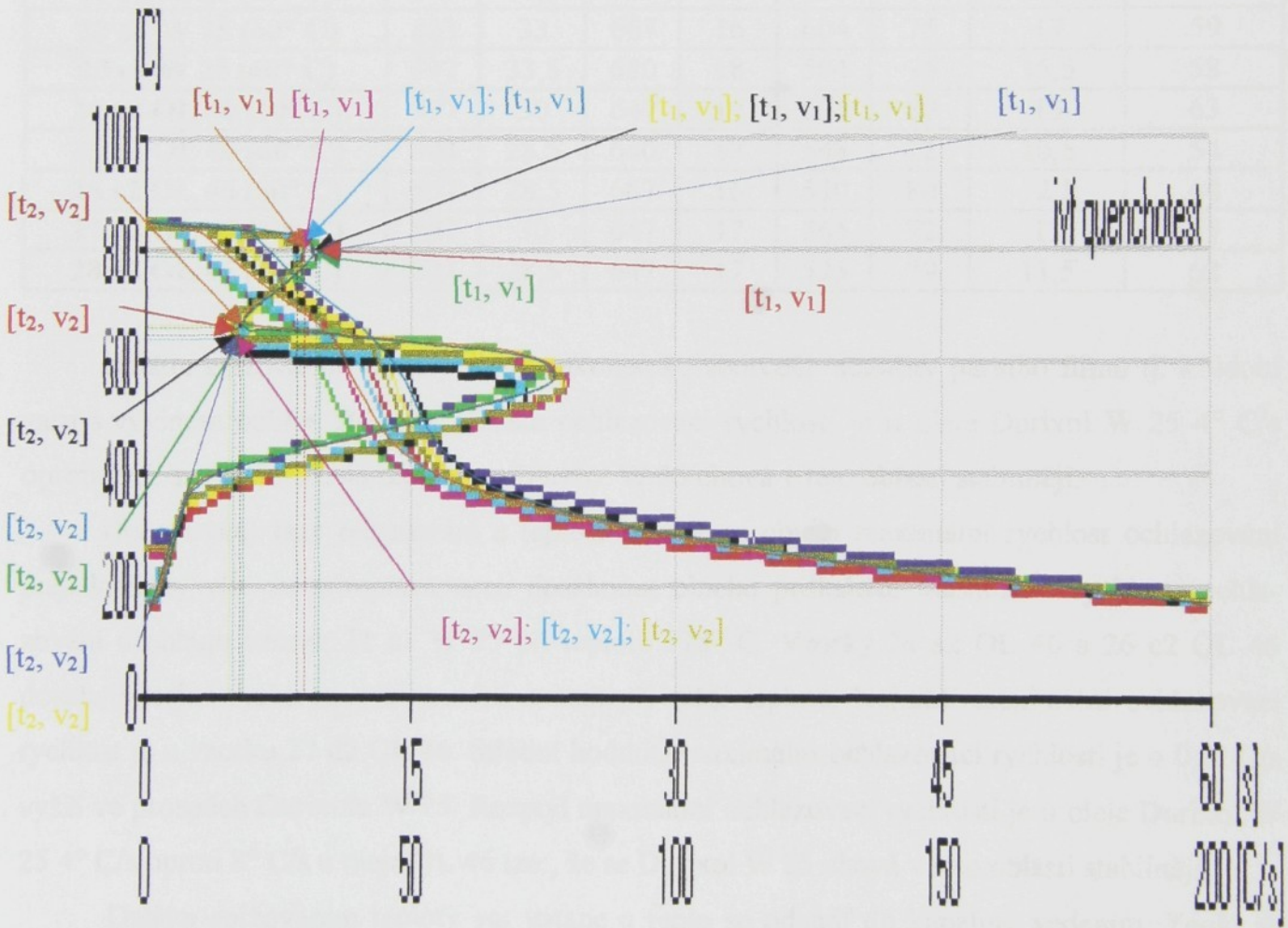
b; olej Durixol W 25 a OL 46 v průběhu provozu

Podmínky: Teplota lázně: 60° C

Objem lázně: 0,8 litrů

Cílem tohoto měření bylo zjištění rozptylu ochlazovací schopnosti.

		v_3	t_3
—	19 a1 W 25	76 [C/s] at	582 [C]
—	20 b1 W 25	77 [C/s] at	587 [C]
—	21 c1 W 25	80 [C/s] at	578 [C]
—	22 d1 W 25	75 [C/s] at	604 [C]
—	23 e1 W 25	76 [C/s] at	594 [C]
—	24 a2 OL 46	80 [C/s] at	574 [C]
—	25 b2 OL 46	72 [C/s] at	548 [C]
—	26 c2 OL 46	80 [C/s] at	570 [C]
—	27 d2 OL 46	72 [C/s] at	566 [C]
—	28 e2 OL 46	79 [C/s] at	575 [C]



GRAF č.2 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ DURIXOL W 25 A OL 46 V PRŮBĚHU PROVOZU

Nejdříve dochází k plynulému ochlazování sondy s počáteční teploty 850° C. Přibližně do 10 sekund dosáhne u všech olejů ochlazování první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazování. Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře je nejnižší u vzorků 25 b2 OL 46 a 28 e2 OL 46. Vyšší oproti ostatním je u vzorku 23 e1 W 25. Markantní je snížení

rychlosti ochlazování u vzorku 22 d1 W 25, což je vůči vzorkům s nejnižším snížením rozdíl cca. 6° C/s.

TABULKA č.2 – CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – OLEJE V PRŮBĚHU PROVOZU

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
19 a1 W 25 (60° C)	800	32,5	673	18,5	582	76	14	57,5
20 b1 W 25 (60° C)	807	30	680	18	587	77	12	59
21 c1 W 25 (60° C)	807	31,5	660	18	578	80	13,5	62
22 d1 W 25 (60° C)	803	33	667	16	604	75	17	59
23 e1 W 25 (60° C)	797	33,5	680	18	594	76	15,5	58
24 a2 OL 46 (60° C)	797	30	647	17	574	80	13	63
25 b2 OL 46 (60° C)	803	28,5	640	18	548	72	10,5	54
26 c2 OL 46 (60° C)	807	28,5	667	16	570	80	12,5	64
27 d2 OL 46 (60° C)	807	30	647	17	566	72	13	55
28 e2 OL 46 (60° C)	807	28,5	647	17	575	79	11,5	62

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Rozptyl nárůstu ochlazovací rychlosti je u oleje Durixol W 25 4° C/s oproti 9° C/s u oleje OL 46 tzn., že se Durixol W 25 chová v této oblasti stabilněji.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlosti ochlazování dosahuje vzorek 21 c1 W 25 při teplotě 578° C. Vzorky 24 a2 OL 46 a 26 c2 OL 46 dosahují stejné rychlosti ochlazování ovšem při nižší teplotě. Nejnižší maximální ochlazovací rychlost je u vzorku 27 d2 OL 46. Střední hodnota maximální ochlazovací rychlosti je o 0,2° C/s vyšší ve prospěch Durixolu W 25. Rozptyl maximální ochlazovací rychlosti je u oleje Durixol W 25 4° C/s oproti 8° C/s u oleje OL 46 tzn., že se Durixol W 25 chová v této oblasti stabilněji.

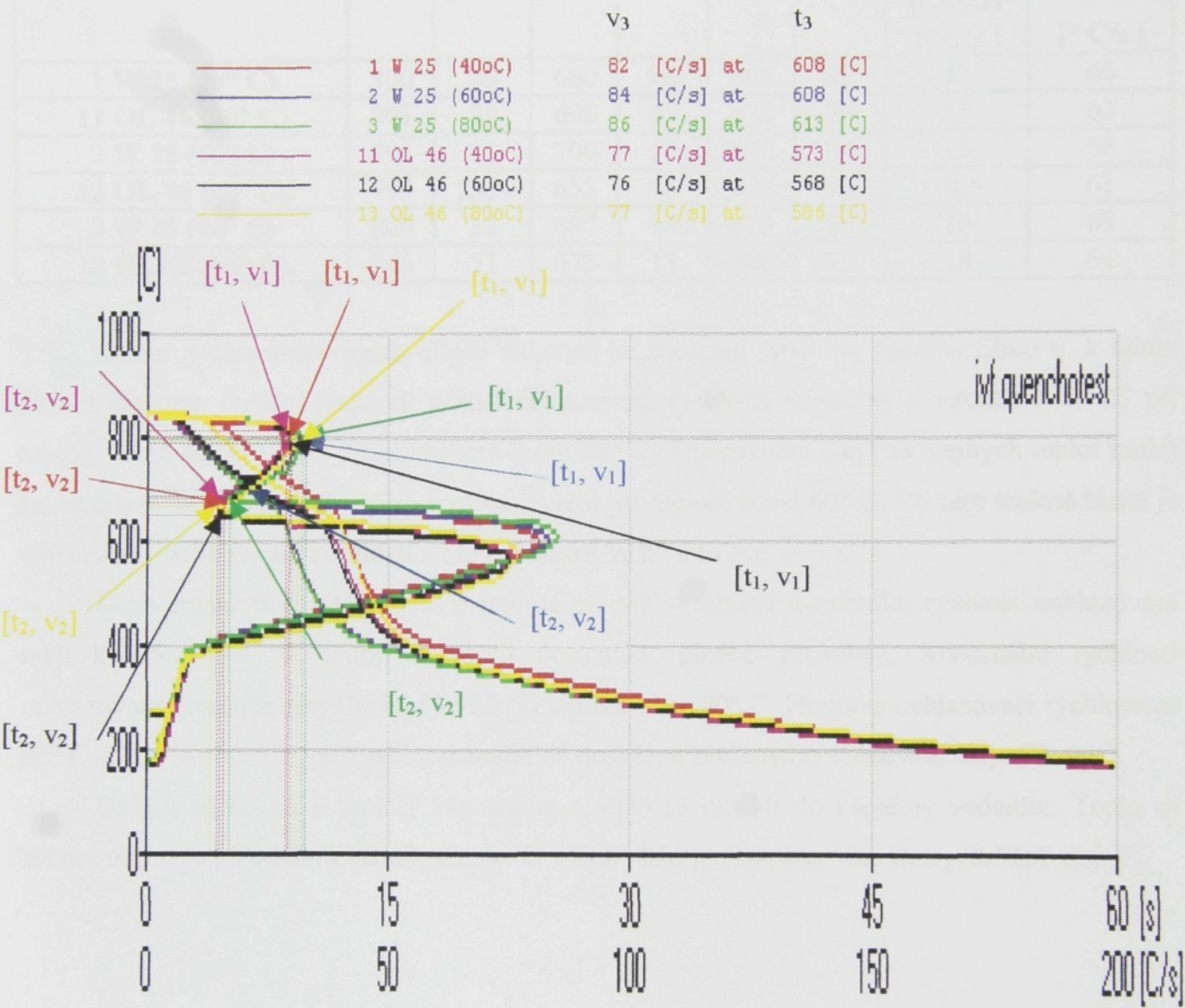
Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

c; olej Durixol W 25 a OL 46 za nižších teplot

Podminky : Teplota lázně: 40, 60, 80° C

Objem lázně: 0,8 litrů

Cílem tohoto měření bylo zjistit, zda-li se zvyšováním teploty lázně roste také rychlost ochlazování.



GRAF ě.3 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ ZA NIŽŠÍCH TEPLOT

Nejdřívě dochází k plynulému ochlazování sondy s počáteční teploty 850° C. Přibližně po 8,5 až 9,5 sekundách dosáhne u všech olejů ochlazování první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazování. Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře je nejnížší u vzorku 1 W 25 tedy při teplotě lázně 40° C. Naopak nejvyšší rozdíl rychlosti tzn. i nejdelší údobí parního polštáře je u vzorku 13 OL 46 (80° C). Ostatní vzorky olejů se chovají z tohoto hlediska přibližně stejně a dosahují hodnot o něco nižší než olej OL 46 při teplotě lázně 80° C. Z porovnání olejů za stejných teplot mohu konstatovat, že rozdíl ve velikosti údobí parního polštáře je přibližně stejný.

TABULKA č.3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – OLEJE ZA NIŽŠÍCH TEPLOT

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
1 W 25 (40° C)	800	29	680	16	608	82	13	66
11 OL 46 (40° C)	807	29	690	14	573	77	15	63
2 W 25 (60° C)	793	31	700	16	608	84	15	68
12 OL 46 (60° C)	793	29,5	653	15	568	76	14,5	61
3 W 25 (80° C)	800	33	687	17	613	86	16	69
13 OL 46 (80° C)	793	31	673	13	586	77	18	64

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nejvyšší nárůst ochlazovací rychlosti je patrný u vzorků 1 W 25 při teplotě lázně 40° C a 3 W 25 při teplotě lázně 80° C. Z porovnání olejů za stejných teplot mohu konstatovat, že maximální nárůst dosáhnou oleje při teplotě lázně 60° C. Při této teplotě lázně je větší nárůst ochlazovací rychlosti u oleje Durixol W 25 a to cca. o 7° C/s.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlosti ochlazování dosahuje olej Durixol W 25 při teplotě oleje 80° C. Hodnota ochlazovací rychlosti je 86° C/s, což je o 9° C/s vyšší než u maximálně dosažené rychlosti ochlazování oleje OL 46.

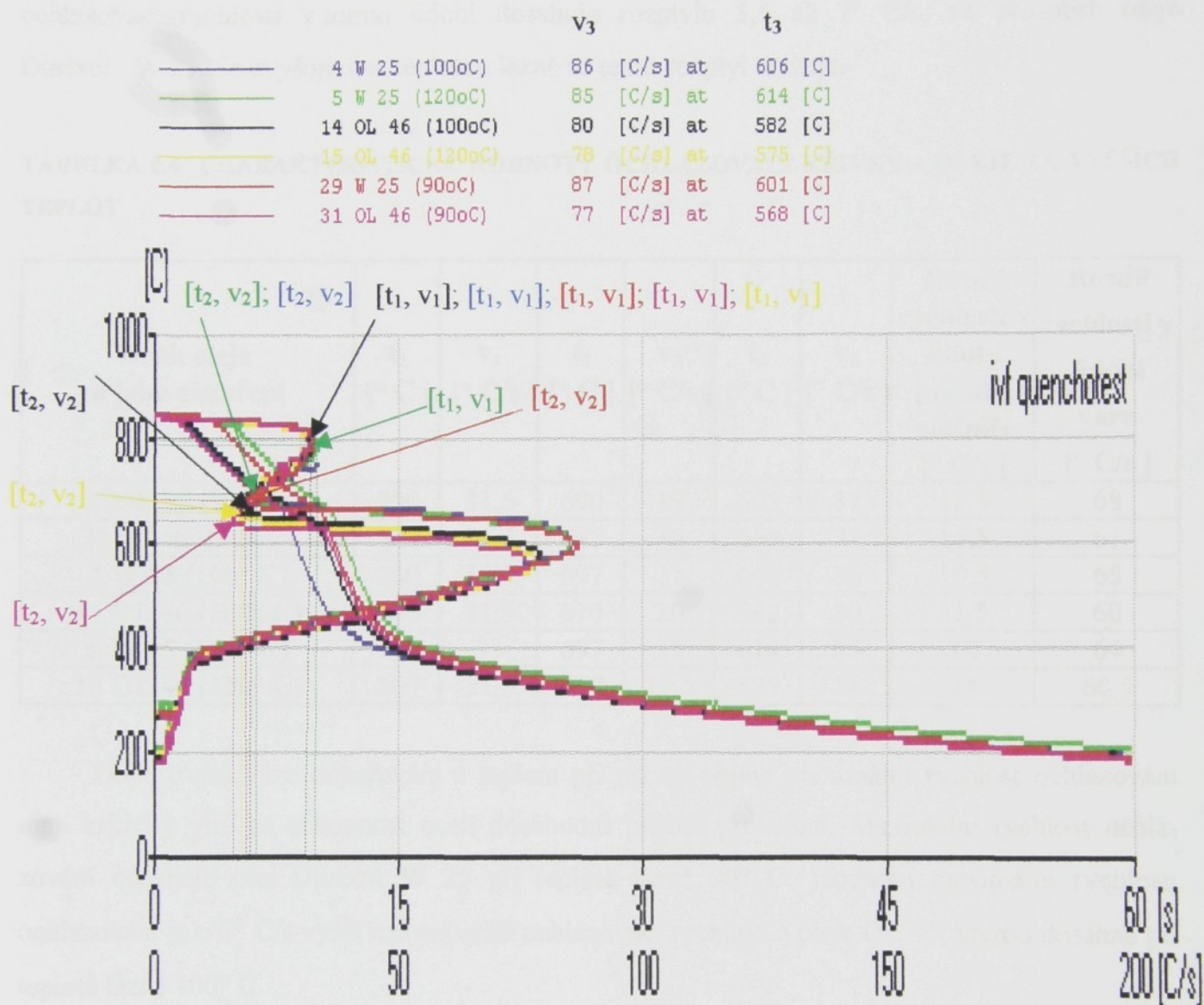
Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

d; olej Durixol W 25 a OL 46 za vyšších teplot

Podmínky : Teplota lázně : 90, 100, 120° C

Objem lázně : 0,8 litrů

Cílem tohoto měření bylo zjistit zda-li se zvyšováním teploty lázně roste také rychlost ochlazování.



GRAF č.4 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ ZA VYŠŠÍCH TEPLOT

Nejdříve dochází k plynulému ochlazování sondy z počáteční teploty 850° C. Přibližně po 10 sekundách dosáhne u všech olejů ochlazování první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazování. Rozdíl rychlosti ochlazování v údobí parního polštáře je přibližně stejný. Jen u vzorků 31 OL 46 při teplotě lázně 90° C a 15 OL 46 při teplotě lázně 120° C je velikost údobí parního polštáře o něco vyšší. Při porovnání olejů za stejných teplot lázně můžeme říci, že rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře se liší o 1 až 3° C/s ve prospěch oleje Durixol W 25.

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nejvyšší nárůst ochlazovací rychlosti je patrný u vzorku 29 W 25 při teplotě lázně 90° C. Nárůst rychlosti se ještě projevuje u vzorků 4 W 25 při teplotě 100° C a 5 W 25 při teplotě lázně 120° C. U ostatních vzorků je nárůst ochlazovací rychlosti srovnatelný. Při porovnání olejů za stejných teplot lázně můžeme konstatovat, že maximální nárůst ochlazovací rychlosti v tomto údobí dosahuje rozptylu 3,5 až 7° C/s, ve prospěch oleje Durixol W 25. Se zvyšující se teplotou lázně se tento rozptyl snižuje.

TABULKA č.4 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – OLEJE ZA VYŠŠÍCH TEPLOT

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
29 W 25 (90° C)	800	31,5	690	19	601	87	12,5	68
31 OL 46 (90° C)	800	31,5	647	16	568	77	15,5	61
4 W 25 (100° C)	800	31,5	697	21	606	86	10,5	65
14 OL 46 (100° C)	800	31,5	670	20	582	80	11,5	60
5 W 25 (120° C)	787	33	697	21	614	85	12	64
15 OL 46 (120° C)	800	31,5	667	17,5	575	78	14	60,5

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlost ochlazování dosahuje olej Durixol W 25 při teplotě lázně 90° C. Hodnota maximální rychlosti ochlazování je o 7° C/s vyšší než nejvyšší ochlazovací rychlost u oleje OL 46, kterou dosáhne při teplotě lázně 100° C.

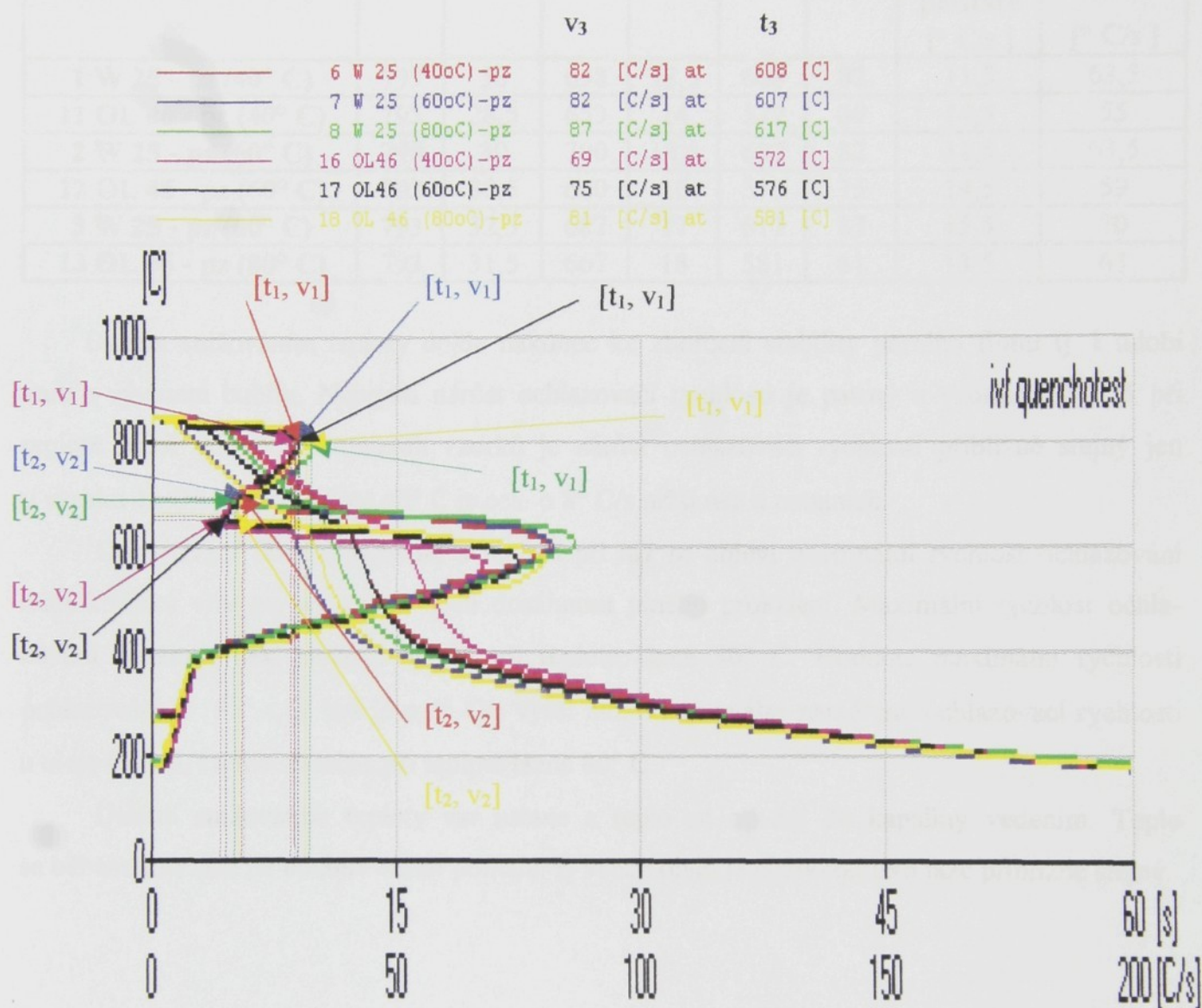
Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

e; olej Durixol W 25 a OL 46 za nižších teplot – postupně zahřívány

Podmínky : Teplota lázně : 40, 60, 80° C

Objem lázně : 0,8 litrů

Cílem tohoto měření bylo zjistit jak se projeví skutečnost, že budu ochlazovací lázeň postupně zahřívát, na vzrůst ochlazovací rychlosti.



GRAF č.5 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ ZA NIŽŠÍCH TEPLOT- POSTUPNĚ ZAHŘÍVANÉ

Nejdříve dochází k plynulému ochlazení sondy z počáteční teploty 850° C. Přibližně po 8,5 až 10 sekundách dosáhne u všech olejů ochlazení první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazení. Rozdíl rychlosti ochlazení v údobí parního polštáře je nejmenší tzn. i velikost údobí parního polštáře u vzorků 1 W 25 při teplotě lázně 40° C a 2 W 25 při teplotě lázně 60° C. Z porovnání olejů za stejných teplot lázně můžeme říci, že rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře je stejný při teplotách lázně 40 a 60° C. Tato hodnota se liší o 3° C/s ve prospěch oleje Durixol W 25. Při teplotě lázně 80° C je rozdíl ve velikosti parního polštáře 2° C/s ve prospěch oleje OL 46.

