

KANDIDÁTSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE :

" Podmínky tepelných pochodů při kalení v případě
podélného nuceného obtékání válce olejem "

Č Á S T I.

(Přílohy k této práci jsou obsaženy v části II).

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní
závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne
13. července 1962 - Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne
31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146114467

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

u 31 S + SAM. PRÍL.

Aspirant : Ing. Václav H y n č i c s
Školitel : Prof. Ing. Dr Karel Šykora
Pracoviště : Vysoká škola strojní a textilní Liberec,
katedra technické mechaniky,
ústav termomechaniky .

Datum odevzdání práce : červen 1966

Stran textu : 123 tabulky : 3
obrázky : 54 fotografie : 2

O b s a h

Strana

Předmluva	3
Úvod	5
Použitá označení	7
1. Obecný rozbor řešeného problému	9
1.1. Vliv kalicí lázně na tepelné pochody při kalení	11
1.2. Vliv tepelně-fyzikálních vlastností mate- riálu na tepelné pochody při kalení	17
1.3. Řešení teplotního pole kaleného vzorku	18
1.4. Stručný přehled literatury	20
1.5. Kritika současného stavu znalostí a studia tepelných pochodů při kalení	25
1.6. Cíl kandidátské práce	28
2. Výběr zkušebních vzorků. Rozsah provedení expe- rimentu. Zkušební zařízení	29
2.1. Výběr zkušebních vzorků	29
2.2. Rozsah provedení experimentu	32
2.3. Zkušební zařízení	32
3. Technika měření základních veličin	34
3.1. Technika měření časové závislosti teplot vzorků při jejich ochlazování	35
3.1.1. Technika měření časové závislosti povrchové teploty vzorků při jejich ochlazování	35
3.1.2. Technika měření časové závislosti teploty uvnitř vzorků při jejich ochlazování	46
3.2. Technika měření parametrů kalicí lázně a kalicí teploty vzorků	47
4. Zhodnocení výsledků měření	48
4.1. Vliv rychlosti proudění kalicí lázně na rychlost ochlazování vzorků	57

4.2. Vliv teploty olejové kalící lázně na rychlost ochlazování vzorků	81
5. Zobecnění výsledků měření a možnosti jejich praktického použití	88
5.1. Řešení teplotního pole neomezeného válce při nestacionárním sdílení tepla metodou vhodnou pro inženýrskou praxi	89
5.2. Metoda určení křivky varu na základě naměřeného časového průběhu povrchové teploty vzorku při nestacionárním sdílení tepla při jeho ochlazení	95
5.3. Praktické použití zobecnění výsledků měření	105
Závěr	118
Literatura	121

P ř e d m l u v a

Předložená práce je výsledkem řešení dvou výzkumných úkolů:

- 1) " Výzkum podmínek kalení do horkého oleje ", řešeného ve spolupráci s n.p. LIAZ Rýnovice a
- 2) fakultního vědecko-výzkumného úkolu : " Stanovení optimálních podmínek pro kalení strojních součástí válcového tvaru horkým olejem při nuceném obtékání podél kalené součástky ", řešeného autorem na ústavu termomechaniky (VŠST).

Oba úkoly byly řešeny současně, přičemž první úkol byl zaměřen více na praktické použití výsledků již v provozovaném zařízení [5], kdežto druhý úkol byl orientován na otázky, vedoucí ke zobecnění výsledků měření a tím i širšímu použití v praxi.

Tato skutečnost měla i některé výhody, neboť na jedné straně díky svým možnostem mohl podnik velmi rychle a operativně zajistit potřebný materiál, olejovou lázeň apod. a na druhé straně základní pracoviště, VŠST, mohlo v rámci řešení vědecko-výzkumného úkolu lépe a rychle zajistit potřeby měřicí techniky (termočlánkový drát, zajišťovaný dovozem z NSR, záznamový fotografický papír pro oscilograf, zajišťovaný dovozem z NDR apod).

Výzkumné práce byly provedeny v období 1963 až 1966 a vzhledem k tomu, že byly časově velmi náročné, jejich realizace v rámci externí aspirantury byla možná jen díky plnému pochopení spolupracovníků.

Zde patří můj dík v první řadě vedoucímu katedry a školiteli prof. Ing. Dr. Karlu Sýkorovi, který mne jednak často vypomohl cennými radami a jednak se velmi přičinil o včasné řešení úkolu částečným uvolněním jak řešitele, tak některých jiných pomocných pracovníků ústavu od běžných povinností.

Z n.p. LIAZ Rýnovice patří můj dík technikovi Janu Jakešovi, pracovníku podnikové metalurgie, za plnou podporu a pochopení

při vyřizování mých požadavků, souvisejících s řešením úkolu.

Dále pak touto cestou vyslovuji poděkování pracovníkům ústavu a všem spolupracovníkům, u nichž jsem se setkal nejen s plným pochopením při různých konzultacích spod., ale kteří často se přímo podíleli na pracech spojených s řešením úkolu. Dnes si také nedovedeme představit řešení obsáhlého a pracného úkolu bez spoluúčasti širokého pracovního kolektivu.

V červnu 1966

Hynek Šedý

Ú v o d

Jednotlivá průmyslová odvětví kladou velmi rozmanité požadavky na vlastnosti používaných materiálů, mezi nimiž má zvláštní význam ocel. Vlastnosti ocele můžeme široce měnit nejenom jejím chemickým složením při výrobě, ale také jejím tepelným zpracováním.

Jedním ze způsobů tepelného zpracování ocelí je jejich kalení, které je charakterisováno prudkým ochlazením ze zcela určité počáteční teploty, přičemž vzniká nová struktura materiálu s vlastnostmi odlišnými od vlastností výchozího materiálu.

Podkladem tepelného zpracování ocelí jsou jejich krystalizační změny, jež jsou závislé na rychlosti ochlazování z vysokých teplot v tuhém stavu. To znamená, že strukturální přeměny při kalení jsou v úzké souvislosti s tepelnými pochody, probíhajícími na rozhraní mezi kalicí lázní a kalným materiálem. Proto existuje úzká souvislost mezi rozvojem poznatků z oblasti sdílení tepla a poznatků z oblasti tepelného zpracování ocelí, včetně kalení.

Experimentální sledování tepelných pochodů při kalení klade značné nároky na techniku měření včetně přístrojového vybavení, v důsledku rychlých teplotních změn a kombinace způsobů nestacionárního sdílení tepla vedením, prouděním a někdy i sáláním a při použití kapalných kalicí lázní s bodem varu nižším než je kalicí teplota, vyskytuje se sdílení tepla při změně skupenství, to jest při varu.

Doposud neexistuje ucelená obecná teorie tepelných pochodů při kalení v různých lázních a také až na malé výjimky, kalení zůstává v jistém smyslu " uměním " .

Tradiční způsoby kalení do klidové lázně neskytají možnost ovládnutí procesu kalení natolik, aby se dal regulovat chladicí účinek kalicí lázně v širokém rozmezí, tak jak by bylo žádoucí s ohledem na požadovanou kvalitu kalených dílů různých nejen

svým tvarem, ale také chemickým složením. Z těchto důvodů jsou hledány nové způsoby procesu kalení. U těchto se využívá závislosti tepelných pochodů na teplotě lázně, na jejím pohybu od chaotického víření, či promíchávání [22], [10] až k uspořádanému nucenému proudění [1], [5], za účelem dosažení požadovaných rychlostí ochlazování a tím i kvality kalených dílů.

Jednou z možností ovládnutí procesu kalení je zařízení pro kalení do horkého oleje průtočným principem navržené pracovníky ústavu termomechaniky VŠST Liberec pod vedením prof. Ing. Dr. Karla Sýkory a uvedené do provozu v n.p. LIAZ Rýnovice [5].

Kalicí lázeň v tomto zařízení omývá podélným nuceným proudem kalené díly převážně válcového tvaru. Dostupné literaturní údaje neobsahují řešení tepelných pochodů při kalení těles válcového tvaru pro případ jejich nuceného podélného obtékání, což bylo důvodem k volbě tématu kandidátské práce.

Volba nuceného podélného obtékání tělesa válcového tvaru je jednoznačně dána tím, že po obvodu tělesa zůstávají podmínky sdílení tepla (a tím i kvalita vzorku po jeho obvodu po zalkalení) ve všech bodech stejné, čehož nemůže být docíleno při příčném obtékání.

Úkolem kandidátské práce je sledovat tepelné pochody při kalení proudícím olejem samostatného válce uloženého ve svislé kalici vaně s ohledem na objasnění vlivu teploty a rychlosti obtékání lázně. Zkoumání vlivu teploty kalicí lázně a rychlosti jejího proudění na výslednou strukturu kalených vzorků různých materiálů není předmětem této kandidátské práce.

Použitá označení

A_1	$[^{\circ}\text{C}]$	kritická teplota strukturální přeměny
M_s	$[^{\circ}\text{C}]$	teplota počátku tvoření martensitu
t	$[^{\circ}\text{C}]$	teplota
t_p	$[^{\circ}\text{C}]$	teplota povrchu
t_l	$[^{\circ}\text{C}]$	teplota lázně
t_o	$[^{\circ}\text{C}]$	počáteční teplota
$\mathcal{N} = \frac{t - t_l}{t_o - t_l}$		parametrické teplotní kritérium
Δt	$[^{\circ}\text{deg}]$	rozdíl teplot
τ	$[\text{s}]$	čas
g	$[\text{m/s}^2]$	zrychlení zemské tíže
r	$[\text{m}]$	vzdálenost po poloměru od osy válce do uvažovaného bodu
R	$[\text{m}]$	poloměr
d, D	$[\text{mm}], [\text{m}]$	průměr
d_{ekv}	$[\text{mm}], [\text{m}]$	ekvivalentní hydraulický průměr
l	$[\text{m}]$	délka, charakteristický rozměr
O	$[\text{m}]$	obvod
U	$[\text{m}]$	smočený obvod
F	$[\text{m}^2]$	volný průřez, teplosměnná plocha
$V_c = \frac{dt}{d\tau}$	$[^{\circ}\text{deg/s}]$	rychlost ochlazování
w_l	$[\text{m/s}]$	rychlost proudění kalící lázně
G	$[\text{kg}]$	hmota
ρ	$[\text{kg/m}^3]$	měrná hmota
Q	$[\text{kcal/h}]$	hodinové tepelné množství

q	$[kcal/m^2h]$	tepelný tok
c	$[kcal/kg \text{ deg}]$	měrné teplo (specifické teplo)
ν	$[m^2/s]$	kinematická viskozita
λ	$[kcal/m \text{ h deg}]$	součinitel vedení tepla
α	$[m^2/s]$	součinitel teplotové vodivosti
β	$[1/deg]$	isochorický součinitel tlakové rozpínivosti
α	$[kcal/m^2 \text{ h deg}]$	součinitel přestupu tepla
$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$		Nusseltovo číslo
$Re = \frac{w \cdot l}{\nu}$		Reynoldsovo číslo
$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$		Prandtlovo číslo
$Gr = \frac{l^3 g \beta \Delta t}{\nu^2}$		Grashoffovo číslo
$Fo = \frac{\alpha \cdot \tau}{l^2}$		Fourierovo číslo
$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$		Biotovo číslo

1. Obecný rozbor řešeného problému

Kalením ocele označujeme rychlé ochlazení ocele ohřáté na teplotu nad hodnotu A_1 (kritická teplota strukturální přeměny), čímž se potlačí normální překrystalisace a struktura je převedena do stavu více méně nestabilního, přičemž se vyznačuje velkou tvrdostí spojenou s křehkostí.

Rozhodujícím činitelem při kalení ocelí je rychlost ochlazení kaleného předmětu (je to změna teploty v uvažovaném místě za jednotku času).

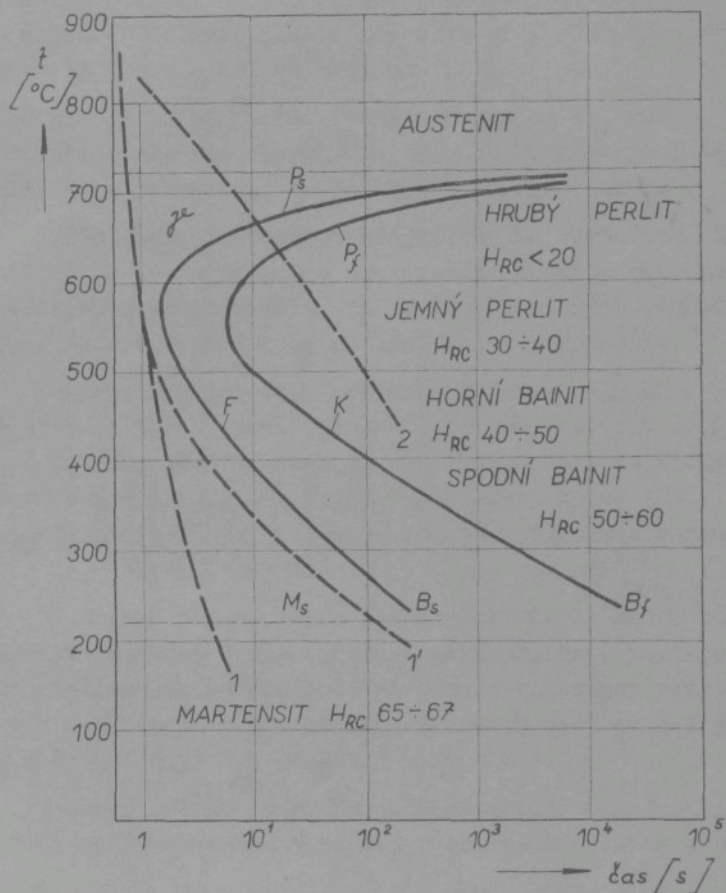
Schopnost materiálu k dosažení velké tvrdosti po zakalení se nazývá kalitelností a schopnost materiálu ztvrdnout při kalení do určité hloubky se nazývá prokalitelností.

Na kalitelnost i prokalitelnost daného materiálu se může usuzovat z jeho diagramu isothermických přeměn - zkráceně diagram IRA (též transformační diagramy, S křivky apod.), které první sestavili Davenport a Bain. Tyto diagramy vyjadřují závislost času potřebného pro započetí a dokončení isothermického rozpadu austenitu na teplotě.

Příklad diagramu isothermických přeměn je pro eutektoidní ocel na obr. 1.

Křivky F a K v obr. 1 se asymptoticky blíží teplotě A_1 , což znamená, že při této teplotě nemůže dojít k rozpadu austenitu vůbec. Má-li dojít k rozpadu, musí být rovnováha tohoto stavu narušena snížením teploty. Dále je patrné, že při teplotě kolem 550°C započne přeměna zhruba již v 1 vteřině a skončí po několika málo vteřinách. Toto je nejcitlivější bod z hlediska vedení procesu kalení. Pod touto teplotou se překrystalizační časy opět prodlužují.

Úplné přeměny austenitu na martensit (v těchto úvahách se nebere na zřetel existence zbytkového austenitu), což také znamená největší tvrdost kaleného vzorku, lze dosáhnout v přípa-



Obr.1 - diagram isotermických přeměn eutektoidní oceli
(0,8 % C, 0,76 % Mn). Podle Bricks a Phillipse.

dě, bude-li rychlost ochlazování odpovídat průběhu 1, respektive 1' - obr. 1. (Kalení dle průběhu 1' je obvykle žádánější, neboť v důsledku pomaleji probíhající přeměny austenitu na martensit budou menší vnitřní pnutí).

Bude-li průběh ochlazování napravo od 1, respektive 1', např. při ochlazení vzorku dle průběhu 2, získáme pouze měkkou perlitickou strukturu, takže vzorek zakalen nebyl.

Z uvedeného rozboru je zřejmé, že na výslednou strukturu docílenou kalením je možno usuzovat z časového průběhu teploty v uvažovaném místě vzorku, tj. z těch tepelných pochodů při kalení, které daný časový průběh teplot podmiňují.

Schematicky lze tuto myšlenku vyjádřit dle obr. 2, který představuje transformaci známých průběhů teplot v průřezu vzorku do diagramu isotermického, respektive anisotermického rozpadu austenitu (zkráceně značeno IRA, respektive ARA). (Diagram ARA odpovídá plynulému ochlazování vzorku z teploty počáteční do teploty lázně).

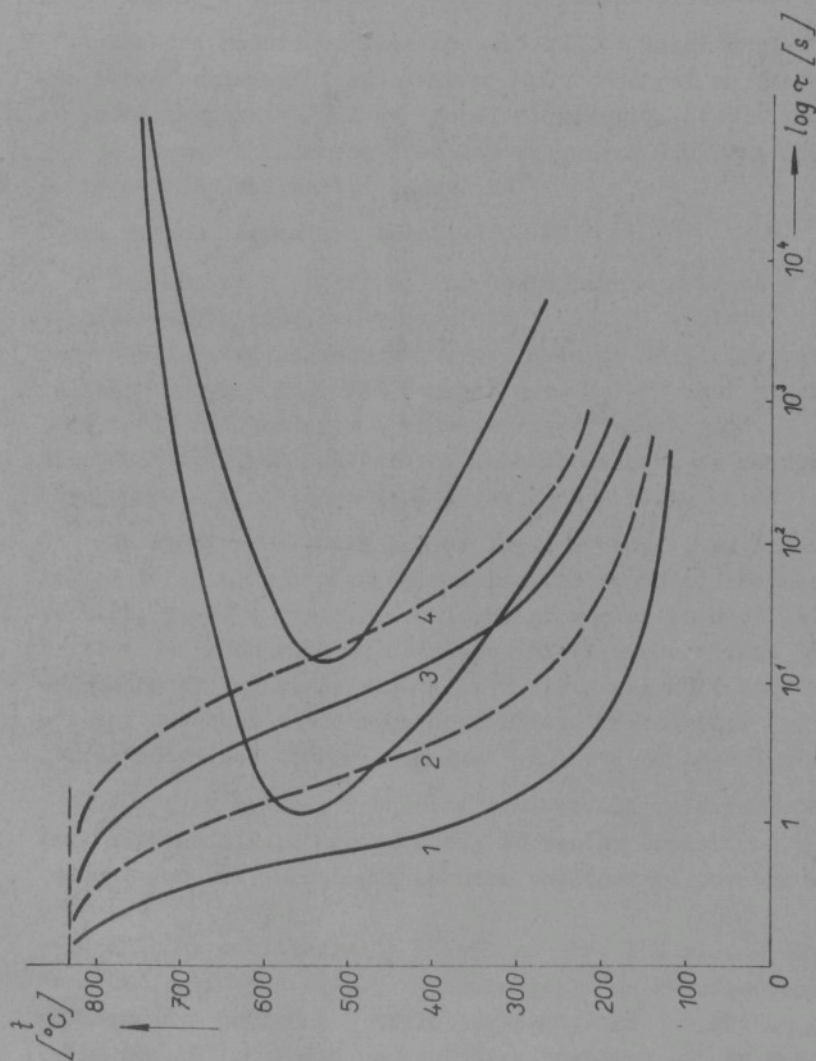
Z obrázku plyne, že na povrchu (křivka 1) kaleného vzorku může být dosaženo úplné martensitické přeměny, zatímco v ostatních uvažovaných bodech bude struktura obsahovat perlit a martensit (křivka 2 a 3 - přičemž množství perlitu u 3 je větší než u 2 -), nebo jen perlit (křivka 4).

Způsoby určení časového průběhu teplot v jednotlivých místech průřezu vzorku jsou rozpracovány v dalších kapitolách práce.

Na dosažení žádaného průběhu ochlazování má značný vliv nejen kalící lázeň a její teplota a cirkulace, ale také tepelné fyzikální vlastnosti kaleného materiálu.

1.1 Vliv kalící lázně na tepelné pochody při kalení

Již bylo řešeno, že rozhodujícím činitelem při kalení ocelí je rychlost ochlazování kaleného předmětu. Rychlost



Obr. 2 - Schema transformace známých průběhů teplot ve vzorku do diagramu isotermického nebo anisotermického rozpadu austenitu. 1 - průběh povrchové teploty, 2 - průběh teploty vzorku ve vzdálenosti a mm od povrchu, 3 - průběh teploty vzorku ve vzdálenosti b mm ($b > a$) od povrchu, 4 - průběh teploty v jádře vzorku.

ochlazování je v případě kalení ocele závislá hlavně na schopnosti kalící lázně odvádět teplo z kaleného předmětu.

Zásadní rozdíl ve vlastnostech kalící lázně spočívá v tom, zda během ochlazování kaleného předmětu dochází na jeho povrchu ke změně skupenství kalící lázně, či nikoliv. Podle toho způsob ochlazování kaleného předmětu dělíme na dva případy :

A. beze změny skupenství lázně a

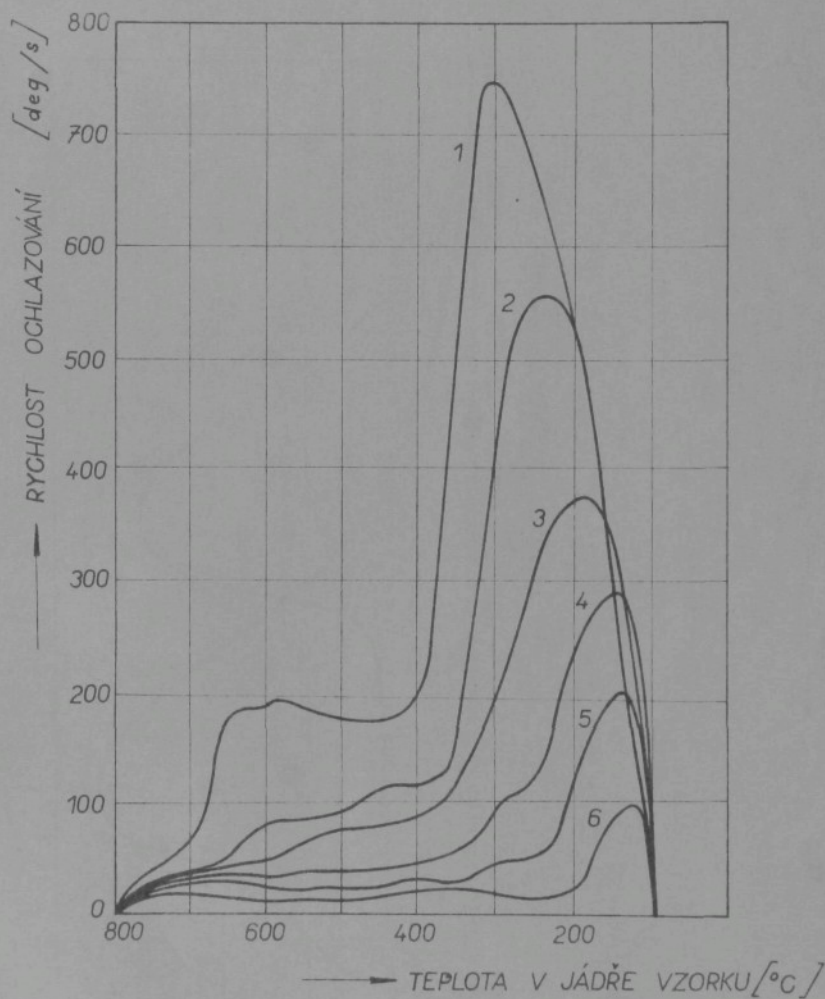
B. se změnou skupenství lázně.

Do skupiny A patří kalící lázně plynné a lázně s bodem varu za daných podmínek vyšším než je kalící teplota, tj. případy ochlazování na vzduchu, v roztavených kovech, v roztavených solích, stykem s kovovými deskami tzv. kalení mezi kameny (sdílení tepla při kontaktu - vedením) a případně jiné. V těchto případech rychlost ochlazování kaleného vzorku se mění téměř rovnoměrně (s poklesem teploty kaleného vzorku klesá).

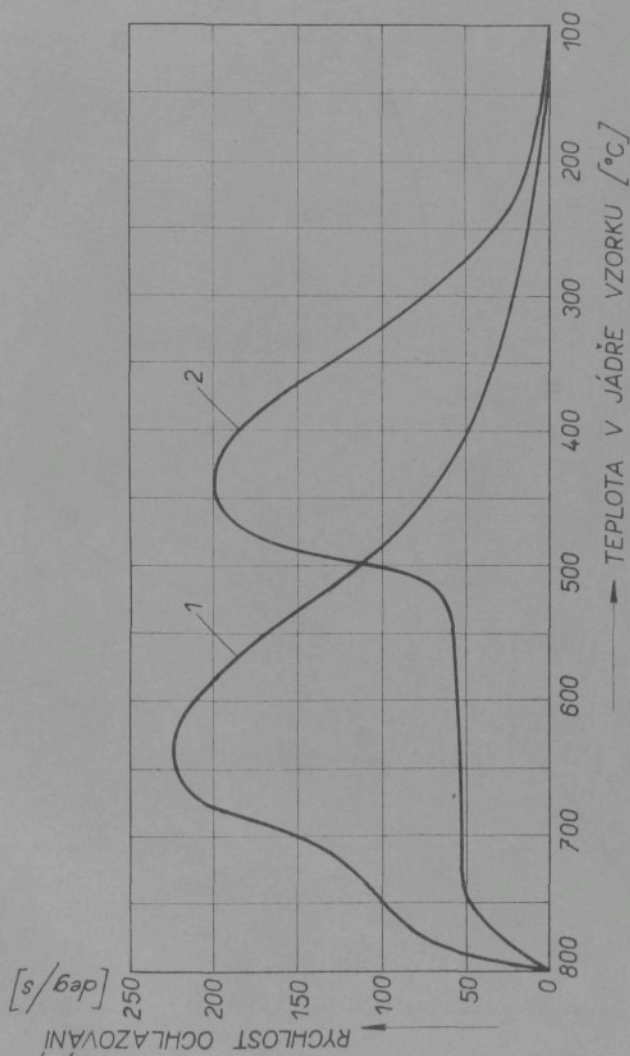
Do skupiny B patří kalící lázně s bodem varu nižším než je kalící teplota, tj. případy ochlazování ve vodě, roztoků solí ve vodě, louhů a kyselin, ochlazování v olejích apod. Při kalení v těchto lázních rychlost ochlazování kaleného vzorku zaznamenává značné výkyvy v závislosti na teplotě vzorku (obr. 3 a obr. 4 přičemž dosahuje ostře vyznačené maximální hodnoty, jež je několikrát větší než střední hodnota rychlosti ochlazování).

Výkyvy v hodnotě rychlosti ochlazování jsou způsobeny vznikem, ulpíváním a po určité době, po vzniku dostatečně velkých vztlakových sil, oddělením parního polštáře od povrchu kaleného vzorku.

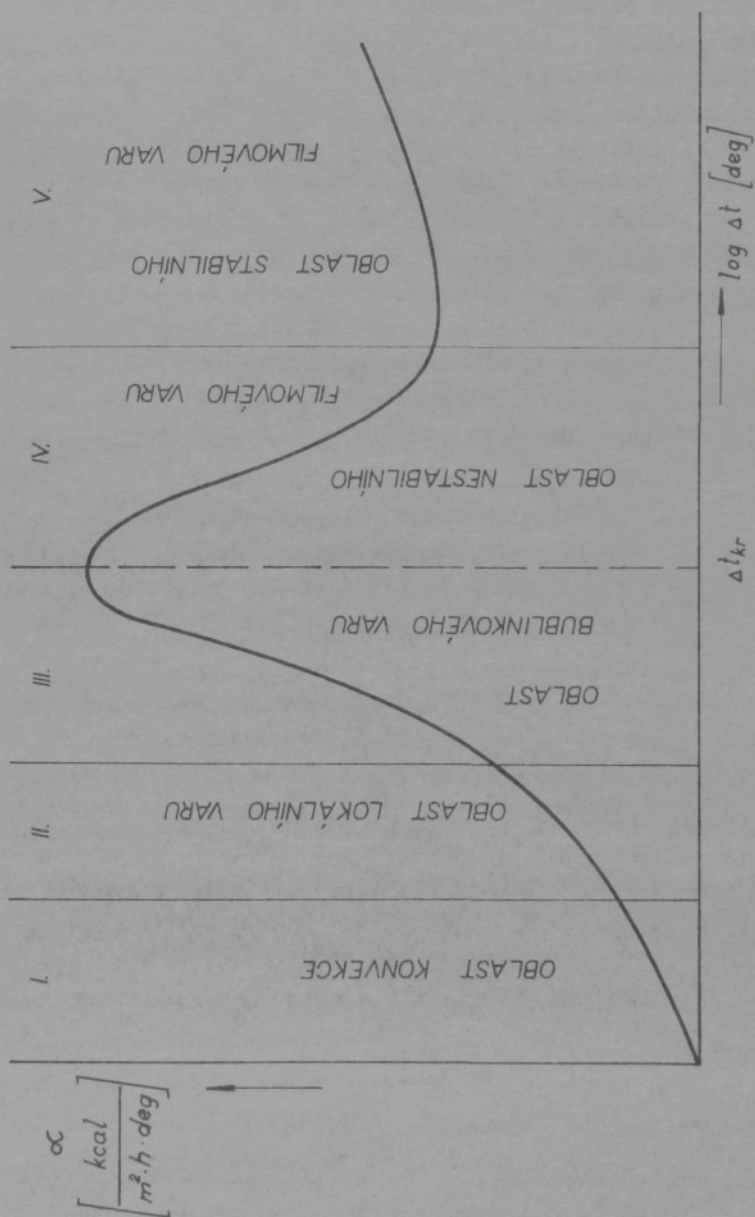
Průběhy ochlazovacích křivek na obr. 3 a obr. 4 úzce souvisí se závislostí součinitele přestupu tepla na rozdílu teplot mezi ochlazovaným povrchem a teplotou lázně, tzv. " křivky varu " . (Viz obr. 5). Podle nejnovějších poznatků křivku varu dělíme na 5 oblastí, které odpovídají určitému způsobu varu kapaliny v závislosti na rozdílu teplot mezi topným povrchem a kapalinou. Při malých hodnotách Δt (také malém tepelném zatížení topené



Obr. 3 - rychlost ochlazování stříbrného vzorku tygru koule
Ø 20 mm ve vodě o různé teplotě : 1 - 20°C
2 - 40 °C, 3 - 50 °C, 4 - 60 °C, 5 - 80 °C, 6 -
- 98,6 °C.



Obr. 4 - změna ochlazovací účinnosti olejů: 1 - těžký olej válcový 52, 2 - průmyslový olej 20, při teplotě 100 $^{\circ}\text{C}$ (dle [20]).



Obr. 5 - schematické znázornění křivky varu kapelin.

plochy) nedochází k varu kapaliny. Teplo se sdílí do kapaliny konvekci (oblast I) . Při vzrůstu Δt , kapaline začne vřít v místech tomu nejvýhodnějších (místa určité drsnosti spod.) (oblast II) až přejde v bublinkový var (nukleární var) na celé ploše (oblast III) . Zvyšuje-li se dále Δt , bublinky se budou spojovat ve větší polštáře (oblast IV) až nakonec vytvoří souvislý parní film (oblast V) . Součinitel přestupu tepla dosahuje ostře vyznačeného maxima při zcela určitém rozdílu teplot (kritický rozdíl teplot) a tomu odpovídajícím tepelném zatížení topené plochy (kritické tepelné zatížení) . Poloha maximální hodnoty součinitele přestupu tepla v uvedených souřadnicích je závislá na fyzikálních vlastnostech kapaliny a na podmínkách (tlak, teplota, rychlost proudění) , při kterých probíhá var.

Při varu vody v celém objemu za atmosferického tlaku dosáhne se maximální hodnoty součinitele přestupu tepla při teplotě topené plochy 123 až 127 °C ($\Delta t_{kr} = 23$ až 27 deg) , zatímco u varu olejů při teplotě topené plochy 450 až 650 °C.

Pro většinu případů kalení je nejvýhodnější mírné ochlazení při teplotách nad A_1 , rychlé mezi A_1 a M_s a pomalé v oblasti martensitické přeměny - pod M_s . Těmto požadavkům více vyhovují oleje než voda, neboť v oblastech vysokých teplot hodnota součinitele přestupu tepla je nízká (existence souvislého parního polštáře) a v oblastech mezi A_1 a M_s oleje mají maximum součinitele přestupu tepla. V oblasti martensitické přeměny hodnota součinitele přestupu tepla olejů je opět malá, zvláště zvýší-li se ještě jejich teplota.

Podrobněji je hodnocení kalicí lázně a jejího vlivu na rychlost ochlazení probráno v [6], [20].

1.2 Vliv tepelně-fyzikálních vlastností materiálu na tepelné pochody při kalení

Při zkoumání tepelných pochodů při kalení sice vycházíme

z vlastností kalicí lázně, které ovlivňují tepelné poměry v mezní vrstvě, avšak hlavním cílem je sledování teplotního pole uvnitř kaleného vzorku, na které mají vliv jeho tepelně-fyzikální vlastnosti.

Mezi tyto vlastnosti patří v první řadě součinitel vedení tepla (λ) a specifické teplo (c). Jak specifické teplo, tak součinitel vedení tepla jsou pro daný materiál funkcí teploty. Hodnoty specifického tepla se pro všechny ocele pohybují v rozmezí 0,1 až 0,17 kcal/kg deg pro teplotní interval 100 až 1200 °C [2], [25], [26]. Pro konkrétní materiál se uvedené rozmezí hodnot značně zmenšuje, takže pro běžné technické výpočty změnu specifického tepla s teplotou není nutno uvažovat. Poněkud jiná je situace u součinitele vedení tepla, který je jednak značně závislý na chemickém složení materiálu a jednak na teplotě, takže pro velké teplotní rozdíly, k nimž dochází při kalení je žádoucí uvažovat jeho změnu s teplotou. Podrobně jsou hodnoty součinitele vedení tepla ocelí v [2].

Z uvedených charakteristik je to hlavně součinitel vedení tepla, který může podstatně ovlivnit průběh teploty ochlazovaného vzorku a v důsledku toho i výslednou jeho kvalitu.

Čím je hodnota součinitele vedení tepla vyšší, tím menší bude rozdíl mezi povrchovou teplotou a teplotou v jádře ochlazovaného vzorku a naopak, čím menší bude jeho hodnota, tím větší bude uvedený rozdíl teplot.

1.3 Řešení teplotního pole kaleného vzorku

K objasnění tepelných pochodů při kalení nutno znát průběh změny teplotního pole kaleného vzorku v čase. Kalení je charakterisováno nestacionárním sdílením tepla, neboť v důsledku instenzivního odvodu tepla do kalicí lázně dochází k velmi rychlým změnám teplotního pole. Uvažujme případ kalení do lázně skupiny B. Uvnitř vzorku se teplo sdílí vedením, vně vzorku

prouděním do kalící lázně, přičemž na povrchu vzorku má v příslušných stadiích kalení místo var. Po dobu existence souvislého parního polštáře se teplo sdílí také sáláním, které v důsledku značného rozdílu teplot mezi chlazeným povrchem a kalící lázní oddělené parním polštářem může být i rozhodující. Tyto složité tepelné pochody jsou matematicky popsány diferenciální rovnicí vedení tepla [15], [17], [24] a příslušnou okrajovou a počáteční podmínkou. Pro případ kalení nuceným podélným proudem oleje platí okrajová podmínka třetího řádu [15], [6], pro jejíž použití je nutno znát závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu kaleného vzorku. Tuto závislost známe převážně jen přibližně, takže výsledky řešení diferenciální rovnice spolu s okrajovou a počáteční podmínkou, tj. určení hledaného teplotního pole v průřezu kaleného vzorku, bude také jen přibližné. Součinitel přestupu tepla je složitou funkcionální závislostí na teplotě povrchu, teplotě lázně, rozdílu teplot mezi povrchem a lázní, tepelně-fyzikálních vlastnostech lázně a na rychlosti a charakteru jejího proudění, dále na tvaru tělesa, jeho rozměrech, na charakteristickém rozměru, způsobu obtékání apod., takže daná závislost platí pouze pro ty podmínky, za kterých byla určena. Její použití pro jiné podmínky vede k chybám, které často ani nelze vyloučit. Zobecnění závislosti součinitele přestupu tepla při kalení do oleje pomocí teorie podobnosti sdílení tepla ve tvaru kritériálních rovnic je v současné době možné pouze pro oblast čisté konvekce, neboť dosud nejsou zpracovány tepelně-fyzikální vlastnosti olejových par. (Čistou konvekci se rozumí sdílení tepla do kapaliny, při kterém nedochází ani v mezní vrstvě k odpařování). (Poznámka: nutno dodat, že pro oleje čsl.výroby nejsou zpracovány tepelně-fyzikální vlastnosti nezbytné pro řešení kritériálních rovnic, ani pro oblast čisté konvekce. V příloze této práce - příloha č. 1, tabulka I a II - jsou přivedeny vlastnosti olejů OL-J4 a OVB-31 [9], které byly získány běžnými laboratorními metodami v Ústavu termomechaniky, VŠST Liberec).

Z uvedeného rozboru plyne, že závislost součinitele přestupu tepla pro konkrétní případ kalení je velmi žádanou závislostí, i když její získání je značně obtížné a náročné na techniku měření. Možno říci, že řešení teplotního pole kaleného dílu pomocí metod vžitých ve sdílení tepla nenašlo doposud v praktickém používání v oblasti tepelného zpracování širšího uplatnění. Analytické řešení tepelných pochodů při kalení ve vzájemné vazbě se strukturálními změnami materiálů se až na malé výjimky převážně laboratorního výzkumu nahrazuje zkušebními metodami přímého sledování kalitelnosti a prokalitelnosti vzorků příslušného materiálu.

1.4 Stručný přehled literatury

Otázkám souvisejícím s tepelnými pochody při kalení je věnováno velké množství publikovaných prací. Již začátkem tohoto století se objevují práce, zabývající se rychlostí ochlazování při kalení. Zde je možno jmenovat práce badatelů Le-Chateliera (1904), Pillinga a Lynche (1919), později ve dvacátých a třicátých letech to jsou Wever, Engel, French, zvláště pak Rose, který zdokonalil a obohatil techniku měření rychlosti ochlazování. Rychlost ochlazování stanovoval z teplotního průběhu jádra stříbrné kuličky o $\varnothing$ 20 mm při jejím ochlazování. Tato metoda se v literatuře často označuje jako metoda Roseho. V letech čtyřicátých a padesátých jsou to dále práce Grossmana, Kreinera a Swobody, Peters, Blantěra, Chazana, Němčinského a dalších. V těchto letech je příznačná snaha o aplikaci na tepelné pochody při kalení poznatků z teorie sdílení tepla, hlavně pak teorie podobnosti sdílení tepla. Projevilo se to snahou hodnotit ochlazovací schopnost jednotlivých kalících lázní pomocí závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě vzorku a kromě toho snahou o využití těchto závislostí k analytickému řešení nestacionárního teplotního pole kaleného vzorku. Sem

petří práce Kreinera a Swobody, Němčinského, Rose, Chazana, Petreše a dalších. Součinitel přestupu tepla byl určen pomocí rychlosti ochlazování ze vztahu :

$$\alpha = \frac{dt}{d\tau} \cdot \frac{G \cdot C}{F \cdot (t - t_c)} = \kappa \cdot \frac{G \cdot C}{F \cdot (t - t_c)} \quad (1-1)$$

V tomto období se přidružují práce, zabývající se hlouběji otázkami tepelných pochodů při kalení zaměřené již na možnost ovládnutí těchto procesů z hlediska řízení ochlazovací účinnosti kalících lázní změnou jejich teploty a rychlosti pohybu. Tyto práce směřují k tomu, aby s využitím diagramu IRA ^{nebo IRA} příslušného materiálu bylo možno předem stanovit vhodný druh kalící lázně a její stav (t.j. teplotu a rychlost pohybu) z hlediska dosažení žádané struktury po zakalení. Zejména to jsou tyto práce :

1. Lilender, Arend, Mintrop [4] z r.1944.

Práce obsahuje zkoumání vlivu kalící lázně na prokalitelnost slabě legovaných ocelí. Zkoušky byly provedeny na válcových vzorcích různých průměrů při jejich ochlazování ve vodě (studené a teplé), v roztoku 10% louhu sodného a v minerálních olejích. Ochlazovací schopnost těchto kalících lázní byla stanovena metodou Roseho. Ochlazovací rychlost vzorků různého průměru byla stanovena z teplotních průběhů několika míst uvnitř vzorku, měřených termočlánky. Z těchto křivek byly vypočteny střední hodnoty součinitele přestupu tepla. Jak rychlost ochlazování, tak součinitel přestupu tepla byl určen pro teplotu jádra 600 °C. Veliká pozornost je věnována prokalitelnosti vzorku při kalení ve studené a teplé vodě, neboť kalící voda je považována za lázeň s nejistými účinky (poznámka autora : ochlazovací schopnost vody je značně závislá na její teplotě). Dle výsledků pokusů je doporučováno při kalení dílů válcového tvaru do průměru 60 mm používat studenou vodní lázeň, při Ø od 60 do 90 mm teplou vodní lázeň (prokalení jádra je lepší než při použití studené lázně).

Při $\varnothing$ mezi 30 až 60 mm může nastat značný rozptyl prokalení.

2. Kalení v lázni rozvířené vrtulí [22] z r.1955

Tato práce se zabývá kalením v olejové lázni mechanicky rozvířené vrtulí. Vrtule je ponořena do kalicí lázně v prostoru kalicí vany a uvádí lázeň do šroubovitého pohybu ve směru rotace vrtule při současném pohybu lázně ve směru osy vrtule. Pro kvantitativní zhodnocení ochlazovací schopnosti rozvířené kalicí lázně se používá 6^o stavu rozvíření (viz tabulka č. 1). Ochlazovací schopnost různých kalicích lázní je porovnávána vzájemně k vodě ve stavu klidu, přičemž tato schopnost je vzeta za základ rovný 1,0 . Porovnání mechanických vlastností sledovaných vzorků po jejich zakalení v lázni při různém stupni rozvíření jednoznačně potvrzuje růst prokalení s růstem rozvíření lázně.

Dále článek obsahuje obecná pravidla pro stavbu kalicích van s vířivou vrtulí.

Poměrná ochlazovací schopnost vířené kalicí lázně ve vztahu ke klidové vodě.

Tabulka 1.

Stav lázně	voda	olej	vzduch
klidový stav	1,0	0,25 - 0,30	0,02
slabé víření	1,0-1,1	0,30 - 0,35	
mírné víření	1,2-1,3	0,35 - 0,40	
rychlejší pohyb	1,4-1,5	0,4 - 0,5	
silné víření	1,6-2,0	0,5 - 0,8	
bouřlivé víření	4,0	0,8 - 1,1	0,05

3. Zvyšování ochlazovací schopnosti kalicích olejů ultrazvukem

[19]- původní práce z r.1956.

Bulat provedl výzkum vlivu rozkmitání kalicí lázně pomocí ultrazvuku na jeho ochlazovací schopnost. K těmto účelům byl pou-

zit olej s nejhorsí ochlazovací schopností, který byl rozkmitán ultrazvukem a výsledky byly porovnány s olejem o nejlepší ochlazovací schopnosti. V uvedených lázních byly kaleny vzorky válcového tvaru $\varnothing 25,4$ mm a vyhodnocena jejich tvrdost. Pro porovnání vzorky byly kaleny do klidové lázně, mechanicky zviřené lázně, lázně rozkmitané ultrazvukem a mechanicky zviřené za současného působení ultrazvuku.

Výsledky zkoušek ukazují, že rozkmitání lázně pomocí ultrazvuku zvyšuje její ochlazovací schopnost a tím i zvětšuje hloubku prokalení.

4. Zhodnocení vlastností kalicích prostředí [11] z r.1958.

Dá se říci, že je to první rozsáhlá domácí práce z oblasti výzkumu tepelných pochodů při kalení. Práce obsahuje ochlazovací schopnosti řady olejů čsl.výroby s originálním vyhodnocením vhodnosti jejich použitelnosti pro kalení a ochlazovací schopnost koncentrovaných solných roztoků. Vhodnost použití jednotlivých olejů jako horké kalicí lázně je doplněna přezkoušením jejich stárnutí. Dále práce obsahuje průběhy ochlazovacích křivek v různých bodech průřezu vzorků válcového tvaru z materiálu AKC 17 2F5 o různých průměrech $\varnothing 10$ až 60 mm v různých kalicích lázních v závislosti na teplotě lázně a její cirkulaci. Cirkulací je zde rozuměno příčné obtékání válcových vzorků, přičemž rychlost cirkulace je rovna rychlosti nabíhajícího proudu lázně.

Je to jedna z mála prací, kde je přímo měřen průběh povrchové teploty vzorků při jejich ochlazování.

5. Kalicí prostředí pro tepelné zpracování kovů [20] z r.1959 (Překlad z r. 1962).

Kniha se podrobně zabývá zvláštnostmi ochlazování v různých prostředích a hodnocení ochlazovací schopnosti nejčastěji používaných kalicích lázní: vody, oleje, roztavených kovů, solí a louhů. Zvláštní pozornost je věnována způsobům hodnocení kalicích prostředí z hlediska vhodnosti jejich použití při kalení.

Jsou také uvedeny obecné poznatky z teorie tepelných pochodů při kalení, avšak spíše v odkazech na odbornou literaturu, než v konkrétním rozboru.

6. Úvahy o tepelných jevech při kalení v oleji [23] z r. 1959.

V článku jsou uvedeny výsledky zkoumání vlivu ponoru zkoušebního vzorku (stříbrný válec o $\varnothing 50,8$ mm) při jeho ochlazení ve třech různých olejových lázních (dle autorů oleje označeny jako rychlý, střední a pomalý) v závislosti na teplotě lázně. Pro jednotlivé zkoušky jsou stanoveny křivky varu těchto olejů za daných podmínek, které byly určeny na základě měření teplotních průběhů v několika místech (5 a více) průřezu vzorku. V uvažovaném okamžiku jsou teplotní hodnoty v měřených místech vzorku analyticky extrapolovány do povrchu vzorku (včetně uvážení vlivu sférické geometrie) a dle tohoto průběhu povrchové teploty stanovena závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku. (Konkrétní popis použité metody není přiveden).

Vliv teploty kalicí lázně a vliv ponoru vzorku na rychlost jeho ochlazování je odvozen ze získaných křivek varu.

7. Kalení proudem tlakového minerálního oleje [1] z r. 1959.

Článek se zabývá rozбором možností kalení silnostěnných trub z nelegované oceli se středním obsahem uhlíku. Pro zvýšení prokalení v celé tloušťce trubky je zavedeno nucené podélné obtékání kaleného dílu olejem v uzavřeném okruhu, přičemž je vhodně využito zvýšení tlaku oleje na 3 až 4 atp za účelem zvýšení teploty varu lázně. Nuceného pohybu je dosaženo čerpadlem oleje, takže rychlost proudění lázně se pohybuje v mezích 0,5 až 1,0 m/s.

Vyhodnocení mikrostruktury takto kalených silnostěnných trubek ukazuje na velmi dobré prokalení v celé tloušťce stěny. Srovnání výsledků kalení dřívějším způsobem (klidová lázeň) se způsobem popsaným, jednoznačně ukazuje výhodnost nového způsobu.

Dále jsou v této práci publikovány závislosti součinitele přestupu tepla dynamového oleje na jeho teplotě, avšak není uveden

způsob, jakým byly získány.

8. Atlas diagramů pro rušlechťování konstrukčních ocelí [12] z r.1964.

Tato publikace kromě velmi důležitých a v praxi potřebných diagramů IRA, případně ARA nejpoužívanějších konstrukčních ocelí čsl. výroby, obsahuje v úvodní části otázky z oblasti tepelných pochodů při kalení (ochlazovací účinnost kalicích lázní - souvisí s prací [11], tepelné zpracování s použitím diagramů IRA spod.).

V příloze jsou uvedeny průsvitky, na nich²⁾ jsou ve stejných souřadnicích a ve stejném měřítku jako u diagramů IRA nebo ARA vyneseny průběhy ochlazování válcových vzorků různých průměrů ve vodě, v olejích a na vzduchu. Průsvitky jsou doporučeny pro transformaci těchto křivek do diagramů IRA, respektive ARA tepelné zpracování materiálu, při výběru vhodné kalicí lázně a pro přibližné stanovení tvrdosti po tepelném zpracování v různých místech průřezu uvažovaného vzorku.

1.5 Kritika současného stavu znalostí a studia tepelných pochodů při kalení

Kritika současného stavu je zaměřena pouze na tepelné pochody při kalení, nezabývá se speciálními otázkami metalografickými a také těmi otázkami, které nemají přímou souvislost s kandidátskou prací. Z tohoto hlediska je pozornost soustředěna na tyto otázky:

1. výběr zkušebních vzorků.

Vzorky k určení ochlazovací schopnosti kalicí lázně jsou nejčastěji zhotoveny z niklchromové slitiny, nebo ze stříbra, buď válcové nebo kulové. Je známo, že rozhodujícími podmínkami pro ochlazování tělesa v případě sdílení prouděním jsou podmínky, probíhající v mezní vrstvě na styčné ploše mezi vzorkem a kalicí lázní. Proto je snahou, aby měřená rychlost ochlazování byla určena pro povrch zkušebního vzorku.

Měří-li se povrchová teplota vzorku přímo, pak jeho rozměry z hlediska sledování jevů na jeho povrchu mohou být libovolné, avšak usuzuje-li se na tyto jevy na základě měření teploty jeho jádra, pak jeho rozměry musí být co nejmenší, zvláště při použití niklchromových vzorků. Mnohem výhodnější je použít stříbrného vzorku pro jeho výbornou tepelnou vodivost. Avšak ani použití stříbrného vzorku nevylučuje chyby při takovém způsobu zpracování, neboť mezi jádrem a povrchem vzorku musí být skutečný teplotní spád, který je tím větší, čím větší je hodnota součinitele přestupu tepla.

Přímé měření povrchové teploty při kalení, tj. při procesu rychlých teplotních změn je velmi náročné po stránce techniky měření. U řady badatelů je možno pozorovat snahu pokud možno tomuto úkolu se vyhnout použitím stříbrného vzorku, nebo jiným způsobem, jako např. v [23]. Přímou metodou byla povrchová teplota stanovena v [11], avšak vhodnost metody nebyla dokázána, byla jen logicky zdůvodněna. Z hlediska použití v praxi je metoda dle [23] nevhodná;

2. vyhodnocení závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě vzorku.

Již byl uveden jeden způsob určení součinitele přestupu tepla (rovnice 1-1). Tento výraz obdržíme přirovnáním elementárního množství tepla odvedeného prostředím od vzorku za čas $d\tau$, které vyjádříme pomocí Newtonova zákona pro sdílení tepla prouděním :

$$dQ = \alpha F (t - t_f) d\tau \quad (1-2)$$

s elementárním množstvím tepla, které odevzdá vzorek o hmotě G:

$$dQ = G \cdot c \cdot dt \quad (1-3)$$

Mnozí autoři (např. [4], [20]) stanovovali závislost součinitele přestupu tepla na základě měření teploty v jádře vzorku. V takovém případě se dá získaná závislost aplikovat na

děje na povrchu vzorku jen s jistou přibližností. Má-li se získat závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku (je to nejvhodnější vyjádření pro analytické řešení), pak v rovnici (1-2) musí být za teplotu t dosazena teplota povrchu t_p a v rovnici (1-3) změna teploty dt musí vyjadřovat změnu střední objemové teploty vzorku v uvažovaném čase $d\tau$, což situaci značně komplikuje.

Vzhledem k tomu, že není možné zpracování sdílení tepla pro oblast bublinkového a filmového varu ve tvaru kritériálních závislostí, jelikož neznáme tepelně-fyzikální vlastnosti olejů pro tuto oblast, zůstává závislost součinitele přestupu tepla na teplotě vzorku nejvhodnější závislostí také pro srovnávání vlastností různých kalicích lázní s ohledem na průběh ochlazování kaleného vzorku.

Metoda, použitá v [23] k určení této závislosti pro inženýrskou praxi není vhodná.

Dále pak je patrné, že při zobecňování naměřených průběhů teplot ve vzorcích se často opomíjí zdůraznit rozsah použitelnosti těchto závěrů při přípustném procentu chyby. Tak např. v [12] není přesně vymezena vhodnost použití průsvitek s ohledem na to, pro jaký materiál platí a také stav kalicích lázní není přesně definován (o jaký způsob cirkulace jde apod.)

3. snaha o ovládnutí procesu kalení.

Ovládnutím procesu kalení se zde rozumí možnost řízení ochlazovací schopnosti kalicích lázní volbou její teploty a rychlosti pohybu dle požadavků na výslednou strukturu kalených dílů. Již z této definice plyne, že se musí vyloučit náhodnost a subjektivní vlivy, což znamená vyloučit chaotické víření lázně, či chaotický pohyb kaleného dílu. V úvahu je možno vzít pouze nucené uspořádané proudění kalicích lázní, použité v [1], [5] a [11]. Z toho příčné obtékání vzorku válcového tvaru [11] je nevhodné, jelikož součinitel přestupu tepla se po obvodu válce značně mění, v důsledku čehož dochází k nerovnoměrnému ochlazování vzorku

a tím i k nestejné kvalitě po jeho zakalení. Nutno dodat, že autor práce [11] nedoporučuje příčné obtékání válce jakožto vhodný způsob ke kalení. Na otázky, které byly v této práci řešeny nemusí mít způsob uspořádaného proudění vliv.

Tím je také zdůvodněna vhodnost volby podélného obtékání válcových těles [1], [5], při snaze o ovládnutí procesu kalení.

1.6 Cíl kandidátské práce

Kandidátská práce je zaměřena na studium tepelných pochodů při kalení těles válcového tvaru pro případ nuceného podélného obtékání olejem. Zkoumaný vzorek je samostatný válec, umístěný při kalení ve svislé válcové kalici vaně.

S ohledem na možnost aplikací v praxi je pak kandidátská práce zaměřena zejména na řešení těchto problémů:

- 1) na základě experimentálního objasnění vlivu teploty a rychlosti proudění kalicí lázně (oleje) na rychlost ochlazování zkušebních vzorků různých průměrů, stanovit podmínky ovládnutí procesu kalení pro daný typ uspořádaného nuceného proudění kalicí lázně;
- 2) k tomu je ovšem třeba vypracovat vhodnou metodu přímého měření povrchové teploty zkušebních vzorků a dokázat oprávněnost jejího použití při procesu kalení, jak je uvedeno v bodě 1);
- 3) a dále pak vypracovat metodu vhodnou pro inženýrskou praxi pro zjištění závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku (křivka varu) ze známého průběhu teploty povrchu vzorku při jeho ochlazování.

2. Výběr zkušebních vzorků. Rozsah provedení experimentu. Zkušební zařízení.

2.1 Výběr zkušebních vzorků

Výzkum tepelných pochodů při kalení byl proveden pro těleso válcového tvaru. Základní serie pokusů pro stanovení časové závislosti teplotního pole v daném průřezu vzorku při jeho ochlazování byla provedena se vzorky z materiálu AKC 17 255.

Použití této austenitické oceli je účelné z těchto důvodů:

- a) vrstva kysličníku, která se vytvoří při prvním ohřevu vzorku, zůstává při opakovaném ohřevu prakticky stálá, takže její vliv na průběh ochlazování je stále stejný;
- b) při ochlazování vzorku se neuvolňuje překryštalizační teplo, které by působilo na průběh ochlazování.

Pro stanovení vlivu geometrických rozměrů vzorků na průběh ochlazování, měření bylo provedeno na vzorcích průměrů : 15, 20, 30, 50 a 70 mm (tyto hodnoty průměrů byly voleny na přání závodu LIAZ Rýnovice). Délka vzorků vyjma průměr 50 a 70 mm byla volena tak, aby z hlediska sdílení tepla splňovaly podmínku neomezeného válce, to zn. pětinašobek průměru. U průměrů 50 a 70 mm byla délka volena 180 mm z důvodů výrobních (vrtání otvorů pro termočlánky bylo provedeno do hloubky rovné poloviční délce).

Vzhledem k tomu, že vzorky byly provedeny z materiálů různých taveb, bylo stanoveno chemické složení použitého materiálu, jehož výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 2. Dle tohoto složení jsou pak stanoveny tepelně fyzikální vlastnosti materiálu, potřebné pro analytické zpracování výsledků měření. Chemické složení materiálu vzorku Ø 70 mm stanoveno nebylo. V tabulce je také uvedeno označení vzorků, které je dále v textu používáno.

Chemické složení materiálu AKC 17 255
jednotlivých vzorků.

Tabulka č. 2

Průměr vzorku d /mm/	Označení vzorků	% obsahu prvků								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	V	Mo
15	V1	0,17	1,04	1,96	0,031	0,019	26,01	20,78	0,50	0,04
20	V2	0,13	1,23	1,84	0,029	0,019	23,92	20,32	0,50	0,025
30	V3	0,10	1,25	2,28	0,018	0,020	24,70	20,12	0,50	0,025
50	V4	0,10	1,25	2,28	0,018	0,020	24,70	20,12	0,50	0,025
70	V5	nebylo provedeno								

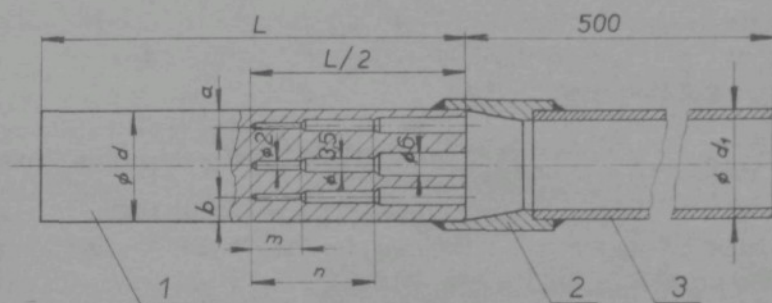
Konkrétní provedení vzorků je zřejmé z obr. 6. Časový průběh teplotního pole byl sledován pro střední průřez vzorku. Místa snímání teplot v tomto průřezu jsou :

- na povrchu;
- asi 1 až 3 mm pod povrchem;
- ve vzdálenosti $R/2$ pod povrchem;
- v ose vzorku.

Tato místa byla volena s ohledem na možnost snadného gregického znázornění rozložení teplot, takže hustota měřených bodů je větší při povrchu vzorků, kde je větší teplotní gradient (změna teploty ve směru normály). Dalším důvodem pro volbu místa 1 až 3 mm pod povrchem je to, že při kalení cementovaných dílů cementovaná vrstva obvykle zasahuje do hloubky 1 až 2 mm . U vzorků V4 a V5 nebyla měřena teplota v tomto místě pro obtížnost vrtání otvoru pro termočlánek, což se projevilo již u vzorku V3.

Vrtání pro termočlánek je v blízkosti místa snímání teplot provedeno na průměr 2 mm, aby byl pokud možno co nejméně narušen průřez vzorku a tím i teplotní pole při měření.

Účelem ochranné trubky je chránit izolované termočlánekové dráty před poškozením mechanickým a také před působením oleje.



Obr. 6 - konstrukční provedení měřených vzorků.
1 - vlastní vzorek, 2 - přechodový kus,
3 - ochranná trubka.

Rozměry použitých vzorků

VZOREK	JEDNOTLIVÉ ROZMĚRY V [mm]:								
	d	L	L/2	a	b	d/2	m	n	d ₁
V1	15	75	37,5	1,7	3,75	7,5	15	37,5	14
V2	20	100	50,0	2,3	4,75	10,0	15	50,0	14
V3	30	150	75,0	2,5	7,40	15,0	15	75,0	30
V4	50	180	90,0	/	12,5	25,0	15	60,0	30
V5	70	180	90,0	/	17,3	35,0	15	60,0	30

2.2 Rozsah provedení experimentu

Tepelné pochody při kalení byly experimentálně sledovány pro dva druhy olejů, které se navzájem značně liší svojí viskozitou. Po dohodě se zástupcem n.p. LIAZ byly vybrány tyto oleje: olej ložiskový OL-J4 a olej válcový OVB-31 [9].

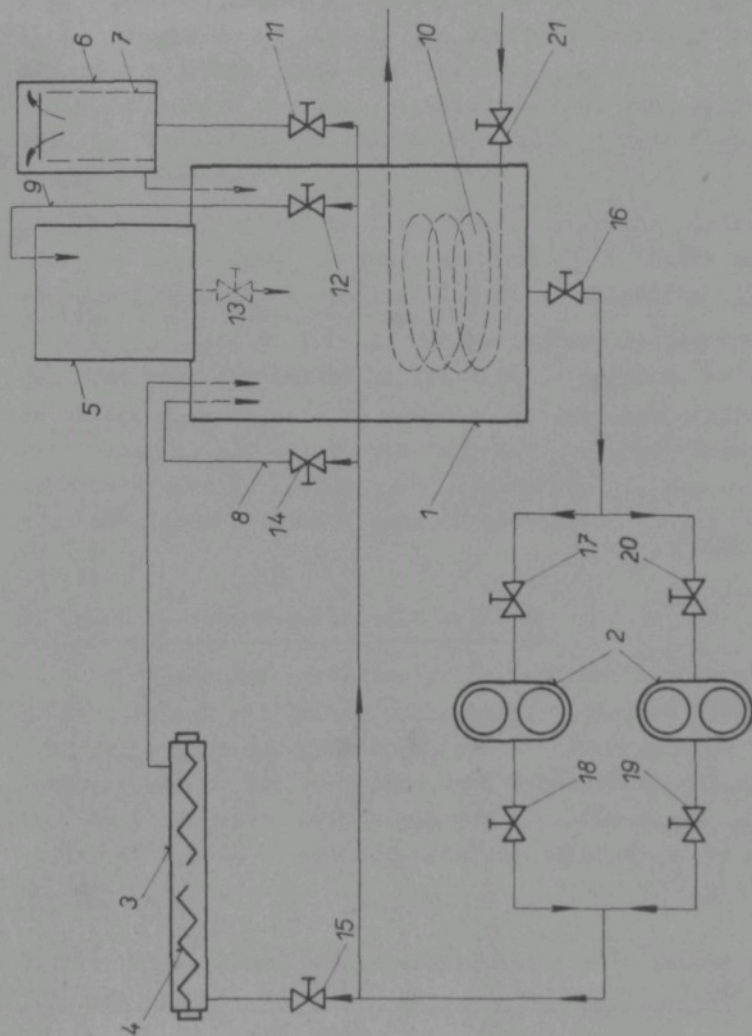
Jelikož vliv teploty kalicí lázně (oleje) a vliv rychlosti jejího pohybu na ochlazování těles válcového tvaru v dostupné literatuře není zpracován pro případ podélného nuceného obtékání, průběhy teploty ve středním průřezu vzorků byly sledovány u všech vzorků pro oba oleje při teplotách lázně od 20 do 150 °C (pro tři teplotní hodnoty) a při rychlostech proudění lázně od 0 do 1,0 m/s (pro 3 až 4 hodnoty).

2.3 Zkušební zařízení

Pro experimentální práci bylo navrženo a postaveno zkušební zařízení, schematicky znázorněné na obr. 7.

Zkušební zařízení je určeno pro vícedílné použití. Je sestaveno z nádrže pro olej 1 o obsahu 150 l s dvojitým pláštěm (izolace), dvou zubových čerpadel oleje 2 o výkonu 100 l/min každé, průtokového ohříváče oleje 3 se dvěma ponornými elektrickými topnými tělesy 4 typu T-03 o výkonu 6 kW každé, měrné nádoby 5 k určení rychlosti proudění z nateklého množství, kalicí vany 6 se sadou výměnných vložek 7 pro snadnou reprodukovatelnost rychlosti proudění oleje při plném výkonu čerpadel, obtokového potrubí 8, přívodního potrubí 9 k měrné nádobě, chladiče olejové lázně 10 s uzavíracími ventily 11 až 21.

Zkušební zařízení umožňuje nastavení žádané teploty lázně a její rychlosti s požadovanou přesností. Požadované rychlosti proudění oleje v kalicí vaně lze docílit buď vhodným seřazením ventilů 15 a 14, přičemž rychlost určíme z nateklého množství



Obr. 7 - schéma zkušebního zařízení. 1 - nádrž pro olej, 2 - čerpadlo oleje, 3 - průtočný ohřevč oleje, 4 - ponorná topná tělesa typu T-03 (6 kW), 5 - nádržná nádoba, 6 - kelíci vana, 7 - výměnná vložka kelíci vany, 8 - obtokové potrubí, 9 - potrubí přívodu oleje do mřížné nádoby k určení rychlosti proudění, 10 - vodní chladič olejové lázně, 11 až 21 - uzavírací ventily.

oleje potrubím 2 do měrné nádoby 5 při uzavřeném ventilu 11 (po nastavení žádané rychlosti uzavřeme ventil 12 a otevřeme 11), nebo výměn ou vložek 7 s vhodně volenými průměry při plném výkonu jednoho nebo obou čerpadel. Druhý způsob je výhodnější, neboť zubová čerpadla prakticky nemění svůj výkon v závislosti na teplotě lázně, takže reprodukce rychlosti proudění je snadná a přesná.

Nastavení žádané teploty lázně, případné udržení její teploty po delší dobu, umožňuje ohříváč 3 (tělesa mohou být zapnuta jednotlivě i současně) spolu s chladičem 10.

Kalící vana je svislá, dno je tvořeno roštem pro průtok oleje. Před procesem kalení kalící vana je prázdná. Kalený předmět se ukládá na rošt nebo se uchycuje na závěsném přípravku a teprve potom se spustí olejová čerpadla. Přepad oleje z kalící vany do nádrže je zaveden pod hladinu náplně, aby nedošlo k prošínutí plamene z kalící vany do nádrže.

3. Technika měření základních veličin

Při sledování nestacionárního teplotního pole uvažovaného průřezu vzorků při jejich ochlazování v olejové lázni má rozhodující význam časový záznam teploty měřených míst vzorku. Technika měření těchto teplot musí vyhovovat rychlosti změny teploty (pro povrchovou teplotu) až 1 000 deg/s . Další veličiny - teplota a rychlost proudění lázně - se stanoví poměrně snadno.

3.1 Technika měření časové závislosti teplot vzorků při jejich ochlazování.

V odborné literatuře existuje řada prací, zabývající se rychlostí ochlazování těles různého tvaru při jejich kalení. Je však výjimkou, kdy rychlost ochlazování je vztažena na povrchovou teplotu vzorku [11]. Daleko častější jsou případy, kdy

rychlost ochlazování je vztažena na teplotu jádra vzorku, přičemž vzorek bývá často zhotoven z nejlepšího vodiče tepla - stříbra. Vzhledem k velmi dobré tepelné vodivosti stříbra, při ochlazování vzorků, průběh teploty jádra poměrně dobře kopíruje průběh povrchové teploty.

Je-li však vzorek zhotoven z materiálu o podstatně nižší vodivosti tepla (např. nerez materiál), pak z průběhu teploty v jádře vzorku nelze usuzovat na průběh teploty povrchu. Teplota v jádře je jednak značně zpožděna oproti teplotě povrchu a jednak její časový průběh je deformován v důsledku vedení vrstvou v materiálu vzorku.

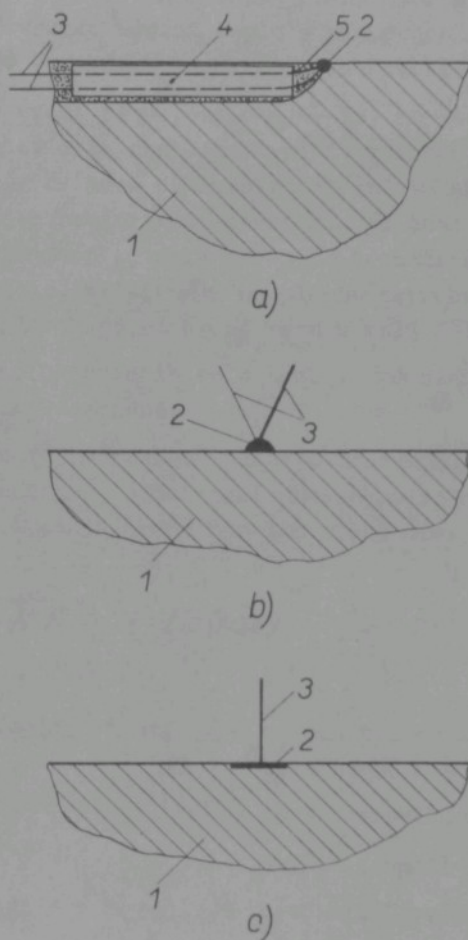
Z těchto důvodů měření časového průběhu povrchové teploty vzorků vyžaduje mimořádné pozornosti.

3.1.1 Technika měření časové závislosti povrchové teploty vzorků při jejich ochlazování

Na obr. 8 jsou uvedeny nejčastější způsoby měření povrchové teploty pomocí termočlánků, přicházející v úvahu pro použití při sledování tepelných pochodů při kalení.

První způsob - obr. 8a - splňuje zásadu uložení termočlánku podél isotermy vzorku. Jeho nevýhodou však je narušení teplotního pole v místě snímání teplot, což vnese nekontrolovatelnou chybu, která zvláště při malých průměrech vzorků může dosáhnout nežádoucích hodnot. Jistou alternativou tohoto způsobu je vytvoření termočlánku mezi jednou větví termočlánku a samotným vzorkem, čímž se chyba měření zmenší v důsledku možnosti použití izolačních kapilár menších rozměrů. Pro velké rychlosti ochlazování je tento způsob nevhodný a proto je pozornost soustředěna na ty způsoby, u nichž termočlánek je umístěn vně vzorku.

Druhý způsob - obr. 8b - je v provedení nejjednodušší. Rovněž zde je možno vytvořit termočlánek jednou větví a samotným vzorkem. Termočlánekový drát je obvykle mnohonásobně menšího průměru než je průměr vzorku. V důsledku toho se ochladí v kalici



Obr. 8 - některé způsoby měření povrchové teploty pomocí termočlánků. 1 - vzorek, 2 - teplý spoj termočlánku, 3 - termočlánekové dráty, 4 - izolační dvoukapilára, 5 - tmel

lázní daleko rychleji než ochlazovaný vzorek, takže z místa snímání teplot vzorku odvádí teplo a tím podchladzuje teplý spoj termočláunku. Vzniká chyba, kterou lze ztěží odhadnout.