TABULKA č.5 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – OLEJE ZA NIŽŠÍCH TEPLOT POSTUPNĚ ZAHŘÍVANÉ

Druh oleje a jeho označení	t_1 [° C]	v_1 [° C/s]	t_2 [° C]	v_2 [° C/s]	t_3 [° C]	v_3 [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
1 W 25 - pz (40° C)	793	30	698	18,5	608	82	11,5	63,5
11 OL 46 - pz (40° C)	793	28,5	653	14	572	69	14,5	55
2 W 25 - pz (60° C)	793	30	700	18,5	607	82	11,5	63,5
12 OL 46 - pz (60° C)	793	30,5	660	16	576	75	14,5	59
3 W 25 - pz (80° C)	793	32,5	687	17	617	87	15,5	70
13 OL 46 - pz (80° C)	793	31,5	667	18	581	81	13,5	63

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nejvyšší nárůst ochlazovací rychlosti je patrný u vzorku 3 W 25 při teplotě lázně 80° C. U ostatních vzorků je nárůst ochlazovací rychlosti přibližně stejný jen u vzorku 11 OL 46 při teplotě 40° C je cca. o 8° C/s nižší než u ostatních.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlost ochlazování dosahuje olej Durixol W 25 při teplotě lázně 80° C. Hodnota maximální rychlosti ochlazování je 87° C/s, což je o 6° C/s vyšší než u maximální naměřené ochlazovací rychlosti u oleje OL 46, kterou dosáhne při teplotě lázně 80° C.

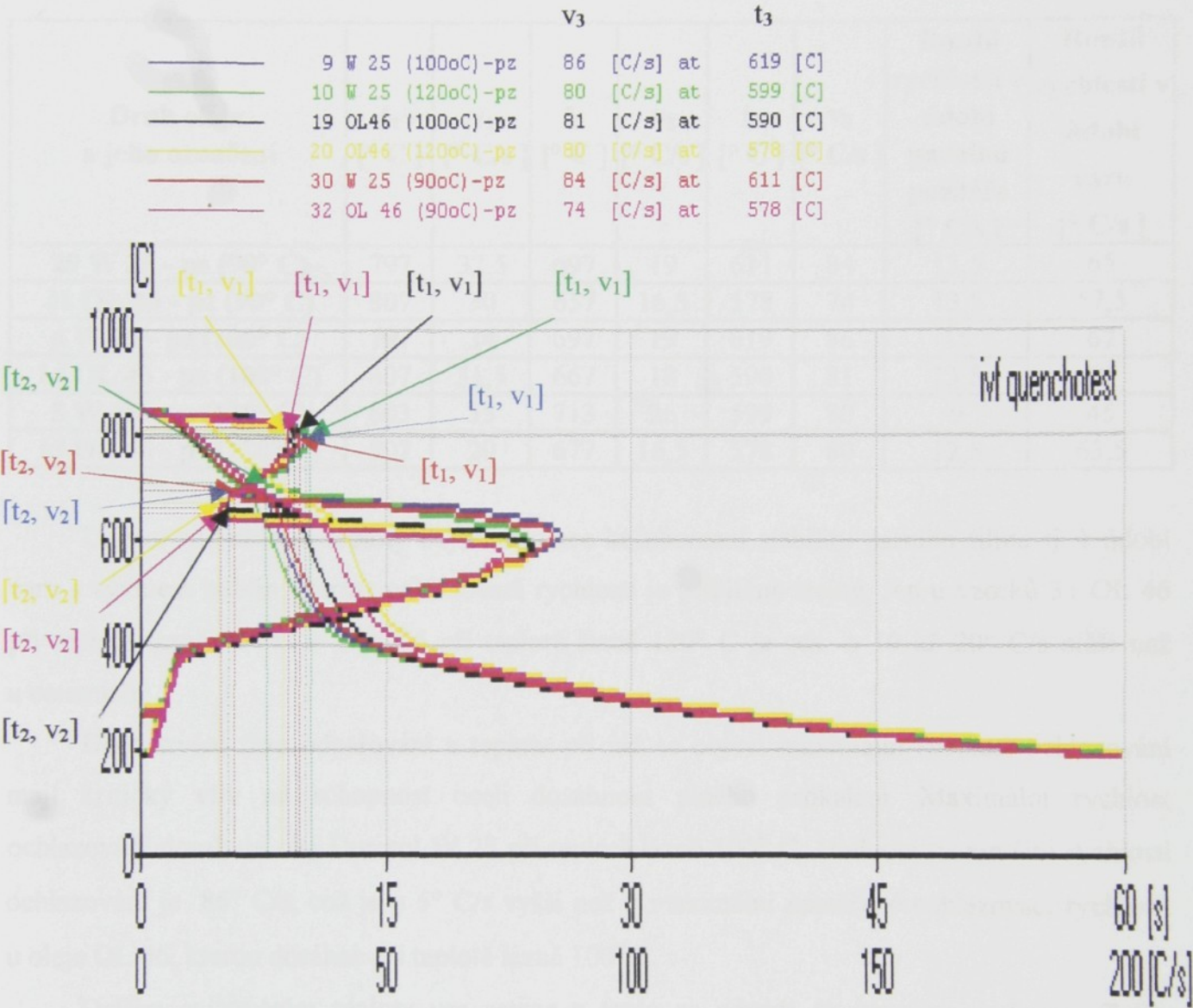
Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

f; olej Durixol W 25 a OL 46 za vyšších teplot – postupně zahříváný

Podmínky : Teplota lázně : 90, 100, 120° C

Objem lázně : 0,8 litrů

Cílem tohoto měření bylo zjistit jak se projeví skutečnost, že budu ochlazovací lázeň postupně zahřívát, na vzrůst ochlazovací rychlosti.



GRAF č. 6 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ ZA VYŠŠÍCH TEPLŮT – POSTUPNÉ ZAHŘÍVÁNÍ

Nejdříve dochází k plynulému ochlazení sondy z počáteční teploty 850° C. Přibližně po 9 až 10,5 sekundách dosáhne u všech olejů ochlazení první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazení. Rozdíl rychlosti ochlazení v údobí parního polštáře je nejnižší tzn. i velikost údobí parního polštáře u vzorku 5 W 25 při teplotě lázně 120° C. U ostatních vzorků je velikost údobí parního polštáře přibližně stejná. Z porovnání olejů za stejných teplot lázně můžeme říci, že rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře tzn. i jeho velikost roste se zvyšující se teplotou lázně. Při teplotě lázně 90° C je velikost parního polštáře stejná.

Zvýšením teploty lázně na 100° C se liší hodnota rozdílu rychlosti v údobí parního polštáře o 1,5° C/s ve prospěch oleje OL 46. Dalším zvýšením teploty lázně na 120° C se lišil rozdíl ochlazovací rychlosti o 3,5° C ve prospěch oleje Durixol W 25.

TABULKA č.6 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – OLEJE ZA VYŠŠÍCH TEPLOT POSTUPNĚ ZAHŘÍVANÉ

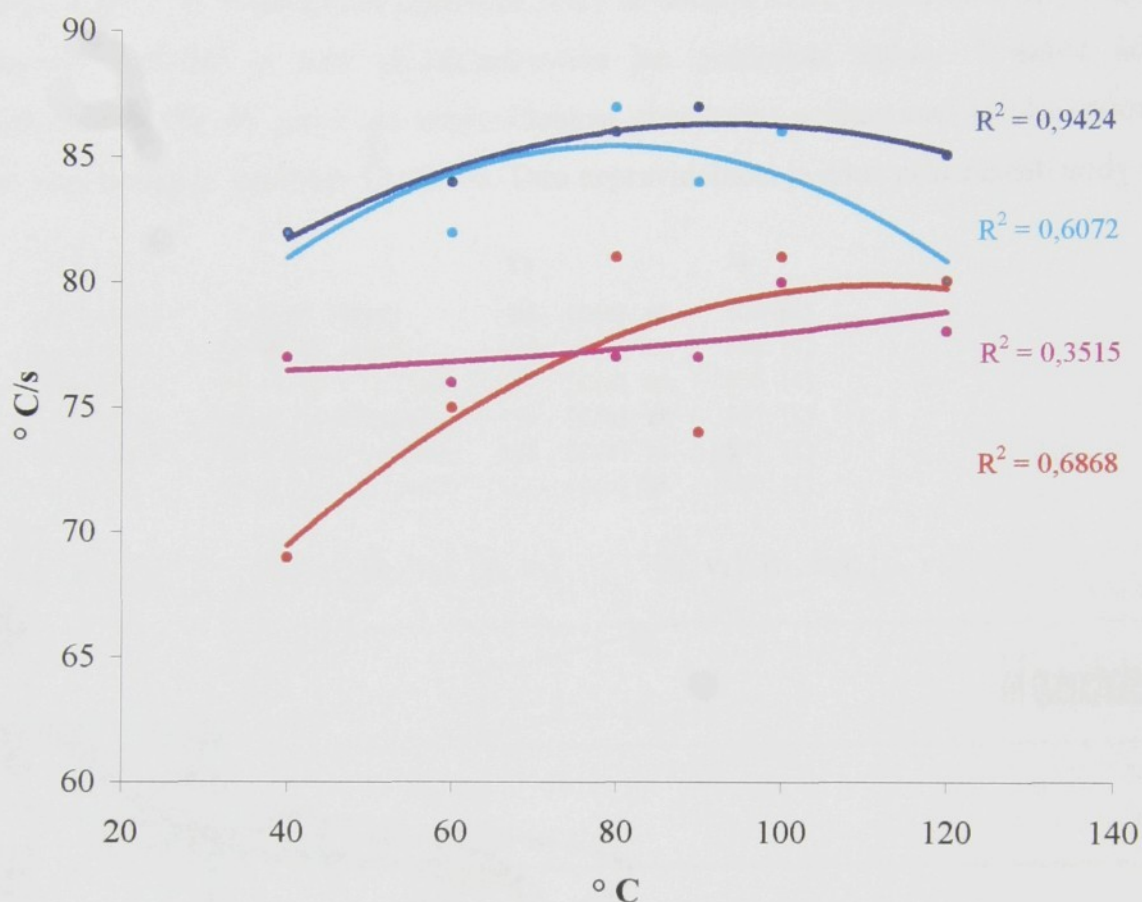
Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
29 W 25 - pz (90° C)	797	32,5	697	19	611	84	13,5	65
31 OL 46 - pz (90° C)	807	30	657	16,5	578	74	13,5	57,5
4 W 25 - pz (100° C)	797	34	697	19	619	86	15	67
14 OL 46 - pz (100° C)	807	31,5	667	18	590	81	13,5	63
5 W 25 - pz (120° C)	803	35	713	26	599	80	9	45
15 OL 46 - pz (120° C)	807	29	677	16,5	578	80	12,5	63,5

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nárůst ochlazovací rychlosti je přibližně stejný. Jen u vzorků 31 OL 46 při teplotě lázně 90° C a 5 W 25 při teplotě lázně 120° C je cca. o 10 až 20° C/s nižší než u ostatních.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlost ochlazování dosahuje olej Durixol W 25 při teplotě lázně 100° C. Hodnota maximální rychlosti ochlazování je 86° C/s, což je o 5° C/s vyšší než u maximální naměřené ochlazovací rychlosti u oleje OL 46, kterou dosáhne při teplotě lázně 100° C.

Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U všech olejů je charakter této fáze přibližně stejný.

- Durixol W 25
- OL 46
- Durixol W 25 - postupně zahříváný
- OL 46 - postupně zahříváný



Graf č. 7 Závislost maximální ochlazovací rychlosti na teplotě lázně

g; olej Durixol W 25 a OL 46 – kontaminace vodou (nižší koncentrace)

Podmínky: Teplota lázně : 60° C

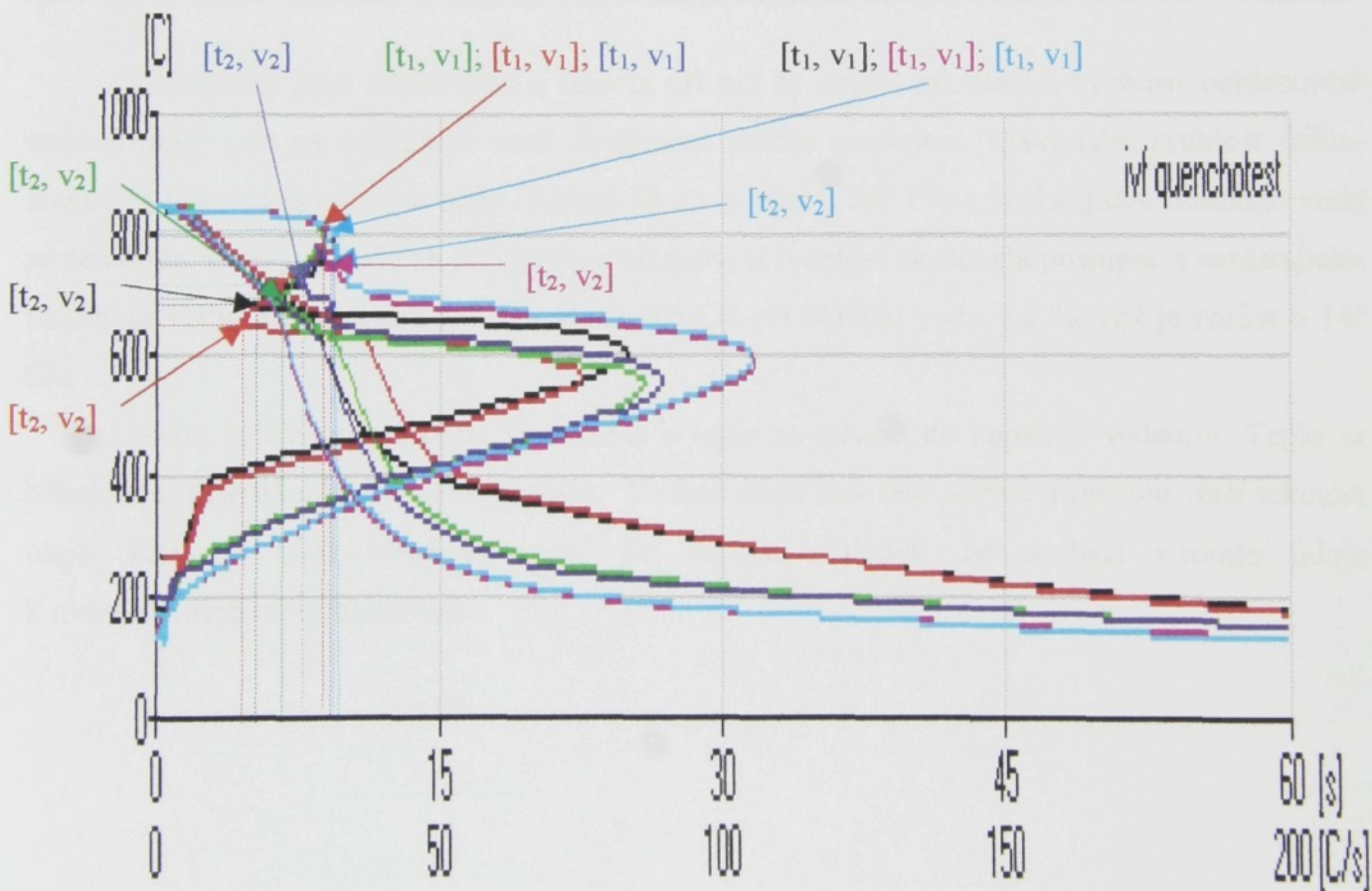
Objem lázně : 0,8 litrů

Obsah vody : 0,1 a 0,2 % (objemových procent)

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jak se projeví obsah vody na ochlazovací schopnost.

Nejdříve dochází k plynulému ochlazování sondy z počáteční teploty 850° C. Přibližně po 9 sekundách dosáhne u všech olejů ochlazování první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazování. U oleje Durixol W 25 dochází ke snížení rozdílu rychlosti důsledkem přítomnosti vody skokem a s přibývajícím objemem vody se nemění. U oleje OL 46 také dojde k náhlému snížení rozdílu rychlosti ochlazování v údobí parního polštáře v důsledku přítomnosti vody a se vzrůstajícím objemem vody se snižuje vždy přibližně o polovinu. Délka údobí parního polštáře je tedy charakterizována jen poklesem teploty. V tomto údobí se především u oleje OL 46 projevuje nepravidelnost charakteru ochlazovací křivky v porovnání s křivkou etalonovou tj. vzorkem 12 OL 46. Tato nepravidelnost je dána přítomností vody v oleji.

	v_3	t_3
— 2 W 25 (60oC)	84 [C/s] at	608 [C]
— 12 OL 46 (60oC)	76 [C/s] at	568 [C]
— 34 OL 46 + 0,1%H ₂ O	87 [C/s] at	555 [C]
— 35 OL 46 + 0,2%H ₂ O	90 [C/s] at	567 [C]
— 39 W 25 + 0,1%H ₂ O	106 [C/s] at	591 [C]
— 40 W 25 + 0,2%H ₂ O	106 [C/s] at	600 [C]



GRAF č.8 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ KONTAMINOVANÝCH VODOU (NIŽŠÍ KONCENTRACE)

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nárůst ochlazovací rychlosti se přítomností vody projevila vzrůstem

o 7° C/s u oleje Durixol W 25 a cca. 3° C/s u oleje OL 46. Se vzrůstajícím objemem vody se tento nárůst nemění.

TABULKA č.7 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY – KONTAMINACE VODOU (NIŽŠÍ KONCENTRACE)

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
2 W 25 (60° C)	793	31	700	16	608	84	15	68
12 OL 46 (60° C)	793	29,5	653	15	568	76	14,5	61
39 W 25 + 0,1 % H₂O	793	31	742	30,5	591	106	0,5	75,5
34 OL 46 + 0,1 % H₂O	793	29,5	707	22,5	555	87	7	64,5
40 W 25 + 0,2 % H₂O	793	31	720	30,5	600	106	0,5	75,5
35 OL 46 + 0,2 % H₂O	793	29,5	746	26	567	90	3,5	64

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlost ochlazování se přítomností vody u oleje Durixol W 25 zvýšila o 30° C/s a vzrůstajícím obsahem vody se neměnila. U oleje OL 46 se maximální ochlazovací rychlost zvyšovala postupně s narůstajícím objemem vody. Z původních 76° C/s až na 90° C/s při objemu vody 0,2 %, což je nárůst o 14° C/s.

Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U obou olejů se v této oblasti projevuje větší tekutost oleje, která je dána obsahem vody. To má za následek, že dochází v tomto údobí k rovnoměrnějšímu ochlazování.

h; olej Durixol W 25 a OL 46 – kontaminace vodou (vyšší koncentrace)

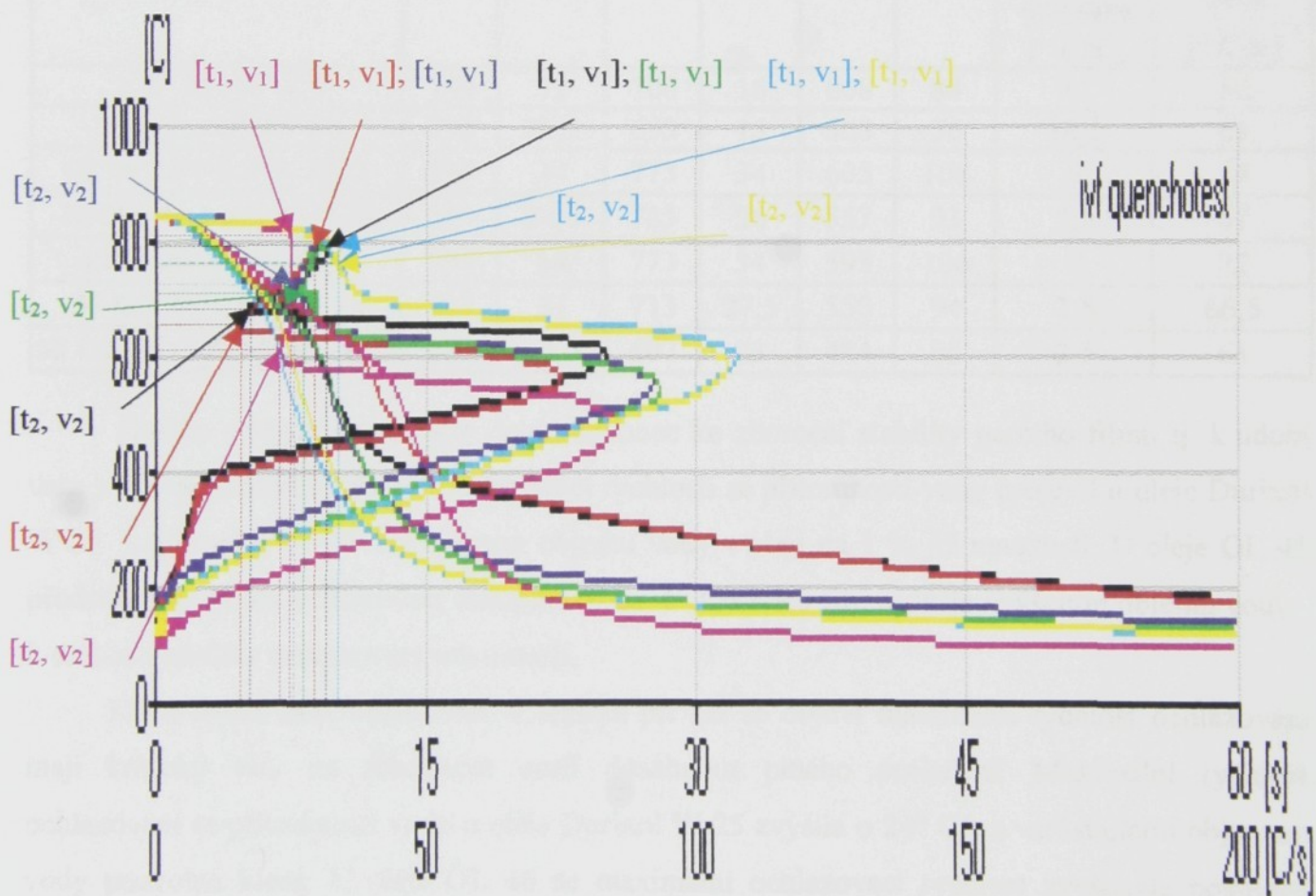
Podmínky : Teplota lázně : 60° C

Objem lázně : 0,8 litrů

Obsah vody : 0,5 a 1 % (objemová procenta)

Cílem tohoto měření bylo zjistit, jak se projeví obsah vody na ochlazovací schopnost. Pro ilustraci chování ochlazovací křivky při vyšším obsahu vody je zde uveden vzorek oleje 38 OL 46 s obsahem vody 3,5 %, který byl odebrán za provozních podmínek.

		V_3	t_3
—	2 W 25 (60oC)	84 [C/s] at	608 [C]
—	12 OL 46 (60oC)	76 [C/s] at	568 [C]
—	36 OL 46 + 0,5%H ₂ O	93 [C/s] at	557 [C]
—	37 OL 46 + 1%H ₂ O	94 [C/s] at	550 [C]
—	38 OL 46 + 3,5%H ₂ O	86 [C/s] at	484 [C]
—	41 W 25 + 0,5%H ₂ O	108 [C/s] at	605 [C]
—	42 W 25 +1%H ₂ O	106 [C/s] at	595 [C]



GRAF č.9 OCHLAZOVACÍ KŘIVKA OLEJŮ KONTAMINOVANÝCH VODOU (VYŠŠÍ KONCENTRACE)

Nejdříve dochází k plynulému ochlazení sondy z počáteční teploty 850° C. Po 7,5 sekundách dosáhne u vzorku 38 OL 46 ochlazení první fáze tj. údobí parního polštáře, kdy dochází k relativně pomalému ochlazení. Po dalších 2 sekundách dosáhnou tohoto údobí i ostatní vzorky. U obou olejů dochází ke snížení rozdílu rychlosti důsledkem přítomnosti vody skokem a

a se vzrůstajícím obsahem vody se nemění. Délka údobí parního polštáře je tedy charakterizována pouze poklesem teploty. U vzorku 38 OL 46 s přítomností 3,5 % vody došlo k nárůstu údobí parního polštáře, což se projevilo poklesem teploty cca. o 136° C.

I při vyšším obsahu vody se zde projevuje nepravidelnost charakteru ochlazovací křivky v porovnání s křivkami etalonovými. Tato nepravidelnost je dána přítomností vody v oleji a projevuje se znatelněji u oleje OL 46. Markantní nepravidelnost je možno sledovat u vzorku 38 OL 46 s přítomností 3,5 % vody.

TABULKA č.8 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY OCHLAZOVACÍ KŘIVKY - KONTAMINACE VODOU (VYŠŠÍ KONCENTRACE)

Druh oleje a jeho označení	t ₁ [° C]	v ₁ [° C/s]	t ₂ [° C]	v ₂ [° C/s]	t ₃ [° C]	v ₃ [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře [° C/s]	Rozdíl rychlosti v údobí varu [° C/s]
2 W 25 (60° C)	793	31	700	16	608	84	15	68
12 OL 46 (60° C)	793	29,5	653	15	568	76	14,5	61
41 W 25 + 0,5 % H ₂ O	793	34	773	34	605	108	0	74
36 OL 46 + 0,5 % H ₂ O	793	29,5	733	26	557	93	3,5	67
42 W 25 + 1 % H ₂ O	793	34	773	34	595	106	0	72
37 OL 46 + 1 % H ₂ O	793	31	713	27,5	550	94	3,5	66,5
38 OL 46+3,5%H ₂ O-Hutě	803	25,5	607	23	484	86	2,5	63

Dalším snižováním teploty dojde nakonec ke zborcení stability parního filmu tj. k údobí varu s vývinem bublin. Nárůst ochlazovací rychlosti se přítomností vody projevila u oleje Durixol W 25 vzrůstem o 6° C/s a zvýšením objemu vody v oleji na 1 % již nevzrostl. U oleje OL 46 představoval nárůst ochlazovací schopnosti cca. 6° C/s a ani zde nedošlo zvýšením objemu vody k dalšímu nárůstu ochlazovací schopnosti.

Doba trvání fáze odpařování a teplota při níž se objeví maximální rychlost ochlazování mají kritický vliv na schopnost oceli dosáhnout plného prokalení. Maximální rychlost ochlazování se přítomností vody u oleje Durixol W 25 zvýšila o 24° C/s a vzrůstajícím objemem vody pozvolna klesá. U oleje OL 46 se maximální ochlazovací rychlost zvyšovala postupně s narůstajícím obsahem vody. Z původních 76° C/s až na 94° C/s při obsahu vody 1 %, což je nárůst o 18° C/s. Dalším zvyšováním objemu vody na 3,5 % došlo již k poklesu maximální ochlazovací schopnosti.

Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U obou olejů se v této oblasti projevuje větší tekutost oleje, která je dána přítomností vody. To znamená, že dochází v tomto údobí k rovnoměrnějšímu ochlazování.

3.3. Durixol W 25

3.3.1. PROTOKOL PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.1 a č.4

a; Pec č.1 – Durixol W 25

	NASTAVENÍ	SKUTEČNOST	
Označení měření:		a1;	b1;
<u>Kalící pec :</u>			
Teplota 1.zóny :	920° C	920° C	918° C
Prodleva v 1.zóně :	104 min.	104 min.	104 min.
Teplota 2.zóny :	920° C	920° C	920° C
Prodleva v 2.zóně :	156 min	156 min.	156 min.
Teplota 3.zóny :	830° C	830° C	831° C
Prodleva v 3.zóně :	78 min.	78 min.	78 min.
C-potenciál v 1. a 2. zóně :	1,00 %	0,99 %	0,93 %
Prodleva C-pot. v 1. a 2. zóně :	260 min.	260 min.	130 min
C-potenciál ve 3. zóně :	0,85 %	0,83 %	0,86 %
Prodleva C-pot. ve 3. zóně:	77 min.	77 min.	78 min.
<u>Olejová lázeň :</u>			
Teplota oleje :	100° C	102° C	98° C
Čas kalení :	40 min.	40 min.	40 min.
<u>Popouštěcí pec :</u>			
Teplota 1.zóny :	160° C	160° C	163° C
Teplota 2.zóny :	160° C	163° C	161° C
Teplota 3.zóny :	160° C	165° C	163° C
Prodleva v pop. peci :	234 min.	234 min.	234 min

b; Pec č.4 – Durixol W 25

	NASTAVENÍ	SKUTEČNOST		
Označení měření:		c1;	d1;	e1;
<u>Přehřívací pec :</u>				
Teplota :	400° C	395° C	393° C	393° C
Prodleva v přehřívací peci :	60 min.	60 min.	60 min.	60 min.

Kalící pec :

Teplota 1.zóny :	880° C	881° C	882° C	881° C
Prodleva v 1.zóně :	40 min.	40 min.	40 min.	40 min.
Teplota 2.zóny :	900° C	901° C	900° C	901° C
Prodleva v 2.zóně :	40 min	40 min.	40 min.	40 min.
Teplota 3.zóny :	920° C	920° C	919° C	920° C
Prodleva ve 3.zóně :	120 min	120 min.	120 min.	120 min.
Teplota 4.zóny :	830° C	831° C	831° C	831° C
Prodleva ve 4 .zóně :	60 min	60 min.	60 min	60 min.
C-potenciál v 1. a 2. zóně :	1,10 %	1,15 %	1,14 %	1,14 %
Prodleva C-pot. v 1. a 2. zóně :	200 min.	200 min.	200 min	200 min.
C-potenciál ve 3.(4.)zóně :	0,9 %	0,9 %	0,96 %	0,95 %
Prodleva C-pot. ve 3. zóně:	60 min.	60 min.	60 min.	60 min.

Olejová lázeň :

Teplota oleje :	120° C	118° C	121° C	120° C
Čas kalení :	50 min.	50 min.	50 min.	50 min.

Popouštěcí pec :

Teplota 1.zóny :	170° C	171° C	171° C	171° C
Teplota 2.zóny :	170° C	177° C	174° C	174° C
Teplota 3.zóny :	170° C	172° C	170° C	170° C
Prodleva v pop. peci :	180 min.	180 min.	180 min.	180 min.

3.3.2. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

➤ 3.3.2.1. Tvrdost na povrchu

Měřeno na válcové ploše $\varnothing 36$ mm

Tabulka č.9 – Proměření hnacího hřídele

Vzorek d1										
Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tvrdost /HRC/	60	60,4	60,6	60,2	60	60,4	60,3	60,4	59,6	60,1

Ostatní naměřené hodnoty viz. příloha č.12 .

Zde se sledovaly tyto faktory :

- 1; Zda-li tvrdost HRC závisí na odebraných vzorcích hnacích hřídelů ?
- 2; Zda-li naměřené tvrdosti HRC hnacích hřídelů odpovídají toleranci dané předpisem ?

ad.1; Vzorky :

Jako kritérium zde bylo použito dvouvýběrového t-testu s nerovností rozptylů a popisné statistiky. Všechna data byla zpracována pomocí programu Office 97 firmy Microsoft.

Výsledné hodnoty :

a; Pec č.1 :

Ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích nezávisí !

b; Pec č.4 :

Také zde ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích nezávisí !

ad. 2; Tolerance :

Dle naměřených hodnot (viz. příloha č.12) a tolerance daných předpisem na výkresu tj. 58 ÷ 60 HRC jsem zjistil, kolik měření hnacích hřídelů neodpovídá dané toleranci.

Výsledné hodnoty :

Vzorek:	a1	b1	c1	d1	e1
	1 měření tj.10 %	1 měření tj.10 %	5 měření tj.50 %	1 měření tj.10 %	1 měření tj.10 %

➤ **3.3.2.2. Tvrdost v jádře**

Měřená místa, kde se tvrdost zjišťovala byla tato : Zub-střed, Zub-pata, Střed. K tomuto měření byl proveden příčný řez zpátečkou (viz. příloha č.15 – výkres součásti; pozice C)

Tabulka č. 10 Proměření hnacího hřídele – vzorek d1

Měřené místo	Zub-střed			Zub-pata			Střed		
Číslo měření	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tvrdost /HV/	439	439	439	418	406	411	339	366	353

Ostatní naměřené hodnoty viz. příloha č.12 .

Zde se sledovalo zda-li tvrdost HV závisí na odebraných vzorcích hnacích hřídelů. V konečném vyhodnocení se musí přihlídnout ke skutečnosti, že bylo použito statisticky malého výběru.

ad.1; Vzorky :

Zde se využilo stejných kritérií jako při zpracování dat u měření “na povrchu”.

➤ **Zub-střed**

Výsledné hodnoty :

a; Pec č.1 :

Ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích závisí !

b; Pec č.4

Také zde ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích závisí !

➤ **Zub-pata :**

Výsledné hodnoty :

a; Pec č.1 :

Ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích nezávisí !

b; Pec č.4

Zde ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích závisí !

➤ **Střed :**

Výsledné hodnoty :

a; Pec č.1 :

Ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích nezávisí !

b; Pec č.4

Také zde ze statistických výpočtů (viz. příloha č.13) vyplývá, že na odebraných vzorcích nezávisí !

3.3.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ KALENÉ VRSTVY

Hodnoceno makroskopickou metodou na příčném řezu ozubením zpátečky a na přilehlé válcové ploše pomocí lupy. Vrstva byla naleptána 2 % roztokem nitalu.

Tabulka č.11 Výsledné hodnoty měření hloubky nasycené kalené vrstvy v mm

Měřené místo	HLOUBKA NASYCENÉ KALENÉ VRSTVY				
	Vzorek a1	Vzorek b1	Vzorek c1	Vzorek d1	Vzorek e1
<i>Řoky zubů</i>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
<i>Paty zubů</i>	0,5 až 0,6	0,55 až 0,6	0,6 až 0,65	0,6	0,6
<i>Válcová plocha</i>	0,65 až 0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

3.3.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR

Mikrostruktura : Hodnocena na příčném řezu ozubením zpátečky a na přilehlé válcové ploše hnacího hřídele – vzorek d1. [15]

Příprava vzorku : výbrus číslo 109, 110

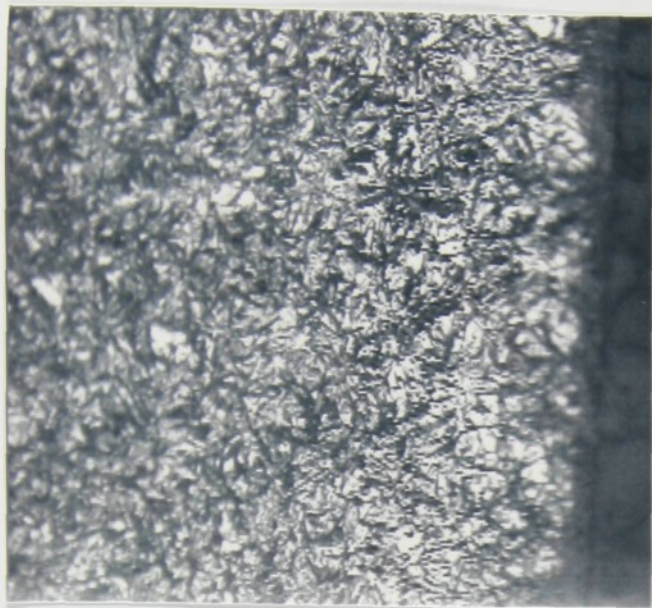
Vyhodnocení povrchu :

Boky zubů : martenzitická struktura

Vyhodnocení jádra :

Zub : martenzitická struktura

ZVĚTŠENÍ : 500, LEPTÁNO : 2 % NITAL



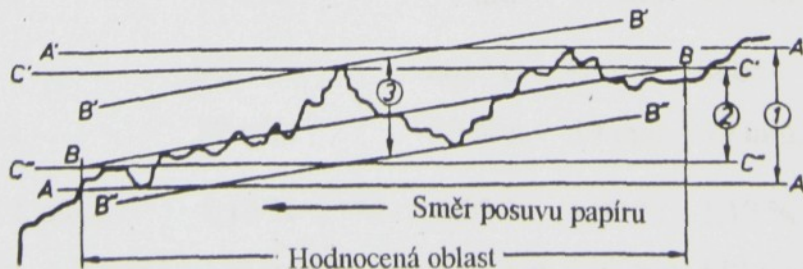
OBR. č.15 STRUKTURA BOKU ZUBU VE VRSTVĚ A V JÁDŘE

V dalších oblastech měřených ve vrstvě tj. paty zubů a válcová plocha je opět struktura martenzitického charakteru.

V jádře je v oblasti střed martenzit s bainitem z části i s jehlicovitě vyloučeným feritem.

3.3.5. DEFORMACE

Deformace byly zjištěny pomocí tříosého měřicího centra Höfler ZP 250. Záznamy byly dodány [15] z měření hnacích hřídelů ve stavu měkkém tj. po obrábění i po tepelném zpracování v poloze "střed" a "kraj". Hodnocenými parametry byla úhlová úchylka sklonu zubu f_{HB} měřená na obou stranách zubů (levá a pravá) a to celkově na čtyřech zubech. Předepsaná maximální hodnota této deformace je vyjádřena v absolutní hodnotě a představuje 0,025 mm. Druhým sledovaným parametrem bylo obvodové házení ozubení F_r . U tohoto parametru je předpisem na výkresu povolena maximální hodnota + 0,056 mm. Sledované parametry a jejich hodnoty jsou v příloze č.12 uváděny v celých číslech např. 0,056 (dále jen 56).



OBR. č.16 ÚCHYLKA BOKU (KONTROLNÍ OBRAZ)

f_{HB} je vzdálenost v čelním řezu mezi oběma jmenovitými bočními křivkami, které v počátečním

a koncovém bodu hodnocené oblasti sklonu zubu protínají šroubovici se skutečným stoupáním (viz. DIN 3961). V obr. č.16 je úhlovou úchytkou sklonu zubu $f_{H\beta}$ kolmo k posuvu papíru odečtená vzdálenost mezi dvěma přímkami $C'C'$ a $C''C''$ (jmenovité boční křivky, které protínají skutečné v počátečním příp. koncovém bodu hodnocené oblasti), rovnoběžnými s přímkou AA (jmenovité boční křivky, které obalují skutečný bok), které na konci hodnocené oblasti boční křivky protínají přímkou BB (upravená skutečná boční křivka) viz. DIN 3960.

F_r je radiální rozdíl polohy měřicího elementu (kulička nebo váleček příp. měřicí klín) vkládaného postupně do všech zubových mezer, který se dotýká boků zubů v blízkosti kružnice V, přičemž je ozubené kolo uloženo otočně ve své ose uložení viz. DIN 3960.

Výsledné hodnoty :

Vyhovělo : na $f_{H\beta}$: 0 hnacích hřídelů z 10 tj. 0 %
na F_r : 10 hnacích hřídelů z 10 tj. 100 %

Průměr rozdílů hodnot (tj. *skutečná deformace způsobená tepelným zpracováním*) $f_{H\beta}$ před a po kalení : **Levá strana (kraj) :** - 0,02985 mm
Pravá strana (kraj) : - 0,0349 mm
Levá strana (střed) : - 0,0349 mm
Pravá strana (střed) : - 0,0371 mm

3.4. Ol 46

3.4.1. PROTOKOL PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.2

NASTAVENÍ		SKUTEČNOST				
Označení měření:		a2;	b2;	c2;	d2;	e2;
<u>Kalící pec :</u>						
Teplota 1.zóny :	860° C	855° C	851° C	858° C	863° C	851° C
Prodleva v 1.zóně :	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.
Teplota 2.zóny :	860° C	861° C	860° C	859° C	861° C	859° C
Prodleva v 2.zóně :	78 min	78 min.	78 min.	78 min.	78 min.	78 min.
Teplota 3.zóny :	860° C	861° C	860° C	860° C	860° C	860° C
Prodleva v 3.zóně :	39 min.	39 min.	39 min.	39 min.	39 min.	39 min.
C-potenciál v 1. a 2. zóně :	1,10 %	1,09 %	1,09 %	1,12 %	1,14 %	1,10 %
Prodleva C-pot. v 1. a 2. zóně :	130 min.	130 min.	130 min.	130 min.	130 min.	130 min.
C-potenciál ve 3. zóně :	0,95 %	0,95 %	0,95 %	0,96 %	0,99 %	1,00 %
Prodleva C-pot. ve 3. zóně:	39 min.	39 min.	38 min.	39 min.	38 min.	38 min.

Olejová lázeň :

Teplota oleje :	75° C	73° C	74° C	74° C	74° C	75° C
Čas kalení :	40 min.	40 min.	40 min.	40 min.	40 min.	40 min.

Popouštěcí pec :

Teplota 1.zóny :	170° C	169° C	170° C	170° C	170° C	169 ° C
Teplota 2.zóny :	170° C	170° C	170° C	170° C	170° C	170° C
Teplota 3.zóny :	170° C	171° C	171° C	170° C	170° C	171° C
Prodleva v pop. peci :	117 min.	118 min.	117 min.	117 min.	120 min.	117 min.

3.4.2. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

➤ **3.4.2.1. Tvrdost na povrchu**

Měřeno na spodním čele ozubeného kola : Věnc – na kružnici cca. 5 mm od paty
Zub – na kružnici cca. 5 mm od paty

Tabulka č.12 Proměření ozubeného kola – vzorek c2

Měřené místo	Zub			Věnc		
Číslo měření	1	2	3	1	2	3
Tvrdost /HV/	769	763	763	780	786	775

Ostatní naměřené hodnoty viz. příloha č.12 .

Sledovaným faktorem zde byla skutečnost, zda-li naměřené hodnoty tvrdosti ozubených kol odpovídají toleranci dané předpisem na výkresu tj. 720 ÷ 750 HV.

➤ **Věnc**

Výsledné hodnoty :

Hodnoty tvrdosti neodpovídaly ve všech případech. Vzorky c2 až e2 vykazovaly větší hodnoty než udává předpis, vzorky a2 a b2 nižší.

➤ **Zub**

Výsledné hodnoty :

Ani zde hodnoty tvrdosti neodpovídaly danému předpisu u všech vzorků. Vzorky c2 až e2 vykazovaly opět větší hodnoty, vzorky a2 a b2 nižší.

➤ **3.4.2.2. Tvrdost v otvoru**

Měření bylo provedeno v těchto místech : Ozubení, Střed a Kužel.

Tabulka č.13 – Proměření ozubeného kola – vzorek c2

Měřené místo	Ozubení			Střed			Kužel		
Číslo měření	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tvrdost /HV/	752	757	746	690	695	680	741	752	730

Ostatní naměřené hodnoty viz. příloha č.12 .

Sledovaným faktorem zde byla skutečnost, zda-li naměřené hodnoty tvrdosti ozubených kol odpovídají toleranci dané předpisem na výkresu tj. min. 630 HV.

Výsledné hodnoty :

Všechny vzorky v daných měřených místech toto kritérium splňují !

3.4.2.3. Tvrdost v jádře

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze č.12 .

3.4.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ KALENÉ VRSTVY

Hodnoceno makroskopickou metodou na příčném řezu ozubením, podélném řezu partií kuželu a spodní částí otvoru pomocí lupy. Vrstva byla naleptána 2 % roztokem nitalu.

Tabulka č.14 – Výsledné hodnoty měření hloubky nasycené kalené vrstvy v mm

Měřené místo	HLOUBKA NASYCENÉ KALENÉ VRSTVY				
	Vzorek a2	Vzorek b2	Vzorek c2	Vzorek d2	Vzorek e2
<i>Boky zubů</i>	0,4	0,4	0,4 až 0,45	0,4 až 0,45	0,4 až 0,45
<i>Paty zubů</i>	0,3 až 0,35	0,3 až 0,35	0,3 až 0,35	0,35 až 0,4	0,35
<i>Kužel</i>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>Otvor</i>	0,3 až 0,35	0,3 až 0,35	0,3 až 0,35	0,3 až 0,35	0,35

3.4.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR

Mikrostruktura : Hodnocena na příčném řezu ozubením, podélném řezu partií kuželu a spodní částí otvoru ozubeného kola – vzorek c2. [15]

Příprava vzorku : výbrus číslo 111, 112

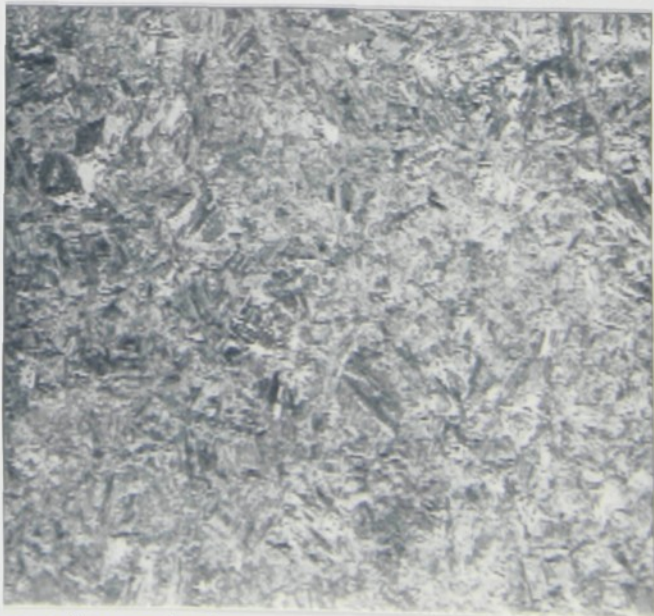
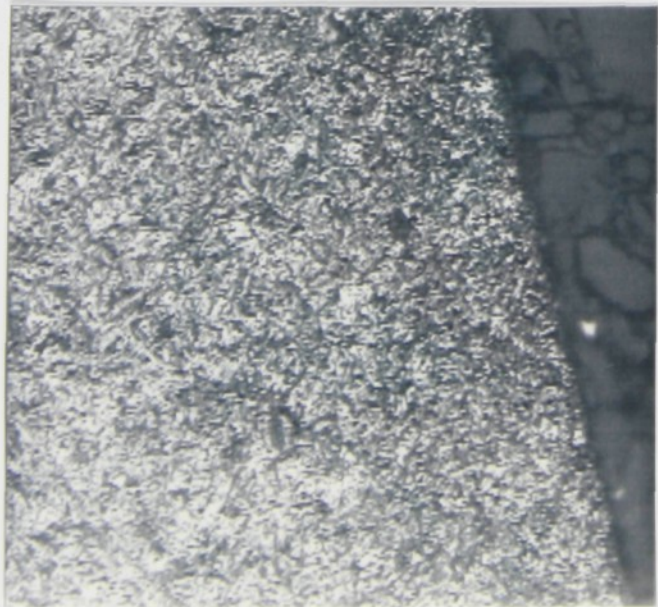
Vyhodnocení povrchu :

Boky zubů : martenzitická struktura

Vyhodnocení jádra :

Zub : martenzitická struktura

ZVĚTŠENÍ : 500, LEPTÁNO : 2 % NITAL



OBR. č.17 STRUKTURA BOKU ZUBU VE VRSTVĚ A V JÁDŘE

Ve vrstvě v oblasti „paty zubů“ je opět struktura martenzitického charakteru s malým množstvím zbytkového austenitu.

V jádře v oblasti „kužel“ – martenzit se strukturou bainitického charakteru a drobnými útvary feritu.

3.4.5. DEFORMACE

Deformace ozubených kol byly zjištěny obdobným způsobem. Hodnocenými parametry zde byla opět úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ měřená na obou stranách zubů (levá a pravá) a to celkově na čtyřech zubech. Předepsaná maximální hodnota této deformace je vyjádřena v absolutní hodnotě a představuje 0,025 mm. Druhým sledovaným parametrem bylo obvodové házení ozubení F_r . U tohoto parametru je předpisem na výkresu povolena maximální hodnota + 0,063 mm. Sledované parametry a jejich hodnoty jsou v příloze č.12 uváděny v celých číslech např. 0,063 (dále jen 63).