Z této úvahy plyne, že chceme-li, aby teplota měřená tímto způsobem odpovídala skutečné teplotě povrchu vzorku, pak místo teplého spoje se musí ochlazovat stejně intenzivně jako kterékoliv jiné místo uvažovaného povrchu. To znamená, že pro každý okamžik ochlazování, teplo odvedené termočláunkovým drátem musí být rovno teplu, vztaženému na plochu povrchu vzorku ekvivalentní ploše teplého spoje, které odvede kalící lázeň.

Je možno přesvědčit se o tom, že dodržení této podmínky v praxi je velmi nesnadné.

Teplo odvedené termočláunkovým drátem odpovídá případu vedení tenkého nosníku, jehož základna je umístěna na topné ploše, při současném ochlazování nosníku prouděním. Toto teplo je dáno vztahem [3]:

$$Q_1 = \sqrt{\alpha_r \cdot \sigma \cdot \lambda \cdot F} \cdot \Delta t_r \cdot t h \text{ (ml)} \quad (3-1),$$

kde je

α_r [kcal/m² h deg] - součinitel přestupu tepla z termočláunkového drátu do kalící lázně,

σ [m] - obvod termočláunkového drátu,

F [m²] - průřez termočláunkového drátu,

λ [kcal/m h deg] - součinitel vedení tepla termočláunkového drátu,

$\Delta t_r = t - t_r$ [deg] - rozdíl teplot mezi teplotou termočláunkového drátu v místě styku se vzorkem a teplotou lázně,

$$m.l = \sqrt{\frac{\alpha_r \cdot \sigma}{\lambda \cdot F}}.$$

Na druhé straně, teplo odvedené z povrchu vzorku do kalící lázně je dáno Newtonovým zákonem :

$$Q_2 = \alpha_2 \cdot F \cdot \Delta t_2 \quad (3-2),$$

kde je

α_2 [kcal/m²h deg] - součinitel přestupu tepla z povrchu vzorku do lázně,

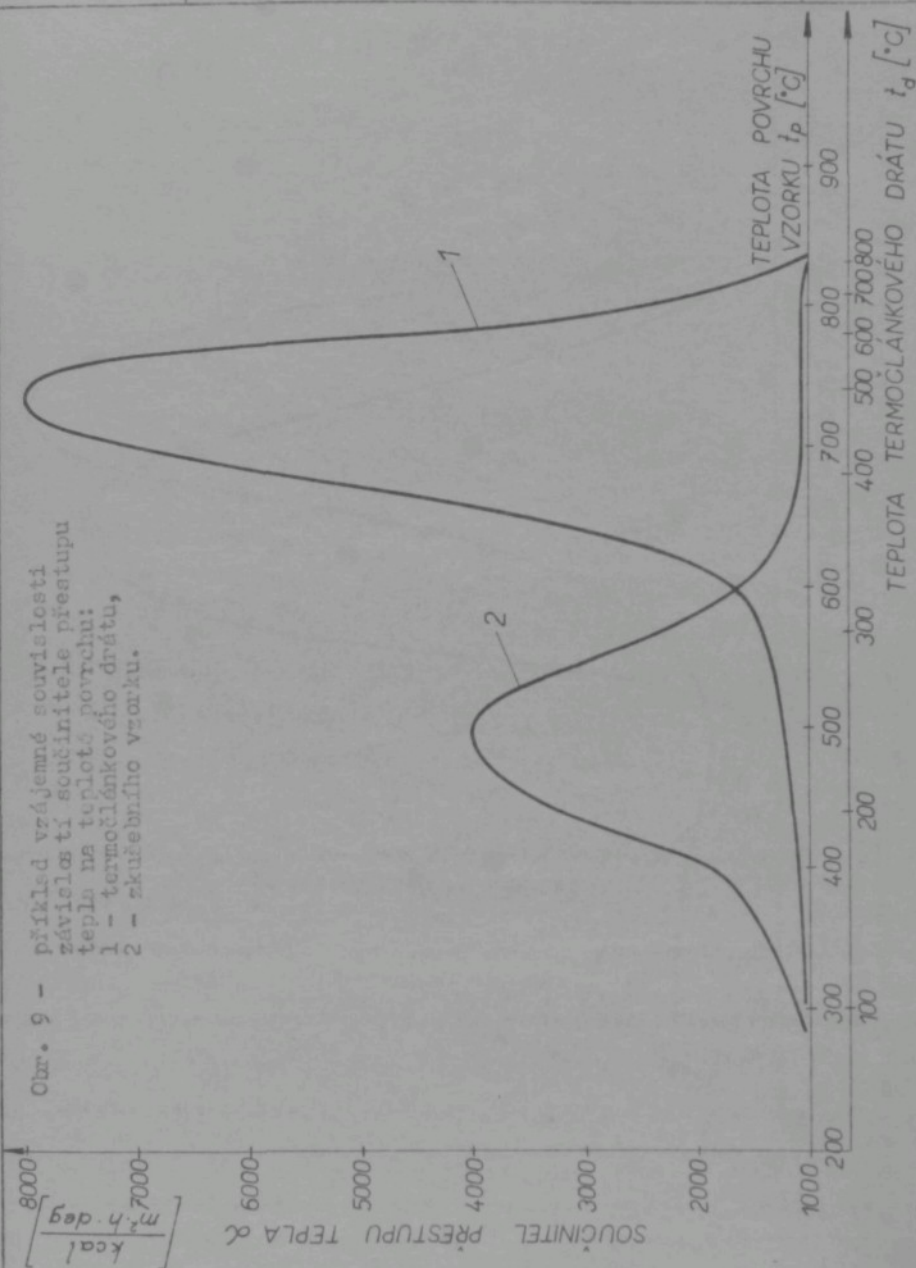
F [m²] - plocha povrchu vzorku ekvivalentní průřezu termočlánekového drátu,

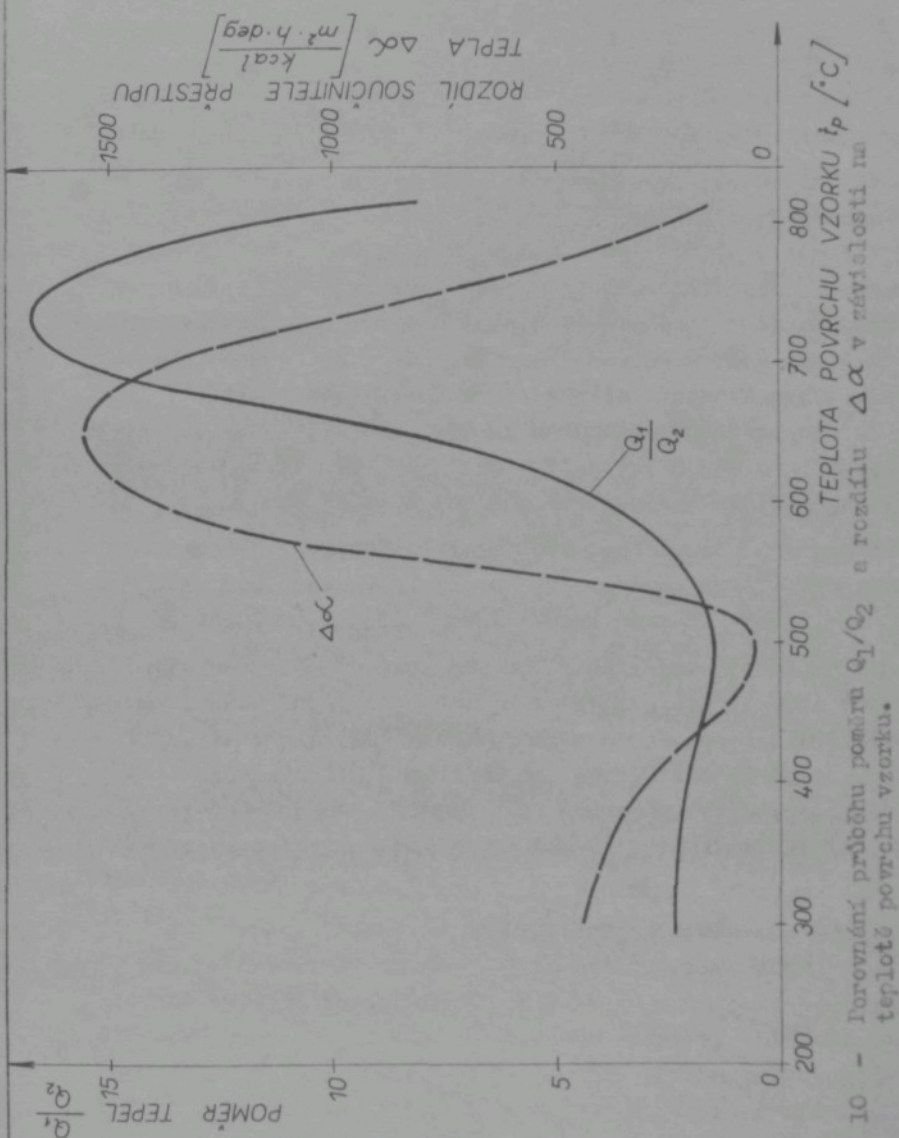
$\Delta t_2 = t_p - t_f$ [deg] - rozdíl teplot mezi teplotou povrchu vzorku a teplotou lázně.

Jak již bylo ukázáno, rozhodujícím kritériem pro rozbor chyby při měření teploty povrchu uvedeným způsobem je poměr Q_1 / Q_2 . Je-li tento poměr roven 1, pak měřená teplota odpovídá skutečné teplotě a je-li různý 1, pak měřená teplota neodpovídá skutečné teplotě povrchu.

Proveďme odhad závislosti součinitele přestupu tepla z povrchu ochlazovaného vzorku a z povrchu termočlánekového drátu k němu nastupu přivařeného do kalící lázně. Tyto závislosti, zkonstruované jednak dle doporučených údajů a jednak dle vlastních měření a zkušeností jsou provedeny na obr. 9. Křivky jsou vzájemně posunuty vzhledem k tomu, že termočlánekový drát se ochladí daleko rychleji než vzorek. Měřítka teploty termočlánekového drátu je odhadnuto ve vztahu k měřítka teploty povrchu vzorku. Nutno dodat, že tyto úvahy mají posloužit ke kvalitativnímu rozboru zkoumané otázky, takže nezáleží na tom, s jakou přesností je odhad těchto průběhů proveden. Na základě těchto závislostí byly určeny pro řadu bodů hodnoty Q_1 a Q_2 (termočlánekový drát byl uvažován NiCr o $\varnothing$ 1 mm). Na obr. 10. je pak vynesena závislost poměru Q_1 / Q_2 na teplotě povrchu vzorku, která ukazuje, že v oblasti stabilního a nestabilního filmového varu ve vztahu k povrchu vzorku dosahuje značných hod-

Obr. 9 -
příklad vzájemné souvislosti
závislosti součinitele přestupu
tepla na teplotě povrchu:
1 - termočlankového drátu,
2 - skušebního vzorku.





Obr. 10 - Porovnání průběhu poměru Q_1/Q_2 a rozdílu $\Delta\alpha$ v závislosti na teplotě povrchu vzorku.

not . Při teplotě, která odpovídá maximální hodnotě součinitele přestupu tepla při ochlazování vzorku, poměr Q_1 / Q_2 dosahuje svého minima a co je velmi pozoruhodné, že jeho hodnota se blíží 1. V oblasti bublinkového varu poměr Q_1 / Q_2 opět narůstá, avšak zdaleka nedosahuje hodnot oblasti filmového varu.

Dle této závislosti můžeme soudit, že při měření povrchové teploty vzorku (při jeho ochlazování) pomocí termočlánku, vytvořeného drátem NiCr a vlastním vzorkem (příčemž termočlánekový drát je k vzorku natupo přivařen), největší odchylka mezi měřenou a skutečnou teplotou povrchu vzorku bude v oblasti filmového varu, menší pak v oblasti bublinkového varu a minimální bude při teplotách, odpovídajících maximální hodnotě součinitele přestupu tepla. V případě použití natupo přivařeného drátu stříbrného bude poměr Q_1 / Q_2 méně příznivý, neboť Q_1 je přímoúměrné $\sqrt{\lambda}$ (λ pro NiCr je asi 20, zatímco λ stříbra je 360).

Tento způsob měření povrchové teploty se může použít pouze pro relativní posouzení vlivu teploty nebo rychlosti proudění kalící lázně na rychlost ochlazování povrchu vzorku.

Rozbor způsobu dle obr. 8b vede k řešení dle 8c, kde termočlánekový drát sice odvádí totéž teplo Q_1 , ale vzhledem k tomu, že teplý spoj je uskutečněn na ploše asi 100x větší než je průřez drátu, předpokládá se, že měřená teplota je blízká skutečné teplotě povrchu díky tomu, že většina plošky teplého spoje není ovlivněna odvedeným teplem a tudíž má teplotu povrchu vzorku.

Na povrchu vzorku se provede drážka o hloubce 0,1 až 0,2 mm, do níž se navaří vrstva termočlánekového drátu, který spolu se vzorkem vytvoří termočlánek. V [11] je uvedeno použití termočlánekového drátu z technicky čistého stříbra. Stříbro však má bod tání 960°C , takže pro dlouhodobý provoz pro teploty nad 800°C není vhodné, neboť může snadno dojít k porušení drátku ve spoji. Proto autor odzkoušel použití NiCr na místo stříbra z termočláneků NiCr - Ni. Tato volba skýtala jisté výhody, avšak

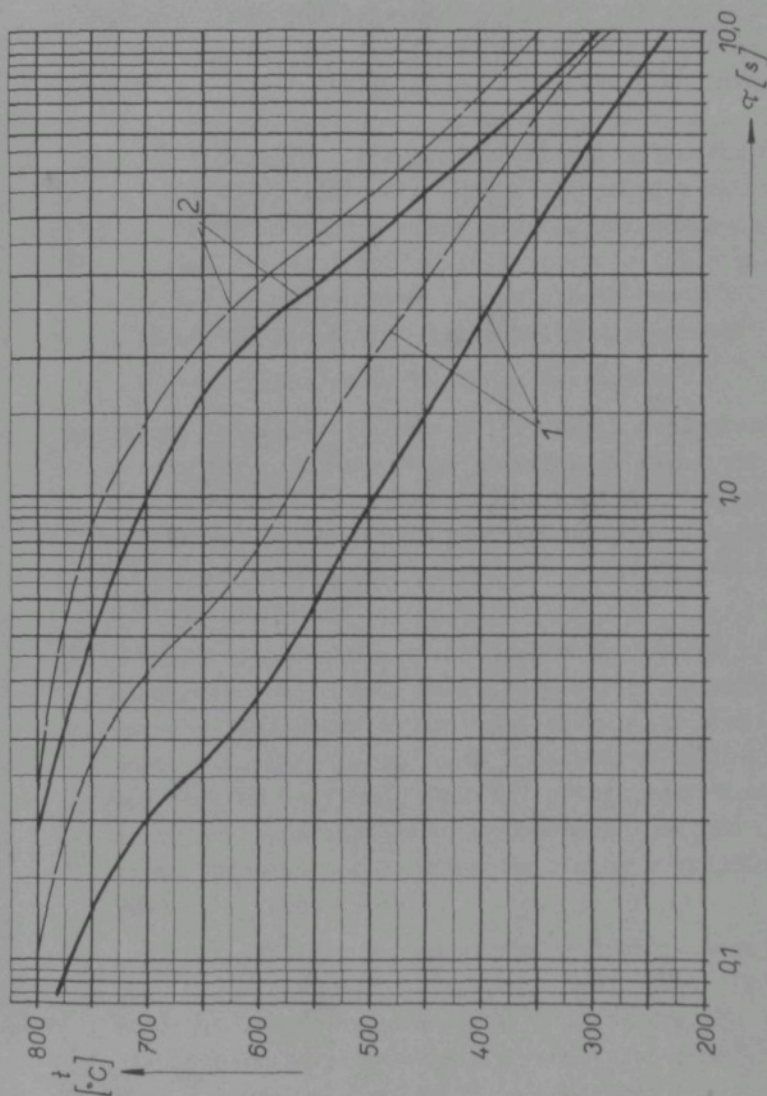
současně měla i své nevýhody. Výhodou je to, že NiCr, jak již bylo ukázáno, má mnohem menší součinitel vedení tepla než stříbro, takže odvedené teplo drátem bude několikanásobně menší a také to, že součinitel vedení tepla NiCr a 17 255 je prakticky stejný, takže v měřených místech nedojde v důsledku navaření materiálu NiCr k narušení teplotního pole. Nevýhodou však je, že teplota tání NiCr je přibližně stejná jako materiálu vzorku 17 255, takže při navaření NiCr do drážky může dojít k vytvoření slitiny, která nemusí zaručit realizaci teplého spoje na předpokládané ploše.

Z tohoto důvodu bylo provedeno pokusné měření průběhu povrchové teploty při ochlazování vzorku průměr 15 mm z teploty 840 °C v oleji OL-J4 o teplotě 20 °C při rychlostech 0,5 a 1,0 m/s pomocí termočlánků :

- 1) niklchromový termočlánkový drát Ø 1 mm natupo přivařen k nerez vzorku,
- 2) niklchromem zavařena drážka dle způsobu obr.8c .

Porovnání výsledků měření je uvedeno na obr. 11. Způsob ad1) vykazuje mnohem rychlejší pokles teploty než způsob ad 2). Zde je však nutno vzít v úvahu, že v důsledku zavaření drážky NiCr o hloubce 0,2 mm, měřená teplota odpovídá zřejmě střední teplotě tohoto objemu. Vlivem navařené tloušťky vznikne pro případ ochlazování v oleji odchylka měřené teploty od skutečné povrchové řádově 10 °C, což však nemá podstatný vliv, neboť při srovnání obou způsobů, měřená teplota způsobem ad 1) vykazuje odchylky až 200 °C oproti způsobu ad 2). Při použití stříbra bude teplotní spád na navařené tloušťce řádově menší než 1 °C.

Způsob ad 2) vykazuje zpoždění oproti ad 1), z čehož bychom na první pohled mohli usoudit, že tento způsob je vhodný. Provedeným srovnáním však ještě není dokázáno, že takto měřená teplota je shodná se skutečnou teplotou povrchu. Pro tento rozbor byl zhotoven termočlánek dle způsobu obr. 8c pomocí NiCr a pomocí Ag se vzorkem s AKC 17 255 o Ø 30 mm. Dle průběhu povrchové teploty obou způsobů pro případ ochlazení vzorku v oleji OL-J4 za shodných

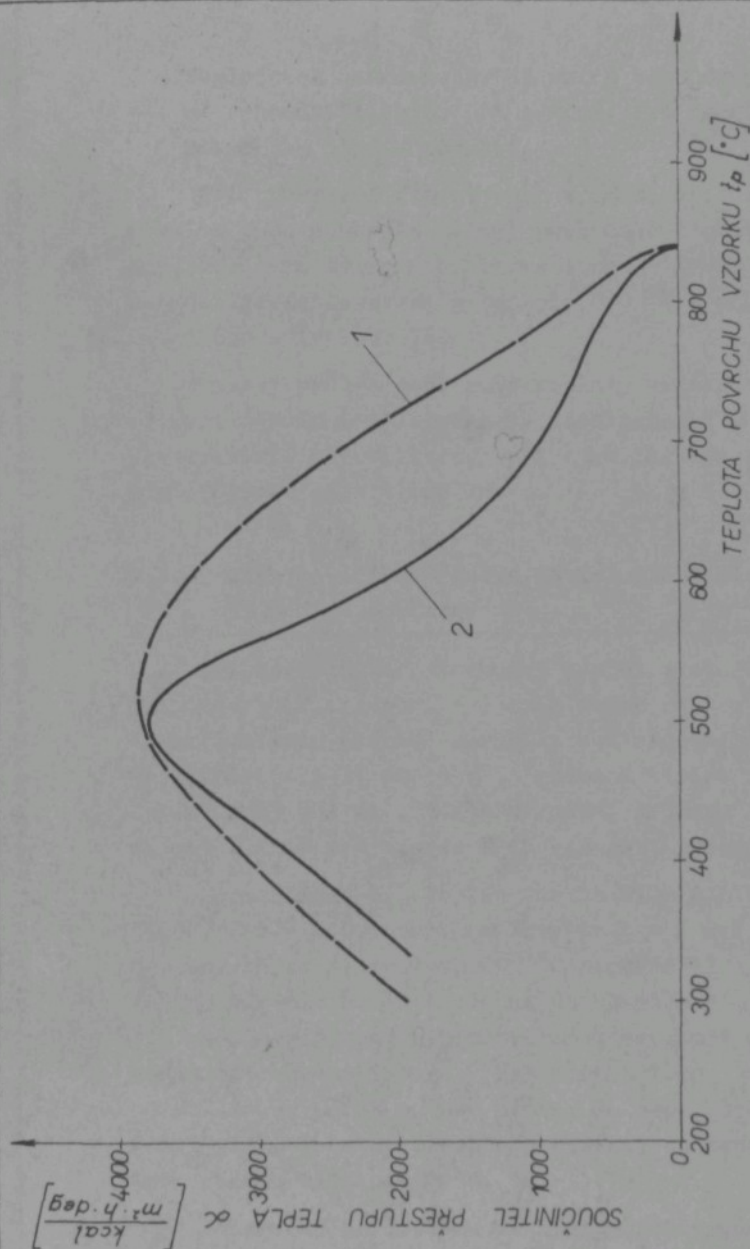


Obr. 11 - Porovnání výsledků měření povrchové teploty vzorku $\varnothing 15$ mm pomocí termočlánků dle způsobů chr. 8b a 8c s použitím drátu NiCr : 1 - drát při vaření natupo, 2 - drátem NiCr zavařeno drážka, při ochlazení vzorku v oleji. 01 - J4 při teplotě 200 °C a rychlosti proudění 0,5 m/s (----) a 1,0 m/s (—).

podmínek (teplota oleje 125°C , rychlost oleje $0,53\text{ m/s}$) byla stenována (metodou popsanou v jedné z dalších kapitol) závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku (viz obr. 12). Zde závislost získaná dle průběhu povrchové teploty pro NiCr oproti závislosti získané dle průběhu povrchové teploty pro Ag vykazuje značný rozdíl v oblasti filmového varu, menší pak v oblasti bublinkového varu a minimální v okolí teploty povrchu, kde α dosahuje svého maxima. Srovnáme-li průběh závislosti rozdílů hodnot součinitelů přestupu tepla $\Delta\alpha$ dle obr.12 na teplotě povrchu vzorku, se závislostí poměru Q_1 / Q_2 (viz obr. 10), vidíme značnou podobnost jejich průběhů.

Z provedeného rozboru plynou tyto závěry :

- 1) měření povrchové teploty při rychlých teplotních změnách pomocí termočlánku natupo přivařeného k povrchu měřeného vzorku pro získání časového průběhu skutečné teploty není vhodné. Tohoto způsobu může být použito jen pro přibližné relativní posouzení ochlazování za různých vnějších podmínek jednoho a téhož vzorku;
- 2) ani měření povrchové teploty způsobem obr.8c při použití termočládkového drátu NiCr nezaručuje měření skutečné teploty povrchu, což plyne ze srovnání závislosti součinitele přestupu tepla (viz obr. 12). Tento způsob sice mnohem lépe než způsob obr. 8b vystihuje skutečný průběh povrchové teploty, avšak jeho použití lze opět doporučit jen pro přibližné relativní posouzení ochlazování za různých vnějších podmínek jednoho a téhož vzorku ;
- 3) nejlepší výsledky ze zkoumaných způsobů vykazuje způsob dle obr. 8c při použití termočlánku Ag-17 255. Průběh závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku určený dle průběhu povrchové teploty popsaným způsobem se již dobře shoduje s průběhy klivek varu doporučovaných v literatuře. Tato shoda je současně důkazem vhodnosti použití tohoto způsobu pro určení průběhu skutečné teploty povrchu při rychlých



Obr. 12 - Závislost součinitele přestupu tepla pro vzorek $\varnothing 30$ mm při ochlazení v oleji OL - J4 o teplotě 125°C a rychlosti proudění $0,55$ m/s určené dle teploty povrchu: 1 - měřené termočlánkem NiCr - 17 255, 2 - měřené termočlánkem Ag - 17 255.

teplotních změnách. Avšak ani u tohoto způsobu nelze přesně vyhodnotit chyby při měření. Pro praktické použití je možno je j plně doporučit.

Při provedení experimentu v rámci kandidátské práce bylo použito obou možností měření povrchové teploty dle způsobu obr. 8c. Při tom pomocí termočlánku NiCr-17 255 bylo provedeno měření při ochlazování z teploty 840 °C a pomocí termočlánku Ag-17 255 z teploty 780 °C.

Časový průběh povrchové teploty vzorků byl stanoven pomocí oscilografu (třísmýčkový oscilograf 3 OS fy RFT - Německá demokratická republika), při několike násobném zesílení termoelektrické síly termočlánku.

3.1.2 Technika měření časové závislosti teploty uvnitř vzorků při jejich ochlazování

Při volbě měřicí techniky teplot v uvedených místech průřezu vzorku (viz obr. 6) bylo dbáno na to, aby otvory pro termočlánky co nejméně narušily celistvost hmoty vzorku. Proto ve vzdálenosti 15 mm od míst snímání teplot jsou otvory pro termočlánky $\varnothing$ 2 mm, takže narušení průřezu je 5,3 % pro vzorek V1 až 0,25 % pro vzorek V5, což jest příznivé.

Termočlánek byl tvořen drátem NiCr o $\varnothing$ 0,2 mm a drátem AKC 17 255 o $\varnothing$ 0,3 mm (niklový drát o $\varnothing$ 0,2 mm se pro vícenásobný ohřev na teplotu 850 °C neosvědčil). Termočláňkové dráty byly uloženy v izolační dvoukapiláře o vnějším průměru 2,0 mm a teplý spoj byl přivařen k vzorku v ose vrtání pomocí kondenzátorového výboje. Vzhledem k tomu, že byl použit tenký termočláňkový drát a také proto, že teplý spoj byl přivařen k materiálu vzorku, lze předpokládat, že tepelná setrvačnost termočláňku bude nepatrná.

Isolované termočláňkové dráty jsou vyvedeny ochrannou trůbkou (obr. 6), na jejímž konci byla upevňna tepelně iso-

lovaná svorkovnice, kde se nacházel studený spoj termočlánků.

Teploty vzorku při jeho ochlazování byly registrovány pomocí třímístného registračního přístroje Rg 380 (Metra-Blansko) s kompenzačními zesilovači Z 10. Třída přesnosti přístroje je 1,5 %. Před jeho použitím byla prověřena použitelnost pro rychlosti ochlazování odpovídající řešenému případu. Pokusy potvrdily možnost jeho použití.

Teploty ve všech měřených místech vzorku byly registrovány současně. Kombinace oscilografu a registračního přístroje má výhody i nevýhody. Hlavní výhoda je v tom, že mohla být volena vhodná rychlost posuvu záznamu zvlášť pro povrchovou teplotu a zvlášť pro teploty uvnitř vzorku. Pro záznam povrchové teploty byla volena rychlost posuvu oscilografického papíru 21,4 mm/s a pro záznam teploty uvnitř vzorku 1,7 mm/s.

Nevýhodou této kombinace je to, že přesnost měření povrchové teploty a teplot uvnitř vzorku není stejná a dále, že na záznamu registračního přístroje musel být zaznamenán okamžik, kdy olej dosáhl úrovně měřeného průřezu. Impuls pro záznam tohoto okamžiku byl dán zvláštním termočlánkem, který krátce po té byl odpojen, takže neovlivnil plynulost záznamu.

3.2. Technika měření parametrů lázně a kalící teploty vzorků

Rychlost ochlazování vzorků byla sledována v závislosti na teplotě a rychlosti proudění lázně při jejich ochlazování z teploty 840 °C a v některých případech z teploty 780 °C.

Teplota lázně byla měřena platinovým odporovým teploměrem Pt 100 Ω , napojeným na ukazatel se stupnicí ve stupních C. Přesnost odečtu činila $\pm 1,5$ %. Základní měření bylo provedeno při středních teplotách lázně:

u oleje OL-J4	25, 75 a 125 °C
u oleje OVB-31	50, 100 a 145 °C

Dodatek k odstavci 3.2

Zkušební vzorky byly ohřívány na kalicií teplotu v elektrické laboratorní peci muflové typu MV-2, ovládané padáčkovým regulátorem teploty (třída přesnosti 1,5 %). Požadovaná kalicií teplota vzorků byla kontrolována pomocí termočlánků, umístěných uvnitř vzorků přístrojem o třídě přesnosti 0,5 %, takže je možno předpokládat, že celková chyba v nastavení kalicií teploty nepřesáhla $\pm (1,0 + 1,5) \%$.

Při přenosu vzorků z pece do kalicií šachty poklesla jejich teplota povrchu asi o $(10 + 20)^\circ\text{C}$ pro vzorek V1 a o $(5 + 10)^\circ\text{C}$ pro vzorek V5. Tento fakt byl vzet v úvahu při určení přesnosti měření teploty povrchu.

Pokračuje dodatek k odstavci 3.24. Zhodnocení výsledků měření

Rozsah provedených měření je patrný z přehledné tabulky č.3. Tabulka obsahuje průměr a délku zkušebního vzorku, druh oleje, jeho teplotu a rychlost proudění, počáteční (kalicií) teplotu vzorku, průměr kalicií vany a další údaje, které nutno vysvětlit podrobněji. Jsou to ekvivalentní průměr, poměr délky vzorku k ekvivalentnímu průměru, Reynoldsovo kritériální číslo a korekční součinitel ε_1 .

Pro řešený případ podélného obtékání jednotlivého válce ve válcové trubce nuceným proudem lázně, je za charakteristický rozměr doporučován [18] ekvivalentní hydraulický průměr, jež je dán vztahem :

$$d_{ekv} = \frac{4F}{U} \quad (4-1),$$

kde $F [m^2]$ je volný průřez a $U [m]$ je smočený obvod.

Z toho plyne konkrétní vyjádření ekvivalentního průměru ve tvaru:

$$d_{ekv} = D - d \quad (4-2).$$

Přehledná tabulka provedených měření.

Tabulka č. 3.

Pořadové číslo měření	Průměr zkušebního vzorku	Délka zkušebního vzorku	Druh kalící lázně	Počáteční teplota vzorku	Teplota kalící lázně	Rychlost proudění kalící lázně	Průměr kalící vany	Ekvivalentní průměr	Poměr	Reynoldsovo číslo	Korekční součinitel
d mm	l mm			t_0 °C	t_l °C	w m/s	D mm	$d_{ekv} = \frac{D-d}{2}$ mm	$\frac{l}{d_{ekv}}$	Re	$\varepsilon_l = \frac{1}{f(\frac{l}{d_{ekv}})}$
1	15	75	OL-J4	840	25	0	-	-	-	-	-
2	15	75	OL-J4	840	25	0,197	102	87	0,862	122	1,92
3	15	75	OL-J4	840	25	0,47	67	52	1,44	175	1,78
4	15	75	OL-J4	840	25	0,98	49	34	2,21	248	1,67
5	15	75	OL-J4	840	75	0	-	-	-	-	-
6	15	75	OL-J4	840	75	0,19	102	87	0,862	1200	1,92
7	15	75	OL-J4	840	75	0,45	67	52	1,44	1700	1,78
8	15	75	OL-J4	840	75	0,94	49	34	2,21	2300	1,67
9	15	75	OL-J4	840	125	0	-	-	-	-	-
10	15	75	OL-J4	840	125	0,19	102	87	0,862	4030	1,92
11	15	75	OL-J4	840	125	0,45	67	52	1,44	5720	1,78
12	15	75	OL-J4	840	125	0,94	49	34	2,21	7800	1,67
13	15	75	OVB-31	840	50	0	-	-	-	-	-
14	15	75	OVB-31	840	50	0,20	102	87	0,862	24,9	1,92
15	15	75	OVB-31	840	50	0,475	67	52	1,44	35,3	1,78
16	15	75	OVB-31	840	50	0,99	49	34	2,21	48,0	1,67
17	15	75	OVB-31	840	100	0	-	-	-	-	-
18	15	75	OVB-31	840	100	0,195	102	87	0,862	319	1,92
19	15	75	OVB-31	840	100	0,46	67	52	1,44	435	1,78
20	15	75	OVB-31	840	100	0,96	49	34	2,21	595	1,67

Pokračování tabulky č. 3.

21	15	75	OVB-31	840	145	0	-	-	-	-	-
22	15	75	OVB-31	840	145	0,195	102	87	0,862	1160	1,92
23	15	75	OVB-31	840	145	0,46	67	52	1,44	1630	1,78
24	15	75	OVB-31	840	145	0,96	49	34	2,21	2230	1,67
25	20	100	OL-J4	840	25	0	-	-	-	-	-
26	20	100	OL-J4	840	25	0,20	102	82	1,22	117	1,83
27	20	100	OL-J4	840	25	0,49	67	47	2,13	165	1,68
28	20	100	OL-J4	840	25	1,00	49	29	3,45	207	1,54
29	20	100	OL-J4	840	75	0	-	-	-	-	-
30	20	100	OL-J4	840	75	0,192	102	82	1,22	1140	1,83
31	20	100	OL-J4	840	75	0,47	67	47	2,13	1600	1,68
32	20	100	OL-J4	840	75	0,96	49	29	3,45	2010	1,54
33	20	100	OL-J4	840	125	0	-	-	-	-	-
34	20	100	OL-J4	840	125	0,192	102	82	1,22	3840	1,83
35	20	100	OL-J4	840	125	0,47	67	47	2,13	5400	1,68
36	20	100	OL-J4	840	125	0,96	49	29	3,45	6800	1,54
37	20	100	OVB-31	840	50	0	-	-	-	-	-
38	20	100	OVB-31	840	50	0,202	102	82	1,22	23,7	1,83
39	20	100	OVB-31	840	50	0,495	67	47	2,13	33,2	1,68
40	20	100	OVB-31	840	50	1,01	49	29	3,45	41,8	1,54
41	20	100	OVB-31	840	100	0	-	-	-	-	-
42	20	100	OVB-31	840	100	0,197	102	82	1,22	294	1,83
43	20	100	OVB-31	840	100	0,485	67	47	2,13	415	1,68
44	20	100	OVB-31	840	100	0,99	49	29	3,45	522	1,54
45	20	100	OVB-31	840	145	0	-	-	-	-	-
46	20	100	OVB-31	840	145	0,197	102	82	1,22	1100	1,83
47	20	100	OVB-31	840	145	0,485	67	47	2,13	1560	1,68
48	20	100	OVB-31	840	145	0,99	49	29	3,45	1960	1,54
49	30	150	OL-J4	840	25	0,21	102	72	2,08	108	1,69
50	30	150	OL-J4	840	25	0,558	67	37	4,06	147	1,50
51	30	150	OL-J4	840	25	1,02	53,5	23,5	6,38	171	1,39
52	30	150	OL-J4	840	75	0,20	102	72	2,08	1040	1,69
53	30	150	OL-J4	840	75	0,535	67	37	4,06	1430	1,50
54	30	150	OL-J4	840	75	0,975	53,5	23,5	6,38	1660	1,39

Pokračování tabulky č. 3.

55	30	150	OL-J4	840	125	0,20	102	72	2,08	3510	1,69
56	30	150	OL-J4	840	125	0,535	67	37	4,06	4820	1,50
57	30	150	OL-J4	840	125	0,975	53,5	23,5	6,38	5600	1,39
58	30	150	OVB-31	840	50	0,222	102	72	2,08	22,8	1,69
59	30	150	OVB-31	840	50	0,56	67	37	4,06	29,4	1,50
60	30	150	OVB-31	840	50	1,03	53,5	23,5	6,38	34,5	1,39
61	30	150	OVB-31	840	100	0,205	102	72	2,08	268	1,69
62	30	150	OVB-31	840	100	0,55	67	37	4,06	370	1,50
63	30	150	OVB-31	840	100	1,00	53,5	23,5	6,38	470	1,39
64	30	150	OVB-31	840	145	0,205	102	72	2,08	1010	1,69
65	30	150	OVB-31	840	145	0,55	67	37	4,06	1400	1,50
66	30	150	OVB-31	840	145	1,00	53,5	23,5	6,38	1610	1,39
67	50	180	OL-J4	840	50	0,316	121	71	2,54	641	1,63
68	50	180	OL-J4	840	50	0,478	102	52	3,46	710	1,54
69	50	180	OL-J4	840	50	0,864	83	33	5,45	815	1,42
70	50	180	OL-J4	840	100	0,316	121	71	2,54	3250	1,63
71	50	180	OL-J4	840	100	0,478	102	52	3,46	3600	1,54
72	50	180	OL-J4	840	100	0,864	83	33	5,45	4150	1,42
73	50	180	OL-J4	840	150	0,316	121	71	2,54	7450	1,63
74	50	180	OL-J4	840	150	0,478	102	52	3,46	8300	1,54
75	50	180	OL-J4	840	150	0,864	83	33	5,45	9500	1,42
76	70	180	OL-J4	840	50	0,195	121	51	3,53	284	1,53
77	70	180	OL-J4	840	50	0,41	121	51	3,53	597	1,53
78	70	180	OL-J4	840	50	0,96	83	13	13,8	356	1,20
79	70	180	OL-J4	840	110	0,195	121	51	3,53	1810	1,53
80	70	180	OL-J4	840	110	0,41	121	51	3,53	3800	1,53
81	70	180	OL-J4	840	110	0,96	83	13	13,8	2270	1,20
82	70	180	OL-J4	840	165	0,195	121	51	3,53	3500	1,53
83	70	180	OL-J4	840	165	0,41	121	51	3,53	7320	1,53
84	70	180	OL-J4	840	165	0,96	83	13	13,8	4380	1,20
85	15	75	OL-J4	780	25	0	-	-	-	-	-
86	15	75	OL-J4	780	25	0,197	102	87	0,862	122	1,92
87	15	75	OL-J4	780	25	0,47	67	52	1,44	175	1,78

Pokračování tabulky č. 3.

88	15	75	OL-J4	780	25	0,98	49	34	2,21	248	1,67
89	15	75	OL-J4	780	75	0	-	-	-	-	-
90	15	75	OL-J4	780	125	0	-	-	-	-	-
91	15	75	OL-J4	780	125	0,19	102	87	0,862	4030	1,92
92	15	75	OL-J4	780	125	0,45	67	52	1,44	3720	1,78
93	15	75	OL-J4	780	125	0,94	49	34	2,21	7800	1,67
94	15	75	OVB-31	780	50	0	-	-	-	-	-
95	15	75	OVB-31	780	50	0,20	102	87	0,862	24,9	1,92
96	15	75	OVB-31	780	50	0,475	67	52	1,44	35,3	1,78
97	20	100	OL-J4	780	25	0	-	-	-	-	-
98	20	100	OL-J4	780	25	0,20	102	82	1,22	117	1,83
99	20	100	OL-J4	780	25	0,49	67	47	2,13	165	1,68
100	20	100	OL-J4	780	25	1,0	49	29	3,45	207	1,54
101	20	100	OL-J4	780	75	0	-	-	-	-	-
102	20	100	OL-J4	780	125	0	-	-	-	-	-
103	20	100	OL-J4	780	125	0,192	102	82	1,22	3840	1,83
104	20	100	OL-J4	780	125	0,47	67	47	2,13	5400	1,68
105	20	100	OL-J4	780	125	0,96	49	29	3,45	6800	1,54
106	20	100	OVB-31	780	50	0	-	-	-	-	-
107	20	100	OVB-31	780	50	0,202	102	82	1,22	23,7	1,83
108	20	100	OVB-31	780	50	0,495	67	47	2,13	33,2	1,68
109	20	100	OVB-31	780	50	1,01	49	29	3,45	41,8	1,54
110	20	100	OVB-31	780	100	0	-	-	-	-	-
111	20	100	OVB-31	780	100	0,197	102	82	1,22	294	1,83
112	20	100	OVB-31	780	100	0,485	67	47	2,13	415	1,68
113	20	100	OVB-31	780	100	0,99	49	29	3,45	522	1,54
114	20	100	OVB-31	780	145	0	-	-	-	-	-
115	20	100	OVB-31	780	145	0,197	102	82	1,22	1100	1,83
116	20	100	OVB-31	780	145	0,485	67	47	2,13	1560	1,68
117	20	100	OVB-31	780	145	0,99	49	29	3,45	1960	1,54
118	30	150	OL-J4	780	25	0	-	-	-	-	-
119	30	150	OL-J4	780	25	0,21	102	72	2,08	108	1,69
120	30	150	OL-J4	780	25	0,558	67	37	4,06	147	1,50

Pokračování tabulky č. 3.

121	30	150	OL-J4	780	25	1,02	53,5	23,5	6,38	171	1,39
122	30	150	OL-J4	780	75	0	-	-	-	-	-
123	30	150	OL-J4	780	125	0	-	-	-	-	-
124	30	150	OL-J4	780	125	0,20	102	72	2,08	3510	1,69
125	30	150	OL-J4	780	125	0,533	67	37	4,06	4820	1,50
126	30	150	OL-J4	780	125	0,975	53,5	23,5	6,38	5600	1,39
127	30	150	OVÉ-31	780	50	0	-	-	-	-	-
128	30	150	OVÉ-31	780	50	0,222	102	72	2,08	22,8	1,69
129	30	150	OVÉ-31	780	50	0,56	67	37	4,06	29,4	1,50
130	30	150	OVÉ-31	780	50	1,03	53,5	23,5	6,38	34,5	1,39
131	30	150	OVÉ-31	780	100	0	-	-	-	-	-
132	30	150	OVÉ-31	780	100	0,205	102	72	2,08	268	1,69
133	30	150	OVÉ-31	780	100	0,55	67	37	4,06	370	1,50
134	30	150	OVÉ-31	780	100	1,00	53,5	23,5	6,38	470	1,39
135	30	150	OVÉ-31	780	145	0	-	-	-	-	-
136	30	150	OVÉ-31	780	145	0,205	102	72	2,08	1010	1,69
137	30	150	OVÉ-31	780	145	0,55	67	37	4,06	1400	1,50
138	30	150	OVÉ-31	780	145	1,00	53,5	23,5	6,38	1610	1,39

Poměr délky vzorku k ekvivalentnímu průměru a rovněž tak hodnotu Reynoldsova čísla je třeba znát pro určení korekčního součinitele E_L , kterým opravujeme kritériální rovnici sdílení tepla konvekcí [18], pro případ poměru $l/d_{\text{equiv}} < 50$. Korekční součinitel je závislý na poměru l/d_{equiv} a hodnotě Re. Hodnoty E_L jsou brány z [18].

Jak patrně z tabulky č. 3, provedená měření odpovídají převážně oblastí laminárního proudění a jen v některých případech proudění v přechodové oblasti.

Měření číslo 1 až 84 včetně jsou provedena pro počáteční teplotu vzorků 840 °C. Pro tato měření jsou stanoveny závislosti průběhů teploty na čase pro povrch (termočlánek pro povrchovou teplotu tvořen NiCr a materiálem vzorku dle způsobu obr. 8c), dále ve vzdálenosti a mm pod povrchem, $R/2$ a R pro vzorky V1, V2 a V3 a pro povrch, $R/2$ a R pro vzorky V4 a V5. Měření bylo provedeno pro oleje OL-J4 a OVB-31 v rozsahu patrném z tabulky č. 3.

Výsledky těchto měření jsou zpracovány do tabulek, viz příloha č. 2, tabulky III až VIII (vzorek V1), příloha č. 3, tabulky IX až XIV (vzorek V2), příloha č. 4, tabulky XV až XX (vzorek V3), příloha č. 5, tabulky XXI až XXIII (vzorek V4) a příloha č. 6, tabulky XXIV až XXVI (vzorek V5).

Měření č. 85 až 138 včetně jsou provedena pro počáteční teplotu vzorků 780 °C. U těchto měření byla sledována pouze povrchová teplota, přičemž povrchový termočlánek byl vytvořen Ag a materiálem vzorku dle způsobu obr. 8c, rovněž pro oba druhy olejů v rozsahu patrném z tabulky č. 3.

Výsledky těchto měření jsou zpracovány do tabulek, viz příloha č. 7, tabulky XXVII a XXVIII (vzorek V1), příloha č. 8, tabulky XXIX a XXX (vzorek V2), příloha č. 9, tabulky XXXI a XXXII (vzorek V3).

Při měření teplotních průběhů vzniká rozptyl měření, který je hlavně způsobován labilitou existence parního polštáře.

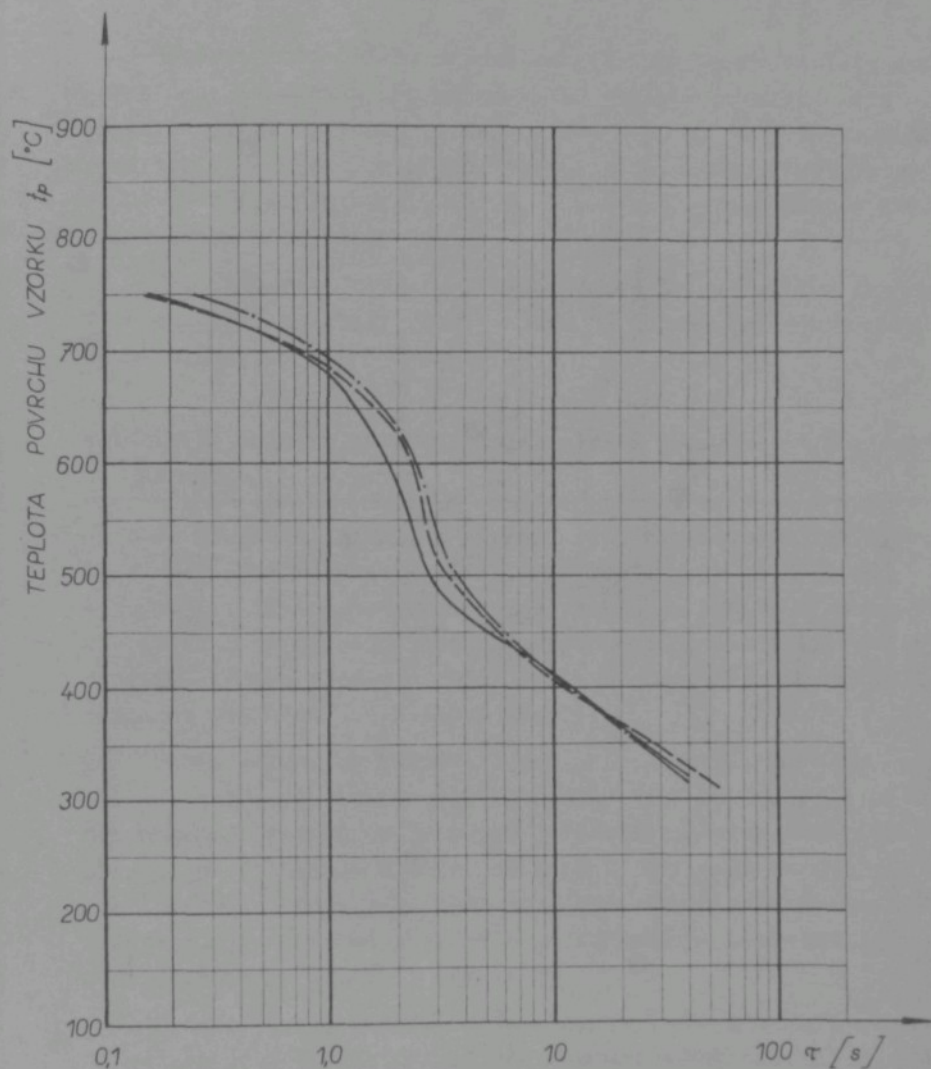
Na obrázku 13 je uvedeno opakované měření povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780°C v klidovém oleji OL-J4 o teplotě 25°C . (Poznámka : ochlazení v klidové lázni bylo voleno z toho důvodu, že dá větší rozptyl měřených hodnot, než ochlazení v uspořádaném nuceném proudu, v důsledku působení dalších podmínek subjektivního rázu jako rychlost ponoření vzorku do lázně, hloubka ponoření a další). Jak plyne ze znázornění obr. 13, rozptyl měření je poměrně značný v oblasti existence parního polštáře, přičemž maximální hodnoty dosahuje v oblasti nestabilního parního polštáře mezi teplotou povrchu vzorku 500 až 600°C , kde rozdíl teploty činí téměř 70°C , což je více než 10% . V oblasti bublinkového varu a čisté konvekce se rozptyl měření značně zmenšuje. Je zřejmé, že rozptyl povrchové teploty způsobí jistý rozptyl teplot i uvnitř vzorku, který však bude podstatně menší.

Z hlediska teorie regulerní fáze [13], režim regulerní fáze u neomezeného válce nastupuje po čase daném podmínkou $Fo \geq 0,25$. V našem případě to znamená po čase :

2,6 s	pro vzorek V1,
4,6 s	pro vzorek V2,
10,5 s	pro vzorek V3,
29,0 s	pro vzorek V4 a
56,5 s	pro vzorek V5.

Z toho plyne, že rozptyl povrchové teploty nebude mít podstatný vliv na rozptyl teploty jádra vzorku, neboť při tepelném zpracování nás zajímají oblasti teplot jádra, jež převážně spadají již do režimu regulerní fáze (viz výsledky měření).

Dále pak je třeba vzít v úvahu, že parní polštář neulpívá na všech materiálech stejně. Tvrdí se, že na stříbře ulpívá parní polštář lépe, než na NiCr . To znamená, že při použití termočlánku Ag-17 255 může mít tento fakt vliv na přesnost měření povrchové teploty. Stanovení procenta chyby tímto způsobené je však prakticky vyloučeno. Je nutno se spokojit s tím, že dle [20] se těmito vlivům nepřisuzuje velký praktický význam.



Obr. 13 - Rozptyl měření povrchové teploty. Průběhy teplot odpovídá ochlazení vzorku V3 z teploty 780 °C v klidové lázni (olej OL-J4) o teplotě 25 °C.

Závěrem možno říci, že u stanovení povrchové teploty není možno udat % chyby v určení skutečné teploty povrchu (viz odstavec 3.1.1), pouze je možno udat % chyby ve stanovení měřené teploty. Toto procento, včetně příslušného rozptylu je možno předpokládat menší, než $\pm 5,0 \%$. V určení času z oscilogramů chyba nepřesáhla $0,05 \text{ s}$.

Při stanovení teploty uvnitř vzorku lze počítat s chybou v určení teploty menší, než $\pm 3 \%$. V určení času chyba nepřesáhla $0,5 \text{ s}$.

4.1 Vliv rychlosti proudění kalící lázně na rychlost ochlazování vzorků

Je všeobecně známo, a v praxi četnými zkouškami ověřeno, že s rostoucím pohybem kalící lázně roste její ochlazovací schopnost. Přitom pohybem se zde rozumí jakýkoliv druh pohybu chaotického či uspořádaného, který vyvede složku relativní rychlosti kaleného předmětu vůči lázni. Nejčastějším praktickým případem je kalení do klidové lázně.

Pojem kalení do klidové lázně je relativní, neboť kalený předmět noříme do lázně určitou rychlostí a obvykle až po úplném ponoření vzorku se jeho pohyb přeruší. Avšak ani v tomto případě není lázeň v absolutním klidu. Při ochlazování kaleného předmětu podél jeho povrchu proudí lázeň přirozeným, samovolným pohybem, jehož intenzita je závislá na teplotním spádu mezi povrchem předmětu a lázní.

Z toho plyne, že kalení do klidové lázně může být děleno na dvě etapy. V první etapě jde vlastně o ochlazování ze určitého pohybu kaleného předmětu vůči lázni, přičemž rychlost pohybu může být závislá na subjektivních faktorech. Ve druhé etapě dochází k určitému samovolnému pohybu lázně vůči kalenému předmětu dokud jeho teplota povrchu bude vyšší než je teplota lázně.

V našem případě je shoda směru nuceného proudění lázně se směrem pohybu vzorku vůči lázni v období první etapy ochlazování v klidové lázni.

Měření bylo provedeno pro rozsah rychlosti nuceného podélného obtékání vzorku kalící lázní od 0,2 do 1,0 m/s. Výměnné vložky kalící vany zkušebního zařízení (viz odstavec 2.3) byly voleny tak, aby základní hodnoty rychlosti téměř pro všechny vzorky byly okolo 0,2, 0,5, 1,0 m/s. V mnoha případech bylo provedeno měření ochlazování vzorků v klidové lázni pro porovnání s nuceným uspořádaným prouděním.

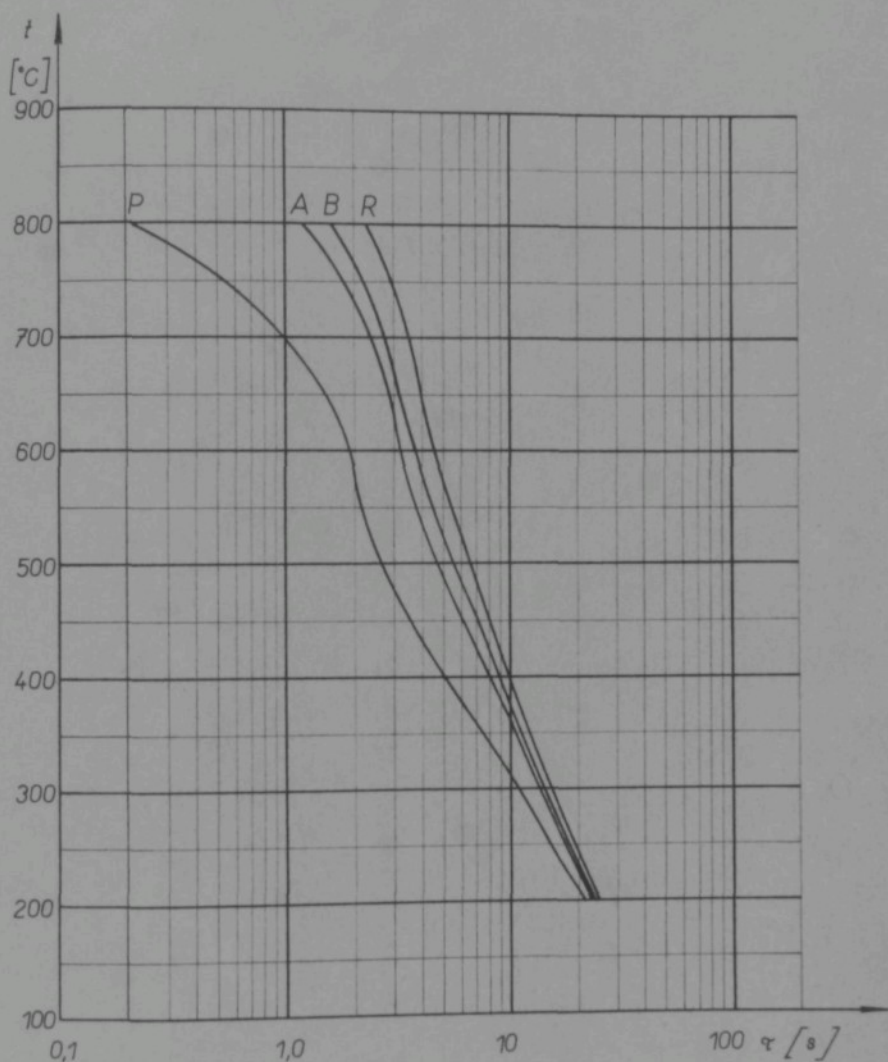
Pro ilustraci naměřených průběhů jsou na obrázcích uvedena tato měření :

Obr. 14a	měření č. 7 (viz tabulka č. 3),
Obr. 14b	měření č. 19,
Obr. 15a	měření č. 31,
Obr. 15b	měření č. 43,
Obr. 16a	měření č. 53,
Obr. 16b	měření č. 62,
Obr. 17	měření č. 71,
Obr. 18	měření č. 80 .

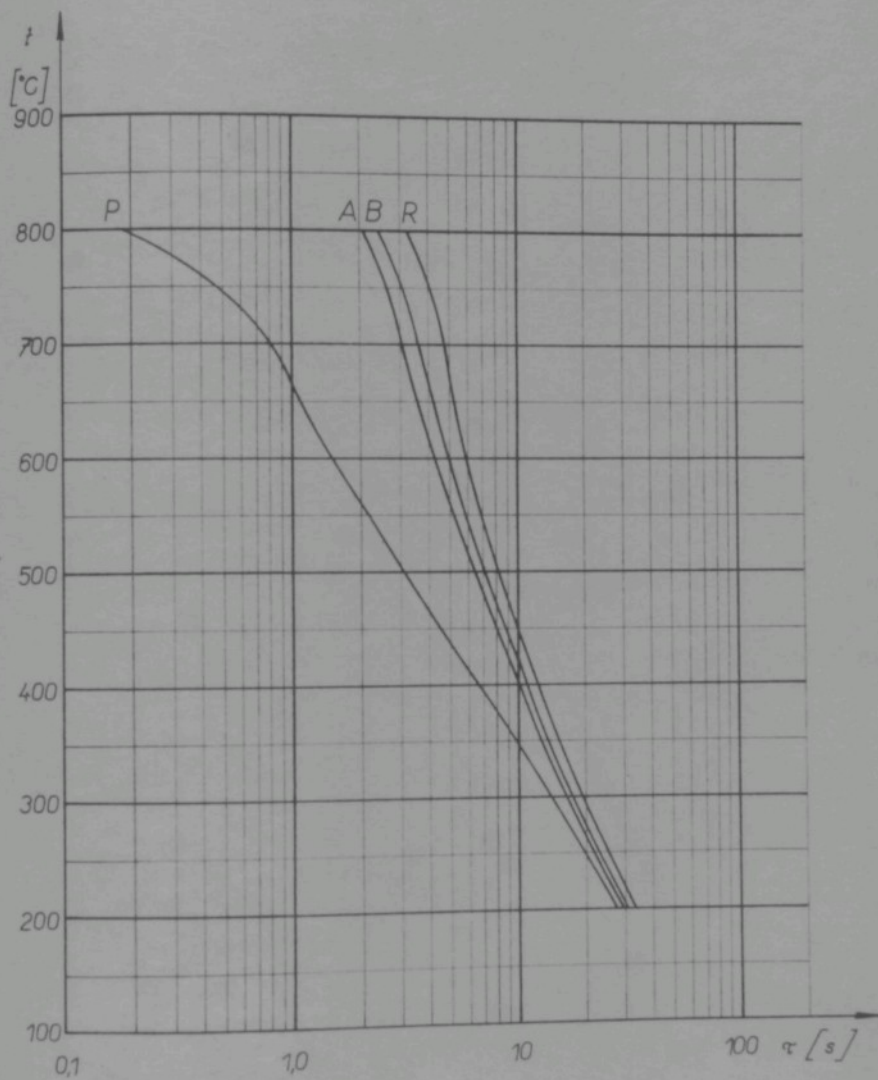
Jednotlivé křivky představují průběh teploty na povrchu vzorku (křivka P), ve vzdálenosti a mm pod povrchem (křivka A), ve vzdálenosti $R/2$ (křivka B), v ose vzorku (křivka R).

Nejdůležitější poznatky ze zkoumání vlivu rychlosti proudění kalící lázně na rychlost ochlazování vzorků je možno shrnout do těchto závěrů :

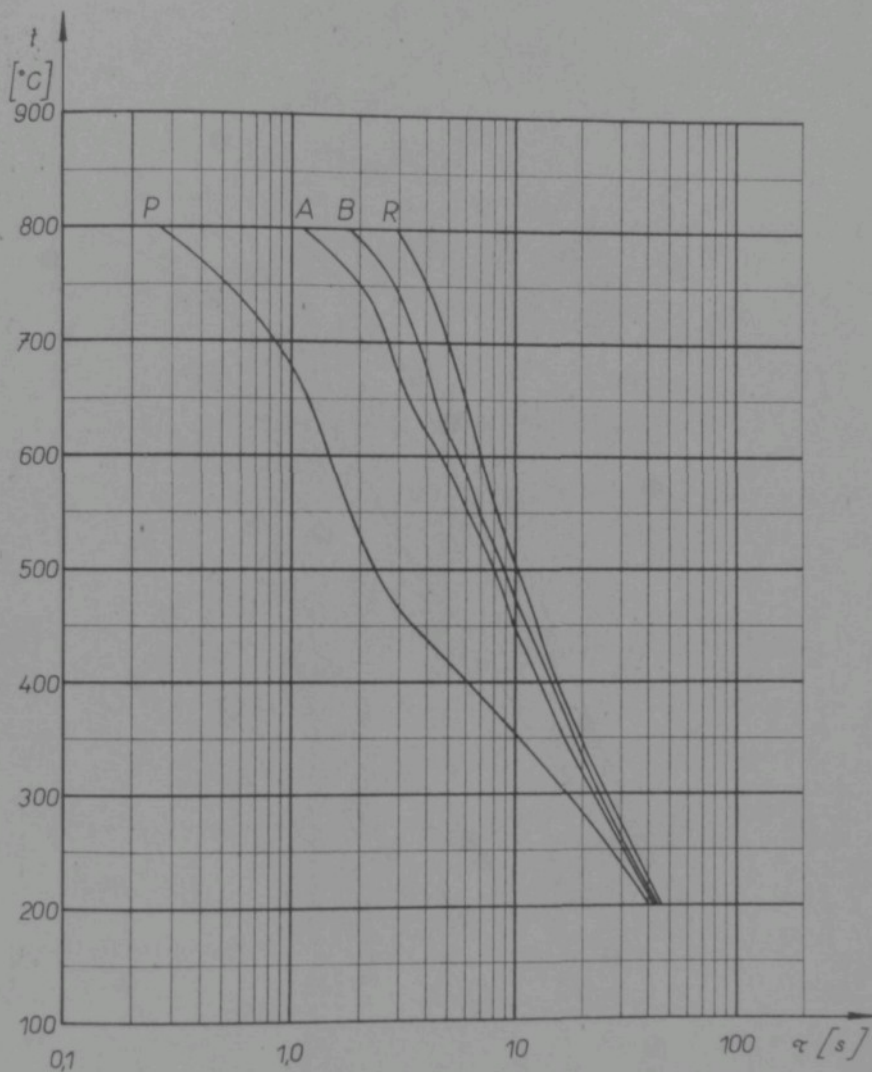
- 1) růst rychlosti nuceného uspořádaného proudění při podélném obtékání válce v celém průběhu ochlazování zvyšuje ochlazovací schopnost obou druhů olejů v celém rozsahu jejich pracovních teplot. Tento závěr je dokumentován průběhy povrchové teploty vzorků, přivedených na obrázcích č. 19 až 23



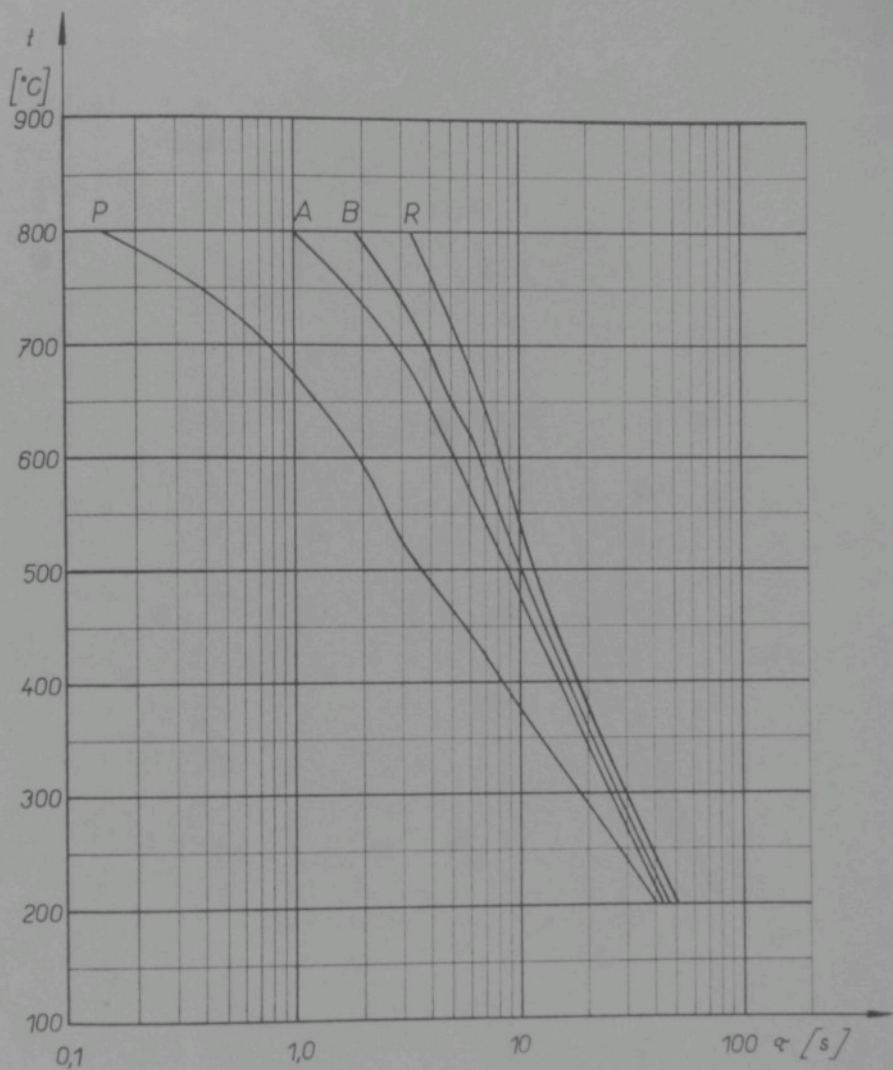
Obr. 14a - Průběh teploty v měřených místech vzorku V1 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 75 $^{\circ}\text{C}$ a rychlosti 0,45 m/s.



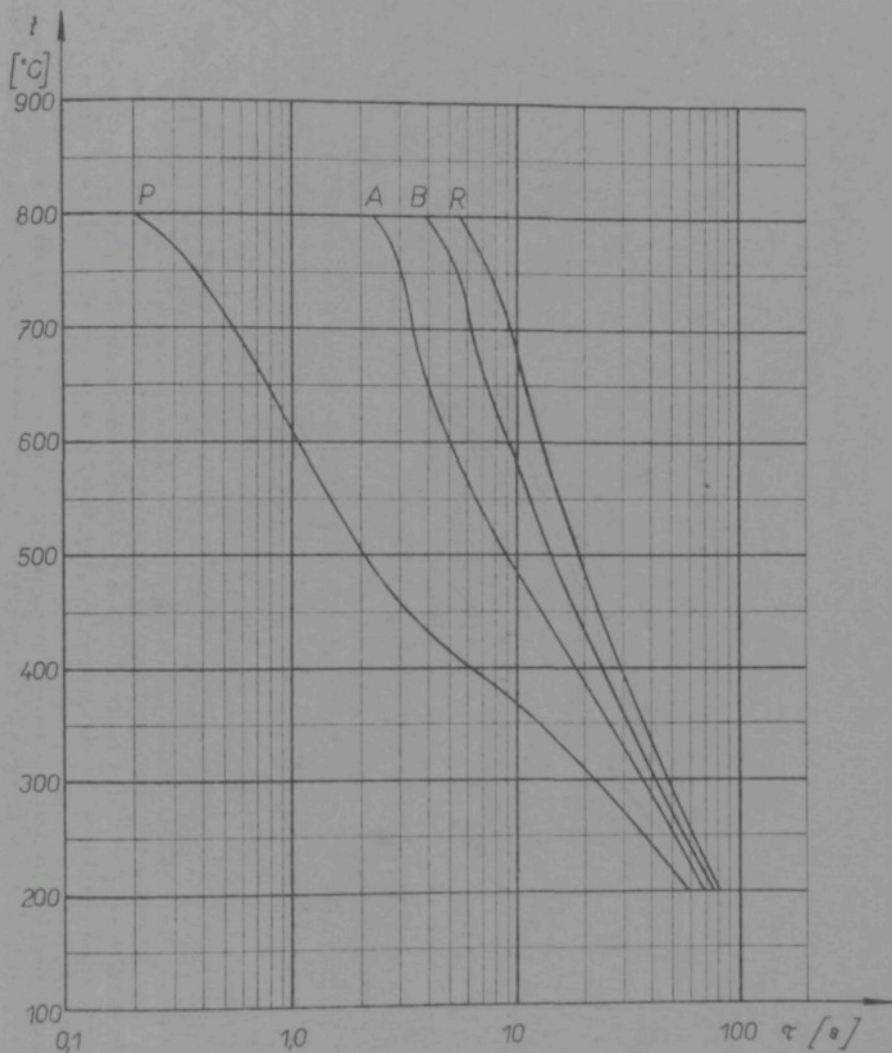
Obr. 14b - Průběh teploty v měřených místech vzorku V1
při jeho ochlazení v oleji OVB-31 o teplotě
100 $^{\circ}\text{C}$ a rychlosti 0,6 m/s.