Výsledné hodnoty :

Vyhovělo : na $f_{H\beta}$: 10 ozubených kol z 10 tj. 100 %

na F_r : 8 z 10 tj. 80 %

Průměr rozdílů hodnot (tj. *skutečná deformace způsobená tepelným zpracováním*) $f_{H\beta}$ před a po kalení : **Levá strana (kraj) :** - 0,0058 mm

Pravá strana (kraj) : - 0,0102mm

Levá strana (střed) : - 0,0116 mm

Pravá strana (střed) : - 0,01905 mm

3.5. Shodné nastavení pecí

K ověření vlivu záměny kalíciho média jsem využil výsledků ze svého bakalářského projektu. Zde bylo využito 24 ozubených kol, které se používají ke zhotovení převodovky do automobilu ŠKODA FELICIA. Ozubená kola byla vyrobena z konstrukční oceli 14 140, jejímž výrobcem byly Železárny Hrádek a.s. Ocel byla ve formě válcované tyče o rozměrech : ϕ 55mm; délky 4000⁺²⁵⁰ dodaná firmě Wojtoň Kovex spol. s.r.o. se sídlem v Hošťálkové, která dodanou tyčovinu zpracovala ve výkovky. Takto zhotovené výkovky ozubených kol byly následně dodány firmě Škoda auto a.s. Tavba oceli interního označení „N“ měla toto chemické složení: C...0,31 %; Mn...0,59 %; Si...0,22 %; P...0,012 %; S...0,024 %; Cr...0,97 %. Tato tavba byla výjimečná svým procentuelním obsahem uhlíku, který se lišil od rozmezí uvedeného v [3]. Zde je uvedeno procentuelní složení uhlíku 0,35 až 0,42. Ostatní prvky již svým obsahem odpovídají.

Ozubená kola byla tepelně zpracována v průběžných pecích č.1 a č.2 v kalírně M2 automobilového koncernu Škoda auto a.s. U pece č.1 bylo jako kalícího média použito oleje DURIXOL W 25. U pece č.2 bylo využito oleje OL 46, který je používán ve stávající technologii. Ozubená kola byla umístěna na jednom z 12 užívaných roštů. Na jeden rošt je možno umístit 72 kol, které jsou zde umístěny na 7 tyčích. Pro experiment bylo použito 12 náhodně vybraných kol.

3.5.1. HODNOTY NASTAVENÍ A PROVOZNÍCH DAT PECÍ AICHELIN č.1 A č.2

a; Hodnoty nastavení pecí Aichelin č.1 a č.2

Atmosféra : Nosná atmosféra je tvořena endotermickým plynem o rosném bodu + 4° C.

Nastavení „C“ potenciálu CARBOMAT :

2.zóna.....0,95 %

3.zóna.....0,9 %

Nastavení průtokoměru ENDO :

1.zóna.....9 Nm³/hod

Teplota.....860° C

2.zóna.....13 Nm³/hod

Teplota.....860° C

3.zóna.....19 Nm³/hod

Teplota.....860° C

Přídavek čpavku NH₃ :

2.zóna.....0,4 Nm³/hod

3.zóna.....0,4 Nm³/hod

Přídavek zemního plynu :

2.zóna.....základní 0,5

plný 1,4 Nm³/hod

3.zóna.....základní 0

plný 0,8Nm³/hod

Nastavení přídavku vzduchu :

3.zóna.... 0,4 Nm³/hod

Kalící olej : Durixol W 25; Ol 46 - Nastavená teplota oleje: 90° C

Prací stroj : Teplota prací a oplachové zóny.....80 až 90° C

Prací oplachovací roztok.....0,5 % Synaloid 90

Popouštěcí pec :

1.zóna..... Teplota....170-200° C

2.zóna..... Teplota....170-200° C

3.zóna..... Teplota....170-200° C

Generátory : Endomat Ggm 150 R

rosný bod.....4° C

Teplota.....1040° C

Poměr zemní plyn : vzduch.....1 : 2 (2,5)

Složení Endoplynu při Rb 4° C : CO₂....0,4 %; CO....22,4 %; O₂....0 %; H₂....28,9 %;
N₂....47,5 %; CH₄....0,8 %; H₂O....stopy

b; Hodnoty provozních dat pecí Aichelin č.1 a č.2

NASTAVENÍ

SKUTEČNOST

Pec č.1

Pec č.2

-

-

Kalící pec :

Durixol W 25

OL 46

Teplota 1.zóny :	860° C	855° C	853° C
Prodleva v 1.zóně :	52 min.	52 min.	52 min.
Teplota 2.zóny :	860° C	860° C	859° C
Prodleva v 2.zóně :	78 min.	78 min.	78 min.
Teplota 3.zóny :	860° C	857° C	858° C
Prodleva v 3.zóně :	39 min.	39 min.	39 min.
C-potenciál v 1. a 2. zóně :	0,95 %	0,94 %	0,93 %
Prodleva C-pot. v 1. a 2. zóně :	130 min.	130 min.	130 min
C-potenciál ve 3. zóně :	0,85 %	0,79 %	0,8 %
Prodleva C-pot. ve 3. zóně:	39 min.	39 min.	39 min.

Olejová lázeň :

Teplota oleje :	90° C	86° C	87° C
Čas kalení :	40 min.	40 min.	40 min.

Popouštěcí pec :

Teplota 1.zóny :	170° C	170° C	170° C
Teplota 2.zóny :	170° C	170° C	170° C
Teplota 3.zóny :	170° C	170° C	170° C

3.5.2. HODNOTY TVRDOSTI

➤ **3.5.2.1. Popis míst, která byla proměřena**

Tvrdost na povrchu :

Měřeno na vrchním čele ozubeného kola po cca. 120°.: Věvec – na kružnici cca. 5 mm od paty

Zub – na kružnici cca. 5 mm od paty

Tato místa byla označena jako segment „A“, „B“, „C“. U oleje Durixol W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.1, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.2 (viz. příloha č.12)

Tvrdost v otvoru :

Měření bylo provedeno v těchto místech : Ozubení, Střed, Kužel po cca. 120°. Tato místa byla opět označena jako segment „A“, „B“, „C“. U oleje Durixol W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.1, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.2 (viz. příloha č.12)

Tvrdost v jádře :

Měřená místa, kde se tvrdost zjišťovala byla tato : Zub-střed, Zub-pata, Věnc, Kužel, U otvoru po cca 120°. I zde byla tato místa označena jako segment „A“, „B“, „C“. U oleje Durixol W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.7, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.1 (viz. příloha č.12)

➤ 3.5.2.2. Statistika naměřených hodnot

Zde byly sledovány tyto faktory :

a; Zda-li tvrdost HV závisí na poloze ?

b; Zda-li tvrdost HV závisí na čísle kola ?

c; Zda-li naměřené tvrdosti HV ozubených kol odpovídají toleranci dané předpisem na výkresu ?

ad. a; Poloha :

Jako kritérium zde bylo použito Dvouvýběrového t-testu s nerovností rozptylů. Všechna data byla zpracována pomocí programu Office 97 firmy Microsoft. Pro výpočet bylo vždy užito segmentů s největší a nejmenší tvrdostí HV. (viz. příloha č.13; tabulka č.10 – 28)

Z těchto hodnot vyplývá, že na poloze u oleje Durixol W 25 – pec č.1 závisí na povrchu v oblasti věnce a v jádře u otvoru. U oleje OL 46 – pec č.2 výrazně na povrchu v oblasti zubu.

ad. b; Číslo kola :

Zde se dle [6] využil vztah pro rozpětí R, směrodatnou odchylku S a charakteristickou hodnotu počtu měření d(n) (viz tab.16 A z [6]). Za směrodatnou odchylku zde byla považována průměrná hodnota směrodatných odchylek ze segmentů „A“, „B“, „C“.

Vypočtené hodnoty :

$$R = S \times d(n)$$

$$d(n) = d(3) = 1,69$$

Tvrdost na povrchu :

Pec č.1 - DURIXOL W 25

Pec č.2 - OL 46

$$S_{\text{věnc}} = 9$$

$$R_{\text{věnc}} = 15$$

$$S_{\text{věnc}} = 9$$

$$R_{\text{věnc}} = 15$$

$$S_{\text{zub}} = 12$$

$$R_{\text{zub}} = 20$$

$$S_{\text{zub}} = 8$$

$$R_{\text{zub}} = 13$$

Tvrdost v otvoru :

$$S_{\text{ozubení}} = 13$$

$$R_{\text{ozubení}} = 13$$

$$S_{\text{ozubení}} = 13$$

$$R_{\text{ozubení}} = 22$$

$$S_{\text{střed}} = 12$$

$$R_{\text{střed}} = 12$$

$$S_{\text{střed}} = 12$$

$$R_{\text{střed}} = 20$$

$$S_{\text{kužel}} = 16$$

$$R_{\text{kužel}} = 16$$

$$S_{\text{kužel}} = 16$$

$$R_{\text{kužel}} = 27$$

Tvrдост v jádře :

$S_{\text{zub-střed}} = 6$	$R_{\text{zub-střed}} = 10$	$S_{\text{zub-střed}} = 7$	$R_{\text{zub-střed}} = 12$
$S_{\text{zub-pata}} = 18$	$R_{\text{zub-pata}} = 30$	$S_{\text{zub-pata}} = 8$	$R_{\text{zub-pata}} = 13$
$S_{\text{věnec}} = 11$	$R_{\text{věnec}} = 19$	$S_{\text{věnec}} = 6$	$R_{\text{věnec}} = 10$
$S_{\text{kužel}} = 9$	$R_{\text{kužel}} = 16$	$S_{\text{kužel}} = 12$	$R_{\text{kužel}} = 21$
$S_{\text{u otvoru}} = 4$	$R_{\text{u otvoru}} = 7$	$S_{\text{u otvoru}} = 5$	$R_{\text{u otvoru}} = 8$

Nyní se s využitím vypočítaného rozpětí a naměřených hodnot ostatních ozubených kol (viz. příloha č.12) zjistilo, kolik kol neodpovídá dané toleranci.

Výsledné hodnoty :

Tvrдост na povrchu :

Pec č.1 - DURIXOL W 25

Pec č.2 - OL 46

<i>Věnec:</i>	8 kol tj. 67 %	5 kol tj. 42 %
<i>Zub :</i>	7 kol tj. 58 %	9 kol tj. 75 %

Tvrдост v otvoru :

<i>Ozubení :</i>	1 kolo tj. 25 %	1 kolo tj. 25 %
<i>Střed :</i>	odpovídá	1 kolo tj. 25 %
<i>Kužel :</i>	odpovídá	1 kolo tj. 25 %

Tvrдост v jádře :

<i>Zub-střed :</i>	odpovídá	odpovídá
<i>Zub-pata :</i>	odpovídá	2 kola tj. 67 %
<i>Věnec:</i>	odpovídá	1 kolo tj. 33 %
<i>Kužel :</i>	odpovídá	odpovídá
<i>U otvoru :</i>	odpovídá	odpovídá

ad. c; Tolerance

Dle naměřených hodnot (viz. příloha č.12) a tolerance dané předpisem na výkresu tj. $670 \div 720$ HV jsem zjistil, kolik měření ozubených kol neodpovídá dané toleranci.

Výsledné hodnoty :

Tvrдост na povrchu :

Pec č.1 - DURIXOL W 25

Pec č.2 - OL 46

<i>Věnec:</i>	13 měření kol tj. 36 %	10 měření kol tj. 28 %
<i>Zub :</i>	26 měření kol tj. 72 %	20 měření kol tj. 56 %

Tvrдост v otvoru :

Všechna naměřená ozubená kola se nacházejí v toleranci dané předpisem na výkresu.

➤ 3.5.2.3. Výpočty pro celkovou statistiku

Při získání celkové statistiky se vycházelo ze statistických výpočtů, které byly získány z naměřených hodnot tvrdosti HV ozubených kol, při jejichž výrobě bylo využito testovaných kalících médií.

Zde se sledovaly tyto faktory :

- 1; Zda-li tvrdost HV závisí na poloze ?
- 2; Zda-li tvrdost HV závisí na čísle kola ?

a; **Tvrdost na povrchu**

V tomto místě na poloze případně čísle kola závisí, proto musíme brát v úvahu naměřené tvrdosti ostatních ozubených kol.

➤ **Věnec**

V tabulce č.15 je test hypotézy H_{56} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Věnec“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.15

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{56}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{57}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	713,1212	715,9697
Rozptyl výběru	278,4848	181,9053
Pozorování	33	33
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	61	
T	-0,76262	
$P(T \leq t)$	0,224315	
t krit	1,670219	

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{56} nezamítám

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Věnec“ jsou u testovaných olejů ekvivalentní !

➤ **Zub**

V tabulce č.16 je test hypotézy H_{58} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Zub“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.16

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{58}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{59}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	728	723,4848
Rozptyl výběru	252,1875	206,3826
Pozorování	33	33
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	63	
T	1,21123	
$P(T \leq t)$	0,115166	
t krit	1,669403	

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{58}
nezamítám

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Zub” jsou u testovaných olejů ekvivalentní !

b; Tvrdost v otvoru

V tomto místě na pootočení případně čísla kola závisí, proto musíme brát v úvahu naměřené tvrdosti ostatních ozubených kol.

➤ **Ozubení**

V tabulce č.17 je test hypotézy H_{60} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Ozubení” jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.17

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{60}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{61}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	654,7778	671,8889
Rozptyl výběru	467,9444	384,6111
Pozorování	9	9
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	16	
T	-1,75808	
$P(T \leq t)$	0,048922	
t krit	1,745884	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{60}
zamítám ve
prospěch H_{61}

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Ozubení” jsou vyšší u vzorků , u nichž jako kalícího média bylo použito oleje OL 46 !

➤ **Střed**

V tabulce č.18 je test hypotézy H_{62} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Střed“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.18

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{62}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{63}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	641,5556	668,6667
Rozptyl výběru	286,2778	493,5
Pozorování	9	9
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	15	
T	-2,91262	
$P(T \leq t)$	0,005358	
t krit	1,753051	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{62}
zamítám ve
prospěch H_{63}

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Střed“ jsou vyšší u vzorků , u nichž jako kalícího média bylo použito oleje OL 46 !

➤ **Kužel**

V tabulce č.19 je test hypotézy H_{64} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Kužel“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.19

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{64}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{65}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	656,1111	668
Rozptyl výběru	128,6111	388,25
Pozorování	9	9
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	13	
T	-1,56883	
$P(T \leq t)$	0,070349	
t krit	1,770932	

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{64}
nezamítám

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Kužel“ jsou u testovaných olejů ekvivalentní !

c; Tvrdost v jádře

V tomto místě na pootočení případně čísla kola závisí, proto musíme brát v úvahu naměřené tvrdosti ostatních ozubených kol.

➤ Zub-střed

V tabulce č.20 je test hypotézy H_{66} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Zub-střed“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.20

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{66}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{67}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	541,6667	539,5
Rozptyl výběru	39,86667	24,7
Pozorování	6	6
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	9	
T	0,660486	
$P(T\leq t)$	0,262742	
t krit	1,833114	

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{66} nezamítám

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Zub-střed“ jsou u testovaných olejů ekvivalentní !

➤ Věnec

V tabulce č.21 je test hypotézy H_{68} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Věnec“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.21

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{68}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{69}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	456,8333	466,1667
Rozptyl výběru	398,1667	106,1667
Pozorování	6	6
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	-1,01801	
$P(T\leq t)$	0,17128	
t krit	1,894578	

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{68} nezamítám

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Zub-střed“ jsou u testovaných olejů ekvivalentní !

➤ **U otvoru**

V tabulce č.22 je test hypotézy H_{70} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “U otvoru“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.22

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{70}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{71}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	337,1667	399,6667
Rozptyl výběru	15,76667	800,6667
Pozorování	6	6
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	5	
T	-5,35791	
P(T<=t)	0,001522	
t krit	2,015049	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{70}
zamítám ve
prospěch H_{71}

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “U otvoru“ jsou vyšší u vzorků , u nichž jako kalícího média bylo použito oleje OL 46 !

➤ **Zub-pata**

Zda na poloze případně ani na čísle kola nezáviselo, proto bylo možné pro statistiku použít hodnoty tvrdostí jen z jednoho proměřeného kola.

V tabulce č.23 je test hypotézy H_{72} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Zub-pata“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 – pec č.1 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 – pec č.2 (soubor 2).

Tabulka č.23

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{72}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{73}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	476,8	522,4
Rozptyl výběru	101,7	64,8
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	-7,9021	
P(T<=t)	2,39E-05	
t krit	1,859548	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{72}
zamítám ve
prospěch H_{73}

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Zub-pata“ jsou vyšší u vzorků , u nichž jako kalícího média bylo použito oleje OL 46 !

➤ Kužel

Také zde na poloze případně čísla kola nezáviselo, proto bylo možné pro statistiku použít hodnoty tvrdostí jen z jednoho proměřeného kola.

V tabulce č.24 je test hypotézy H_{74} , že střední hodnoty tvrdosti v místě “Zub-pata“ jsou stejné pro případ, kdy jako kalícího média bylo použito oleje Durixol W 25 (soubor 1) a pro vzorky, u nichž bylo použito oleje OL 46 (soubor 2).

Tabulka č.24

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{74}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{75}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	340,6	386,8
Rozptyl výběru	71,3	210,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	-6,1518	
$P(T \leq t)$	0,000423	
t krit	1,943181	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{74}
zamítám ve
prospěch H_{75}

Ze získaných výsledků vyplývá, že naměřené hodnoty tvrdosti na povrchu v místě “Zub-pata“ jsou vyšší u vzorků , u nichž jako kalícího média bylo použito oleje OL 46 !

3.5.3. MĚŘENÍ HLOUBKY NASYCENÉ VRSTVY

Hodnoceno makroskopickou metodou na příčném řezu ozubením, podélném řezu partií kuželu a spodní částí otvoru pomocí lupy. Vrstva byla naleptána 2 % roztokem nitalu. [15]

Výsledné hodnoty :

Pec č.1 - DURIXOL W 25

Pec č.2 - OL 46

Boky zubů :	0,4 mm	0,35÷ 0,4 mm
Paty zubů :	0,3 mm	0,35 mm
Kužel :	0,35 mm	0,35÷0,4 mm
Otvor :	0,3 mm	0,35 mm

3.5.4. METALOGRAFICKÝ ROZBOR

Mikrostruktura : Hodnocena na příčném řezu ozubením, podélném řezu partií kuželu a spodní částí otvoru ozubeného kola č.7 – DURIXOL W 25 (pec č.1) a kola č.1 – OL 46 (pec č.2)

Příprava vzorků : výbrus číslo 384 ÷ 389

Vyhodnocení povrchu :

Boky zubů :

a; DURIXOL W 25 – pec č.1

0,1 ÷ 0,12 mm : martenzit s malým množstvím zbytkového austenitu (cca. 10 %)

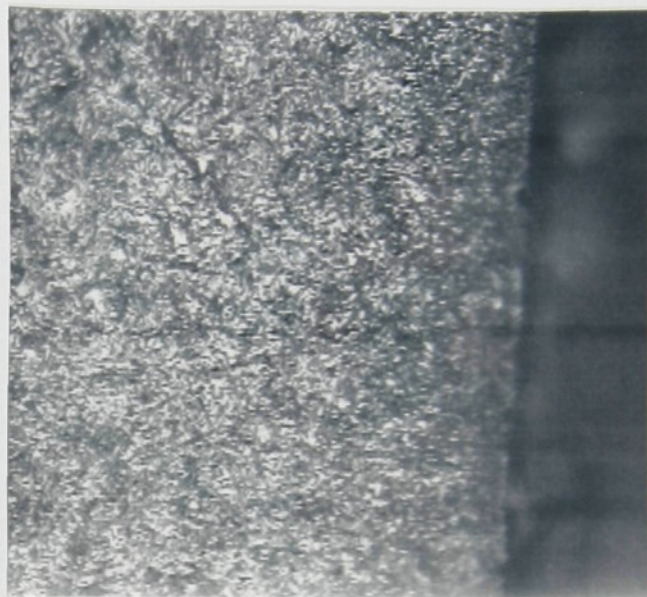
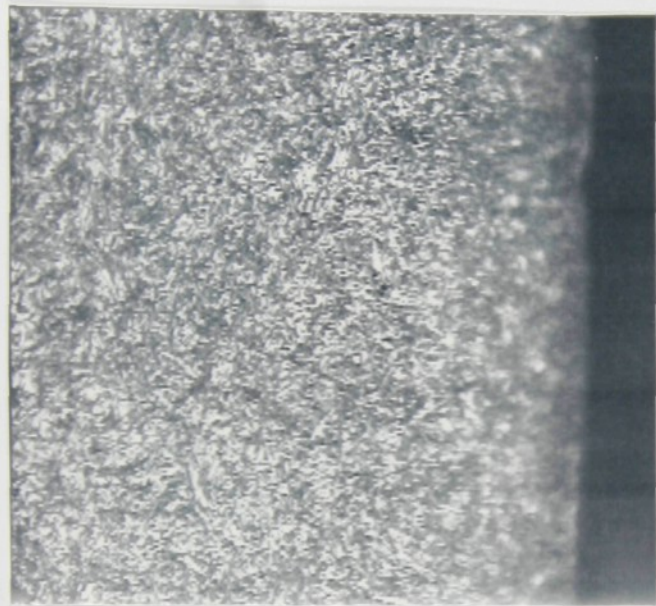
0,25 ÷ 0,4 mm : martenzitická struktura

b; OL 46 – pec č.2

0,1 ÷ 0,12 mm : martenzit s malým množstvím zbytkového austenitu (cca. 10 ÷ 15 %)

0,25 ÷ 0,4 mm : martenzitická struktura

ZVĚTŠENÍ : 500, LEPTÁNO : 2 % NITAL



OBR. č. 18 STRUKTURA BOKU ZUBU VE VRSTVĚ

Paty zubů :

a; DURIXOL W 25 – pec č.1

Přibližně do 0,1 mm jemná struktura martenzitického charakteru téměř bez zbytkového austenitu přechází cca. do 0,25 mm v martenzitickou strukturu a dále do cca. 0,35 mm v martenzit s počátkem útvaru struktury bainitického charakteru.

b; OL 46 – pec č.2

Jemná struktura s martenzitickým charakterem téměř bez zbytkového austenitu cca. do 0,07 ÷ 0,1 mm; do 0,25 ÷ 0,3 mm martenzitická struktura; cca. do 0,35 ÷ 0,4 mm martenzit se středně uhlíkatým charakterem a s počátkem útvarů struktury bainitického charakteru.

Kužel :

U obou vzorků struktura shodná v horní partii s boky zubů, ve spodní části s patami zubů.

Otvor :

a; DURIXOL W 25 – pec č.1

Přibližně do 0,1 mm jemná struktura z části martenzitického charakteru dále dle pruhovi-

tosti jemná struktura s volnými jehlicemi a jemnou strukturou bainitického charakteru a drobnými útvary feritu. U povrchu jemná struktura po hranicích zrn cca. do 0,12 mm.

b; OL 46 – pec č.2

Jemná struktura s martenzitickým charakterem cca. do $0,25 \div 0,3$ mm.

Vyhodnocení jádra :

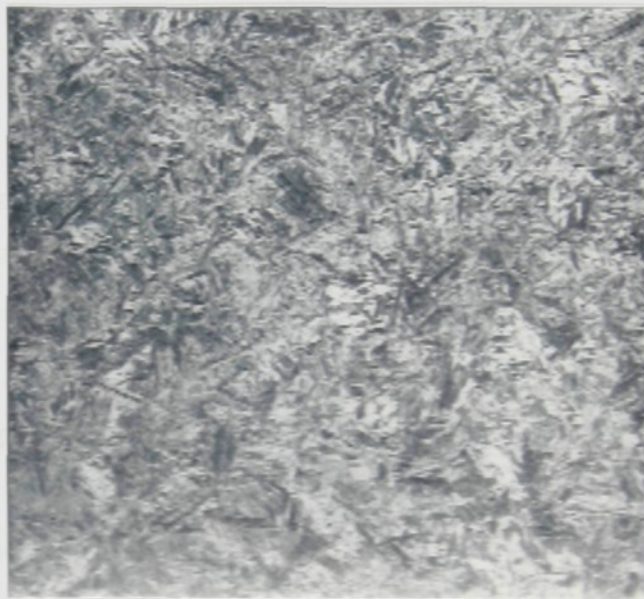
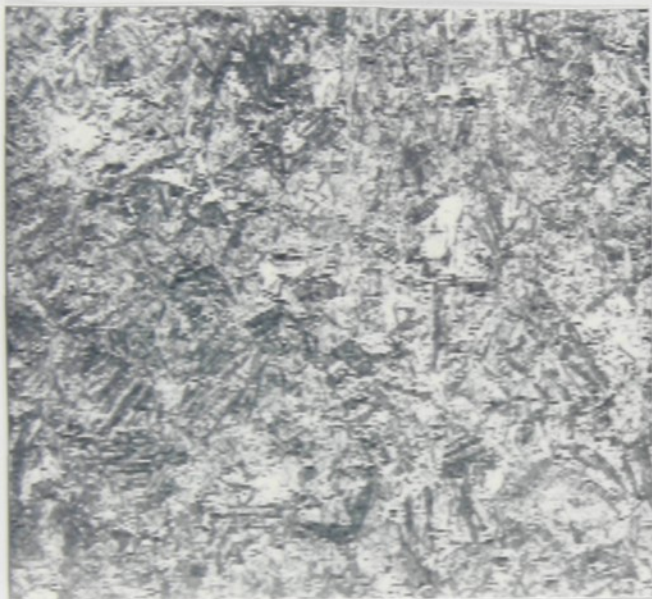
Zub : *a; DURIXOL W 25 – pec č.1*

Heterogenní martenzit. V patě počátek
útvárů bainitu a drobných útvarů feritu.

b; OL 46 – pec č.2

Heterogenní martenzit.

ZVĚTŠENÍ : 500, LEPTÁNO : 2 % NITAL



OBR. č.19 STRUKTURA PATY ZUBU V JÁDŘE

Věnc :

a; DURIXOL W 25 – pec č.1

Martenzitická struktura s podílem bainitu (cca. 20 %) a drobnými útvary feritu.

b; OL 46 – pec č.2

Martenzit s malým podílem struktury bainitického charakteru a drobnými útvary feritu.

Kužel :

a; DURIXOL W 25 – pec č.1

Martenzit s velkým podílem struktury bainitického charakteru, ferit vyloučený jehlicovitě.

b; OL 46 – pec č.2

Martenzit s malým podílem struktury bainitického charakteru (cca. 15 %); ferit v drobných útvarech na hranicích zrn jehlicovitě vyloučený (cca. 15 %).

U otvoru :

V obou případech martenzit se strukturou bainitického charakteru a drobnými útvary feritu.

4. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Pro experiment bylo využito 10 hnacích hřídelů z materiálu 14 220 (dle DIN 16 Mn Cr) a ozubených kol z materiálu 14 140 (dle DIN 37 Cr 4) druhé rychlosti, které se používají ke zhotovení převodovky do automobilu Škoda Felicia. Výrobky byly tepelně zpracovány v průběžných pecích č.1, 2 a 4 v kalírně M 2 automobilového koncernu Škoda Auto a.s. U pecí č.1 a 4 (hnací hřídele – cementace) bylo jako kalícího média použito oleje Durixol W 25. U pece č.2 (ozubená kola - nitrocementace) bylo využito oleje OL 46, který je používán ve stávající technologii. V obou případech došlo během výroby časovou posloupností cca. jednoho měsíce vždy k odběru vzorků olejů.

Cílem experimentu bylo vyhodnotit ochlazovací charakteristiky porovnávaných olejů a zjistit jejich rozptyl v maximální ochlazovací rychlosti. Dalším úkolem bylo zjistit, jak se projeví změna ochlazovacího média na vlastnosti materiálu po tepelném zpracování.

K měření jsem používal přístroj IVF QUENCHOTEST; doba měření byla nastavena vždy na 1 minutu. Pro porovnání ochlazovací schopnosti jsem využil dvou křivek, které přístroj umožňuje zobrazit. Jednou z nich je ochlazovací křivka, což je závislost teploty na čase. Druhou je průběh ochlazovací rychlosti v čase tj. derivace ochlazovací křivky [$^{\circ}\text{C/s}$]. Dalším kritériem byla maximální ochlazovací rychlost [$^{\circ}\text{C/s}$] a teplota při níž bylo této rychlosti dosaženo. Posledním kritériem bylo posouzení jednotlivých údobí tj. parního polštáře, varu s vývinem bublin a údobí výměny tepla konvekci. Toto kritérium bylo vyhodnoceno pomocí PC podle průběhu křivky, teploty a rychlosti ochlazování.

Cílem úvodního měření bylo vzájemné porovnání olejů Durixol W 25 a OL 46 a dále zjistit, jak se projeví obsah oleje Durixol W 71 (10, 20 %) v oleji Durixol W 25 na rychlost ochlazování při zkušební teplotě 60°C .

Rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře tzn. také velikost tohoto údobí je nejmenší u vzorku Durixol W 71, což je způsobeno nižší viskozitou oleje. U ostatních olejů je tento rozdíl srovnatelný, což je do jisté míry překvapením hlavně u olejů Durixol W 25 s obsahem Durixolu W 71. Zde se velikost údobí parního polštáře má také snižovat, ale ve skutečnosti tomu tak není. Příčinu nalézám v tom, že se nejednalo o aditivum W 71, ale o klasický olej. Markantní nárůst ochlazovací rychlosti dosahuje v údobí varu s vývinem bublin opět Durixol W 71. U ostatních olejů je rozptyl maximální ochlazovací rychlosti 1°C/s , což má z pohledu ochlazovací křivky jen malý vliv na výsledné vlastnosti kaleného materiálu.

Z výsledku další zkoušky, jejímž účelem bylo zjistit rozptyl ochlazovací schopnosti olejů v provozu vyplývá, že rozptyl nárůstu ochlazovací rychlosti v údobí varu s vývinem bublin a maximální ochlazovací rychlosti je nižší u oleje Durixol W 25, tzn. že se tento olej chová v této oblasti stabilněji. Střední hodnota maximální ochlazovací rychlosti je o $0,2^{\circ}\text{C/s}$ vyšší ve prospěch oleje Durixol W 25, což nemá z pohledu na výsledné vlastnosti kaleného materiálu žádný vliv. Vliv ochranné atmosféry na změnu kalících schopností v průběhu provozu nebyl sledován. Lze očekávat, že pokud by byl olej používán bez ochranné atmosféry např. typu ENDO může dojít k rychlejší oxidaci oleje, zvyšování viskozity a stárnutí.

Porovnání ochlazovací schopnosti olejů bylo provedeno z hlediska závislosti na teplotě ochlazovací lázně a z hlediska závislosti na přítomnost vody.

Z hlediska závislosti na teplotě ochlazovací lázně jsem chtěl zjistit, zda-li se zvyšováním teploty lázně roste také rychlost ochlazování. Teplota lázně byla $40, 60, 80, 90, 100$ a 120°C .

U obou olejů je nejdelší údobí parního polštáře za teploty lázně 80°C . Téměř při všech teplotách lázně je toto údobí delší u oleje OL 46. Rozdíl je ale zanedbatelný. Nejvyšší nárůst ochlazovací rychlosti v údobí varu s vývinem bublin je u obou olejů při teplotě lázně 80°C . Ve všech případech je nárůst ochlazovací rychlosti vyšší u oleje Durixol W 25. Maximální rychlost ochlazování roste u oleje Durixol W 25 se zvyšující se teplotou. Nejvyšší naměřená maximální rychlost ochlazování byla při teplotě lázně 90°C tj. 87°C/s a poté mírně klesala. U oleje OL 46 závislost na teplotě lázně nebyla prokázána. Maximální rychlost ochlazování byla cca. 77°C/s . Jen při teplotě lázně 100°C byla naměřena maximální ochlazovací rychlost 80°C/s , což je o 7°C/s méně než nejvyšší naměřená maximální rychlost ochlazování u oleje Durixol W 25.

Cílem dalšího měření bylo zjistit, jak se projeví skutečnost že se ochlazovací lázeň bude zahřívat postupně, na vzrůst ochlazovací schopnosti. Teplota lázně byla opět 40 až 120°C .

U oleje Durixol W 25 rozdíl rychlosti v údobí parního polštáře tzn. i jeho velikost se vzrůstající teplotou lázně narůstá až do teploty lázně 80°C jako tomu bylo při pokusu s jednou zahřívaným olejem. Dalším zvyšováním teploty lázně velikost údobí parního polštáře klesá. U oleje OL 46 se vzrůstající teplotou lázně velikost parního polštáře mírně klesá. Nejvyšší nárůst ochlazovací rychlosti v údobí varu s vývinem bublin je opět u obou olejů při teplotě lázně 80°C jako tomu bylo při pokusu s jednou zahřívaným olejem. Téměř ve všech případech je nárůst ochlazovací rychlosti vyšší u oleje Durixol W 25. Maximální rychlost ochlazování dosahují oba oleje při teplotách lázně 80 a 100°C tj. 87°C/s u oleje Durixol W 25 a 81°C/s u oleje OL 46, což jsou hodnoty ekvivalentní s jednou zahřívaným olejem. U oleje OL 46 ovšem nastal při teplotě lázně 90°C pokles na hodnotu 74°C/s a poté dalším zvýšením teploty došlo opět k nárůstu na maximální naměřenou hodnotu. Tato změna by dle mého názoru mohla mít vliv na výsledné vlastnosti kaleného materiálu. Protože tento skok nastal také při pokusu s jednou zahřívaným

olejem, považují za maximální ochlazovací rychlost hodnotu naměřenou při teplotě 80° C, kterou také uvádí výrobce oleje za maximální použitelnou ve výrobním procesu.

Z hlediska závislosti na přítomnosti vody jsem chtěl zjistit, jak se projeví obsah vody na ochlazovací schopnost oleje. Voda byla postupně vmíchávána v koncentracích 0,1; 0,2; 0,5; 1 % objemu celkové lázně. Pro ilustraci jsem ještě uvedl chování ochlazovací křivky při vyšším obsahu vody (3,5 %), který byl odebrán za provozních podmínek na jiném pracovišti. Ke kvantitativní stanovení obsahu vody titrační metodou byl použit přístroj KF TITRINO 701. [15]

U obou olejů dochází důsledkem přítomnosti vody ke snížení rozdílu rychlosti v údobí parního polštáře skokem. Charakter ochlazovací schopnosti je ale odlišný. U oleje Durixol W 25 se tato hodnota přibližuje nule a se zvyšujícím se objemem vody se nemění. Velikost údobí parního polštáře je tedy charakterizována pouze poklesem teploty. U oleje OL 46 klesá se vzrůstajícím objemem vody až do koncentrace 0,5 %. S dalším růstem objemu vody se téměř nemění. Velikost údobí parního polštáře je tedy při vyšších koncentracích dána pouze poklesem teploty.

V tomto údobí se především projevuje nepravidelnost charakteru ochlazovací křivky. Tato nepravidelnost je dána přítomností vody v oleji a markantně se projevuje u oleje OL 46 při všech koncentracích vody, což by mohlo mít za následek deformace součástí po tepelném zpracování. Výraznější nárůst údobí parního polštáře je až při vyšším obsahu oleje. Zvyšováním objemu vody dochází ke zvyšování nárůstu ochlazovací rychlosti až do koncentrace 0,5 % a poté mírně klesá. Maximální rychlost ochlazování u obou olejů přítomností vody vzroste skokem. U oleje Durixol W 25 se dalším nárůstem objemu vody již maximální ochlazovací rychlost nemění. U oleje OL 46 se zvyšujícím se objemem vody v oleji roste také maximální ochlazovací rychlost. Dalším snižováním teploty var ustane a teplo se odvádí do kapaliny vedením. Teplo se během této fáze již odebírá velmi pomalu. U obou olejů se v této oblasti projevuje větší tekutost oleje, která je dána přítomností vody. To znamená, že v tomto údobí dochází k rovnoměrnějšímu ochlazování.

V další části experimentu bylo provedeno prověření kvality hnacích hřídelů a ozubených kol z hlediska dosaženého tepelného zpracování.

U 5 hnacích hřídelů, které byly umístěny v poloze „střed“ byly sledovány tyto faktory :

- 1; Zda-li tvrdost HRC závisí na odebraných vzorcích hnacích hřídelů ?
- 2; Zda-li naměřené tvrdosti HRC hnacích hřídelů odpovídají toleranci dané předpisem ?

ad.1; Jako kritérium zde bylo použito t-testu s nerovností rozptylů a popisné charakteristiky.

Ze statistických výpočtů jsem zjistil, že u tvrdosti „na povrchu“, kdy bylo u každého vzorku provedeno 10 měření tvrdosti na ϕ 36mm, na vzorcích nezávisí ani u jedné z použitých pecí.

U tvrdosti „v jádře“ na odebraných vzorcích závisí u pece č.1 v místě „zub-střed“, u pece č.4 v místě „zub-střed“ a „zub-pata“. Bylo zde ale použito statisticky malého výběru, proto z tohoto výsledku nelze dělat žádné konkrétní závěry.

ad. 2; Zde jsem zjistil, že uvedené toleranci na výkresu tj. $58 \div 60$ HRC neodpovídalo ve všech případech 1 z 10 naměřených hodnot tj. 10 %. Jen u vzorku hnacího hřídele c1 neodpovídalo 50 % naměřených hodnot. Ve všech případech se jednalo o překročení horní předepsané tolerance, což není dle mého názoru tak závažné jakoby tomu bylo u překročení hranice dolní. Uvedené hodnoty jsem z předpisem porovnával jakoby byly naměřeny dílenským tvrdoměrem a nikoliv digitálním. K tomuto rozhodnutí mne vedla obava, aby nedošlo ke zkreslení celkového vyhodnocení.

Dalším sledovaným parametrem byly deformace. Deformace byly zjištěny pomocí tříosého měřicího centra Höfler ZP 250. Záznamy byly dodány [15] z měření hnacích hřídelů ve stavu měkkém tj. po obrábění i po tepelném zpracování v poloze „střed“ a „kraj“. Hodnocenými parametry byla úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ měřená na obou stranách zubů (levá a pravá) a to celkově na čtyřech zubech. Předepsaná maximální hodnota této deformace je vyjádřena v absolutní hodnotě a představuje 0,025 mm. Druhým sledovaným parametrem bylo obvodové házení ozubení F_r . U tohoto parametru je předpisem na výkresu povolena maximální hodnota + 0,056 mm. Na úchylku sklonu zubu $f_{H\beta}$ nevyhověl ani jeden z 10 hnacích hřídelů, což je dle [15] provedeno záměrně z důvodu hlučnosti. Na obvodové házení F_r vyhověly naopak všechny hřídele. Střední hodnota skutečné deformace $f_{H\beta}$ byla - 0,0342 mm.

U 5 ozubených kol, které byly umístěny na horním roštu v poloze „střed“ se sledovala tolerance daná předpisem na výkresu tj. $720 \div 750$ HV pro polohu „na povrchu“ a min. 630 HV pro polohu „v otvoru“.

Vzorky u tvrdosti „na povrchu“ v místě „věnec“ a „zub“ neodpovídaly ve všech případech. Vzorky c2 až e2 vykazovaly větší hodnoty než udává předpis, vzorky a2 a b2 nižší. Důvod pro nesplnění dolní hranice tolerance byl způsoben nekvalitním pracím cyklem po obrábění, kdy na povrchu součásti zůstaly skvrny po pracím prostředku. Tyto skvrny zabránily v procesu tepelného zpracování kvalitnímu nauhličení vrstvy. U tvrdosti „v otvoru“ všechny vzorky v daných měřených místech odpovídají předpisu.

Deformace ozubených kol byly zjištěny obdobným způsobem. Hodnocenými parametry zde byla opět úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$ měřená na obou stranách zubů (levá a pravá) a to

celkově na čtyřech zubech. Předepsaná maximální hodnota této deformace je vyjádřena v absolutní hodnotě a představuje 0,025 mm. Druhým sledovaným parametrem bylo obvodové házení ozubení F_r . U tohoto parametru je předpisem na výkresu povolena maximální hodnota + 0,063 mm. Na úchytku sklonu zubu $f_{H\beta}$ vyhovělo všech 10 ozubených kol. Na obvodové házení F_r vyhovělo 8 ozubených kol. Střední hodnota skutečné deformace $f_{H\beta}$ byla - 0,012 mm.

Pro vyhodnocení vlivu záměny kalícího média na materiál jsem využil poznatků ze svého bakalářského projektu, kdy byly shodně nastavené podmínky pecí. Cílem zkoušky zde bylo zjistit, zda-li při změně kalícího média dojde u ozubených kol ke snížení rozptylu tvrdostí na povrchu a v jádře. Ve struktuře se chtělo dosáhnout snížení podílu feritu a bainitu a tím ke zvýšení kvality ozubených kol.

Ozubená kola byla tepelně zpracována v průběžných pecích č.1 a č.2. U pece č.1 bylo jako kalícího média použito oleje Durixol W 25 a u pece č.2 oleje OL 46. Ozubená kola byla vyrobena z konstrukční oceli 14 140(dle DIN 37 Cr 4) tavby interního označení „N“ o chemickém složení : C.....0,31 %; Mn.....0,59 %; Si.....0,22 %; P.....0,01 %; S.....0,024 %; Cr.....0,97 %. Tavba byla výjimečná svým procentuelním obsahem uhlíku, který se liší od rozmezí uvedeného v [3]. Zde je uvedeno procentuelní složení uhlíku $0,35 \div 0,42$. Ostatní prvky již svým obsahem odpovídají hodnotám uvedeným v [3]. Ozubená kola byla umístěna na jednom z dvanácti užívaných roštů. Na jeden rošt je možno umístit 72 kol, které jsou zde rozmístěny na 7 tyčích. Pro zkoušku bylo použito 12 náhodně vybraných kol.

Ve výpočtu celkové statistiky dosažených tvrdostí a jejich rozptylů byl brán zřetel na tyto skutečnosti:

- 1; Zda-li tvrdost HV závisí na poloze?
- 2; Zda-li tvrdost HV závisí na čísle kola ?

Měření byla provedena na třech místech v polohách pootočených o 120° , které byly označeny jako segment „A“, „B“, „C“. Z dvanácti použitých kol bylo vybráno jedno, u kterého se provedl větší počet měření za účelem zjištění závislosti na čísle kola.

U tvrdosti „na povrchu“ jsem zjistil, že jak u oleje Durixol W 25, tak i u stávajícího oleje OL 46, měřená tvrdost závisí jak na poloze tak i na čísle kola. Z důvodů závislosti ozubených kol na těchto faktorech se pro celkovou statistiku muselo počítat s hodnotami tvrdostí všech kol. Při použití t-testu s nerovností rozptylu jsem zjistil, že hodnoty naměřených tvrdostí jsou ekvivalentní.

U tvrdosti „U otvoru“ byla provedena měření obdobně jako u tvrdosti „na povrchu“. Naměřená tvrdost závisí v obou případech na čísle kola, nikoli ovšem na poloze. I zde se tedy

muselo pro celkovou statistiku počítat s naměřenými hodnotami všech kol. Ze statistických výpočtů vyplývá, že naměřené tvrdosti jsou i zde ekvivalentní.

U tvrdosti „v jádře“ byla provedena měření na třech ozubených kolech, které byly již použity u tvrdosti „v otvoru“. Z těchto kol bylo vybráno jedno, u kterého se provedl větší počet měření za účelem zjištění závislosti na čísle kola. U tvrdosti „v jádře“ jsem zjistil, že na poloze nezávisí. Na čísle kola závisí u těchto míst : Zub-střed, Věnc a U otvoru. Do celkové statistiky se proto musely brát v úvahu naměřené tvrdosti všech kol. Podle t- testovacího kritéria jsem zjistil, že i zde jsou tvrdosti ekvivalentní.

U ostatních měřených míst na poloze případně čísle kola nezáviselo, proto mohlo být využito testovacího kritéria jen u proměřovaných kol. Ze statistických výsledků vyplývá, že se zde naopak tvrdost liší a to tak, že u stávajícího oleje jsou naměřené tvrdosti i jejich rozptyl vyšší.

Dále se sledovala tolerance ozubených kol daná předpisem na výkresu (viz. příloha č.15). Pro testování se použilo stejného počtu ozubených kol jako u předchozího porovnání. U povrchové tvrdosti byla předepsána tvrdost 670 – 720 HV. U oleje Durixol W 25 neodpovídalo předepsané toleranci u Věnce 36%, u Zubu 72% měření. U oleje OL 46 neodpovídalo předepsané toleranci u Věnce 28%, u Zubu 56% měření. V obou případech se jednalo o překročení horní hranice tolerance, což není dle mého názoru tak závažné jakoby tomu bylo u překročení hranice dolní.

U tvrdosti „v otvoru“ byla předepsána tvrdost dle výkresu (viz. příloha č.15) $630 \div 720$ HV. V tomto případě bylo u obou testovaných médií docíleno požadované tvrdosti.

U tvrdosti „v jádře“ předpisem stanovena tvrdost nebyla. Dle [3] by se tvrdost v těchto místech měla pohybovat do 217 HB. V obou případech byly naměřené tvrdosti nad touto hranicí, tzn. že vlivem tepelného zpracování došlo k ovlivnění jádra. Protože bylo použito výjimečné tavby vzhledem k procentuelnímu obsahu uhlíku (byl nižší), mělo by dojít ještě k většímu růstu tvrdosti.

Pro metalografii bylo využito ozubených kol, které se proměřovaly „v otvoru“ za účelem zjištění závislosti na čísle kola. Dle tohoto metalografického rozboru je ve struktuře ekvivalentní obsah bainitu. U oleje Durixol W 25 se ale u kalené vrstvy „u otvoru“ a v jádře u měřených míst „věnc“, „kužel“, „u otvoru“ vyskytují drobné útvary feritu. Z obsahu feritu lze možno usuzovat na skutečnost, že došlo k podkalení. Metalografický rozbor se tehdy prováděl jen na jednom ozubeném kole, proto nebylo vyloučeno, že ferit ve struktuře byl obsažen jen v tomto náhodně vybraném kole. Tato skutečnost se také následně potvrdila.

Dalším neméně důležitým faktorem pro rozhodnutí, které ochlazovací médium použít, je hledisko ekonomické (viz. příloha č.17). Z tohoto rozboru vyplývá, že použití oleje Durixol W 25 by bylo výhodnější.

Ze získaných výsledků vyplývá, že:

- Charakter ochlazovací křivky výrazně ovlivňuje viskozita oleje.
- Olej Durixol W 25 dosahuje oproti oleji OL 46 vyšší ochlazovací schopnosti.
- Při provozních podmínkách se chová olej Durixol W 25 stabilněji.
- Maximální rychlost ochlazování roste se zvyšující teplotou lázně a je vždy vyšší u oleje Durixol W25.
- I malý obsah vody výrazně ovlivňuje kalící schopnost.
- Nepatrný obsah vody způsobuje nepravidelnost ochlazovací křivky především u oleje OL 46.
- Záměnou kalícího média nedojde nikterak výrazně ke snížení rozptylu tvrdosti na povrchu a v jádře.
- Záměnou kalícího média nedojde ve struktuře ke snížení podílu feritu a bainitu.
- Z ekonomického hlediska je použití oleje Durixol W25 příznivější.