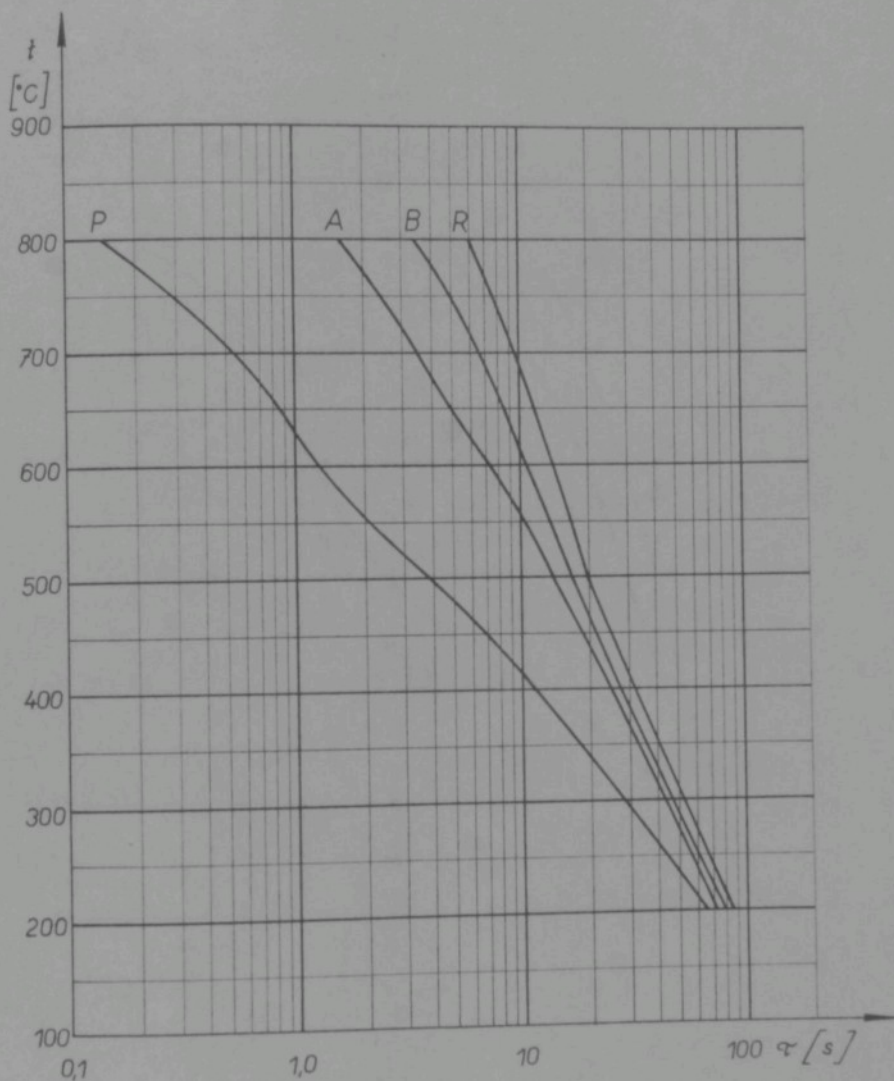
Obr. 15a - Průběh teploty v měřených místech vzorku V2 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 75°C a rychlosti proudění $0,47 \text{ m/s}$.



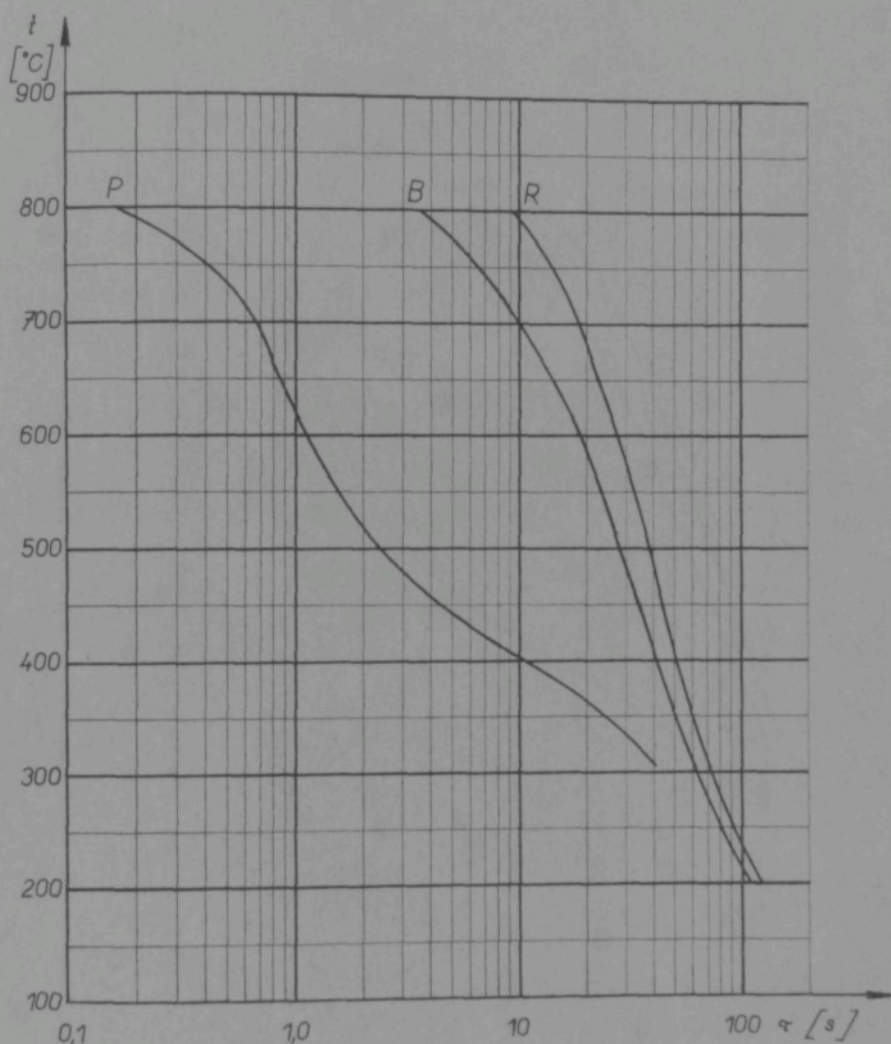
Obr. 15b - Průběh teploty v měřených místech vzorku při jeho ochlazení v oleji OVB-31 o teplotě 100 $^{\circ}\text{C}$ a rychlosti proudění 0,485 m/s.



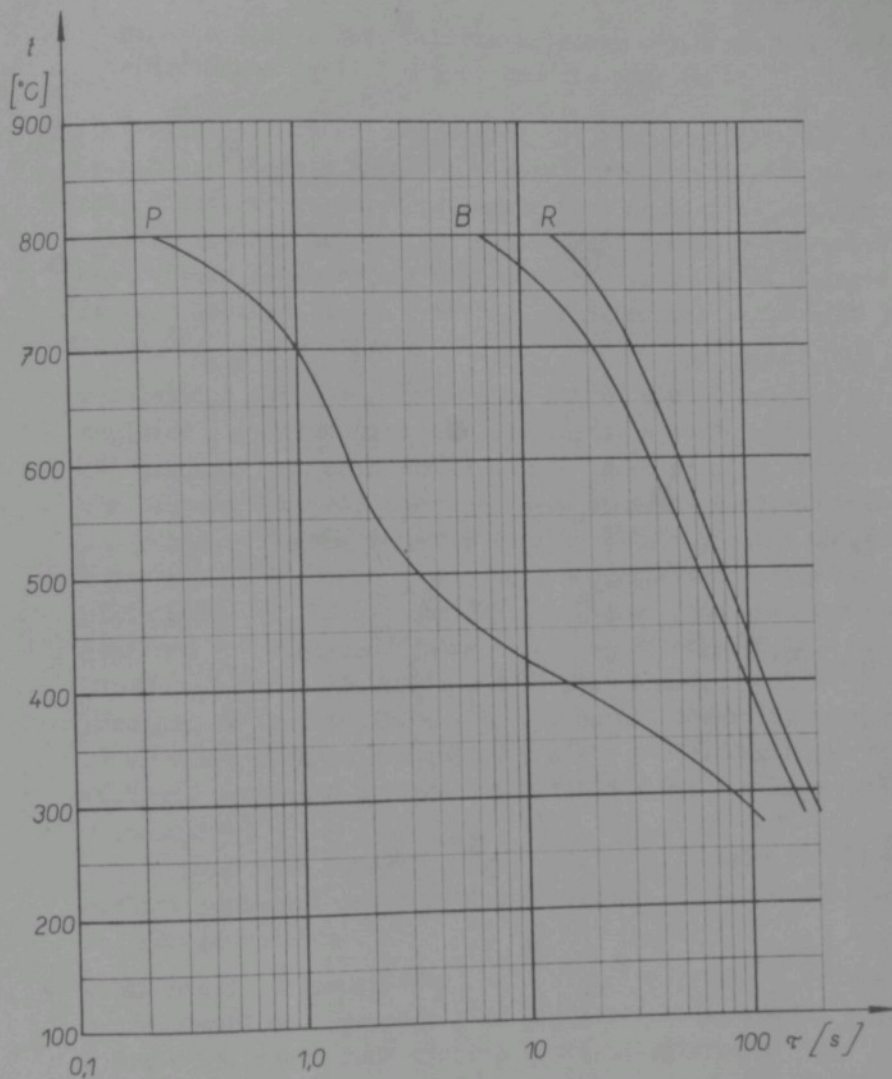
Obr. 16a - Průběh teploty v měřených místech vzorku V3 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 75 °C a rychlosti proudění 0,535 m/s.



Obr. 16b - Průběh teploty v měřených místech vzorku V3 při jeho ochlazení v oleji OVB-31 o teplotě 100 $^{\circ}\text{C}$ a rychlosti proudění 0,55 m/s.



Obr. 17 - Průběh teploty v měřených místech vzorku V4 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 100 $^{\circ}\text{C}$ s rychlostí proudění 0,478 m/s.



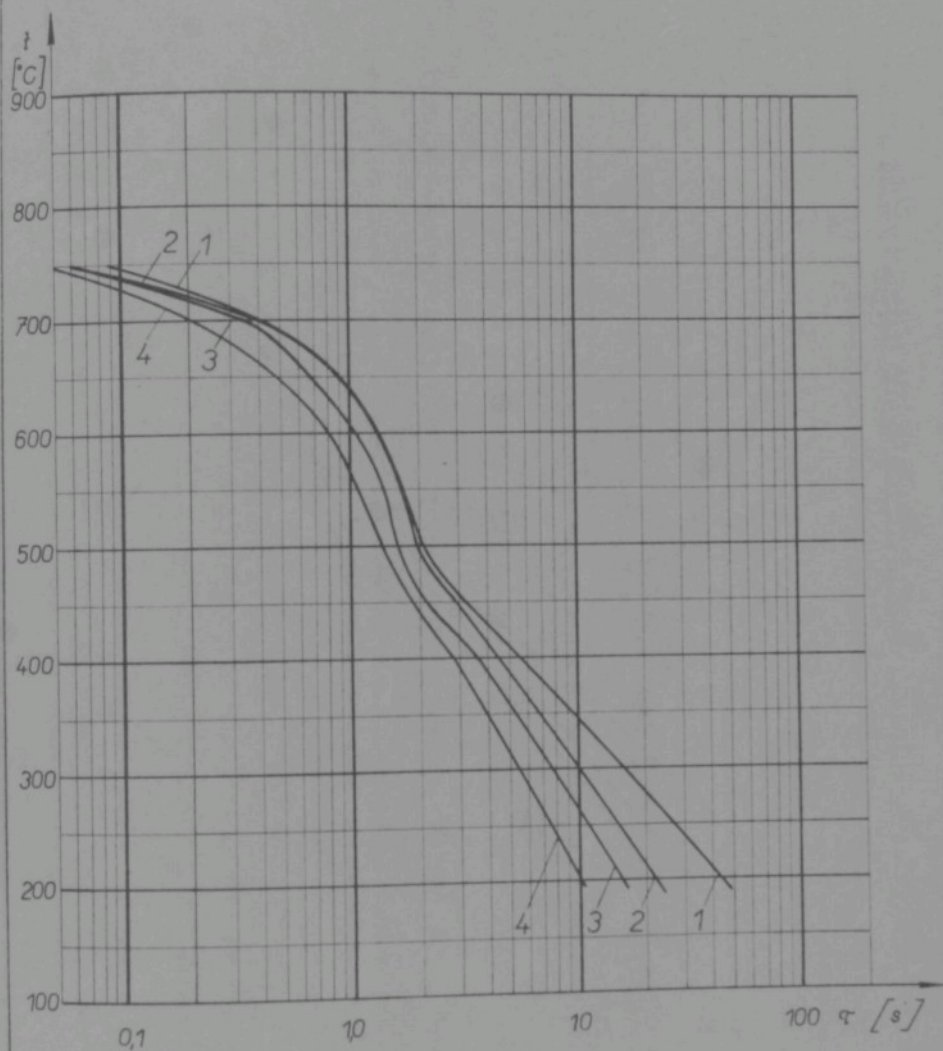
Obr. 18 - Průběh teploty v měřených místech vzorku V5 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 110 $^{\circ}\text{C}$ a rychlosti proudění 0,41 m/s.

(poznámka : povrchová teplota v těchto případech byla měřena termočlánkem Ag-17 255 způsobem dle obr. 8c);

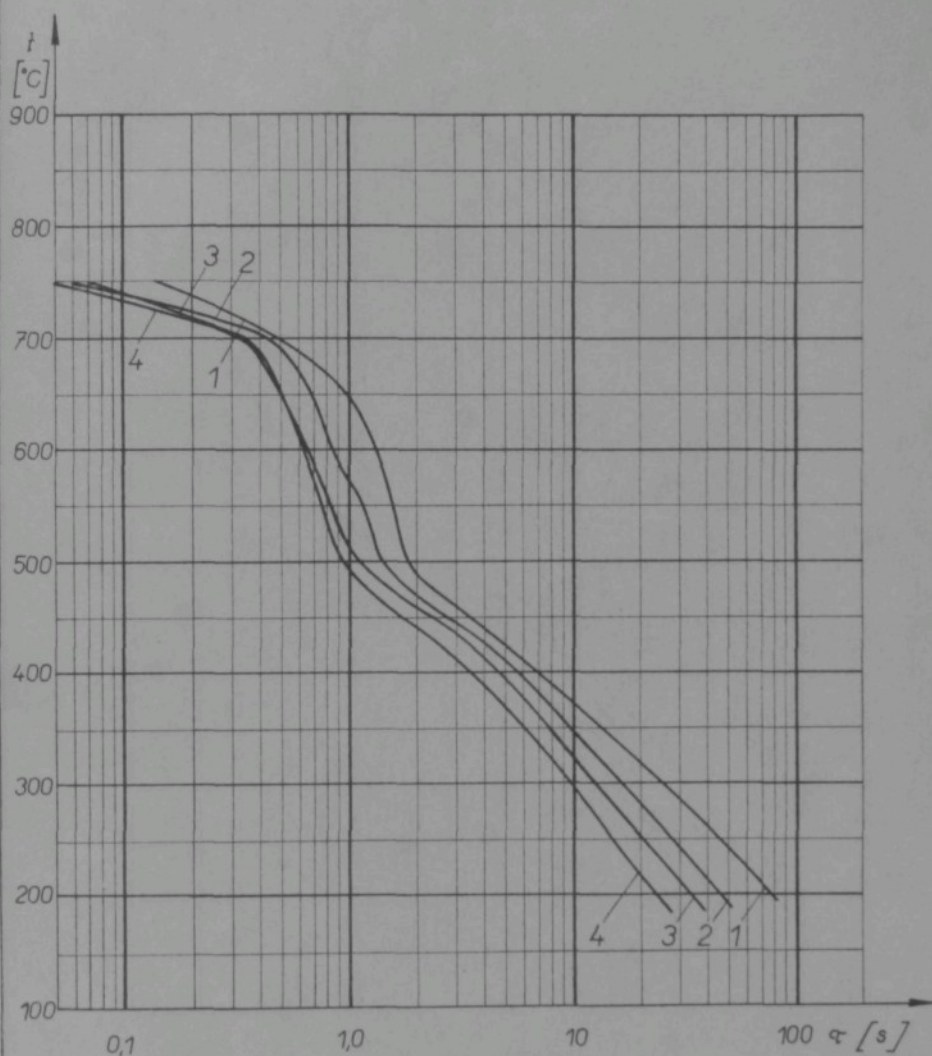
- 2) růst rychlosti nuceného proudění oleje snižuje vliv působení perního polštáře a zmenšuje rozptyl měření v oblasti nestabilního filmového varu. Tento závěr úzce souvisí se závěrem č.1 a plyne z toho, že rychlost ochlazování vzorků v oblasti filmového varu se zvyšuje s růstem rychlosti proudění olejové lázně. Proudící lázeň porušuje perní polštář a nedovolí jeho rozvíjení jako v klidové lázni;
- 3) v oblasti teplot jádra vzorků od 600 do 400 °C se s rostoucí teplotou olejů zmenšuje vliv rychlosti jejich nuceného proudění na rychlost ochlazování vzorků všech průměrů. Tento závěr plyne z obr. 24, na kterém jsou vyneseny časy, potřebné pro ochlazení jádra vzorků z teploty 840 °C v oleji OL-J4 o teplotě 25 °C a 125 °C při různých rychlostech oleje do teploty 600 a 400 °C a z obr. 25, na kterém jsou vyneseny časy potřebné pro ochlazení jádra vzorků z teploty 840 °C v oleji OVB-31 o teplotě 50, 100 a 145 °C při různých rychlostech proudění do teploty 600 a 400 °C. Nutno zdůraznit, že rozdíly ve vlivu rychlosti proudění vzniklé v důsledku růstu teploty lázně jsou málo výrazné a tudíž budou mít i malý praktický význam.

Z uvedených obrázků (obr. 24 a 25) je dále patrná závislost ochlazení jádra vzorků v rozmezí od 600 do 400 °C na průměru vzorků;

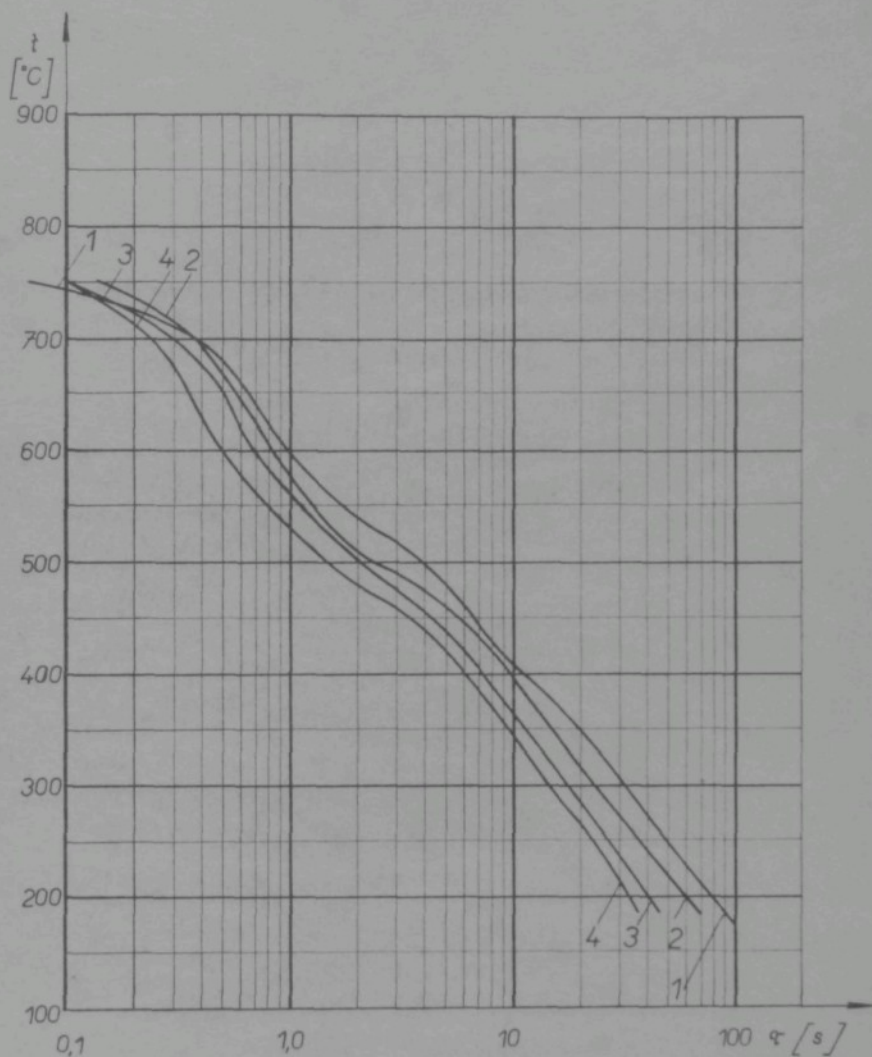
- 4) ochlazovací schopnost obou druhů olejů ve vztahu k teplotě jádra vzorků se výrazněji liší v oblasti bublinkového varu a čisté konvekce, méně výrazně v oblasti filmového varu (obr. 26, 27 a 28). Dle uvedených průběhů se jeví olej OL-J4 vhodnější ke kalení, neboť v oblasti perlitické přeměny je rychlejší (má větší ochlazovací schopnost) a v oblasti martensitické přeměny je pomalejší, než olej OVB-31.
(Poznámka: na uvedených obrázcích jsou srovnávány výsledky měření v lázni^{ch} o různých teplotách. Olej OL-J4 o teplotě 25,



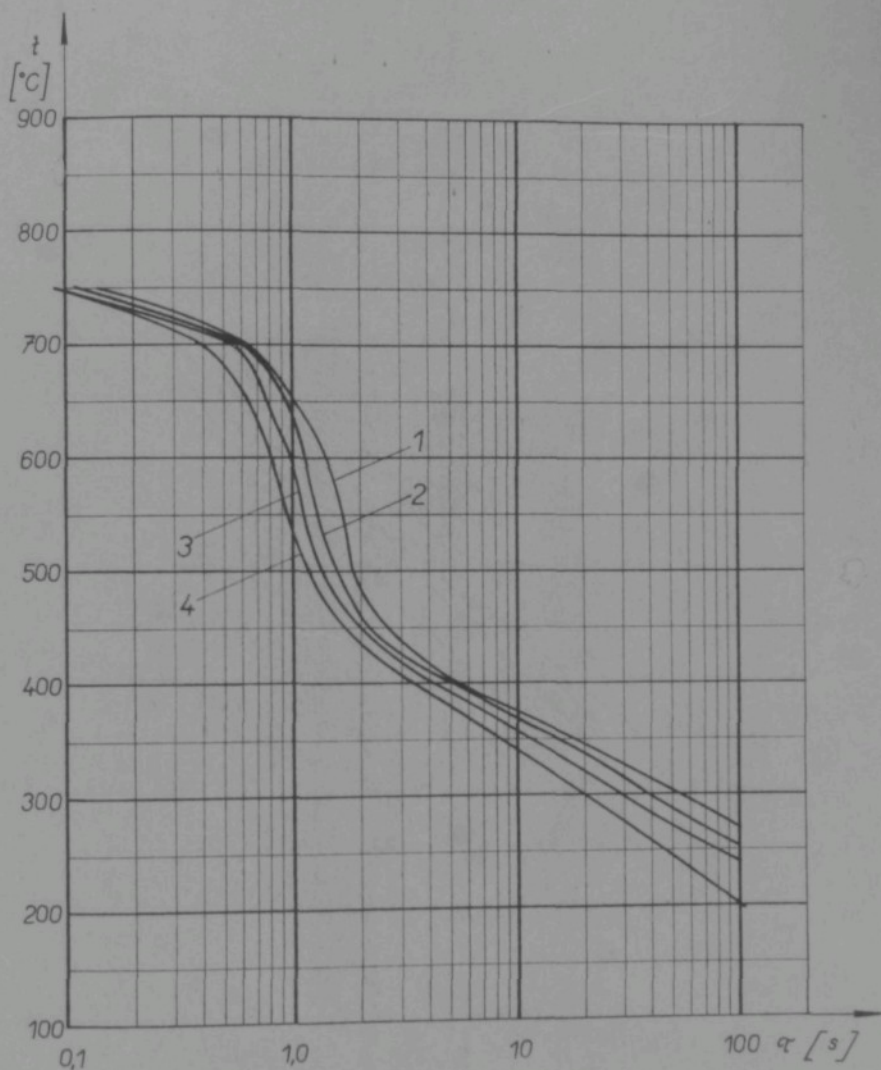
Obr. 19 - Průběh povrchové teploty vzorku V1 při jeho ochlazení z teploty 780°C v oleji OL-54 o teplotě 25°C a rychlostí : 1 - klidová lázeň, 2 - $0,197 \text{ m/s}$, 3 - $0,47 \text{ m/s}$, 4 - $0,98 \text{ m/s}$.



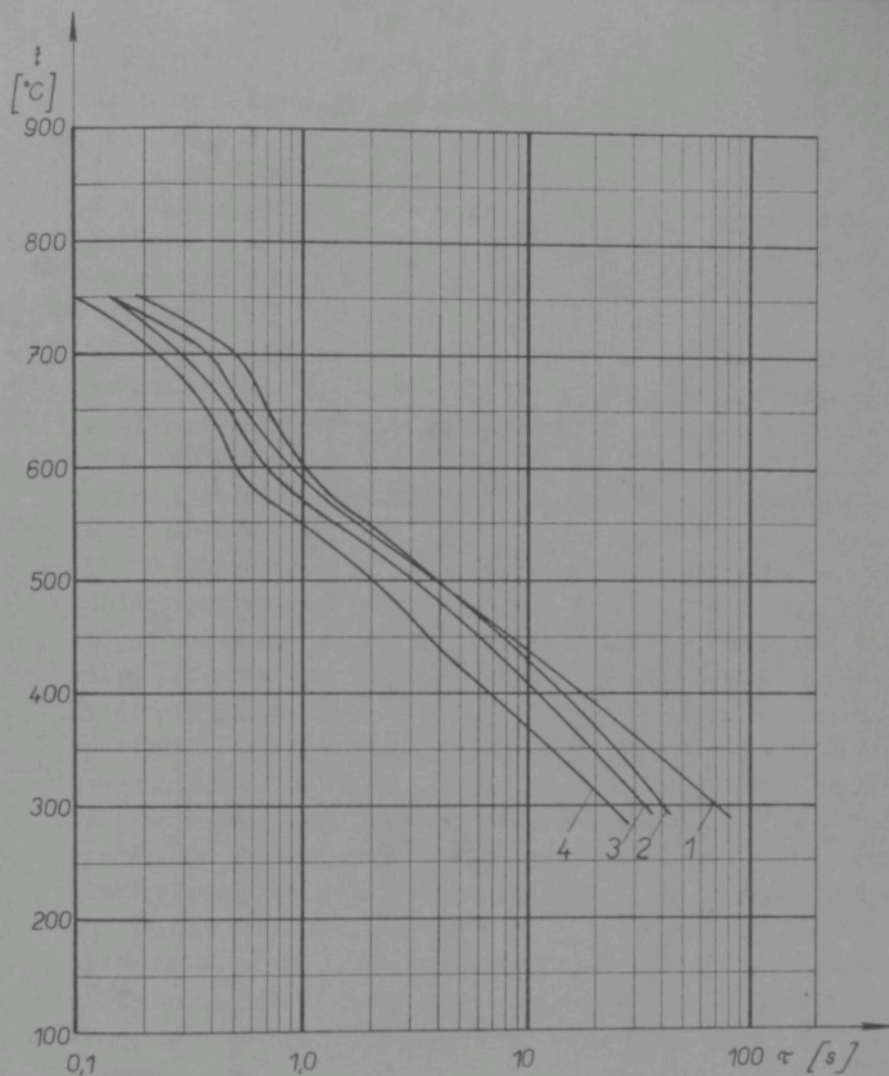
Obr. 20 - Průběh povrchové teploty vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 $^{\circ}\text{C}$ v oleji OL-J4 o teplotě 125 $^{\circ}\text{C}$ a rychlostí : 1 - klidová lázeň, 2 - 0,192 m/s, 3 - 0,47 m/s, 4 - 0,96 m/s.



Obr. 21 - Průběh povrchové teploty vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780°C v oleji CVB-31 o teplotě 100°C a rychlostí : 1 - klidová lázeň, 2 - $0,197\text{ m/s}$, 3 - $0,485\text{ m/s}$, 4 - $0,99\text{ m/s}$.



Obr. 22 - Průběh povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780 $^{\circ}\text{C}$ v oleji QL-J4 o teplotě 125 $^{\circ}\text{C}$ a rychlostí : 1 - klidová lázeň, 2 - 0,2 m/s, 3 - 0,535 m/s, 4 - 0,975 m/s .



Obr. 23 - Průběh povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení
z teploty 780°C v oleji CVB-31 o teplotě 100°C
a rychlosti : 1 - klidová lázeň, 2 - $0,205$ m/s,
3 - $0,55$ m/s, 4 - $1,0$ m/s.

75 a 125 °C a olej OVB-31 o teplotě 50, 100 a 145 °C. Porovnávají se případy při teplotách 25 a 50, 75 a 100, 125 a 145 z toho důvodu, že olej OVB-31 při teplotách nižších 50 °C není pro svoji značnou viskozitu provozuschopný pro nucený oběh.

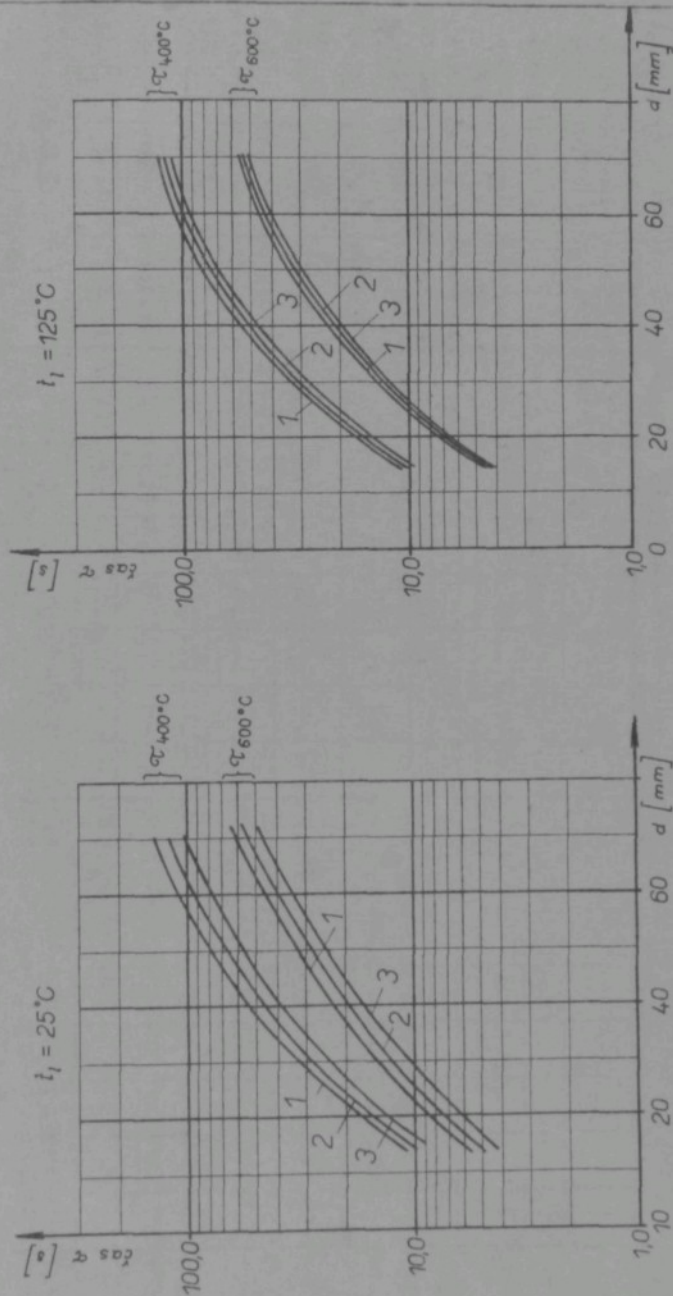
Dále z obrázků 26, 27 a 28 plyne, že v oblasti bublinkového varu a čisté konvekce je vliv rychlosti na rychlost ochlazování větší, křivky 2 jsou strmější křivky 1, než v oblasti filmového varu.

Mnohem rozdílnější je vliv olejů na rychlost ochlazování povrchu vzorků, viz obr. 29 a 30, na kterých jsou znázorněny průběhy povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji OL-J4 a OVB-31 při různých teplotách lázně pro rychlosti proudění 0,2 až 1,0 m/s (u ostatních vzorků je průběh obdobný).

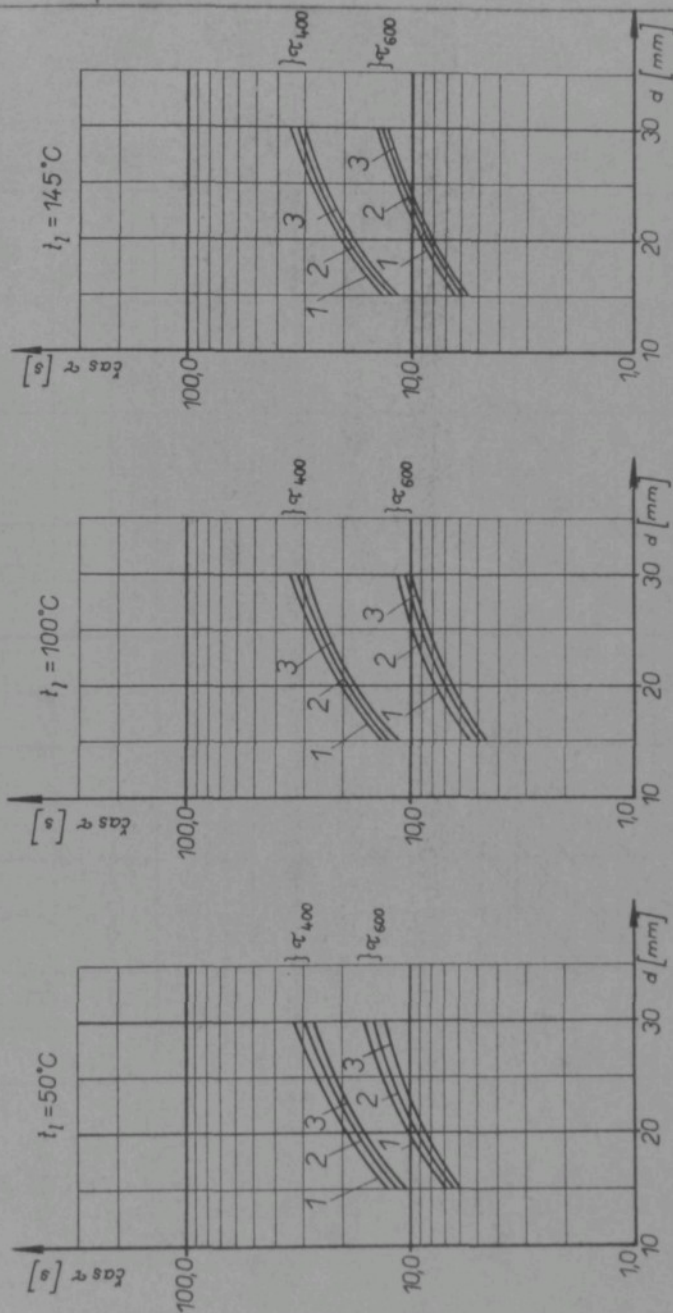
Z tohoto srovnání je patrné, že v oblasti filmového varu ochlazovací schopnost oleje OL-J4 je menší, než oleje OVB-31, což je způsobeno zřejmě tím, že olej OL-J4 je těžavější (má nižší bod varu), v důsledku čehož jeho parní polštář se uchová do nižších teplotních hodnot povrchu vzorku. Při přechodu od filmového varu k bublinkovému (u oleje OL-J4 při teplotě povrchu okolo 500 °C a u oleje OVB-31 okolo 600 °C) ochlazovací schopnost obou olejů je prakticky shodná. Z toho lze soudit, že při kalení v obou olejích dosáhneme oblasti perlitické přeměny na povrchu kalených dílů téměř ve shodném čase.