Pro výrobní praxi doporučuji :

- V případě, že se olej odebraný za provozních podmínek bude v charakteristických hodnotách tj. maximální rychlosti ochlazování a teploty při níž bylo této hodnoty dosaženo lišit od etalonu (tj. ochlazovací schopnosti oleje při teplotě lázně 60°C) o hodnotu 3°C/s případně $\pm 10^{\circ}\text{C}$ navrhuji, aby bylo provedeno opakované měření. Když i po této další zkoušce bude difference překračovat hodnotu 5°C/s nebo $\pm 15^{\circ}\text{C}$ bude se muset provést opatření pro zlepšení kvality oleje.
- V případě, že charakter křivky bude vykazovat nepravidelnost nebo maximální rychlost ochlazování stoupne oproti etalonu skokem, doporučuji ihned provést pomocí přístroje KF TITRINO 701 titrační metodou kvantitativní stanovení obsahu vody. Jestliže tato zkouška přítomnost vody potvrdí, doporučuji provést opatření pro zlepšení kvality oleje.
- Pokusit se provést ekvivalentní nastavení pecí, aby bylo možno prověřit vliv charakteristik dvou porovnávaných olejů na vlastnosti materiálu po tepelném zpracování, zejména z hlediska deformací.

5. ZÁVĚR

V rámci předložené diplomové práce bylo provedeno :

1. Teoretický rozbor řešené problematiky se zvláštním zřetelem na vliv vývoje par olejů na proces kalení.
2. V souladu se zadáním byly prověřeny charakteristiky dvou různých druhů olejů.
3. Byl prověřen vliv záměny ochlazovacího média na vlastnosti materiálu po tepelném zpracování.
4. Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a vzájemně porovnány.
5. Naměřené a vypočtené hodnoty byly zpracovány do tabulek včetně ekonomického zhodnocení.
6. Výsledky byly vyhodnoceny a bylo formulováno doporučení pro výrobní praxi.
7. Zjištěné hodnoty byly diskutovány v diskusi výsledků.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1].....BURGDORF,E.H. : *Nové postupy kalení a kalící prostředky*
STUTT GART, 1990
- [2].....BROŽEK,P. : *Diplomová práce*
ČVUT PRAHA, 1997
- [3].....FIALA,J.-BERBR,A.-MATOŠKA,Z. : *Strojnické tabulky 1.*
SNTL PRAHA, 1978
- [4].....KONTOROVÍČ,I.E. : *Tepelné zpracování oceli a litiny 1.*
SNTL PRAHA, 1960
- [5].....KORECKÝ,J. : *Cementování oceli*
SNTL PRAHA, 1958
- [5].....LIKEŠ,J.-LAGA,J. : *Základní statistické tabulky*
SNTL PRAHA, 1958
- [7].....PARIS,A. : *Diplomová práce*
ČVUT PRAHA, 1996
- [8].....PETRÁŠ,L.V. : *Kalící prostředí pro tepelné zpracování kovů*
SNTL PRAHA, 1962
- [9].....PLUHAŘ,J. a kol. : *Nauka o materiálech*
SNTL PRAHA, 1989
- [10].....PŘENOSIL,B. : *Nitrocementace*
SNTL PRAHA, 1964
- [11].....RYŠ,P.-CENEK,M.-MAZANEC,K.-HRBEK,A. : *Nauka o materiálech 1/4*
ACADEMIA PRAHA, 1975
- [12].....SOUČEK,J. : *Bakalářský projekt*
TU LIBEREC, 1993
- [13].....*firemní podklady výrobce oleje Durixol W 25*
- [14].....*interní informace firmy ECOSOND s.r.o.*
- [15].....*interní informace firmy ŠKODA AUTO a.s.*
- [16].....*katalog firmy HOUGHTON s.r.o.*

PŘÍLOHY

PŘÍLOHA č.1 – Materiálová norma oceli 14 140

ČSN 14 140 chromová

JK : 125 344

Datum schválení : 9.11.76

Datum účinnosti od : 1.4.78 Nahrazuje normu z : 12.8.64

Datum účinnosti změny : 1.5.87 Znak poslední změny : c

Skupina oceli : k zušlechťování

Třída odpadu : 033

Barevné označení : modrá – bílá – fialová

Druh oceli podle způsobu výroby : elektroocel

kyslíková konvertorová

Chemické složení oceli :

C.....0,35 – 0,42 %.....-0,02 %; + 0,02 %

Mn.....0,5 – 0,8 %.....-0,05 %; + 0,1 %

Si.....0,17 – 0,37 %....-0,03 %; + 0,05 %

Cr.....0,8 – 1,1 %.....-0,05 %; + 0,1 %

P.....0,035 %

S.....0,035 %

Mechanické vlastnosti :

Výrobek : výkovek

Provedení : kovaný

Povrch : okuje

Fyzikální vlastnosti :

Teploty přeměn [° C] : $A_{c1} \approx 730$; $A_{c3} \approx 810$; $M_s \approx 295$

Modul pružnosti ve smyku : $n = -3$; $G \cdot 10^n$ MPa

79 MPa

Teplota ° C 20

Modul pružnosti v tahu : $n = -3$; $E \cdot 10^n$ MPa

196 MPa

Zahraniční přiřazení : ISO : C 15; DIN : 37 Cr 4; SAE : 5132 H

Vlastnosti a použití oceli 14 140 – konstrukční ocel :

- svařitelnost obtížná
- ocel velmi dobře obrobitelná
- dopravní zařízení, součásti automobilu, motocyklu...
- části leteckých motorů

Vlastnosti a použití oceli podle ČSN 42 0074 :

- oceli pro pokovování
- oceli odolné stlačenému vodíku
- oceli na kalené pružiny
- oceli k povrchovému kalení
- oceli ke keramickému smaltování a organosmaltům

Způsob tepelného zpracování :

	Teploty ° C	Postup
Kování.....	1150 – 800	pomalou ochlazovat
Žihání normalizační.....	860 – 890	ochlazovat na vzduchu
Žihání na měkko.....	720 – 760	výdrž na teplotě 4 hod.; potom pomalu ochla - zovat v peci
Kalení - olej.....	850 – 880	do ϕ 30 mm
Kalení - voda.....	830 – 860	ϕ nad 32 mm
Popouštění – olej.....	500 – 640	
Popouštění – voda.....	500 – 640	
Popouštění – vzduch.....	500 – 640	

PŘÍLOHA č.2 – Materiálová norma oceli 14 220

ČSN 14 220 Mn - Cr

JK : 125 324 125 344

Datum schválení : 9.10.76

Datum účinnosti od : 1.5.78 Nahrazuje normu z : 29.7.65

Datum účinnosti změny : 1.1.89 Znak poslední změny : c

Skupina oceli : na cementování

na kyanování

Třída odpadu : 033

Barevné označení : modrá – zelená – černá

Druh oceli podle způsobu výroby : martinská

elektroocel

kyslíková konvertorová

Chemické složení oceli :

C.....0,14 – 0,19 %.....-0,01 %; + 0,01 %

Mn.....1,1 – 1,4 %.....-0,1 %; + 0,1 %

Si.....0,17 – 0,37 %....-0,03 %; + 0,05 %

Cr.....0,8 – 1,1 %.....-0,05 %; + 0,1 %

P.....0,035 %

S.....0,035 %

Mechanické vlastnosti :

Výrobek : výkovek

Provedení : kovaný

Povrch : okuje

Fyzikální vlastnosti :

Teploty přeměn [° C] : $A_{c1} \approx 740$; $A_{c3} \approx 840$; $M_s \approx 400$

Zahraniční přiřazení :

ISO : 16 Mn Cr 5; DIN : 16 Mn Cr 5; SAE : 5115; UNS : G 51150

Vlastnosti a použití oceli 14 220 – konstrukční ocel :

- svařitelnost dobrá
- ocel velmi dobře obrobitelná
- součásti a části strojů
strojní součástky
- součásti a části strojů
drážkované hřídele
- součásti a části strojů
ozubená kola

Vlastnosti a použití oceli podle ČSN 42 0074 :

- oceli k mírnému nebo hlubokému tažení
- oceli k povrchovému kalení
- oceli na láhve pro stlačené a zkapalněné plyny
- oceli na železniční a tramvajové kolejnice

Způsob tepelného zpracování :

	Teploty ° C	Postup
Kování volné.....	1200 – 800	ochlazovat na vzduchu
Kování v zápustce.....	1250 – 800	ochlazovat na vzduchu
Žihání normalizační.....	880 – 920	ochlazovat na vzduchu
Žihání na měkko.....	680 – 720	ochlazovat v peci
Kalení.....	810 – 840	ochlazovat v oleji nebo v solné lázni při teplotě 150 – 200 °C
1. kalení zkušebního vzorku.....	840 – 870	ochlazovat v oleji
2. kalení zkušebního vzorku.....	810 – 830	ochlazovat v oleji
Popouštění – vzduch	150 – 200	
Zušlechťování		
Kalení - voda.....	850 – 880	
Zušlechťování		
Kalení - olej.....	850 – 880	
Cementování – plyn.....	900 – 930	ochlazování na vzduchu; ochlazovací jednotka nebo ochlazovací zóna pod Ar ₁
Cementování – prášek.....	860 – 900	ochlazovat v cem. krabici nebo na vzduchu
Cementování – sůl.....	890 – 910	ochlazovat na vzduchu

Průběžná pec Aichelin KS Gs

- cyklus nitrocementace, kalení, praní a popouštění proběhne automaticky dle nastaveného programu
- na tyčový přípravek narovnat určený počet kusů ozubených kol s vloženým mezikusem
- během procesu provádět samokontrolu kvality tepelného zpracování dle skupinového technologického postupu

Technická kontrola

- provádět dle skupinového technologického předpisu pro pracoviště technické kontroly

Tryskací stroj TM SO

- celé tryskat dle skupinového technologického předpisu

Kontrola materiálu

U 4 kusů z dávky proveďte kontrolu tvrdosti na zaleštěné ploše poloautomatickým tvrdoměrem Rockwell EMCO M2N 330 při zatížení 30 kp (294 N)

Požadovaná tvrdost 670-720 HV

Brusný kotouč 43; Bruska BNT 34

Každou zkontrolovanou dávku označit a potvrdit kompletnost a počet kusů.

Fosfátovací linka Kovofiniš

Fosfátovat synfátem dle skupinového technologického předpisu pro fosfátování. Při fosfátování použití přípravku. U 2 kusů z přípravku provést kontrolu nárůstu fosfátové vrstvy pomocí měřidla.

Kalibrace otvorů

U těsných otvorů provést kalibraci ϕ 34,4 na vrtačce US 20.

Otáčky vřetene 112 ot/min.; posuv 0,5 mm/ot.

Každý 30 kus se měří kalibrem.

PŘÍLOHA č.4 – Pracovní postup hnacího hřídele

Průběžná pec Aichelin KS Gs

- cyklus cementace, kalení, praní a popouštění proběhne automaticky dle nastaveného programu
- na hnací hřídel navléknout kroužek a vložit ve svislé poloze do přípravku
- během procesu provádět samokontrolu kvality tepelného zpracování dle skupinového technologického postupu

Technická kontrola

- provádět dle skupinového technologického předpisu pro pracoviště technické kontroly

Kontrola materiálu

U 3 kusů z dávky proveďte dvěma vpichy kontrolu tvrdosti na zaleštěné plošce v místě pro zkoušku tvrdosti tvrdoměrem Rockwell při zatížení 150 kp

Požadovaná tvrdost 58 – 60 HRC

Brusný kotouč 43; Bruska BNT 34

Kontrolu tvrdoměru provádět denně na začátku ranní směny pěti vpichy na tvrdoměrné destičce a naměřené hodnoty zaznamenat.

Každou zkontrolovanou dávku označit a potvrdit kompletnost a počet kusů.

Tryskací stroj TM SO

- celé tryskat dle skupinového technologického předpisu

PŘÍLOHA č.5 - Skupinový techn. předpis NITROCEMENTACE do hloubky 0,6-0,7 mm

Atmosféra : Nosná atmosféra je tvořena endotermickým plynem o rosném bodu + 4° C.

Nastavení „C“ potenciálu CARBOMAT :

PEC č.1: 2.zóna.....1,00 %

3.zóna.....0,85 %

PEC č.4: 2. a 3.zóna...1,00 %

4.zóna.....0,9 %

Nastavení průtokoměru ENDO :

PEC č.1: 1.zóna.....9 Nm³/hod Teplota....920° C

2.zóna.....14 Nm³/hod Teplota....920° C

3.zóna.....16 Nm³/hod Teplota....830° C

PEC č.4: 1. a 2.zóna...12,5 Nm³/hod Předehřev...400° C

Teplota-1.zóna880° C

Teplota-2.zóna900° C

3.zóna.....12,5 Nm³/hod Teplota....920° C

4.zóna.....25Nm³/hod Teplota....830° C

Přídavek zemního plynu : řízený automaticky CARBOMATEM na předepsanou hodnotu „C“ potenciálu

Nastavení přídavku vzduchu : 3.zóna....PEC č.1: 0,4 Nm³/hod

PEC č.4: 0,7 Nm³/hod

Kalící olej : Durixol W 25; nastavená teplota oleje: PEC č.1: 100° C

PEC č.4: 120° C

nastavené otáčky dmychadla: PEC č.4: 1500ot/min.

Prací stroj : Teplota prací a oplachové zóny.....80 až 90° C

Prací oplachovací roztok.....0,5 % Synaloid 90

Popouštěcí pec : PEC č.1: 1.zóna.....Teplota....170-200° C

2.zóna.....Teplota....170-200° C

3.zóna.....Teplota....170-200° C

PEC č.4: 1.zóna.....Teplota....160-180° C

2.zóna.....Teplota....160-180° C

3.zóna.....Teplota....160-180° C

Atmosféra : Nosná atmosféra je tvořena endotermickým plynem o rosném bodu + 4° C.

Nastavení „C“ potenciálu CARBOMAT :

2.zóna.....0,9 %

3.zóna.....1,05 %

Nastavení průtokoměru ENDO :

1.zóna.....14 Nm³/hod

Teplota.....860° C

2.zóna.....14 Nm³/hod

Teplota.....860° C

3.zóna.....14 Nm³/hod

Teplota.....860° C

Nastavení přídavku čpavku :

1.zóna.....0,2 Nm³/hod

2.zóna.....0,4 Nm³/hod

Přídavek zemního plynu : řízený automaticky CARBOMATEM na předepsanou hodnotu „C“ potenciálu

Nastavení přídavku vzduchu :

3.zóna.... 0,4 Nm³/hod

Kalící olej : OL 46; nastavená teplota oleje: 75° C

Prací stroj : Teplota prací a oplachové zóny.....80 až 90° C

Prací oplachovací roztok.....0,5 % Synaloid 90

Popouštěcí pec : Teplota:

1.zóna..... 170-190° C

2.zóna..... 170-190° C

3.zóna..... 170-190° C

PŘÍLOHA č.7 – Skupinový postup pro samokontrolu kvality tepelného zpracování u průběžných pecí cementačních a nitrocementačních

První kalič provádí :

- pravidelnou kontrolu správné funkce všech systémů pece
- zvýšenou kontrolu věnuje kontrole teplot v jednotlivých zónách
- všechny přípravky, jejichž kvalita může být ovlivněna, důsledně označí kroužkem
- u 2 kusů odebraných z horního a dolního patra přípravku proveďte kontrolu tvrdosti přístrojem ROCKWELL.
- v případě zjištění, že naměřené hodnoty tvrdosti neodpovídají požadavkům technologického postupu uvědomí pracovníka technické kontroly, mistra a seřizovače.
- ve směnách, kdy není přítomen pracovník technické kontroly, provede kontrolu tvrdosti u pěti dílů odebraných z každého přípravku. Kontrolu provádí až do odstranění závady, rošty s díly s tvrdostí mimo povolenou toleranci důsledně označí kroužkem.
- sleduje a eviduje zpracování zkouškových dílů a ručí za kvalitu jejich tepelného zpracování
- seřizovač vytiskne jednou za směnu z provozovaných pecí protokol o tepelném zpracování

KONTROLA KALÍČÍHO OLEJE

Seřizovač odebere z nádrže každého provozovaného zařízení 1 × za měsíc vzorek oleje pro laboratoř na zkoušku obsahu vody, hustoty, viskozity, bodu vzplanutí a kyselosti.

KONTROLA C – POTENCIÁLU

Jednou za týden provést u všech provozovaných průběžných cementačních pecí kontrolu sytícího potenciálu v sytící a kalící zóně.

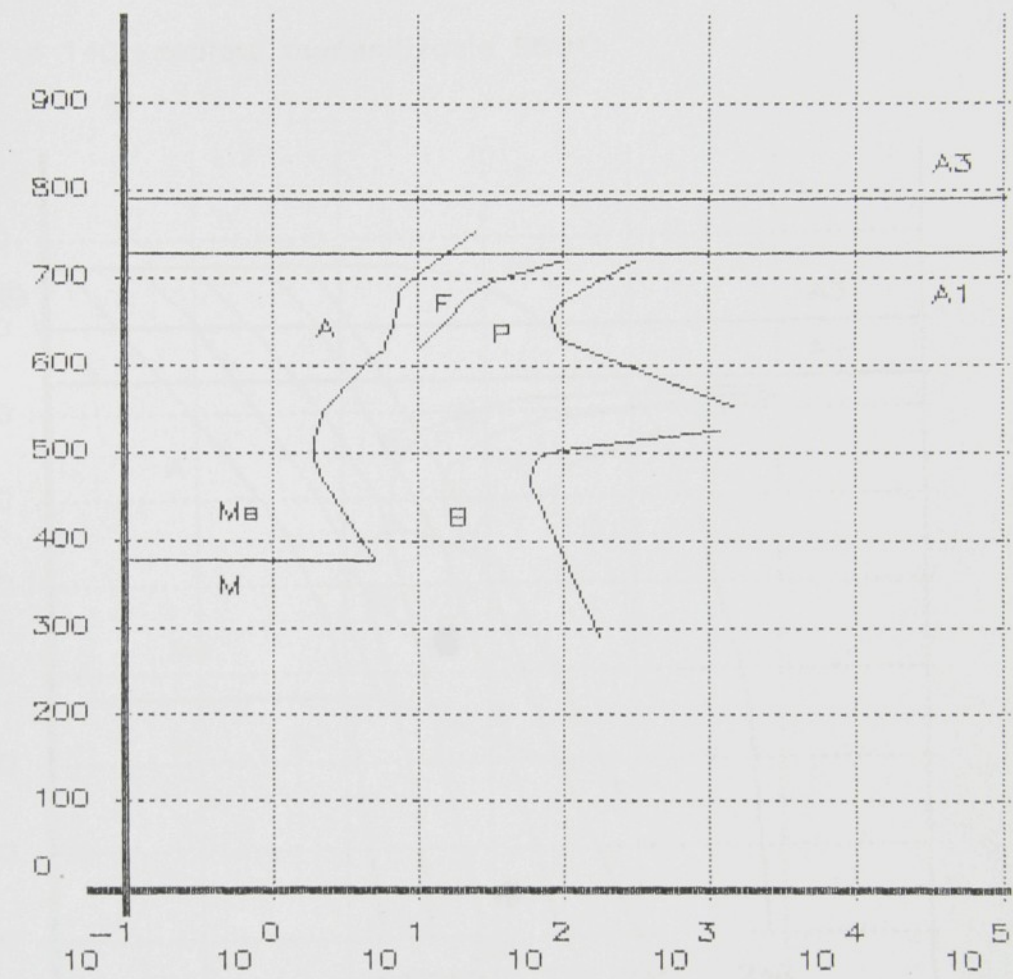
Jednou za dva týdny provést tuto kontrolu i u pecí nitrocementačních (v době bez přídavku čpavku). Kontrolu provést foliovou zkouškou a na základě výsledku provést korekce.

O všech naměřených hodnotách a provedených korekcích vést záznam v kontrolní knize.

Druhý kalič provádí :

- přípravky s díly označené kroužkem jako vadné odloží stranou ve sledu jak procházely pecí, označí je a k dalšímu zpracování je uvolní odpovědný pracovník technické kontroly
- po dobu nepřítomnosti kaliče č.1 v sobotu a v neděli provádí činnost samokontroly kvality tepelného zpracování kalič č. 2
- rovná díly určené k tepelnému zpracování na předepsané přípravky, dává pozor na potlučení, po tepelném zpracování je ukládá do palet bez potlučení
- min. jednou za dva týdny provádí :
otáčení a kontrolu rovinnosti základových roštů; max. prohnutí +3,00 -3,00 mm pomocí pravítka ČSN 251110 nebo měřidla 31 – 78 – 5120 – 2

Ocel 14 140: austenizační teplota 860 °C
[°C]

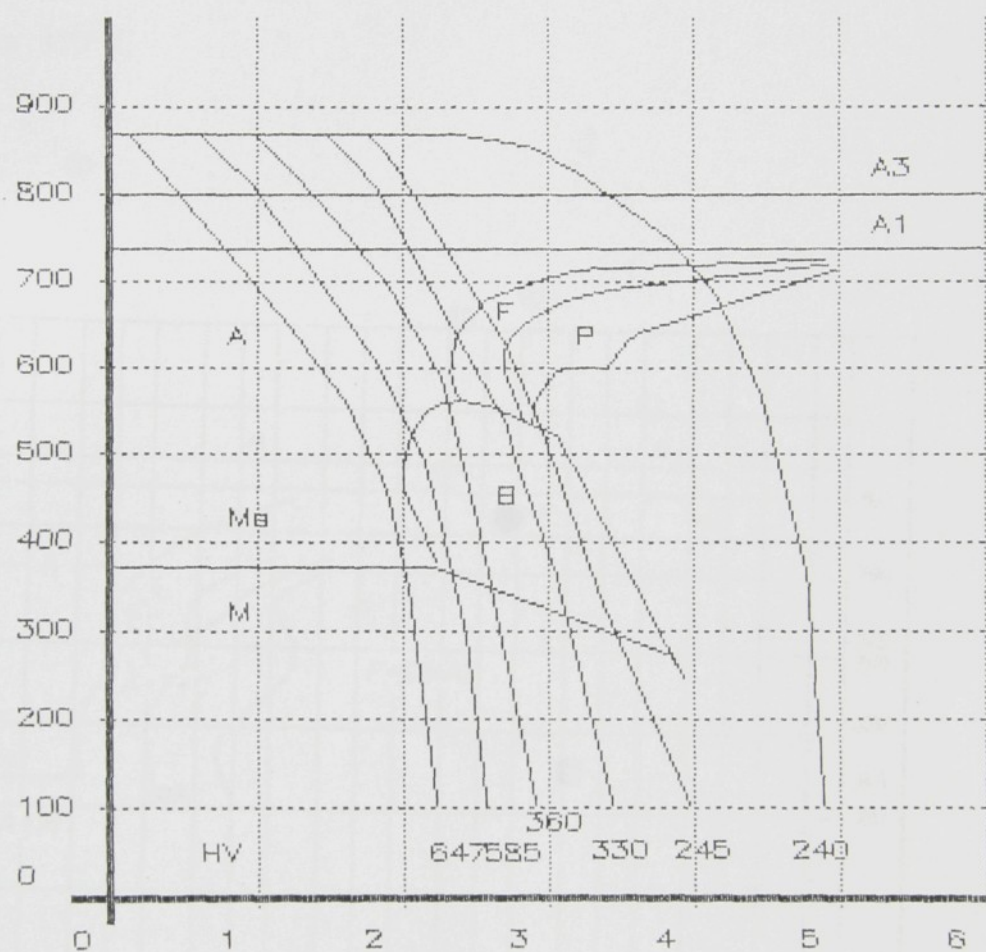


[e]

PŘÍLOHA č.9 – Anizotermický rozpad nestabilního austenitu oceli 14 140 (dle DIN 37 Cr 4)

Ocel 14 140 : teplota austanitizace 850°C

[°C]

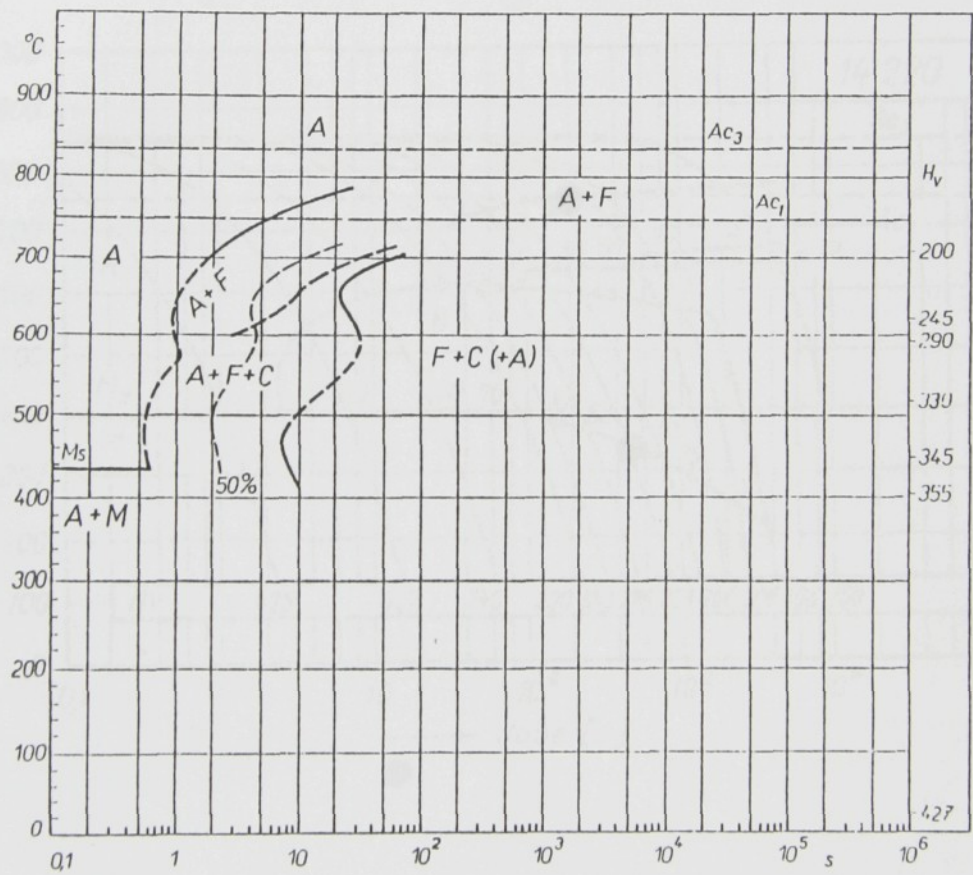


[s]

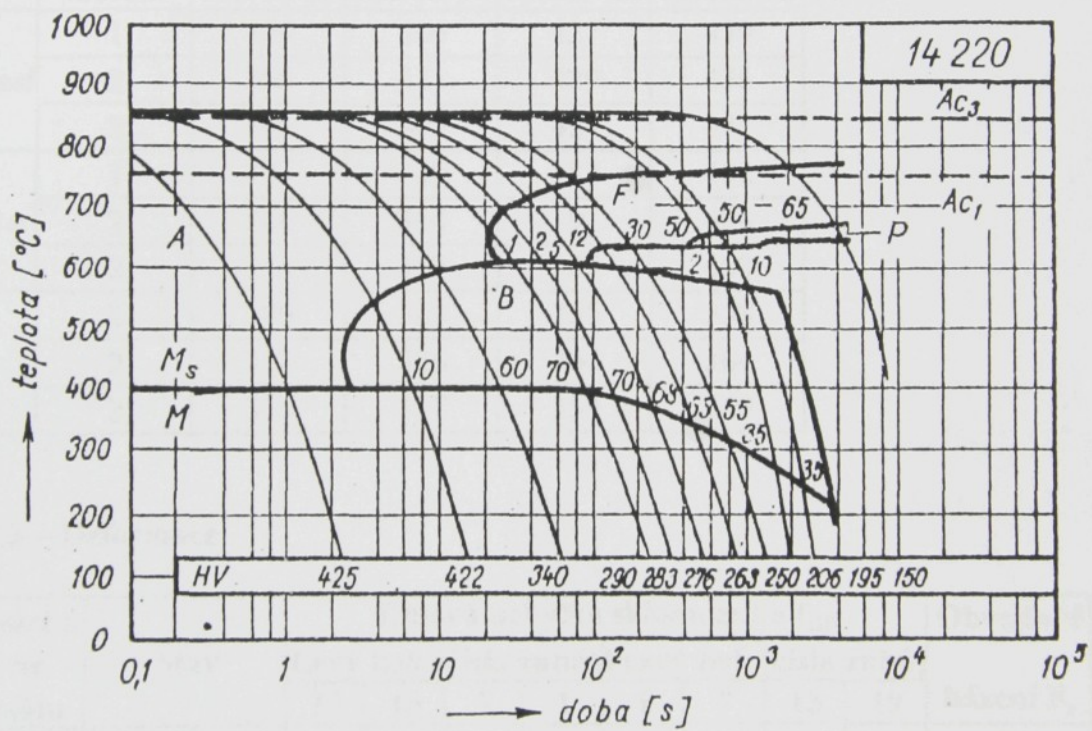
(C) InPart Bratislava, SteelApp 2.0

PŘÍLOHA č.10 – Izotermický rozpad nestabilního austenitu oceli 14 220 (dle DIN 16 Mn Cr)

austenitizační teplota :850° C



austenitizační teplota : 870° C



1; Hnací hřídel

Tabulka č.1 - Tvrdost na povrchu

Vzorek	Číslo měření									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Tvrdost /HRC/									
a1	60	60,4	60,6	60,2	60	60,4	60,3	60,4	59,6	60,1
b1	60,5	60,7	60,5	59,6	60,2	60	60	60,2	58,5	58,2
c1	60,2	61,2	60,5	61	61,2	60,2	59,9	61,2	58,7	60,6
e1	59,7	60,2	59,7	60,2	59,8	61,2	60	60,2	60,3	60,2

Tabulka č.2 - Tvrdost v jádře

Měřené místo	Číslo měření	Tvrdost /HV/			
		vzorek a1	vzorek b1	vzorek c1	vzorek e1
Zub-střed	1	400	406	427	439
	2	398	411	429	436
	3	398	409	427	441
Zub-pata	1	343	349	387	402
	2	346	364	391	404
	3	344	357	389	400
Střed	1	309	308	355	358
	2	318	326	364	364
	3	314	317	358	360

Tabulka č.3 – Deformace

Vzorek	Poloha na roštu	Stav	Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{\text{H}\beta}$								Obvodové házení F_r
			Levý bok (čísla zubů)				Pravý bok (čísla zubů)				
			19	13	7	1	1	7	13	19	
a1	Kraj	Po obrábění	0	5	-4	-7	8	8	15	17	25
		Po tep.zprac.	-29	-38	-9	-13	-20	-10	-33	-33	36
		Rozdíl	-29	-43	-5	-6	-28	-18	-48	-50	11
	Střed	Po obrábění	1	-4	-6	-1	13	11	11	14	9
		Po tep.zprac.	-17	-37	-28	-15	-16	-24	-35	-17	44
		Rozdíl	-18	-33	-22	-14	-29	-35	-46	-31	35
b1	Kraj	Po obrábění	-1	0	-1	-1	0	0	-1	-3	7
		Po tep.zprac.	-30	-12	-24	-34	-34	-30	-17	-29	43
		Rozdíl	-29	-12	-23	-33	-34	-30	-16	-26	36
	Střed	Po obrábění	-1	-3	1	0	-1	1	-1	-3	13
		Po tep.zprac.	-16	-33	-33	-17	-25	-35	-37	-19	15
		Rozdíl	-15	-30	-34	-17	-24	-36	-36	-16	2

Tabulka č.3 – Deformace (pokračování)

Vzorek	Poloha na roštu	Stav	Úhlová úchylka sklonu zubu $f_{H\beta}$								Obvodové házení F_r
			Levý bok (čísla zubů)				Pravý bok (čísla zubů)				
			19	13	7	1	1	7	13	19	
$c1$	Kraj	Po obrábění	-2	2	2	1	0	0	-2	-4	9
		Po tep.zprac.	-42	-28	-27	-28	-44	-35	-34	-40	37
		Rozdíl	-40	-30	-29	-29	-44	-35	-32	-36	28
	Střed	Po obrábění	-2	2	2	-4	-3	-1	-1	1	8
		Po tep.zprac.	-46	-34	-44	-30	-39	-48	-40	-51	31
		Rozdíl	-44	-36	-46	-26	-36	-47	-39	-52	23
$d1$	Kraj	Po obrábění	6	10	3	-1	6	4	12	12	25
		Po tep.zprac.	-22	-18	-32	-39	-27	-36	-23	-16	29
		Rozdíl	-28	-28	-35	-38	-33	-40	-35	-28	4
	Střed	Po obrábění	6	7	1	0	8	8	10	13	20
		Po tep.zprac.	-25	-23	-32	-25	-20	-32	-29	-18	37
		Rozdíl	-31	-30	-33	-25	-28	-40	-39	-31	17
$e1$	Kraj	Po obrábění	9	15	13	8	6	10	14	7	7
		Po tep.zprac.	-26	-32	-30	-27	-31	-33	-33	-31	16
		Rozdíl	-35	-47	-43	-35	-37	-43	-47	-38	9
	Střed	Po obrábění	8	13	13	10	6	11	11	5	8
		Po tep.zprac.	-31	-26	-33	-19	-39	-35	-26	-44	50
		Rozdíl	-39	-39	-46	-29	-45	-46	-37	-49	42

2; Ozubené kolo

Tabulka č.4 -Tvrдост na povrchu

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrдост /HV/
<i>a2</i>	Věnec	1	652
		2	652
		3	648
	Zub	1	661
		2	657
		3	661
<i>b2</i>	Věnec	1	635
		2	661
		3	652
	Zub	1	661
		2	690
		3	685

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrдост /HV/
<i>d2</i>	Věnec	1	775
		2	763
		3	769
	Zub	1	792
		2	763
		3	769
<i>e2</i>	Věnec	1	780
		2	786
		3	769
	Zub	1	792
		2	786
		3	775

Tabulka č.5 – Tvrdost v otvoru

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrdost /HV/
a2	Ozubení	1	685
		2	690
		3	675
	Střed	1	725
		2	730
		3	736
	Kužel	1	680
		2	675
		3	671
b2	Ozubení	1	730
		2	736
		3	725
	Střed	1	752
		2	746
		3	757
	Kužel	1	736
		2	730
		3	741
d2	Ozubení	1	715
		2	725
		3	700
	Střed	1	740
		2	746
		3	705
	Kužel	1	757
		2	752
		3	769
e2	Ozubení	1	720
		2	746
		3	715
	Střed	1	763
		2	769
		3	746
	Kužel	1	786
		2	763
		3	769

Tabulka č.6 – Tvrdost v jádře

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrdost /HV/
a2	Žub-střed	1	571
		2	57
		3	568
	Žub-pata	1	547
		2	543
		3	540
	Kužel	1	444
		2	441
		3	439
	U otvoru	1	446
		2	449
		3	451
b2	Žub-střed	1	561
		2	564
		3	557
	Žub-pata	1	540
		2	537
		3	533
	Kužel	1	473
		2	470
		3	476
	U otvoru	1	444
		2	446
		3	449
c2	Žub-střed	1	561
		2	568
		3	557
	Žub-pata	1	557
		2	568
		3	554
	Kužel	1	436
		2	444
		3	434
	U otvoru	1	465
		2	462
		3	457

Tabulka č.6 – Tvrdost v jádře (pokračování)

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrdost /HV/
d2	Zub-střed	1	557
		2	564
		3	550
	Zub-pata	1	523
		2	530
		3	517
	Kužel	1	402
		2	409
		3	400
	U otvoru	1	415
		2	418
		3	411

Vzorek	Měřené místo	Číslo měření	Tvrdost /HV/
e2	Zub-střed	1	557
		2	561
		3	550
	Zub-pata	1	527
		2	523
		3	533
	Kužel	1	381
		2	396
		3	383
	U otvoru	1	404
		2	400
		3	409

Tabulka č.7 – Deformace

Vzorek	Poloha na roštu	Stav	Uhlová úchylna sklonu zubu $f_{H\beta}$								Obvodové házení F_r
			Levý bok (čísla zubů)				Pravý bok (čísla zubů)				
			19	13	7	1	1	7	13	19	
a2	Kraj	Po obrábění	5	-4	3	8	-16	-21	-26	-14	37
		Po tep.zprac.	12	17	18	9	3	8	13	7	36
		Rozdíl	7	21	15	1	19	29	39	21	1
	Střed	Po obrábění	9	18	16	14	6	13	15	7	35
		Po tep.zprac.	1	0	-5	6	-10	-17	-13	-7	27
		Rozdíl	-8	-18	-21	-8	-16	-30	-28	-14	8
b2	Kraj	Po obrábění	11	17	20	7	2	14	15	6	26
		Po tep.zprac.	4	2	0	5	-7	-12	-15	-12	30
		Rozdíl	-7	-15	-20	-2	-9	-26	-30	-18	4
	Střed	Po obrábění	14	16	7	13	14	3	8	10	37
		Po tep.zprac.	0	0	0	-3	-11	-15	-18	-14	37
		Rozdíl	-14	-16	-7	-16	-25	-18	-26	-24	0
c2	Kraj	Po obrábění	7	3	10	11	10	14	3	6	13
		Po tep.zprac.	-9	4	7	0	-6	5	1	-16	32
		Rozdíl	-16	-1	-3	-11	-16	-9	-2	-22	19
	Střed	Po obrábění	6	15	6	5	6	4	15	9	19
		Po tep.zprac.	-8	2	-2	1	2	0	1	-4	64
		Rozdíl	-14	-13	-8	-4	-4	-4	-14	-13	45
d2	Kraj	Po obrábění	13	14	17	15	14	18	18	14	27
		Po tep.zprac.	5	2	5	9	0	-10	-5	-8	74
		Rozdíl	-8	-12	-12	-6	-14	-28	-23	-22	47
	Střed	Po obrábění	15	15	12	14	15	12	15	24	20
		Po tep.zprac.	4	4	6	0	-5	-6	-9	-3	27
		Rozdíl	-11	-11	-6	-14	-20	-18	-24	-27	7
e2	Kraj	Po obrábění	20	16	13	18	20	15	15	18	10
		Po tep.zprac.	6	1	8	5	-7	-4	-5	-9	20
		Rozdíl	-14	-15	-5	-13	-27	-19	-20	-27	10
	Střed	Po obrábění	21	17	12	17	19	14	16	20	9
		Po tep.zprac.	8	8	8	0	-8	-2	-1	4	19
		Rozdíl	-13	-9	-4	-17	-27	-16	-17	-16	10

3; Ozubené kolo – shodné hodnoty nastavení pecí

Tabulka č.8 – Tvrdost na povrchu (proměřená kola)

Proměření ozubeného kola č.1 PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
Věnec	"A"	1	700
		2	705
		3	695
		4	695
		5	720
	"B"	1	705
		2	710
		3	715
		4	705
		5	705
	"C"	1	741
		2	710
		3	730
		4	725
		5	720
Zub	"A"	1	710
		2	695
		3	720
		4	710
		5	730
	"B"	1	736
		2	695
		3	720
		4	710
		5	730
	"C"	1	720
		2	715
		3	720
		4	730
		5	710

Proměření ozubeného kola č.2 PEC Č.2 - OL 46			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
Věnec	"A"	1	710
		2	710
		3	725
		4	720
		5	736
	"B"	1	715
		2	720
		3	725
		4	710
		5	715
	"C"	1	725
		2	730
		3	720
		4	700
		5	705
Zub	"A"	1	730
		2	736
		3	730
		4	741
		5	736
	"B"	1	730
		2	720
		3	746
		4	720
		5	730
	"C"	1	710
		2	725
		3	720
		4	705
		5	725

Tabulka č.9 – Tvrdost na povrchu (ostatní kola)

PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
2	Větec	"A"	685
		"B"	710
		"C"	741
	Zub	"A"	720
		"B"	763
		"C"	746
3	Větec	"A"	720
		"B"	710
		"C"	705
	Zub	"A"	746
		"B"	736
		"C"	725
4	Větec	"A"	695
		"B"	710
		"C"	710
	Zub	"A"	741
		"B"	725
		"C"	736
5	Větec	"A"	725
		"B"	710
		"C"	710
	Zub	"A"	685
		"B"	730
		"C"	730
6	Větec	"A"	700
		"B"	720
		"C"	725
	Zub	"A"	720
		"B"	725
		"C"	730
7	Větec	"A"	690
		"B"	720
		"C"	680
	Zub	"A"	730
		"B"	741
		"C"	736
8	Větec	"A"	725
		"B"	730
		"C"	725
	Zub	"A"	720
		"B"	725
		"C"	736

PEC Č.2 - OL 46			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
1	Větec	"A"	736
		"B"	725
		"C"	725
	Zub	"A"	715
		"B"	725
		"C"	736
3	Větec	"A"	715
		"B"	730
		"C"	725
	Zub	"A"	710
		"B"	741
		"C"	730
4	Větec	"A"	720
		"B"	720
		"C"	720
	Zub	"A"	736
		"B"	720
		"C"	725
5	Větec	"A"	715
		"B"	720
		"C"	715
	Zub	"A"	710
		"B"	710
		"C"	725
6	Větec	"A"	700
		"B"	720
		"C"	720
	Zub	"A"	710
		"B"	705
		"C"	725
7	Větec	"A"	720
		"B"	725
		"C"	700
	Zub	"A"	715
		"B"	730
		"C"	720
8	Větec	"A"	705
		"B"	690
		"C"	700
	Zub	"A"	705
		"B"	720
		"C"	680

Tabulka č.9 – Tvrdost na povrchu (ostatní kola) - pokračování

PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
9	Věnec	"A"	695
		"B"	725
		"C"	705
	Zub	"A"	730
		"B"	705
		"C"	720
10	Věnec	"A"	725
		"B"	741
		"C"	720
	Zub	"A"	736
		"B"	690
		"C"	705
11	Věnec	"A"	690
		"B"	730
		"C"	725
	Zub	"A"	725
		"B"	730
		"C"	757
12	Věnec	"A"	685
		"B"	741
		"C"	705
	Zub	"A"	725
		"B"	730
		"C"	725

PEC Č.2 - OL 46			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
9	Věnec	"A"	675
		"B"	710
		"C"	720
	Zub	"A"	730
		"B"	715
		"C"	710
10	Věnec	"A"	710
		"B"	705
		"C"	730
	Zub	"A"	736
		"B"	725
		"C"	746
11	Věnec	"A"	715
		"B"	705
		"C"	720
	Zub	"A"	736
		"B"	741
		"C"	736
12	Věnec	"A"	725
		"B"	720
		"C"	746
	Zub	"A"	741
		"B"	720
		"C"	746

Tabulka č.10 – Tvrdost v otvoru (proměřená kola)

Proměření ozubeného kola č.1 PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
Ozubení	"A"	1	657
		2	652
		3	644
		4	648
		5	652
	"B"	1	661
		2	635
		3	652
		4	644
		5	639
	"C"	1	652
		2	666
		3	631
		4	652
		5	644
Střed	"A"	1	685
		2	644
		3	639
		4	666
		5	652
	"B"	1	644
		2	631
		3	631
		4	639
		5	652
	"C"	1	644
		2	639
		3	635
		4	631
		5	652
Kůžel	"A"	1	648
		2	648
		3	626
		4	657
		5	644
	"B"	1	657
		2	671
		3	644
		4	661
		5	631
	"C"	1	657
		2	644
		3	675
		4	626
		5	631

Proměření ozubeného kola č.2 PEC Č.2 - OL 46			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
Ozubení	"A"	1	710
		2	685
		3	657
		4	644
		5	666
	"B"	1	657
		2	695
		3	666
		4	648
		5	648
	"C"	1	666
		2	680
		3	657
		4	685
		5	657
Střed	"A"	1	685
		2	680
		3	639
		4	644
		5	657
	"B"	1	666
		2	690
		3	644
		4	666
		5	657
	"C"	1	657
		2	690
		3	685
		4	639
		5	666
Kůžel	"A"	1	680
		2	675
		3	635
		4	644
		5	657
	"B"	1	644
		2	666
		3	635
		4	657
		5	657
	"C"	1	666
		2	685
		3	685
		4	657
		5	657

Tabulka č.11 – Tvrdost v otvoru (ostatní kola)

PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
5	Ozubení	"A"	690
		"B"	626
		"C"	690
	Střed	"A"	685
		"B"	631
		"C"	635
	Kužel	"A"	648
		"B"	671
		"C"	675
7	Ozubení	"A"	644
		"B"	648
		"C"	652
	Střed	"A"	639
		"B"	639
		"C"	631
	Kužel	"A"	648
		"B"	657
		"C"	657
11	Ozubení	"A"	652
		"B"	639
		"C"	652
	Střed	"A"	644
		"B"	631
		"C"	639
	Kužel	"A"	661
		"B"	644
		"C"	644

PEC Č.2 - OL 46			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
1	Ozubení	"A"	710
		"B"	659
		"C"	680
	Střed	"A"	685
		"B"	690
		"C"	690
	Kužel	"A"	680
		"B"	680
		"C"	685
4	Ozubení	"A"	685
		"B"	666
		"C"	657
	Střed	"A"	680
		"B"	644
		"C"	685
	Kužel	"A"	675
		"B"	666
		"C"	685
7	Ozubení	"A"	657
		"B"	648
		"C"	685
	Střed	"A"	639
		"B"	666
		"C"	639
	Kužel	"A"	635
		"B"	635
		"C"	671

Tabulka č.12 – Tvrdost v jádře (proměřená kola)

Proměření ozubeného kola č.7 PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
<i>Zub-střed</i>	"A"	1	537
		2	533
		3	537
		4	543
		5	530
	"B"	1	520
		2	530
		3	537
		4	543
		5	530
	"C"	1	537
		2	537
		3	530
		4	543
		5	533
<i>Zub-pata</i>	"A"	1	462
		2	493
		3	493
		4	459
		5	517
	"B"	1	505
		2	459
		3	502
		4	499
		5	493
	"C"	1	470
		2	467
		3	478
		4	476
		5	493
<i>Věnec</i>	"A"	1	439
		2	429
		3	429
		4	427
		5	454
	"B"	1	439
		2	429
		3	429
		4	429
		5	434
	"C"	1	432
		2	454
		3	427
		4	432
		5	429

Proměření ozubeného kola č.1 PEC Č.2 - OL 46			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
<i>Zub-střed</i>	"A"	1	550
		2	554
		3	550
		4	550
		5	547
	"B"	1	540
		2	547
		3	543
		4	533
		5	550
	"C"	1	520
		2	547
		3	550
		4	540
		5	543
<i>Zub-pata</i>	"A"	1	530
		2	530
		3	527
		4	527
		5	530
	"B"	1	511
		2	527
		3	527
		4	517
		5	530
	"C"	1	502
		2	527
		3	530
		4	527
		5	517
<i>Věnec</i>	"A"	1	496
		2	499
		3	499
		4	490
		5	499
	"B"	1	487
		2	499
		3	499
		4	502
		5	484
	"C"	1	502
		2	499
		3	508
		4	490
		5	494

Tabulka č.12 – Tvrdost v jádře (proměřená kola) – pokračování

Proměření ozubeného kola č.7 PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
<i>Kužel</i>	"A"	1	341
		2	337
		3	336
		4	355
		5	334
	"B"	1	341
		2	337
		3	353
		4	351
		5	334
	"C"	1	333
		2	355
		3	334
		4	329
		5	328
<i>U otvoru</i>	"A"	1	334
		2	341
		3	339
		4	331
		5	337
	"B"	1	339
		2	341
		3	334
		4	337
		5	339
	"C"	1	344
		2	334
		3	341
		4	344
		5	349

Proměření ozubeného kola č.1 PEC Č.2 - OL 46			
Měřené místo	Segment	Číslo měření	Tvrdost /HV/
<i>Kužel</i>	"A"	1	387
		2	398
		3	387
		4	406
		5	377
	"B"	1	370
		2	387
		3	404
		4	398
		5	375
	"C"	1	379
		2	387
		3	406
		4	389
		5	377
<i>U otvoru</i>	"A"	1	432
		2	434
		3	434
		4	439
		5	427
	"B"	1	425
		2	427
		3	429
		4	436
		5	427
	"C"	1	434
		2	434
		3	427
		4	420
		5	422

Tabulka č.13 – Tvrdost v jádře (ostatní kola)

PEC Č.1 - DURIXOL W 25			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
5	Zub-střed	"A"	533
		"B"	537
		"C"	540
	Zub-pata	"A"	505
		"B"	508
		"C"	496
	Věnec	"A"	454
		"B"	496
		"C"	449
	Kužel	"A"	341
		"B"	353
		"C"	337
	U otvoru	"A"	334
		"B"	337
		"C"	334
11	Zub-střed	"A"	543
		"B"	547
		"C"	550
	Zub-pata	"A"	493
		"B"	502
		"C"	499
	Věnec	"A"	449
		"B"	439
		"C"	454
	Kužel	"A"	328
		"B"	339
		"C"	341
	U otvoru	"A"	341
		"B"	334
		"C"	343

PEC Č.2 - OL 46			
Číslo kola	Měřené místo	Segment	Tvrdost /HV/
4	Zub-střed	"A"	537
		"B"	543
		"C"	533
	Zub-pata	"A"	496
		"B"	527
		"C"	502
	Věnec	"A"	457
		"B"	462
		"C"	454
	Kužel	"A"	402
		"B"	406
		"C"	400
	U otvoru	"A"	425
		"B"	429
		"C"	422
7	Zub-střed	"A"	540
		"B"	547
		"C"	537
	Zub-pata	"A"	502
		"B"	508
		"C"	499
	Věnec	"A"	473
		"B"	481
		"C"	470
	Kužel	"A"	398
		"B"	402
		"C"	396
	U otvoru	"A"	370
		"B"	375
		"C"	377

1; Statistické výpočty – hnací hřídel

Popis míst, která byla proměřena

Tvrдост na povrchu :

Měřeno na válcové ploše ϕ 36 mm hnacího hřídele.