V oblasti bublinkového varu je ochlazovací schopnost oleje OL-J4 větší než oleje OVB-31. V oblasti čisté konvekce z uvedených měření nelze provést srovnání, neboť teplota lázně, která je v těchto případech různá zde nabývá rozhodujícího významu.

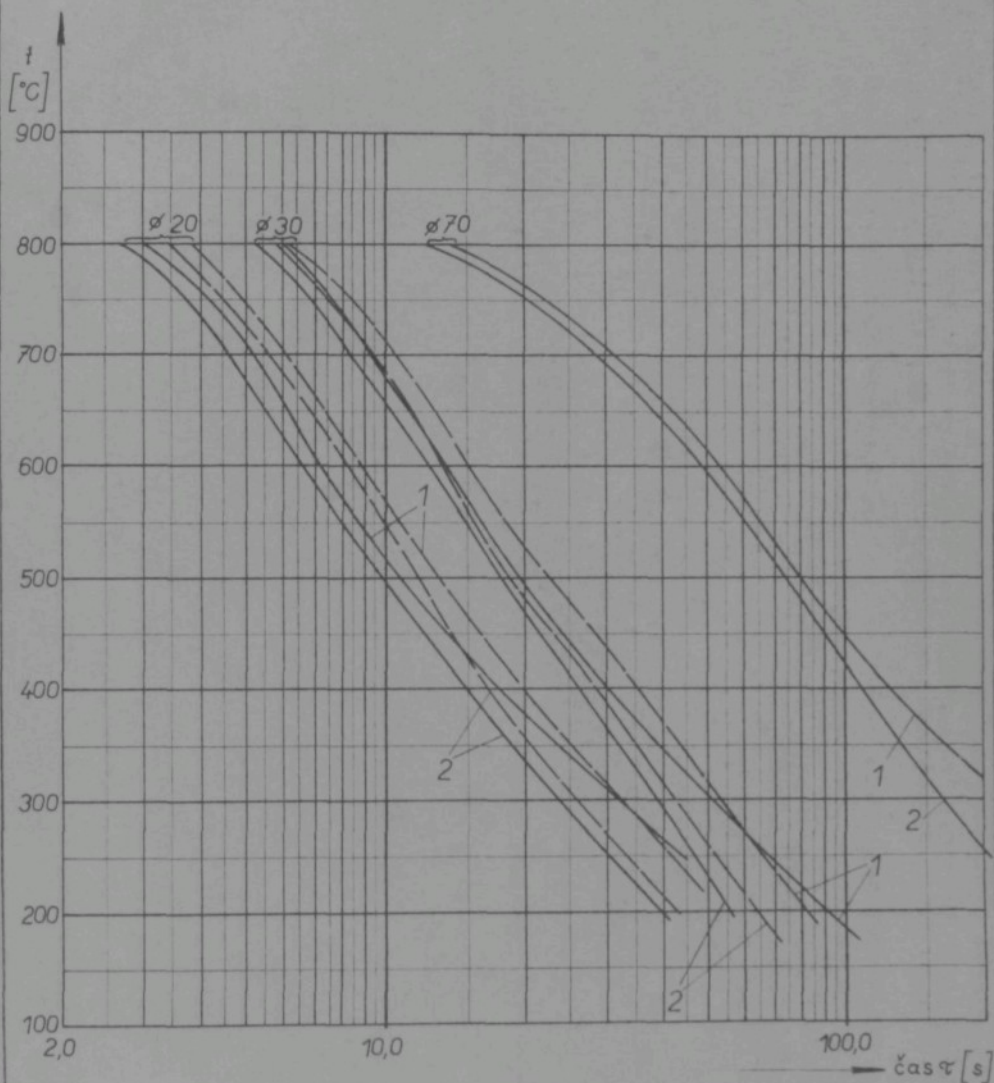
Porovnání průběhů povrchové teploty vzorků a teploty v jejich jádře vykazuje jisté neshody, které jsou způsobeny tím, že v době, kdy teplota v jádře se pohybuje v oblasti perlitické přeměny (nad 500 °C), ochlazování na povrchu odpovídá již oblasti bublinkového varu, nebo dokonce čisté konvekce;



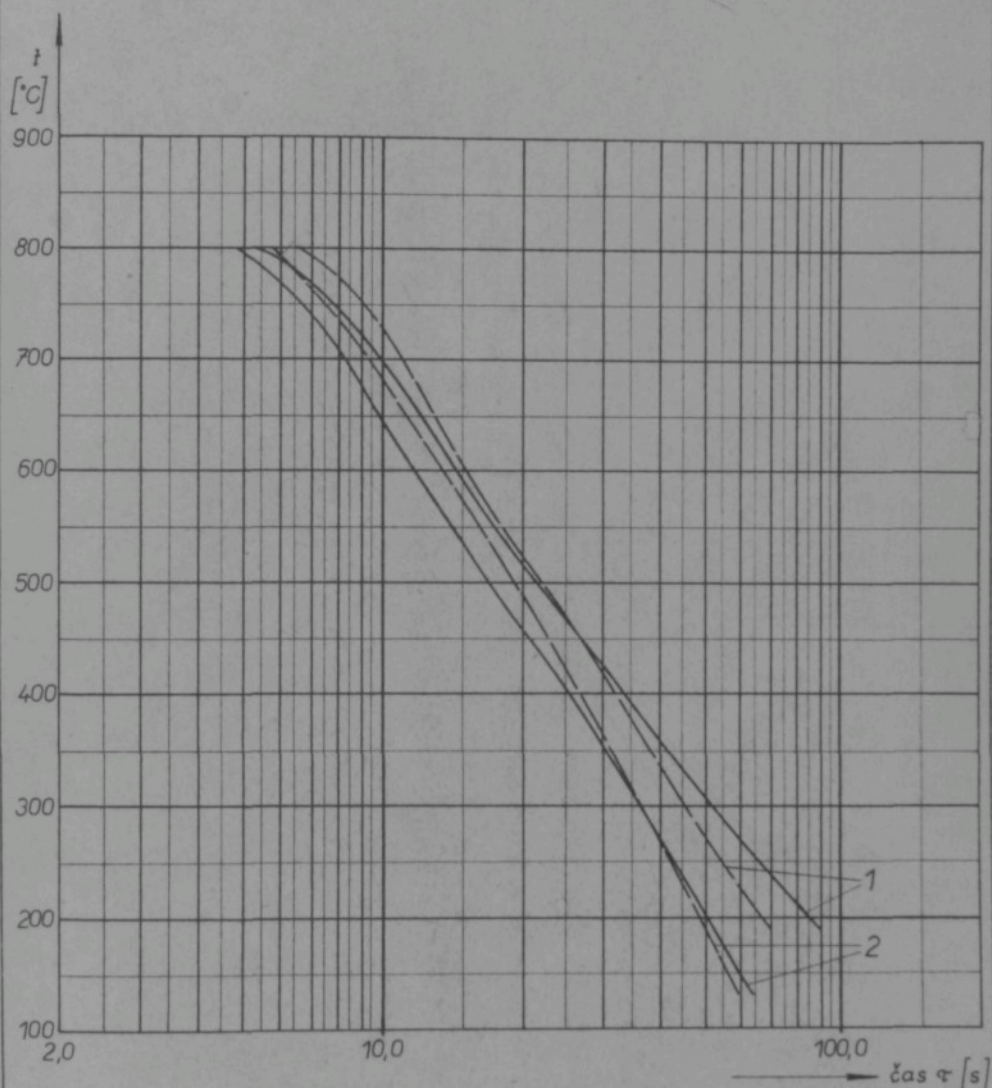
Obr. 24 - Čas potřebný k ochlazení látky vzorků různých průměrů a teploty 840°C v oleji OL-J4 o teplotě 25°C a 125°C na teplotu 600°C a 400°C , při rychlostech proudění lázně: 1 $\approx 0,2$ m/s, 2 $\approx 0,5$ m/s, 3 $\approx 1,0$ m/s.



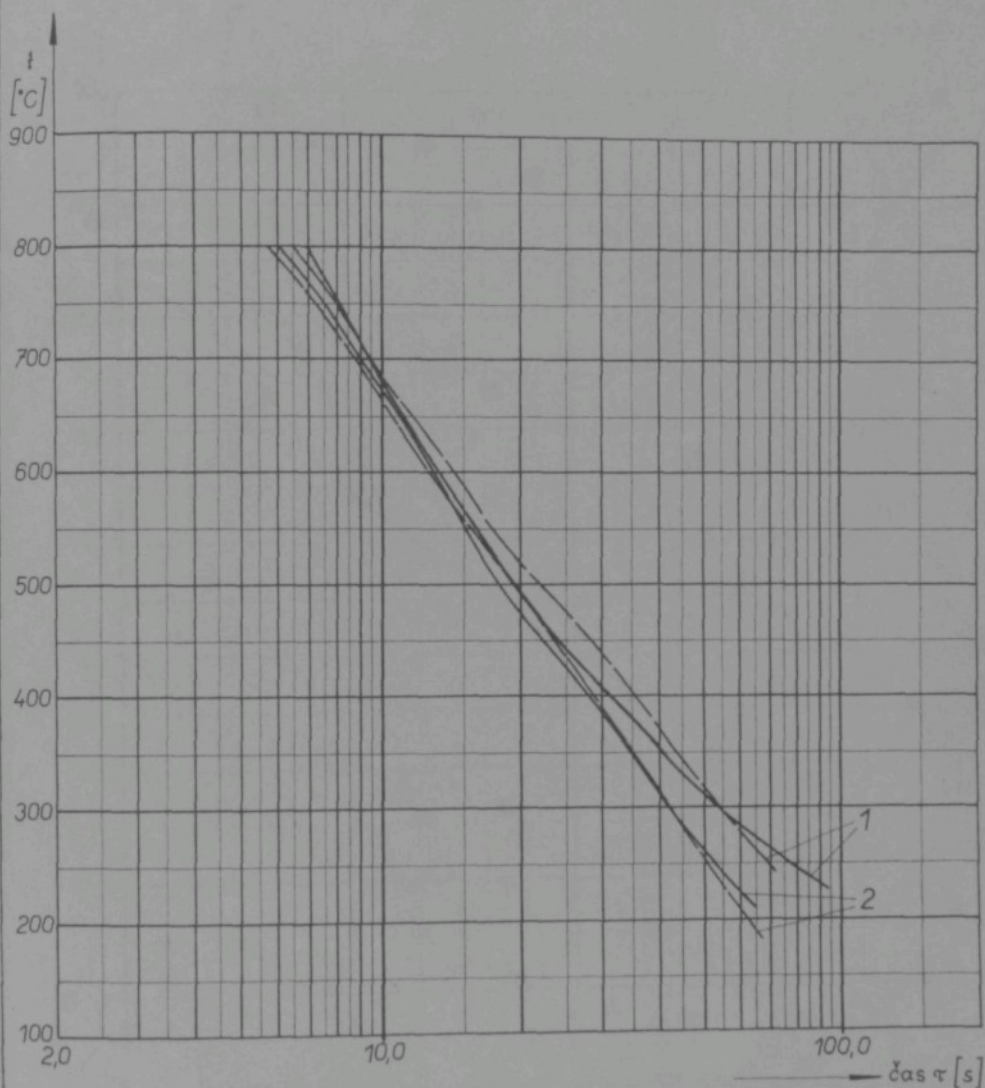
Obr. 25 - Čas potřebný k ochlazení jádra vzorků různých průměrů z teploty 840 °C v oleji CVA - při o teplotě lázně 50, 100 a 145 °C na teplotu 600 °C s 400 °C při rychlostech proudění lázně: 1 $\approx$ 0,2 m/s, 2 $\approx$ 0,5 m/s, 3 $\approx$ 1,0 m/s.



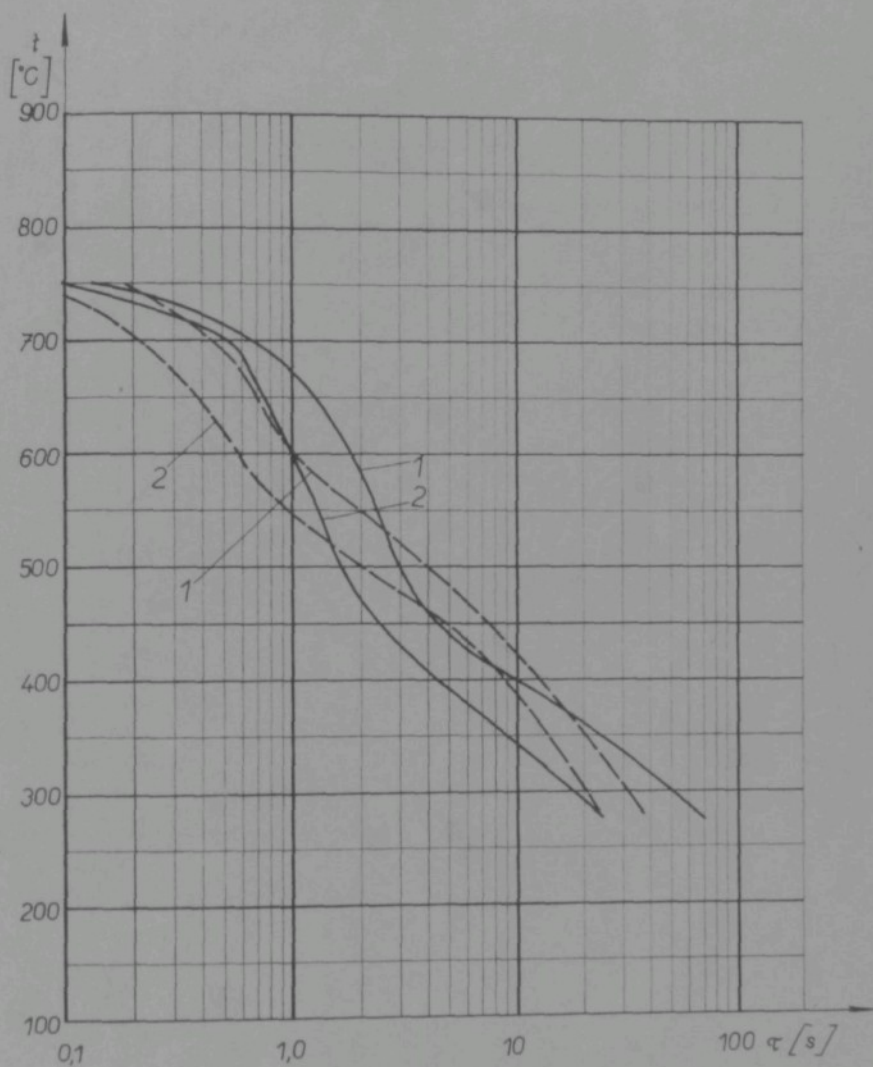
Obr. 26 - Průběh teploty jádra vzorků V2, V3 a V5 při jejich ochlazení z teploty 840°C v oleji OL-J4 o teplotě 75°C (—) a OVB-31 o teplotě 100°C (---) při rychlostí proudění : 1 $\approx 0,2$ m/s, 2 $\approx 1,0$ m/s.



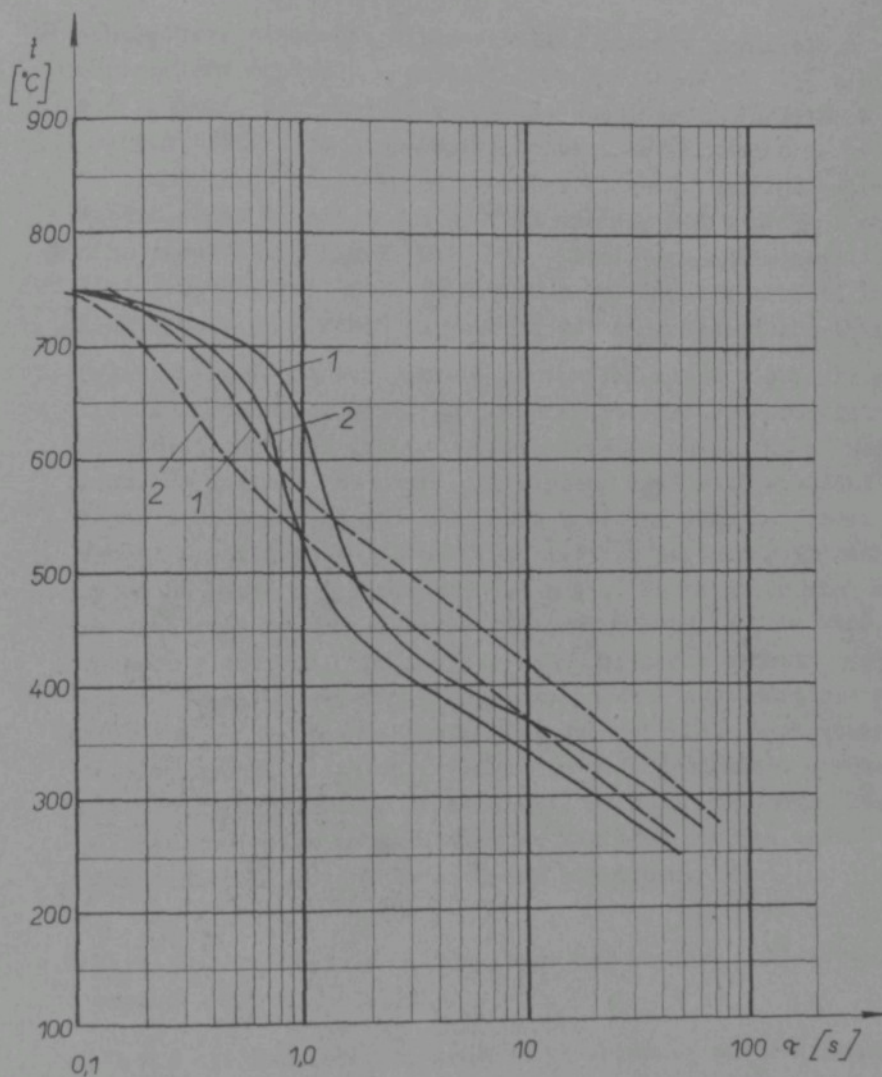
Obr. 27 - Průběh teploty jádra vzorku V3 při jeho ochlazení
z teploty 840 $^{\circ}\text{C}$ v oleji OL-J4 o teplotě 25 $^{\circ}\text{C}$ (—)
a OVB-31 o teplotě 50 $^{\circ}\text{C}$ (- - -) při rychlosti proudění:
1 $\approx$ 0,2 m/s, 2 $\approx$ 1,0 m/s.



Obr. 28 - Průběh teploty jádra vzorku V3 při jeho ochlazení
z teploty v oleji OL-J4 o teplotě 125 $^{\circ}\text{C}$ (—) a
OVE-31 o teplotě 145 $^{\circ}\text{C}$ (---) při rychlosti proudění :
1 $\approx$ 0,2 m/s, 2 $\approx$ 1,0 m/s .



Obr. 29 - Průběh povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení
z teploty 780 °C v oleji OL-J4 o teplotě 25 °C (—),
a OVE-31 o teplotě 50 °C (- - -) při rychlosti proudění :
1 ≈ 0,2 m/s, 2 ≈ 1,0 m/s.



Obr. 30 - Průběh povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení
z teploty 780 °C v oleji OL-J4 o teplotě 125 °C (—)
a OVB-31 o teplotě 145 °C (- - -) při rychlosti proudění:
1 $\approx$ 0,2 m/s, 2 $\approx$ 1,0 m/s.

- 5) ochlazovací schopnost klidové kalící lázně v první etapě ochlazování odpovídá rychlosti proudění lázně asi 0,2 m/s, což znamená, že ponoření vzorku se odehrávalo přibližně s touto rychlostí. Tato etapa spadá do oblasti filmového varu. Ve druhé etapě ochlazování vzorků v klidové lázni je patrna značně menší rychlost ochlazování vzorků, než v případě nuceného proudění rychlostí 0,2 m/s. Tato etapa ochlazování začíná již v oblasti filmového varu a pokračuje v oblasti bublinkového varu a čisté konvekce (v tomto případě přirozené);
- 6) relativní zvýšení ochlazovací schopnosti olejů v oblasti perlitické přeměny je vyšší při nižších absolutních hodnotách rychlosti proudění lázně, než při vyšších absolutních hodnotách. To znamená, že např. při zvýšení rychlosti proudění lázně z 0,25 m/s na 0,5 m/s bude zkrácení doby ochlazení vzorku na určitou teplotu větší, než při zvýšení rychlosti proudění lázně z 0,5 m/s na 1,0 m/s. Tento závěr však nelze vztahovat na oblast martensitické přeměny, kde se vliv rychlosti proudění projevuje výrazněji, než v oblasti perlitické přeměny. Vzhledem k tomu, že počátek martensitické přeměny (M_s) je dán chemickým složením materiálu, lze očekávat, že vliv rychlosti proudění lázně se bude projevovat u různých materiálů různě. Nutno si uvědomit, že nucené proudění lázně již poměrně malou rychlostí má za následek poměrně značné zrychlení ochlazování ve srovnání s klidovou lázní.

4.2 Vliv teploty olejové kalící lázně na rychlost ochlazování vzorků

Horká olejová lázeň se používá ke kalení z důvodů zpomalení rychlosti ochlazování v oblasti martensitické přeměny, výsledkem čehož, mimo jiné, jsou menší tepelná pnutí a také menší deformace kalených dílů.

Ne rozdíl od vody, jejíž ochlazovací schopnost je velmi značně závislá na její teplotě, voda bývá označována jako nejis-

tá kalící lázně), zjistila se u olejů poměrně malá závislost jejich ochlazovací schopnosti na teplotě [1], [23].

Zkušenosti získané sledováním ochlazovací schopnosti olejů OL-J4 a OVB-31 v závislosti na jejich teplotě možno formulovat do těchto závěrů :

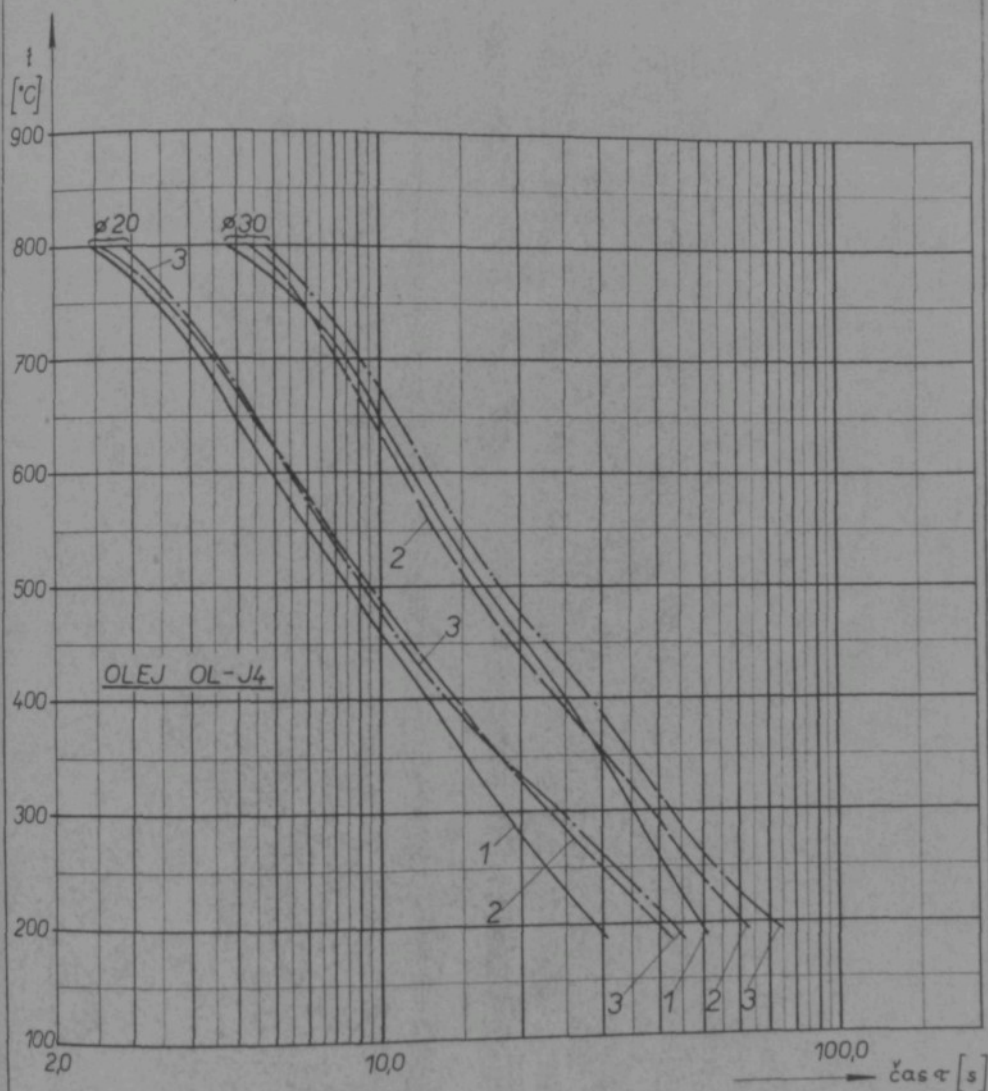
- 1) ochlazovací schopnost olejů je poměrně málo závislá na jejich teplotě i v podmínkách nuceného proudění lázně, zkoumá-li se dle průběhu teploty v jádře vzorků a je poměrně značně závislá na teplotě, zkoumá-li se dle průběhu povrchové teploty. Přitom tato závislost je větší a také trpí menšími kolísání u oleje OL-J4, než u oleje OVB-31.

Zatímco změna rychlosti proudění kalící lázně vede téměř k paralelnímu posunutí teplotního průběhu rovnoběžně s časovou základnou, změna teploty kalící lázně při stálé rychlosti proudění vyvolává složité změny teplotního průběhu. Růst teploty lázně příliš neovlivní průběh teploty v jádře vzorků v oblasti perlitické přeměny, avšak značně jej ovlivní v oblasti bainitické a martensitické přeměny, kde se jednotlivé průběhy teplot protínají. Z toho plyne, že vliv teploty lázně na výslednou strukturu kaleného dílu nebude tak jednoznačný, jako vliv její rychlosti.

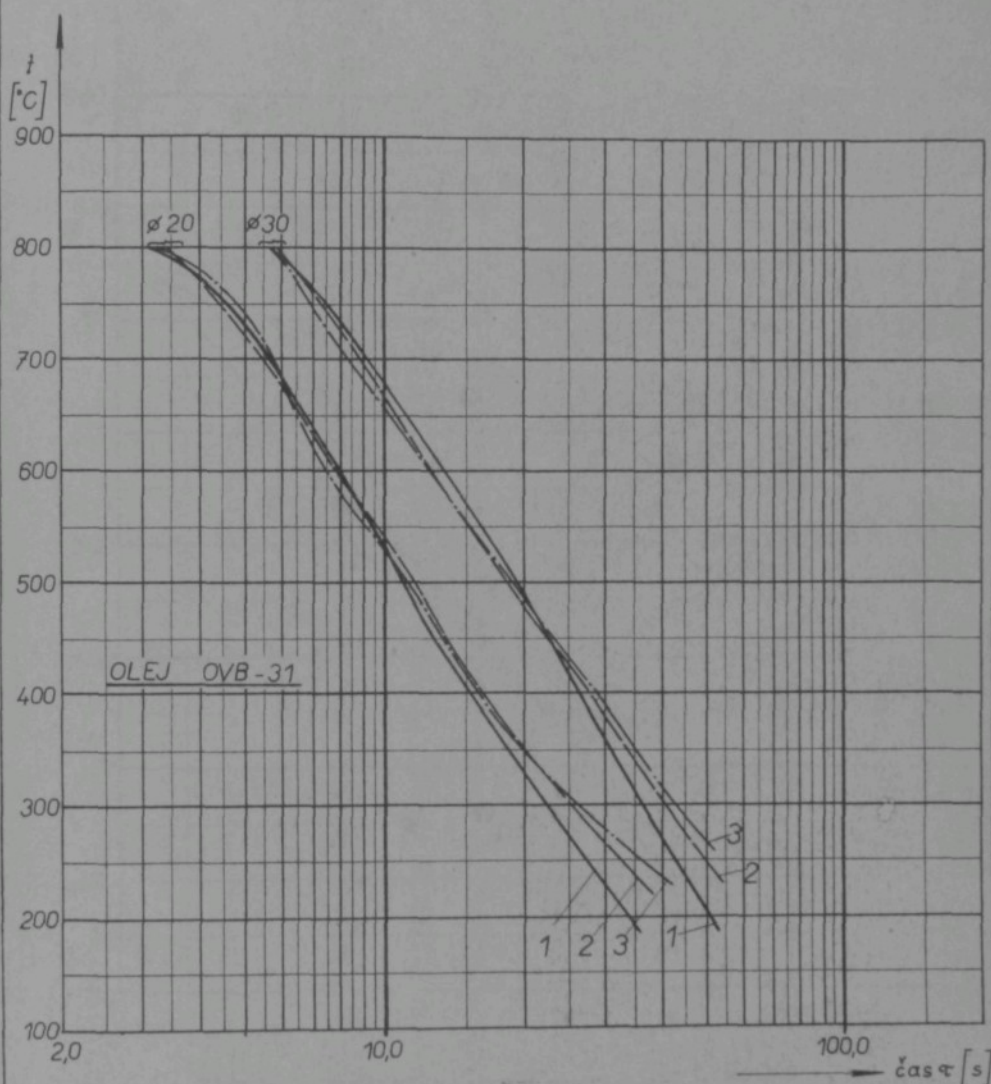
Tento závěr vyplývá z obrázků obr. 31 a 32, na kterých jsou znázorněny průběhy teplot v jádře vzorků V2 a V3 při jejich ochlazení z teploty 840 °C v oleji OL-J4 a OVB-31 při shodné rychlosti proudění pro různé teploty lázně a obrázků obr. 33 a 34, na kterých jsou znázorněny průběhy povrchové teploty vzorků V2 a V3 při jejich ochlazení ze 780 °C v oleji OL-J4 a OVB-31 při shodné rychlosti proudění pro různé teploty lázně.

- 2) S rostoucí teplotou lázně klesá stabilita perního polštáře, v důsledku čehož v oblasti filmového varu také roste rychlost ochlazování. (Tento závěr je vztažen k povrchové teplotě).

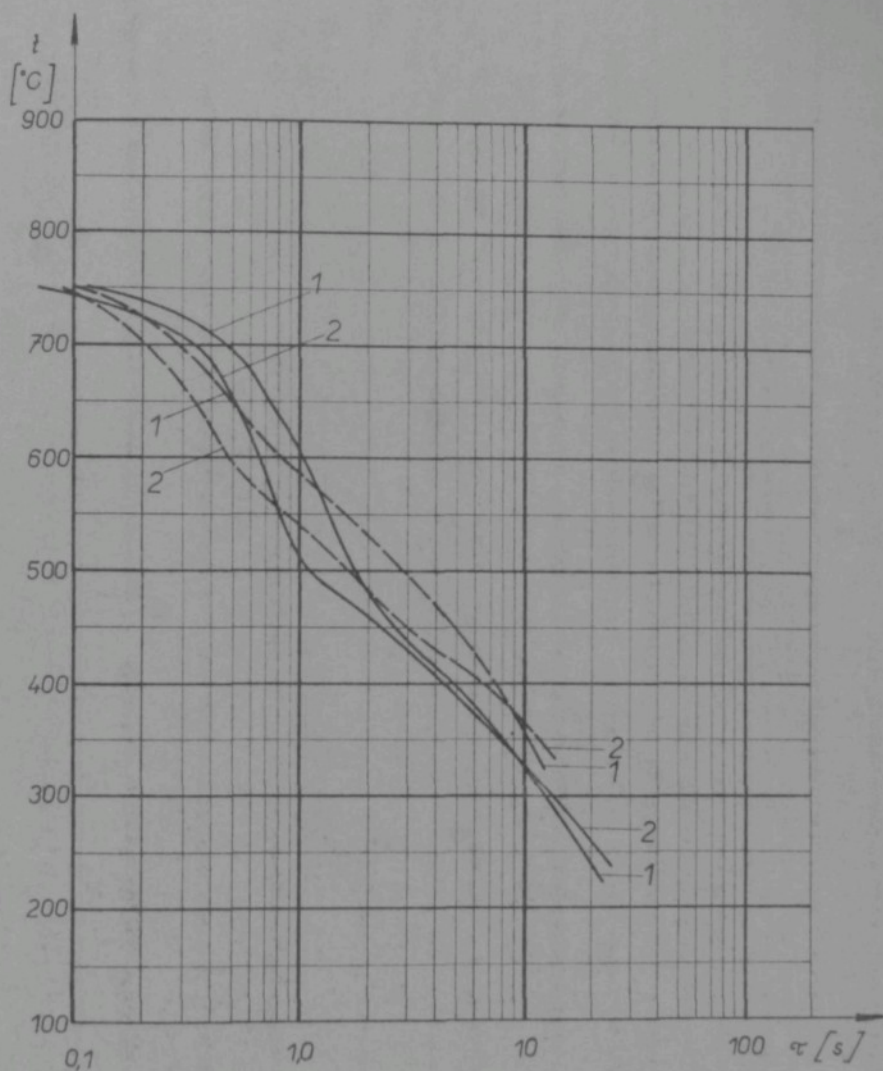
V porovnání s vodní lázní se zdá tento závěr na první pohled nepochopitelný, avšak při podrobnějším rozboru je



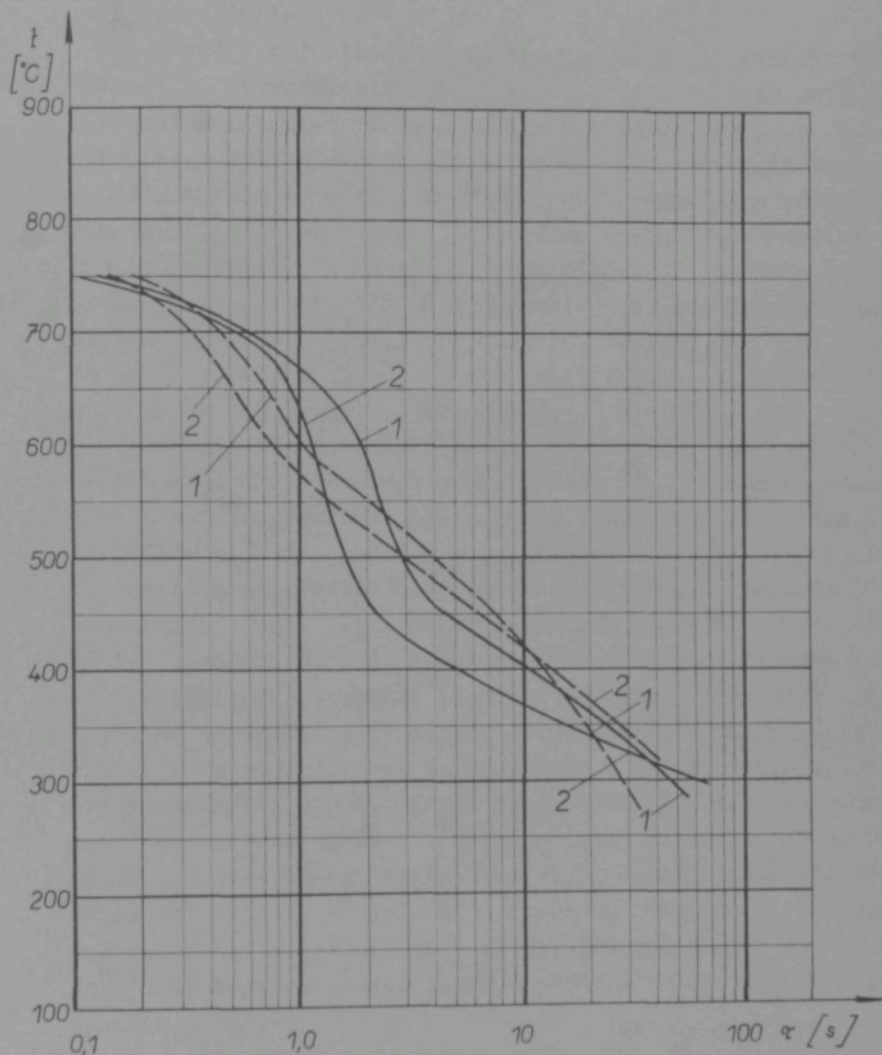
Obr. 31 - Průběh teploty v jádře vzorků V2 a V3 při jejich ochlazení z teploty 840°C v oleji OL-J4 při rychlosti proudění $1,0 \text{ m/s}$ pro teploty lázně : 1 - 25°C , 2 - 75°C , 3 - 125°C .