Tvrдост v jádře :

Měřená místa, kde se tvrдост zjišťovala byla tato : Zub-střed, Zub-pata, Střed. K tomuto měření byl proveden příčný řez zpátečkou (viz. příloha č.15 – výkres součásti; pozice C)

Tvrдост na povrchu :

Pec č.1 : V tabulce č.1 je test hypotézy H_0 , že střední hodnoty naměřených tvrдостí jsou stejné pro vzorek a1 (soubor 1) a pro vzorek b1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrдостi HV s naměřenými hodnotami souboru 2. “na vzorcích nezávisí“

Tabulka č.1

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_0:\mu_1 = \mu_2$	$H_1:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	59,72	59,84
Směrodatná odchylka	0,463801	0,84748
Rozptyl výběru	0,215111	0,718222
Pozorování	10	10
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	14	
T	-0,39279	
P(T<=t)	0,350194	
t krit	1,761309	

$|T| < T_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_0 nezamítám

Pec č.4 : V tabulce č.2 je test hypotézy H_2 , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek c1 (soubor 1) a pro vzorek e1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na vzorcích nezávisí“**

Tabulka č.2

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_2: \mu_1 = \mu_2$	$H_3: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	60,47	60,15
Směrodatná odchylka	0,781807	0,432692
Rozptyl výběru	0,611222	0,187222
Pozorování	10	10
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	14	
T	1,132472	
P(T<=t)	0,13823	
t krit	1,761309	

Popisná statistika vzorku d1	
Statistická data	
Střední hodnota	60,2
Směrodatná odchylka	0,286744
Rozptyl výběru	0,082222

$|T| < T_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_2
nezamítám

Tvrdost v jádře :

➤ **Zub-střed**

Pec č.1 : V tabulce č.3 je test hypotézy H_4 , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek a1 (soubor 1) a pro vzorek b1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na vzorcích závisí“

Tabulka č.3

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_4: \mu_1 = \mu_2$	$H_5: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	398,6667	408,6667
Směrodatná odchylka	1,154701	2,516611
Rozptyl výběru	1,333333	6,333333
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	3	
T	-6,25543	
P(T<=t)	0,004122	
t krit	2,353363	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_4
zamítám ve
prospěch H_5

Pec č.4 : V tabulce č.4 je test hypotézy H_6 , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek c1 (soubor 1) a pro vzorek e1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na vzorcích závisí“

Tabulka č.4

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_6: \mu_1 = \mu_2$	$H_7: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	427,6667	439
Směrodatná odchylka	1,154701	0
Rozptyl výběru	1,333333	0
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	2	
T	-17	
$P(T \leq t)$	0,001721	
t krit	2,919987	

Popisná statistika vzorku d1	
Statistická data	
Střední hodnota	438,6667
Směrodatná odchylka	2,516611
Rozptyl výběru	6,333333

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_6
zamítám ve
prospěch H_7

➤ Zub-pata

Pec č.1 : V tabulce č.5 je test hypotézy H_8 , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek a1 (soubor 1) a pro vzorek b1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na vzorcích závisí“

Tabulka č.5

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_8: \mu_1 = \mu_2$	$H_9: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	344,3333	356,6667
Směrodatná odchylka	1,527525	7,505553
Rozptyl výběru	2,333333	56,33333
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	2	
T	-2,78898	
$P(T \leq t)$	0,054055	
t krit	2,919987	

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_8
zamítám ve
prospěch H_9

Pec č.4 : V tabulce č.6 je test hypotézy H_{10} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek c1 (soubor 1) a pro vzorek e1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na vzorcích závisí“

Tabulka č.6

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{10}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{11}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	389	411,6667
Směrodatná odchylka	2	6,027714
Rozptyl výběru	4	36,33333
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	2	
T	-6,18182	
$P(T \leq t)$	0,012592	
t krit	2,919987	

Popisná statistika vzorku d1	
Statistická data	
Střední hodnota	402
Směrodatná odchylka	2
Rozptyl výběru	4

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{10}
zamítám ve
prospěch H_{11}

➤ Střed

Pec č.1 : V tabulce č.7 je test hypotézy H_{12} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek a1 (soubor 1) a pro vzorek b1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. “na vzorcích nezávisí“

Tabulka č.7

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{12}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{13}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	313,6667	317
Směrodatná odchylka	4,50925	9
Rozptyl výběru	20,33333	81
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	3	
T	-0,57354	
$P(T \leq t)$	0,303227	
t krit	2,353363	

$|T| < T_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{12}
nezamítám

Pec č.4 : V tabulce č.8 je test hypotézy H_{14} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro vzorek d1 (soubor 1) a pro vzorek e1 (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na vzorcích nezávisí”**

Tabulka č.8

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{14}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{15}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	360,6667	352,6667
Směrodatná odchylka	3,05505	13,50309
Rozptyl výběru	9,333333	182,3333
Pozorování	3	3
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	2	
T	1,000869	
P(T<=t)	0,211158	
t krit	2,919987	

Popisná statistika vzorku c1	
Statistická data	
Střední hodnota	359
Směrodatná odchylka	4,582576
Rozptyl výběru	21

$|T| < T_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{14} nezamítám

2; Statistické výpočty – ozubené kolo (shodné hodnoty nastavení pecí)

Popis míst, která byla proměřena

Tvrdost na povrchu :

Měřeno na vrchním čele ozubeného kola po cca. 120°.: Věnec – na kružnici cca. 5 mm od paty
Zub – na kružnici cca. 5 mm od paty
Tato místa byla označena jako segment “A”, “B”, “C“. U oleje DURIXOL W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.1, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.2. (viz. Příloha č.12)

Tvrdost v otvoru :

Měření bylo provedeno v těchto místech : Ozubení, Střed, Kužel po cca. 120°. Tato místa byla opět označena jako segment “A”, “B”, “C“. U oleje DURIXOL W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.1, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.2. (viz. Příloha č.12)

Tvrdost v jádře :

Měřená místa, kde se tvrdost zjišťovala byla tato : Zub-střed, Zub-pata, Věnec, Kužel, U otvoru po cca 120°. I zde byla tato místa označena jako segment “A”, “B”, “C“. U oleje DURIXOL W 25 – pec č.1 bylo takto proměřeno kolo č.7, u oleje OL 46 – pec č.2 to bylo kolo č.1. (viz. Příloha č.12)

Statistika naměřených hodnot (závislost na poloze)

Tvrдост na povrchu :

Pro výpočet bylo použito segmentů s největší a nejmenší tvrdostí HV.

a; Durixol W 25 – pec č.1

Věvec : V tabulce č.9 je test hypotézy H_{16} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na poloze závisí“

Tabulka č. 9

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{16}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{17}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	703	725,2
Směrodatná odchylka	10,36822	11,51955
Rozptyl výběru	107,5	132,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	-3,20296	
P(T<=t)	0,006278	
t krit	1,859548	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	708
Směrodatná odchylka	4,472136
Rozptyl výběru	20

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{16}
zamítám ve
prospěch H_{17}

a; OL 46 – pec č.2

Věvec : V tabulce č.10 je test hypotézy H_{18} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. “na poloze nezávisí“

Tabulka č.10

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{18}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{19}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	720,2	716
Směrodatná odchylka	10,96358	12,94218
Rozptyl výběru	120,2	167,5
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	0,553687	
P(T<=t)	0,297463	
t krit	1,859548	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	717
Směrodatná odchylka	5,700877
Rozptyl výběru	32,5

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{18}
nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Zub : V tabulce č.11 je test hypotézy H_{20} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.11

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{20}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{21}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	713	719
Směrodatná odchylka	13,0384	7,416198
Rozptyl výběru	170	55
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	-0,89443	
P(T<=t)	0,20277	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	718,2
Směrodatná odchylka	16,31564
Rozptyl výběru	266,2

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{20} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Zub : V tabulce č.12 je test hypotézy H_{22} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají vyšší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2.

“na poloze závisí”

Tabulka č.12

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{22}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{23}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	734,6	715
Směrodatná odchylka	4,669047	9,354143
Rozptyl výběru	21,8	87,5
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	3,853501	
P(T<=t)	0,004213	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	729,2
Směrodatná odchylka	10,63955
Rozptyl výběru	113,2

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{22} zamítám ve prospěch H_{23}

Tvrдост v otvoru :

a; Durixol W 25 – pec č.1

Ozubení : V tabulce č.13 je test hypotézy H_{24} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí“**

Tabulka č.13

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{24}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{25}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	650,6	646,2
Směrodatná odchylka	4,878524	10,42593
Rozptyl výběru	23,8	108,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	0,854732	
P(T<=t)	0,212753	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	649
Směrodatná odchylka	12,80625
Rozptyl výběru	164

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{24} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Ozubení : V tabulce č.14 je test hypotézy H_{26} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí“**

Tabulka č.14

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{26}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{27}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	672,4	662,8
Směrodatná odchylka	25,77402	19,48589
Rozptyl výběru	664,3	379,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	0,664364	
P(T<=t)	0,263864	
t krit	1,894578	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	669
Směrodatná odchylka	12,98075
Rozptyl výběru	168,5

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{26} nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Střed : V tabulce č.15 je test hypotézy H_{28} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí“**

Tabulka č.15

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{28}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{29}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	657,2	639,4
Směrodatná odchylka	18,59301	8,961027
Rozptyl výběru	345,7	80,3
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	1,928414	
P(T<=t)	0,051034	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	640,2
Směrodatná odchylka	8,167007
Rozptyl výběru	66,7

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{28}
nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Střed : V tabulce č.16 je test hypotézy H_{30} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí“**

Tabulka č.16

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{30}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{31}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	661	667,4
Směrodatná odchylka	20,77258	20,83987
Rozptyl výběru	431,5	434,3
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	-0,48636	
P(T<=t)	0,319878	
t krit	1,859548	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	664,6
Směrodatná odchylka	16,81666
Rozptyl výběru	282,8

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{30}
nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Kužel : V tabulce č.17 je test hypotézy H_{32} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.17

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{32}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{33}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	644,6	652,8
Směrodatná odchylka	11,43678	15,56278
Rozptyl výběru	130,8	242,2
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	-0,94939	
P(T<=t)	0,18702	
t krit	1,894578	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	646,6
Směrodatná odchylka	19,93239
Rozptyl výběru	397,3

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{32} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Kužel : V tabulce č.18 je test hypotézy H_{34} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “B” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla chybná naměřené hodnoty souboru 1 mají nižší střední hodnoty tvrdosti HV než souboru 2. **“na poloze závisí”**

Tabulka č.18

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{34}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{35}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	651,8	670
Směrodatná odchylka	12,2352	14,17745
Rozptyl výběru	149,7	201
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	-2,17314	
P(T<=t)	0,030758	
t krit	1,859548	

Popisná statistika segmentu "A"	
Statistická data	
Střední hodnota	658,2
Směrodatná odchylka	19,35717
Rozptyl výběru	374,7

$|T| > t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{34} zamítám ve prospěch H_{35}

Tvrдост v jádře :

a; Durixol W 25 – pec č.1

Zub-střed : V tabulce č.19 je test hypotézy H_{36} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.19

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{36}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{37}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	536	532
Směrodatná odchylka	4,898979	8,631338
Rozptyl výběru	24	74,5
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	0,901212	
P(T<=t)	0,2011	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	536
Směrodatná odchylka	4,898979
Rozptyl výběru	24

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{36} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Zub-střed : V tabulce č.20 je test hypotézy H_{38} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.20

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{38}:\mu_1 = \mu_2$	$H_{39}:\mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	550,2	540
Směrodatná odchylka	2,48998	11,81101
Rozptyl výběru	6,2	139,5
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	4	
T	1,889537	
P(T<=t)	0,06591	
t krit	2,131846	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	542,6
Směrodatná odchylka	6,580274
Rozptyl výběru	43,3

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{38} nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Zub-pata : V tabulce č.21 je test hypotézy H_{40} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “B” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.21

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{40}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{41}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	492,2	476,8
Směrodatná odchylka	18,86001	10,08464
Rozptyl výběru	355,7	101,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	6	
T	1,610118	
P(T<=t)	0,079249	
t krit	1,943181	

Popisná statistika segmentu "A"	
Statistická data	
Střední hodnota	484,8
Směrodatná odchylka	24,27344
Rozptyl výběru	589,2

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{40} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Zub-pata : V tabulce č.22 je test hypotézy H_{42} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.22

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{42}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{43}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	528,8	520,6
Směrodatná odchylka	1,643168	11,50217
Rozptyl výběru	2,7	132,3
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	4	
T	1,578091	
P(T<=t)	0,094842	
t krit	2,131846	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	522,4
Směrodatná odchylka	8,049845
Rozptyl výběru	64,8

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{42} nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Věvec : V tabulce č.23 je test hypotézy H_{44} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. “na poloze nezávisí”

Tabulka č. 23

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{44}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{45}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	435,6	432
Směrodatná odchylka	11,30487	4,472136
Rozptyl výběru	127,8	20
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	5	
T	0,662141	
$P(T \leq t)$	0,268588	
t krit	2,015049	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	434,8
Směrodatná odchylka	10,94075
Rozptyl výběru	119,7

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{44} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

Věvec : V tabulce č.24 je test hypotézy H_{46} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. “na poloze nezávisí”

Tabulka č.24

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{46}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{47}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	494,2	498,6
Směrodatná odchylka	8,105554	6,9857
Rozptyl výběru	65,7	48,8
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	8	
T	-0,91946	
$P(T \leq t)$	0,192369	
t krit	1,859548	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	496,6
Směrodatná odchylka	3,911521
Rozptyl výběru	15,3

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{46} nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

Kužel : V tabulce č.25 je test hypotézy H_{48} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “B” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.25

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{48}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{49}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	343,2	335,8
Směrodatná odchylka	4,472136	10,94075
Rozptyl výběru	71,2	121,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	1,191381	
P(T<=t)	0,136164	
t krit	1,894578	

Popisná statistika segmentu "A"	
Statistická data	
Střední hodnota	435,6
Směrodatná odchylka	11,30487
Rozptyl výběru	127,8

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{48} nezamítám

b; Ol 46 – pec č.2

Kužel : V tabulce č.26 je test hypotézy H_{50} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “B” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.26

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{50}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{51}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	391	366,8
Směrodatná odchylka	11,20268	46,91162
Rozptyl výběru	125,5	2200,7
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	4	
T	1,121959	
P(T<=t)	0,162338	
t krit	2,131846	

Popisná statistika segmentu "C"	
Statistická data	
Střední hodnota	387,6
Směrodatná odchylka	11,48042
Rozptyl výběru	131,8

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{50} nezamítám

a; Durixol W 25 – pec č.1

U otvoru : V tabulce č.27 je test hypotézy H_{52} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C” (soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.27

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{52}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{53}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	336,4	342,4
Směrodatná odchylka	3,974921	5,504544
Rozptyl výběru	15,8	30,3
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	-1,97599	
P(T<=t)	0,044352	
t krit	1,894578	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	338
Směrodatná odchylka	2,645751
Rozptyl výběru	7

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{52} nezamítám

b; OL 46 – pec č.2

U otvoru : V tabulce č.28 je test hypotézy H_{54} , že střední hodnoty naměřených tvrdostí jsou stejné pro segment “A” (soubor 1) a pro segment “C”(soubor 2). Jak tento test ukázal, hypotéza byla správná a naměřené hodnoty souboru 1 mají srovnatelné střední hodnoty tvrdosti HV s naměřenými hodnotami souboru 2. **“na poloze nezávisí”**

Tabulka č.28

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů		
$H_{54}: \mu_1 = \mu_2$	$H_{55}: \mu_1 \neq \mu_2$	
Statistická data	Soubor 1	Soubor 2
Střední hodnota	433,2	427,4
Směrodatná odchylka	4,32435	6,542171
Rozptyl výběru	18,7	42,8
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Stupňů volnosti	7	
T	1,653771	
P(T<=t)	0,071075	
t krit	1,894578	

Popisná statistika segmentu "B"	
Statistická data	
Střední hodnota	428,8
Směrodatná odchylka	4,266146
Rozptyl výběru	18,2

$|T| < t_{krit} \Rightarrow$ Hypotézu H_{54} nezamítám

Z důvodu dobré rozlišovací schopnosti při pozorování metalografických vzorků je nutné, aby byla na přípravu vzorku kladena náležitá pozornost. Vzorek, který bude špatně připraven, nedovolí využít plně rozlišovací schopnosti objektivu a tím také může dojít k nesprávnému vyhodnocení struktury materiálu.

Příprava vzorků z oceli je různá. Liší se tím, zda je účelem metalografického studia pozorování vlastní struktury nebo vyhodnocování nečistot, které jsou v dané oceli obsaženy. V mém případě to bylo za účelem pozorování vlastní struktury a ke snadnějšímu měření tvrdosti v jádře. Struktura zkoumaného materiálu se pozoruje na vhodně odebraném vzorku, který má být před pozorováním mikroskopem vhodně upraven.

Příprava metalografického vzorku se skládá z těchto operací :

- odříznutí vybraných částí ozubených kol
- broušení
- leštění
- vyvolání struktury leptáním

Odebírání zkušebních vzorků

Při odebírání zkušebních vzorků nesmí dojít ke změně struktury vlivem deformace nebo vlivem ohřevu. Protože oceli, z kterých jsou testované výrobky zhotoveny jsou legované tzn. tvrdý a houževnatý materiál, muselo se využít rozbrušovací zařízení ABRASMATIC 2. U ozubených kol bylo využito vyjimatelné vany, do které bylo pomocí ohebných hadic přiváděna chladicí emulze 3% roztoku EMULGÁTU 500. Intenzivní ochlazování je zde proto, aby se zabránilo případné změně struktury. Ozubené kolo bylo připevněno na podložce dvěma svěrkami. Celé zařízení bylo opatřeno ochranným krytem, aby nemohlo dojít k ohrožení odletujícími částicemi či chladicí kapalinou. Pro řezání bylo použito rozbrušovacího kotouče o rozměrech 3002,53,2 s mezní obvodovou rychlostí 80 m.s^{-1} od firmy Carborundum Benátky.

Provedly se tyto řezy :

Hřídel: -příčný řez válcovou plochou
-příčný řez zpátečkou

Ozubené kolo: -příčný řez ozubením
-podélný řez partií kuželu
-podélný řez spodní částí otvoru

Preparování zkušebních vzorků :

Preparování zkušebních vzorků má usnadnit a urychlit jejich přípravu. Preparování vzorků se provádělo z toho důvodu, že vzorky byly velmi malých rozměrů. Vzorky proto nelze při broušení dobře uchopit a mohlo by dojít k nedostatečně rovné ploše, která je pro metalografické pozorování potřebná. Dále by také nebylo možné bez vhodné úpravy dosáhnout úplné rovinnosti okraje vzorku při studiu okrajových vrstev. Zvětšení plochy vzorků také usnadňuje jejich držení při broušení a leštění a snižuje únavu pracovníka, který se přípravou vzorků zabývá. Preparace byla provedena metodou zalisování do umělých hmot pomocí přístroje PRESTO-PRESS Dánské firmy Struers. Bylo využito Dentakrylu a zalisovací hmoty Duro-Fast (Rezin 5), což je epoxid s minerálním plnivem.

Broušení a leštění vzorků :

Tato operace byla provedena s využitím přítlačových pístků automatické hlavy na speciálním stoju firmy LECO VPG 200.

Broušením lze dosáhnout minimální povrchové nerovnosti vzorku. K broušení se používá stále jemnějšího brusiva, které při určitém specifickém tlaku odebírá z povrchu kovové částice. Od správně vybroušeného vzorku se požaduje, aby byl rovnoměrně drsný s minimální povrchovou nerovností, dokonale rovný a aby při broušení nedošlo ke změně struktury. Bylo použito brusných papírů o zrnitosti 120, 240, 320, 400, 600 (značení GRITT)

Leštění se používá pro odstranění zbylých nerovností po broušení. Leštění je ukončeno jakmile zmizí z povrchu výbrusu rýhy tj. do zrcadlového lesku. Leštění se provedlo pomocí diamantové pasty o zrnitosti 1 μm .

Potom se na připravených vzorcích naměřila tvrdost dle Rockwella na přístroji LECO RT-240 a Vickerse na přístroji HPO-250. Po naměření tvrdosti se provedlo naleptání vzorků 2 % roztokem nitalu. Struktura byla pozorována pomocí mikroskopu Olympus PM 63.

KALÍCÍ OLEJ – EKONOMICKÝ ROZBOR

Stávající : OL 46 11,— Kč
Nový : W 72 41,— Kč

	Výrobní náklady [Kč]po dobu životnosti OL 46 (roční)		Výrobní náklady [Kč]po dobu min. životnosti W 72 (15 let)	
	OL 46	W 72	OL 46	W 72
Výměna oleje	491 700	118 080	7 375 500	1 771 200
Doplnění oleje	283 219	578 120	4 248 288	8 671 795
Rozdíl zmetkovitosti	240 000	—	3 600 000	—
Celkem	1 014 919	696 200	15 223 788	10 442 995
Úspora	318 720		4 780 793	

Výměna oleje (kg)	44 700	2 880	670 500	43 200
Doplnění oleje (kg)	47 203	20 736	708 048	311 040

	OL 46		W 72	
	náplň	doplnění (l/t)	náplň	doplnění (l/t)
Průběžná pec 1	5 000	50	5 000	30
Průběžná pec 2	5 000	200	5 000	100
Průběžná pec 3	5 000	50	5 000	30
Kalící lis	5 000	50	5 000	30
Víceúčelová pec (5x)	30 000	250	30 000	150
Celkem (l/r)	50 000	28 800	50 000	16 320
				500
Spotřeba (l/rok)	50 000	28 800	50 000	16 320
Spotřeba (kg/rok)	44 700	25 747	43 200	14 100
Náklady (Kč)	491 700	283 219	1 771 200	578 120

Prohlášení o využívání výsledků DP

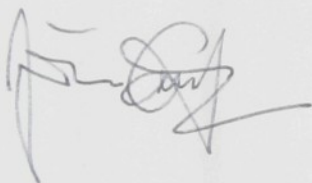
Jsem si vědom toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat a že diplomová práce může být zapůjčena či objednána za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po pěti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TUL v Liberci, kde je uložena.

Jméno a příjmení: Jiří Souček

Adresa: Jana Palacha 1018, Mladá Boleslav, PSČ 293 01

Podpis:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Souček', with a stylized flourish at the end.