Obr. 32 - Průběh teploty v jádře vzorků V2 a V3 při jejich ochlazení z teploty 840 $^{\circ}\text{C}$ v oleji OVB-31 při rychlosti proudění $\sim 1,0$ m/s pro teploty lázně: 1 - 50 $^{\circ}\text{C}$, 2 - 100 $^{\circ}\text{C}$, 3 - 145 $^{\circ}\text{C}$.



Obr. 33 - Průběh povrchové teploty vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 $^{\circ}\text{C}$ v oleji OL-J4 (—) při teplotách: 1 - 25 $^{\circ}\text{C}$, 2 - 125 $^{\circ}\text{C}$ a v oleji OVB-31 (---) při teplotách: 1 - 50 $^{\circ}\text{C}$, 2 - 145 $^{\circ}\text{C}$ pro rychlost proudění lázně 0,5 m/s.



Obr. 34 - Průběh povrchové teploty vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780°C v oleji OL-J4 (—) při teplotách : 1 - 25°C , 2 - 125°C , a v oleji OVB-31 (---) při teplotách : 1 - 50°C , 2 - 145°C pro rychlost proudění lázně $\sim 0,2$ m/s.

plně zdůvodnitelný .

U vody, v důsledku nízké teploty varu při atmosferickém tlaku (ve srovnání s oleji), zvýšení její teploty snižuje rychlost kondensace parních bublin vzniklých na povrchu kalenného předmětu. U olejů tato okolnost při pracovních teplotách použitých v našem měření zřejmě hraje bezvýznamnou roli. Je zde však jiné vysvětlení. Oleje velmi značně mění svoji viskozitu s teplotou. Tak např. u oleje OL-J4 při ohřevu z teploty 25 °C na teplotu 125 °C se zmenší jeho kinematická viskozita 33,5 x a u oleje OVB-31 při ohřevu z teploty 50 °C na teplotu 145 °C dokonce 50 x (u vody činí tento pokles při ohřevu z 30 na 70 °C pouze dvojnásobek).

Parní polštář nerůstá potud, pokud jeho vztahové síly nepřekonají odpor obklopujícího prostředí. Přitom v podmínkách nuceného proudění podél ochlazovaného vzorku směrem nahoru, tj. ve směru shodném s působením vztahové síly polštáře, existence polštáře bude značně ovlivněna dynamickým účinkem proudu lázně. Avšak i v podmínkách nuceného proudění lázně lze předpokládat, že doba existence parního polštáře bude značně ovlivněna viskozitou kapaliny. Jelikož viskozita olejů s růstem teploty prudce klesá, bude klesat i odpor prostředí, takže jej mohou překonat parní polštáře menších objemů, než při nízkých teplotách. Kromě této příčiny, kterou lze považovat za hlavní, mohou mít vliv na změnu ochlazovací schopnosti olejů se změnou jejich teploty i další vlastnosti oleje. Např. při kalení do oleje se na povrchu kalenného dílu napeče vrstvička spálených produktů oleje, přičemž její tloušťka působí jako tepelná izolace^{stěra}, bude závislá na složení a vlastnostech oleje.

Poznámka:

Uvedené závěry v odstavcích 4.1 a 4.2 v plném rozsahu platí pouze pro podmínky měření, tj. pro dané oleje, materiál a rozměry vzorků, teploty lázně, rychlosti a druh proudění lázně, počáteční teplotu vzorků a případně další.

Obecnější závěry je možno formulovat pouze pomocí obecnějších charakteristik sdílení tepla, kterými jsou závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorků.

5. Zobecnění výsledků měření a možnosti jejich praktického použití

Ke zobecnění výsledků měření jsou k dispozici průběhy teplot v několika místech středního průřezu vzorků z materiálu AKC 17 255 a průběhy povrchové teploty při ochlazování těchto vzorků, přičemž povrchová teplota byla určena způsobem, u něhož byla dokázána vhodnost použití pro technickou praxi s vyhovující přesností.

Jak již bylo ukázáno dříve (odstavec 1.2) na průběh teplotního pole ochlazovaného vzorku mají vliv jeho tepelně-fyzikální vlastnosti. Z těchto vlastností je to hlavně součinitel vedení tepla, který je jednak funkcí teploty a jednak je značně závislý na chemickém složení materiálu. Zatímco u konstrukčních ocelí, nejčastěji používaných ke kalení, se jeho hodnota pohybuje v rozmezí od 30 do 45 kcal/m h deg , pro zkušební vzorky, na nichž bylo provedeno měření průběhu teplot, činí jeho hodnota 16 až 20 kcal/m h deg .

Z toho plyne, že bezprostřední použití průběhů teplot získaných přímým měřením, na vzorky z jiného materiálu, může způsobit značnou odchylku od skutečnosti. Avšak na druhé straně přepočty těchto naměřených průběhů teplot na vzorky jiného složení, než byly vzorky zkušební, není jednoduchou záležitostí ani v tom případě, kdy ochlazení vzorku rozměrově shodného se zkušebním, proběhne při stejné závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku (tj. při stejné křivce varu). Křivka varu sama o sobě neříká nic o časovém průběhu teploty povrchu ochlazovaného vzorku. Při dané křivce varu je časový průběh teploty povrchu vzorku funkcí pouze jeho tepelně-fyzikálních vlastností a to nejvíce součinitele tepelné vodivosti. Tato skutečnost je

značnou překážkou v tom, aby mohla být zpracována pro praxi vhodná metoda přepočtu známých průběhů teplot naměřených na zkušebních vzorcích, na vzorky geometricky podobné o jiném chemickém složení.

Z tohoto důvodu je zobecnění výsledků měření provedeno na základě naměřených průběhů povrchové teploty (měření č. 85 až 138) .

5.1 Řešení teplotního pole neomezeného válce při nestacionárním sdílení tepla metodou vhodnou pro inženýrskou praxi

Řešit teplotní pole tělesa při nestacionárním sdílení tepla znamená řešit diferenciální rovnici vedení tepla pro příslušnou počáteční a okrajovou podmínku. Diferenciální rovnice pro třírozměrové vedení tepla se napíše ve tvaru [15], [17] :

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) = \alpha \cdot \nabla^2 t \quad (5-1),$$

kde

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$$

je Laplaceův operátor.

Pro případ jednorozměrového nestacionárního vedení tepla neomezeného válce se rovnice (5-1) nejčastěji vyjadřuje v cylindrických souřadnicích :

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} \right) \quad (5-2).$$

Při kalení se teplo z povrchu kaleného předmětu do lázně sdílí prouděním, což znamená, že při kalení platí okrajová podmínka 3.řádu, kterou lze vyjádřit ve tvaru :

$$\alpha \cdot (t - t_i) = \lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right) \quad (5-3).$$

Hledáme řešení rovnice (5-2) pro případ okrajové podmínky (5-3). Počáteční podmínka vyjadřuje teplotní pole v počátku děje. V našem případě je vyjádřena rovnoměrným prohřátím tělesa na výchozí teplotu t_0 . Pro tělesa jednoduchého tvaru, tedy i pro válec, existuje několik způsobů analytického řešení pomocí vyšší matematické analýsy. Tyto způsoby pro svoji složitost a náročnost na znalosti příslušné teorie nejsou určeny pro praktické použití. Slouží jako podklady pro zpracování metod řešení s použitím teorie podobnosti, což vede k sestavení tabulek, či nomogramů, vhodných již k použití v technické praxi. Dále jsou provedeny úpravy rovnic (5-2) a (5-3) zatím účelem, aby bylo ukázáno schema jejich řešení pomocí teorie podobnosti.

V rovnicích (5-2) a (5-3) namísto teploty t zavedeme poměrnou teplotu tím, že číselník obou rovnic podělíme rozdílem teplot počáteční teploty vzorku a teploty lázně ($t_0 - t_1$) a vzhledem k tomu, že tento rozdíl je konstantní, můžeme jej jednoduše zavést pod diferenciál. Rovnice (5-2) se přepíše do tvaru :

$$\frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial\tau} = \alpha \cdot \left[\frac{\partial^2\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial r} \right] \quad (5-4)$$

a rovněž tak rovnice (5-3) :

$$\alpha \cdot \frac{t - t_1}{t_0 - t_1} = \lambda \cdot \left[\frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial r} \right] \quad (5-5).$$

Dalšími úpravami se sleduje vytvořit taková seskupení nezávisle proměnných, aby tato vytvořila určující kriteria mající své místo při nestacionárním vedení tepla, pro danou okrajovou podmínku. Zatímto účelem jmenovatele rovnice (5-4) podělíme čtvercem poloměru válce R^2 a součinitel teplotové vodivosti převedeme na levou stranu, takže obdržíme ($\underline{R}$ a $\underline{\alpha}$

uvažujeme konstantní) :

$$\frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial\frac{\alpha\cdot\tau}{R^2}} = \frac{\partial^2\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial\frac{r^2}{R^2}} + \frac{2}{r} \frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial\frac{r}{R^2}} \quad (5-6)$$

a podobně jmenovatele rovnice (5-5) podělíme R a součinitel vedení tepla převedeme na levou stranu rovnice :

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{t-t_1}{t_0-t_1} = \frac{\partial\left(\frac{t}{t_0-t_1}\right)}{\partial\frac{r}{R}} \quad (5-7).$$

V obou rovnicích (5-6) a (5-7) nahradíme výraz $\frac{t}{t_0-t_1}$ výrazem totožným $\frac{t-t_1}{t_0-t_1}$ (neboť $t_1 = \text{konst.}$) a rovněž tak výraz $\frac{2}{r \cdot \partial\frac{r}{R^2}}$ nahradíme rovnocenným výrazem $\frac{1}{\partial\frac{r^2}{R^2}} = \frac{1}{\partial\left(\frac{r}{R}\right)^2}$.

Po této úpravě obdržíme :

$$\frac{\partial\left(\frac{t-t_1}{t_0-t_1}\right)}{\partial\left(\frac{\alpha\cdot\tau}{R^2}\right)} = \frac{\partial^2\left(\frac{t-t_1}{t_0-t_1}\right)}{\partial\left(\frac{r}{R}\right)^2} + \frac{\partial\left(\frac{t-t_1}{t_0-t_1}\right)}{\partial\left(\frac{r}{R}\right)^2} \quad (5-8)$$

a

$$\frac{\alpha\cdot R}{\lambda} \cdot \frac{t-t_1}{t_0-t_1} = \frac{\partial\left(\frac{t-t_1}{t_0-t_1}\right)}{\partial\left(\frac{r}{R}\right)} \quad (5-9)$$

Jednotlivá seskupení nezávisle proměnných označujeme :

$$\frac{\alpha\cdot R}{\lambda} = Bi \quad - \text{Biotovo číslo,}$$

$$\frac{\alpha\cdot\tau}{R^2} = Fo \quad - \text{Fourierovo číslo,}$$

$$\frac{r}{R} \quad - \text{je parametrické kritérium délkové a}$$

$$\left(\frac{t-t_1}{t_0-t_1}\right) = \vartheta \quad - \text{je parametrické kritérium teplotní.}$$

Zavedením těchto označení, rovnice (5-8) a (5-9) se přepíší do konečného tvaru :

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial (\frac{r}{R})^2} + \frac{\partial \vartheta}{\partial (\frac{r}{R})^2} \quad (5-10)$$

a

$$Bi \cdot \vartheta = \frac{\partial \vartheta}{\partial \frac{r}{R}} \quad (5-11).$$

Řešením rovnic (5-10) a (5-11) obdržíme ve funkcionální závislosti :

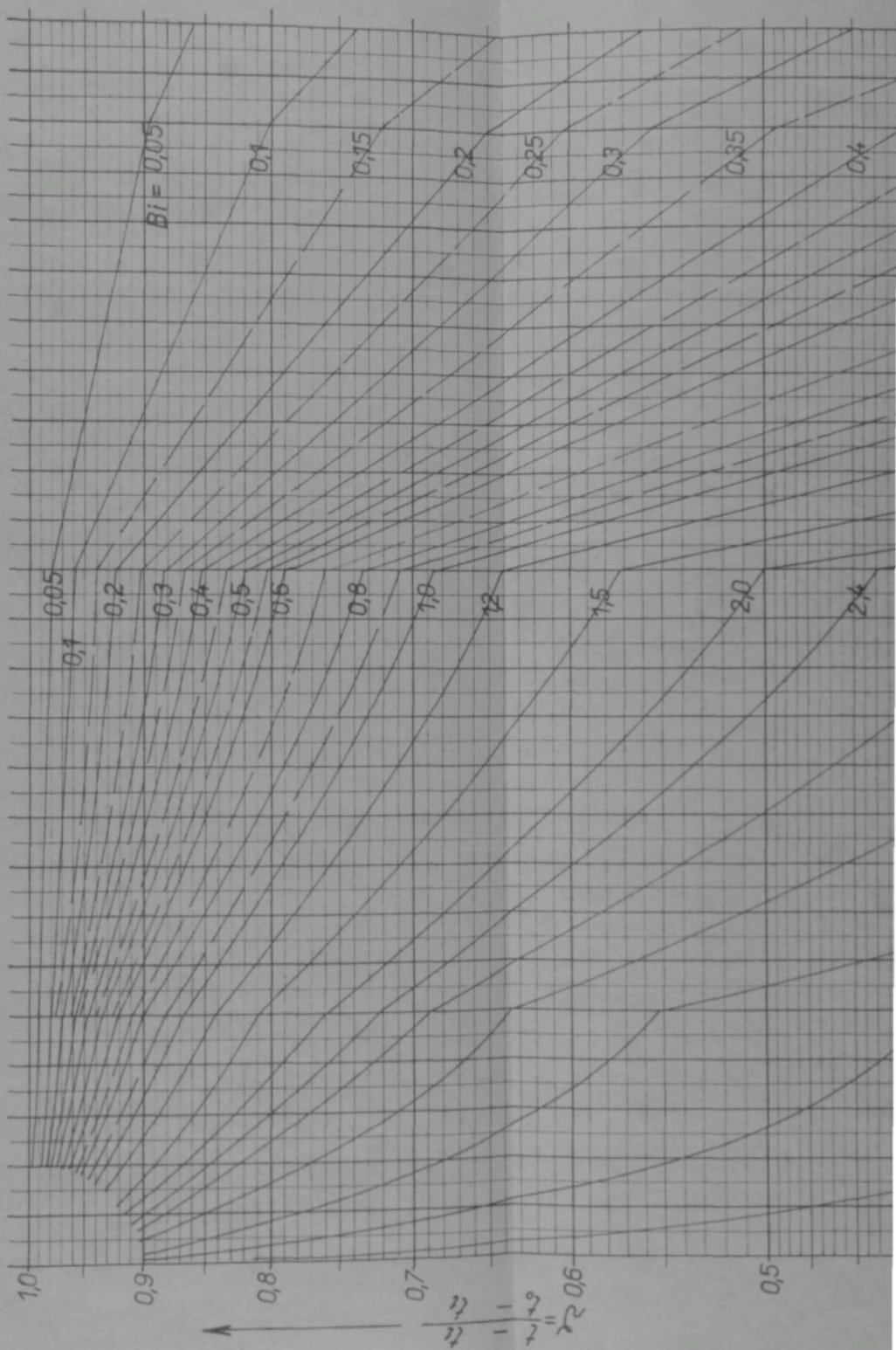
$$\vartheta = f(Fo; Bi; \frac{r}{R}) \quad (5-12)$$

což jest tvar vhodný ke zpracování pomocí diagramů nebo tabulek. Tabulky a diagramy se zpracovávají pro konkrétní poměr r/R a Bi . Tak jsou např. zpracovány pětimístné tabulky Rassela (převzato z [7]) pro hodnoty poměru $r/R = 0,0; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9$ a $1,0$ pro hodnoty Biotova čísla od $0,05$ do ∞ , uvedeny v příloze č. 10, tabulky XXXIII až XLVIII. Diagramy jsou pak zpracovány pro daný poměr r/R v souřadnicích $\vartheta - Fo$, přičemž hodnoty Biotova čísla tvoří v těchto souřadnicích soustavu lomených čar (zlom je způsoben změnou měřítka Fo) - viz obr. 35 a 36.

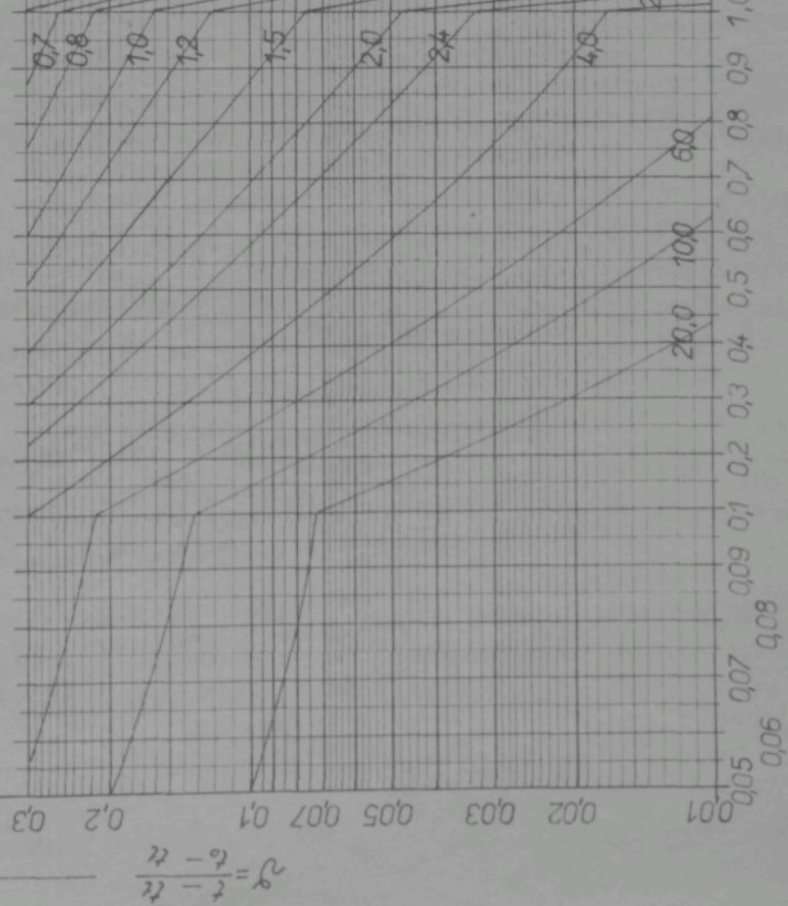
Pro neomezený váleček jsou tyto diagramy uvedeny v [26].

Hledanou teplotu v příslušném místě průřezu vzorku (místo je dáno poměrem r/R) určíme tak, že dle τ a r pro konkrétní podmínky (tj. pro dané $R, \alpha, \lambda, \alpha = f(t_p), t_0, t_z$) určíme hodnotu Fo a Bi a dle těchto z diagramu odečteme hodnotu ϑ . Z této pak určíme hledanou teplotu t .

Použití této metody je vázáno znalostí křivky varu $\alpha = f(t_p)$. Tato závislost se získá z měřeného průběhu teploty povrchu při ochlazení vzorku metodou popsanou v následujícím odstavci.



$\beta = f(F, Bi)$ pro povrch neomezeného válce
($r/R = 1,0$) .



$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{R^2}$$

5.2 Metoda určení křivky varu na základě naměřeného časového průběhu povrchové teploty vzorků při nestacionárním sdílení tepla při jeho ochlazení

kapitola

Z předchozích ~~kapitol~~ a odstavců zřetelně plyne důležitost křivek varu při řešení tepelných pochodů / procesu kalení. Existuje několik způsobů určení křivek varu, avšak ne všechny jsou vhodné k použití mimo rámec laboratorního sledování. Metoda, založená na měření časového průběhu povrchové teploty vzorku, není sice tak přesná, jako některé jiné metody, avšak tuto okolnost plně vyváží možnost jejího širšího použití hlavně v podmínkách seriové výroby, kde se výhledově počítá se zavedením řízeného, tj. plně ovládaného procesu kalení.

Přesnost v určení závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku při jeho ochlazení je jednoznačně závislá na přesnosti určení časového průběhu teploty povrchu vzorku, takže jak bylo dokázáno v odstavci 3.1.1 povrchovou teplotu lze stanovit pomocí termočlánku Ag-17 255 v provedení dle obr. 8c.

Navržená metoda spočívá v použití diagramů $\vartheta = f(Fo, Bi)$ pro poměr $r/R = 1,0$. Tento diagram je ve zvětšeném měřítku proveden dle [26] a přílohy č. 11 na obr. 35 a 36. Obr. 35 představuje oblast malých hodnot Fourierova čísla pro hodnoty parametrického teplotního kritéria $\vartheta = 0,3$ až $1,0$, obr. 36 představuje pak zbývající část diagramu.

Schema postupu určení součinitele přestupu tepla je následující :

- 1) známe: $R, \alpha, \lambda, t_0, t_1$ a časový průběh teploty povrchu vzorku $t_p = f(\tau)$;
- 2) pro jednotlivé hodnoty teploty povrchu t_p (jejich počet zvolíme podle toho, jak hustě chceme mít prokreslenou výslednou křivku) určíme hodnotu $Fo = \frac{\alpha \tau}{R^2}$ a $\vartheta = \frac{t_p - t_1}{t_0 - t_1}$;

- 3) dle F_0 a β najdeme v diagramu obr. 35 a 36 příslušnou hodnotu Bi ;
- 4) z definice Biotova čísla určíme hodnotu součinitele přestupu tepla $\alpha = Bi \cdot \frac{\lambda}{R}$, příslušející volené teplotě povrchu t_p ;

Poznámky:

- 1) Součinitel vedení tepla λ a součinitel teplotové vodivosti α jsou funkcemi teploty. Zanedbáme-li tuto závislost volbou jejich středních hodnot, výpočet se zjednoduší na úkor dosažené přesnosti;
- 2) výpočet křivky varu při uvažování závislosti λ a α na teplotě je možno provést dvěma způsoby. Pro určení příslušné hodnoty λ a α nutno znát závislosti $\lambda = f(t)$ a $\alpha = f(t)$ (neboť $\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho \cdot 3600}$), avšak tyto závislosti jsou vztaženy na střední objemovou teplotu vzorku. Střední objemovou teplotu vzorku možno určit takto :
 - a) měří-li se kromě průběhu povrchové teploty ještě průběhy teplot dalších míst průřezu vzorku, pak střední objemovou teplotu vzorku možno stanovit planimetrováním z grafického znázornění teplotního pole v čase příslušném dané teplotě povrchu ;
 - b) nebo s použitím diagramů $\beta = f(F_0, Bi)$ sestrojených pro střední teplotu v průřezu vzorku [26], což v případě neomezeného válce je teplota shodná se střední objemovou. Pro tuto operaci však již nutno znát závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu, takže řešení je možné postupným přiblížením.

Uvedenou metodou byly zpracovány závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorků, jež jsou znázorněny na obrázcích:

obr. 37 - pro vzorek V2, olej OL-J4 o teplotě 25 °C (dle měření č. 97, 98, 99 a 100),

- obr. 38 - pro vzorek V2, olej OL-J4 o teplotě 125 °C (dle měření č. 102, 103, 104 a 105),
- obr. 39 - pro vzorek V2, olej OVB-31 o teplotě 50 °C (dle měření 106, 107, 108 a 109),
- obr. 40 - pro vzorek V2, olej OVB-31 o teplotě 100 °C (dle měření č. 110, 111, 112 a 113),
- obr. 41 - pro vzorek V2, olej OVB-31 o teplotě 145 °C (dle měření č. 114, 115, 116 a 117),
- obr. 42 - pro vzorek V3, olej OL-J4 o teplotě 25 °C (dle měření č. 118, 119, 120 a 121),
- obr. 43 - pro vzorek V3, olej OVB-31 o teplotě 100 °C (dle měření č. 131, 132, 133 a 134).

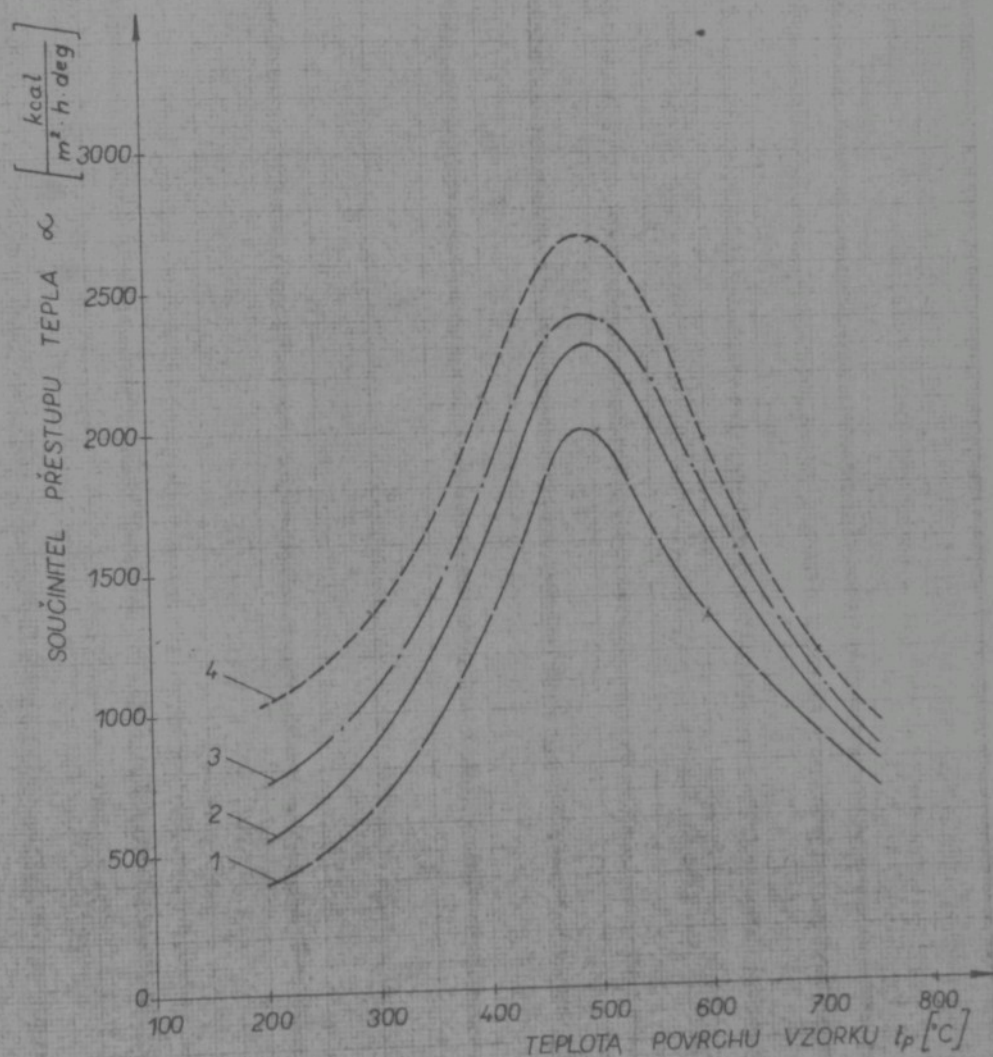
Ve všech případech bylo sledováno ochlazení vzorků z teploty 780 °C při rychlostech proudění kalící lázně od 0 do 1,0 m/s, pro teploty kalící lázně 25 až 145 °C .

Průběhy závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku potvrzují správnost závěrů formulovaných v odstavcích 4.1 a 4.2, vztažených k povrchové teplotě. Tyto závěry možno doplnit hodnotou teploty, u níž dosahuje součinitel přestupu tepla svého maxima. U oleje OL-J4 je to při teplotě povrchu 470 až 490 °C a u oleje OVB-31 při teplotě povrchu 560 až 580 °C .

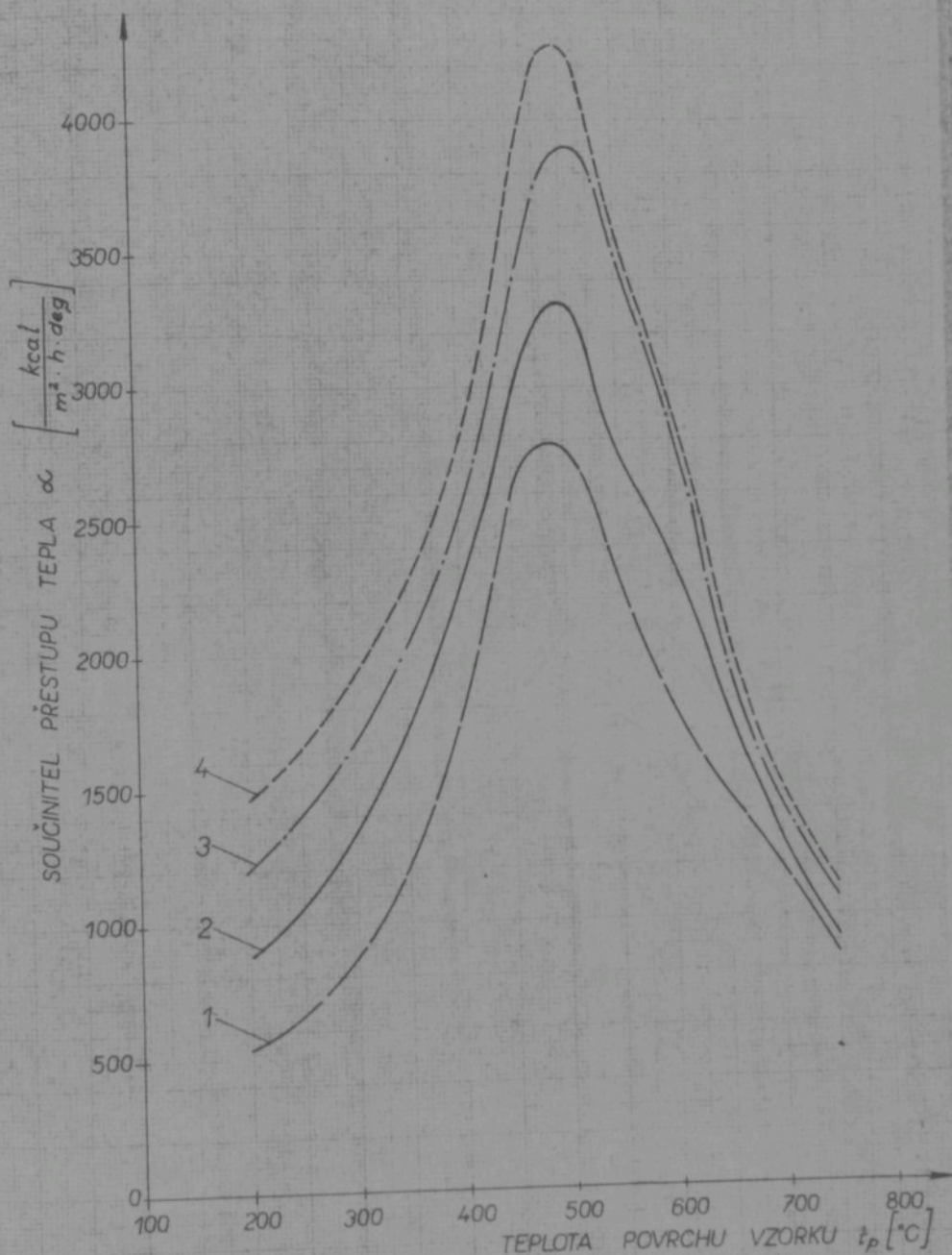
Výpočty závislosti $\alpha = f(t_p)$ byly provedeny pro konstantní hodnoty součinitele vedení tepla a součinitele teplotové vodivosti.

Přesné stanovení těchto závislostí není ovšem možné vzhledem k tomu, že :

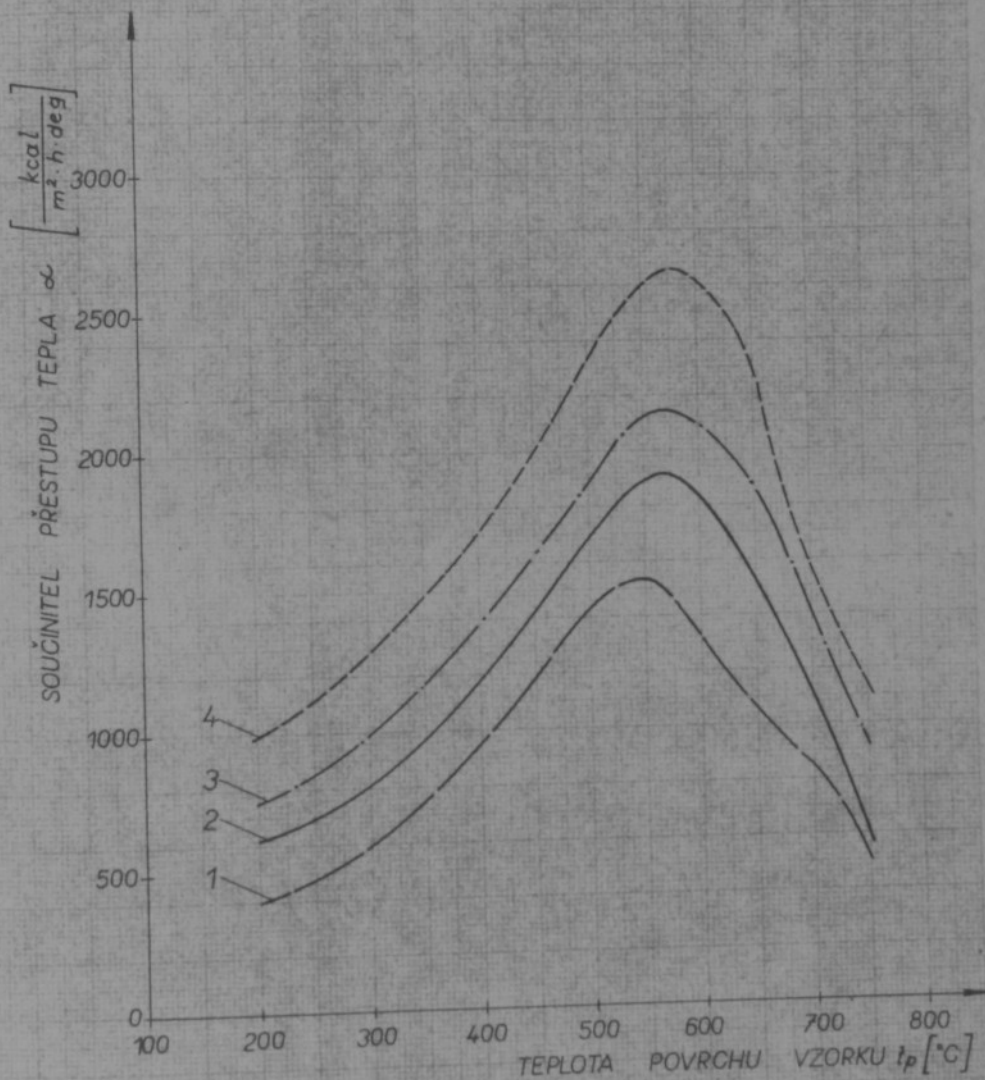
- 1) povrchová teplota vykazuje rozptyl měření, který je poměrně velký v oblasti nestabilního filmového varu,
- 2) nelze zaručit odchylku v přesnosti určení teploty povrchu danou metodou od skutečné teploty.



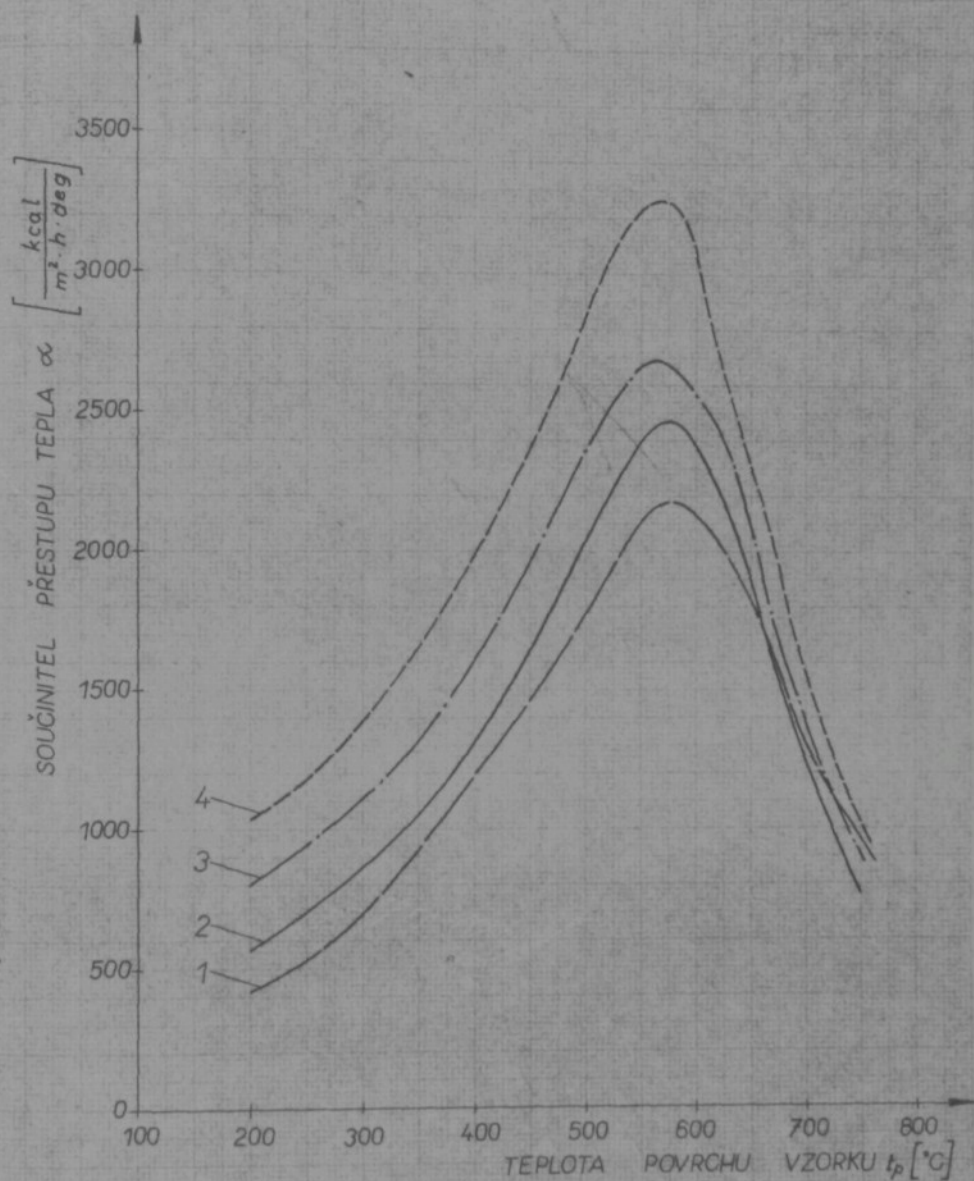
Obr. 37 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji OL-J4 o teplotě 25 °C při rychlosti proudění : 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,2 m/s, 3 - 0,49 m/s, 4 - 1,0 m/s.



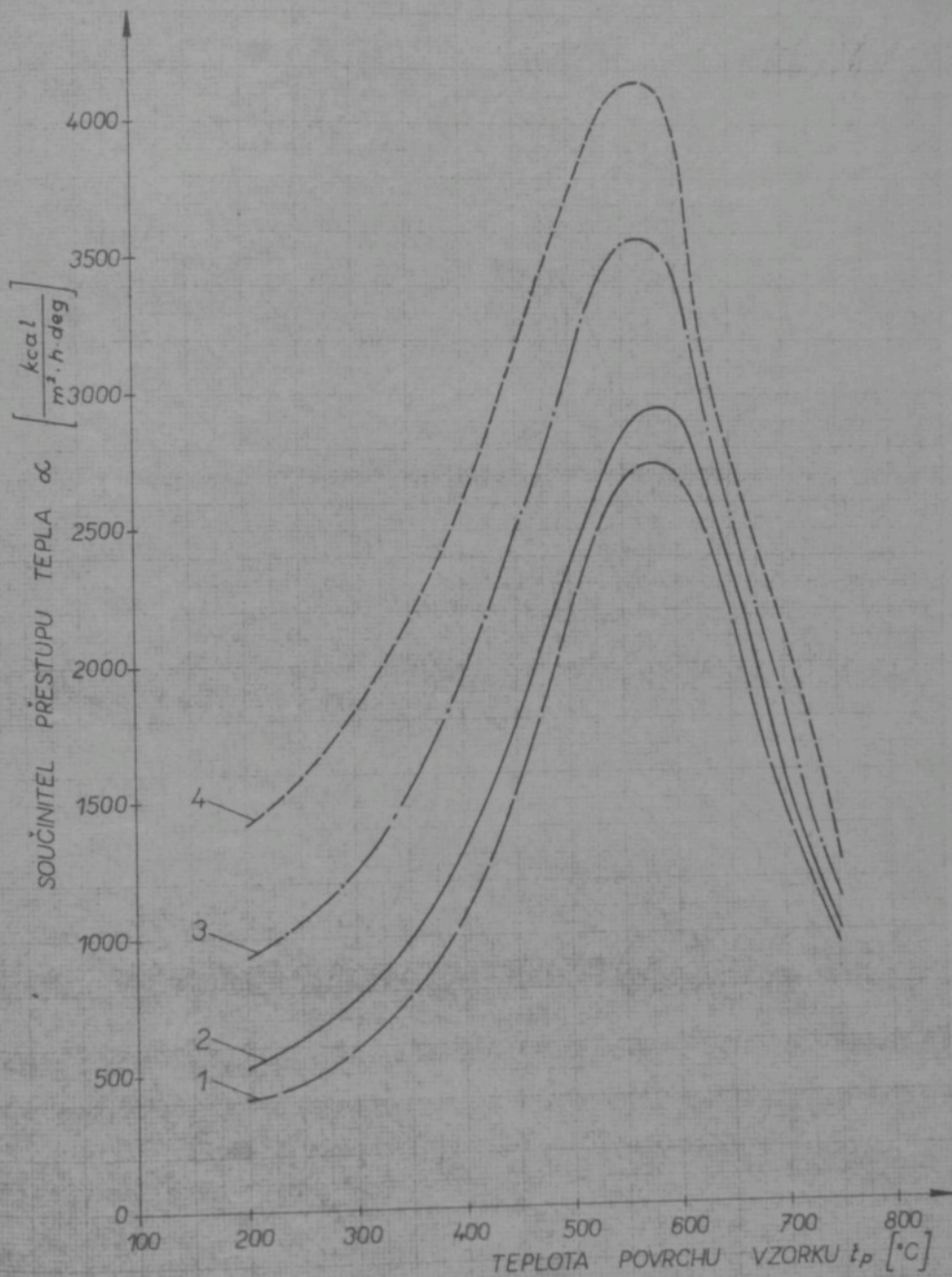
Obr. 38 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji OL-J4 o teplotě 125 °C při rychlosti proudění : 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,192 m/s, 3 - 0,47 m/s, 4 - 0,96 m/s.



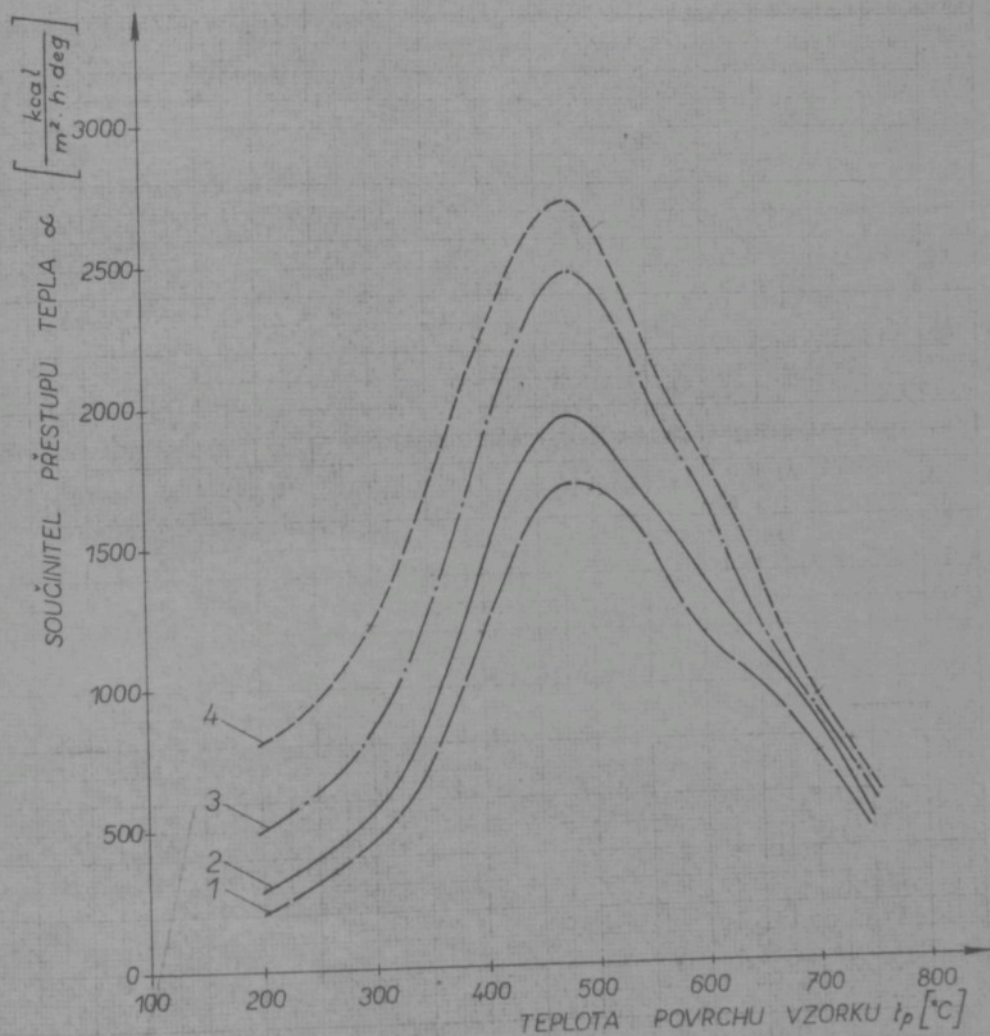
Obr. 39 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji OVB-31 o teplotě 50 °C při rychlosti proudění: 1 - klidová kalcí lázen, 2 - 0,202 m/s, 3 - 0,495 m/s, 4 - 1,01 m/s.



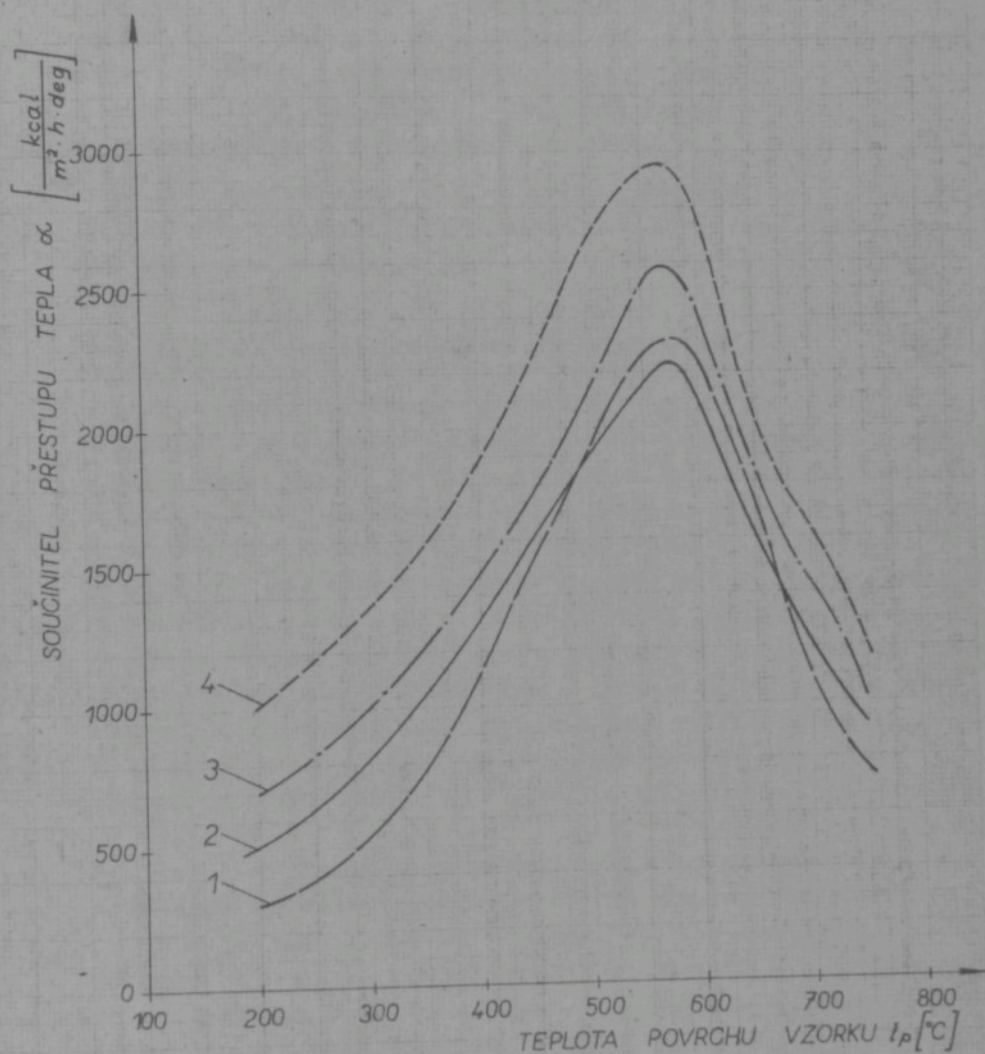
Obr. 40 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780°C v oleji OVB-31 o teplotě 100 °C při rychlosti proudění : 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,197 m/s, 3 - 0,485 m/s, 4 - 0,99 m/s.



Obr. 41 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V2 při jeho ochlazení z teploty 780 $^{\circ}\text{C}$ v oleji OVB-31 o teplotě 145 $^{\circ}\text{C}$ při rychlosti proudění: 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,197 m/s, 3 - 0,485 m/s, 4 - 0,99 m/s.



Obr. 42 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji OL-J4 o teplotě 25 °C při rychlosti proudění: 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,21 m/s., 3 - 0,558 m/s, 4 - 1,02 m/s



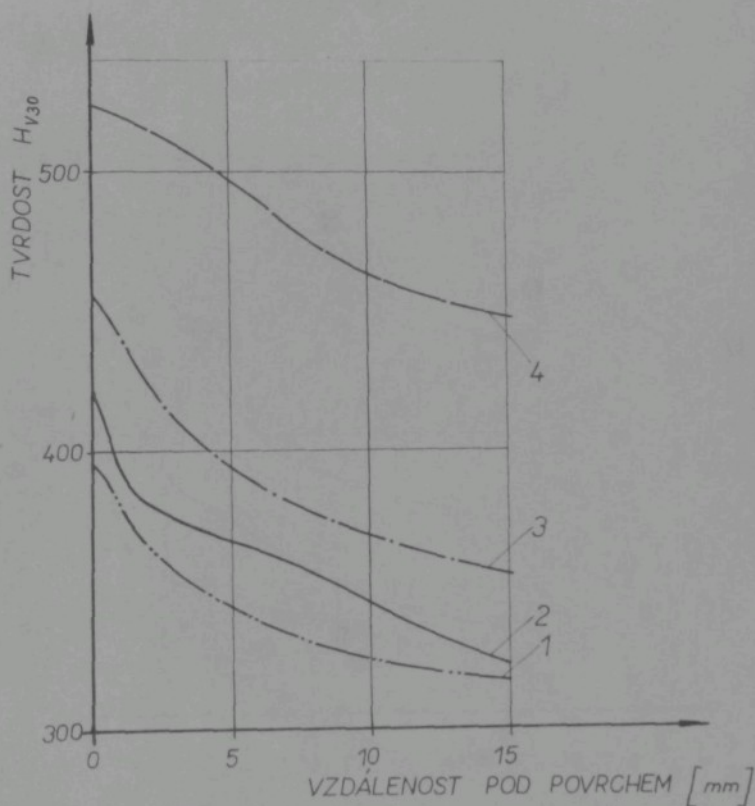
Obr. 43 - Závislost součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku V3 při jeho ochlazení z teploty 780 °C v oleji CVB-31 o teplotě 100 °C při rychlosti proudění: 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,205 m/s, 3 - 0,55 m/s, 4 - 1,0 m/s.

Provede-li se porovnání získaných závislostí s velmi kulsými údaji v literatuře, možno soudit, že závislosti vcelku dobře vyhovují, což znamená, že pro technickou praxi je lze plně doporučit. Jistě by bylo účelné propracování přesnější metody k určení závislosti $\alpha = f(\dot{\epsilon}_p)$, avšak tato otázka je velmi náročná a nebyla uvažována v programu této práce.

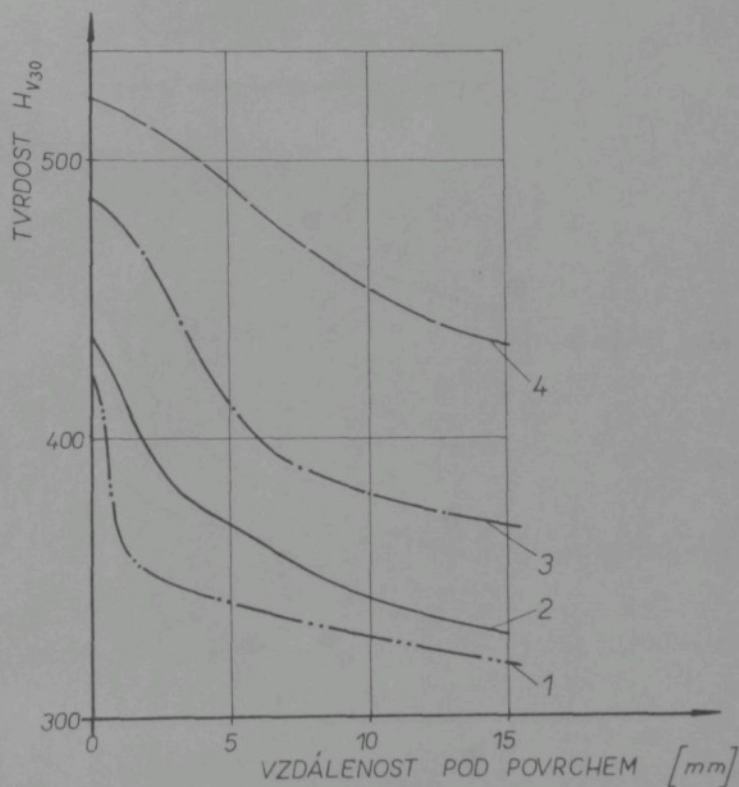
Přes uvedené nedostatky je třeba podotknout, že v dostupné literatuře se neneschází vůbec závislosti $\alpha = f(\dot{\epsilon}_p)$ zpracované pro různé rychlosti uspořádaného proudění olejové kalící lázně.

5.3 Praktické použití zobecnění výsledků měření

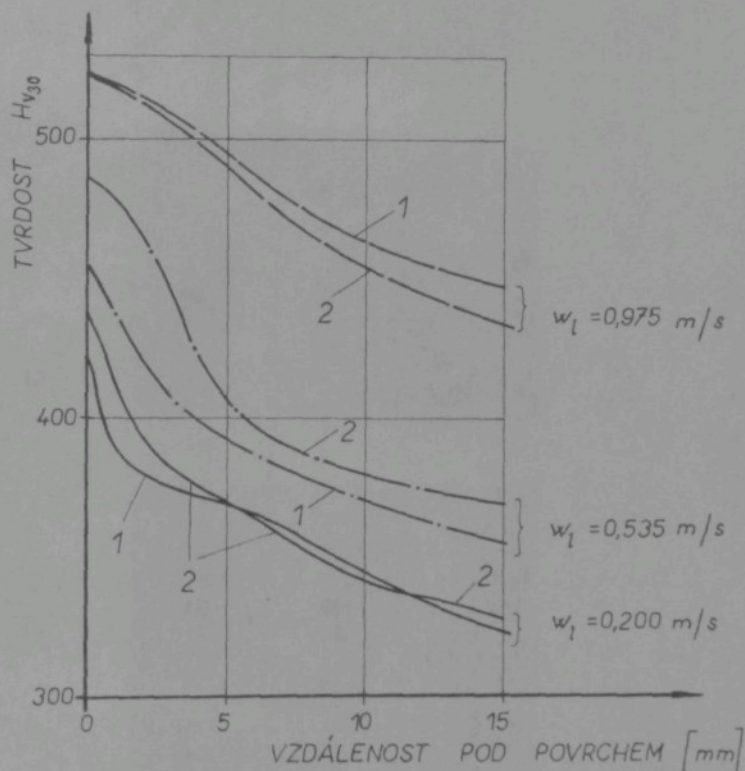
V kapitole 4. odstavcích 4.1 a 4.2 byly formulovány závěry k rychlosti ochlazování vzorků v závislosti na různých parametrech kalící lázně. Vzniká otázka, na kolik se tyto závěry mohou aplikovat na případy praktického kalení. Přitom je třeba upozornit, že úkolem této kapitoly není dát široký přehled o praktickém použití výsledků studia tepelných pochodů při kalení se zřetelem na vlastnosti širokého sortimentu kaleného materiálu. Cílem je ověřit možnost aplikace závěrů kapitoly 4. a navržené metody určení součinitele přestupu tepla v závislosti na teplotě povrchu vzorku. K tomuto účelu byly zakaleny válcové vzorky o $\varnothing$ 30 mm z materiálu 15 241, jehož laboratorně ověřené chemické složení je následující : C = 0,52 %, Mn = 0,67 %, Si = 0,14 %, Cr = 1,82 %, V = 0,32 %, Ni = 0,21 %, P = 0,026 %, S = 0,021 %. Byly proměřeny tvrdosti po průřezu a ve dvou případech proveden metalografický rozbor. Výsledky těchto zkoušek jsou znázorněny na obrázcích obr. 44 až 48. Na obr. 44 jsou závislosti tvrdosti po průřezu pro vzorky zakalené v oleji OL-J4 a teplotě 25°C při různých jeho rychlostech proudění. Na obr. 45 jsou tytéž závislosti pro vzorky kalené v oleji OL-J4 o teplotě 75 °C a na obr. 46 je provedeno porovnání tvrdosti po průřezu vzorků pro shodné rychlosti proudění lázně, avšak pro různou její teplotu. Na obr. 47 jsou fotografie mikrostruktury v místech : A - asi 3mm



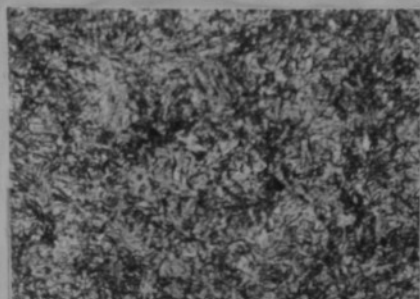
Obr. 44 - Tvrdost H_{V30} po průřezu válcových vzorků $\varnothing 30$ mm z materiálu 15 241 kalených do oleje OL-J4 o teplotě 25°C a rychlostech proudění : 1 - klidové kalici lázeň, 2 - 0,21 m/s, 3 - 0,558 m/s, 4 - 1,02 m/s .



Obr. 45 - Tvrdost H_{V30} po průřezu válcových vzorků $\varnothing 30$ mm z materiálu 15 241 kalených do oleje OL-J4 o teplotě 75°C s rychlostech proudění : 1 - klidová kalící lázeň, 2 - 0,2 m/s, 3 - 0,535 m/s, 4 - 0,975 m/s.



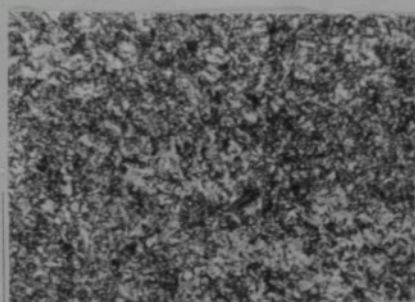
Obr. 46 - Porovnání tvrdosti H_{V30} po průřezu válcových vzorků $\varnothing 30 \text{ mm}$ z materiálu 15 241 kalených do oleje OL-J4 při shodných rychlostech proudění s různých teplotách lázně : 1 - 25°C , 2 - 75°C .



A

Nitinol

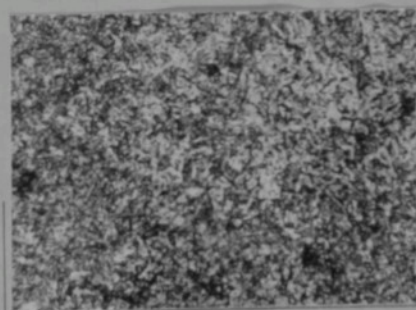
500x



B

Nitinol

500x

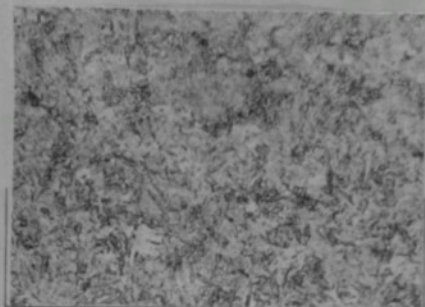


R

Nitinol

500x

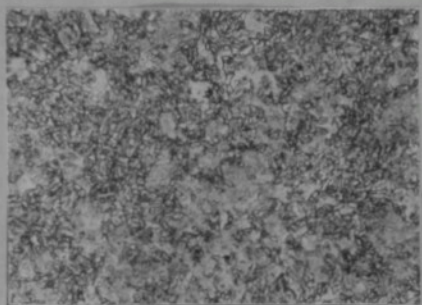
Obr. 47 - Fotografie mikrostruktury vzorku Ø 30 mm z materiálu 15 241 kaleného v oleji OL-J4 o teplotě 25°C a rychlosti proudění 0,558 m/s v místech : A - 3 mm pod povrchem, B - ve vzdálenosti R/2, R - v ose vzorku.



A

Nitel

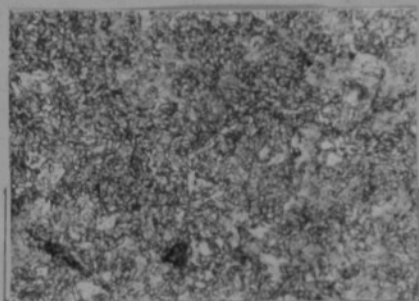
500x



B

Nitel

500x



R

Nitel

500x

Obr. 48 - Fotografie mikrostruktury vzorku $\varnothing 30$ mm z materiálu 15 241 kaleného v oleji OL-J4 o teplotě 75 °C a rychlosti proudění 0,535 m/s v místech : A - 3 mm pod povrchem, B - ve vzdálenosti R/2, R - v ose vzorku.

pod povrchem, B - ve vzdálenosti $R/2$ pod povrchem a R - v ose vzorku kaleného v oleji OL-J4 o teplotě 25°C a rychlosti proudění $0,558\text{ m/s}$ a na obr. 48 jsou fotografie mikrostruktury v těchto místech vzorku kaleného v oleji OL-J4 o teplotě 75°C a rychlosti proudění $0,535\text{ m/s}$.

Z obrázků 44 a 45 je patrné potvrzení závěrů formulovaných v odstavci 4.1, neboť :

- 1) s růstem rychlosti proudění roste tvrdost výsledné struktury po zakalení vzorku a rovněž tak roste prokalitelnost (křivky tvrdosti po průřezu s rostoucí rychlostí proudění lázně mají k ose úseček menší sklon, což je zvláště výrazné u křivky č. 4) ;
 - 2) při kalení do klidové lázně je výsledná tvrdost velmi blízká tvrdosti odpovídající kalení do lázně proudící rychlostí $0,2\text{ m/s}$, přičemž jsou zde patrné vlivy subjektivního činitele (dvě údobí procesu kalení do klidové lázně) ;
 - 3) srovnání křivek 2, 3 a 4 potvrzuje část závěru 6 v odstavci 4.1 ve vztahu k oblasti martensitické přeměny. Je možno předpokládat, že vliv rychlosti proudění lázně kvalitativně bude stejný pro všechny kalené materiály ve vztahu k výsledné struktuře, tj. s růstem rychlosti proudění poroste tvrdost výsledné struktury a neopak, avšak kvantitativně se zřejmě projeví u každého materiálu jinak vzhledem k jejich různým teplotám počátku martensitické přeměny.
- Rovněž tak obr. 46 potvrzuje závěry z odstavce 4.2, neboť: pro daný materiál se vliv teploty lázně ^{ak "amoc"} z 25°C na 75°C neprojevuje zvláště výrazně, i když je možno říci, že právě teplota lázně bude příliš ovlivňovat výslednou strukturu různých kalených materiálů v důsledku jejich různé teploty počátku martensitické přeměny.

Dalším potvrzením správnosti těchto závěrů (odstavce 4.1 a 4.2) je sledování struktury po zakalení. Porovnejme

předpokládanou strukturu, kterou bychom měli obdržet po zekalení daného vzorku v lázni o zcela určitých parametrech, tj. teplotě a rychlosti proudění, se strukturou obdrženou metalografickým rozbořem - viz obr. 47 a 48. Za tímto účelem byly na základě známého průběhu povrchové teploty vypočteny příslušné závislosti $\alpha = f(\xi, \rho)$ (metodou, zpracovanou v odstavcích 5.1 a 5.2), a na základě těchto vypočteny průběhy teplot pro vzorek o $\varnothing$ 30 mm z materiálu 15 241 v místech:

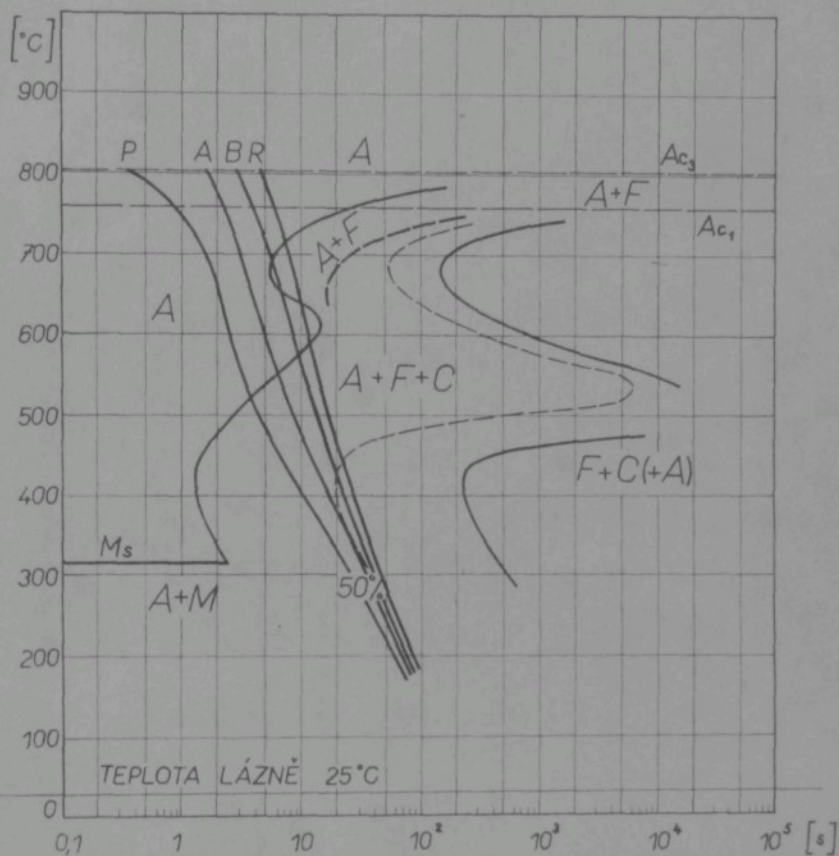
- a) na povrchu,
- b) 3 mm pod povrchem,
- c) ve vzdálenosti $R/2$ pod povrchem a
- d) v ose vzorku.

(Poznámka: při výpočtu teplotních průběhů vzorku bylo uvažováno $\lambda = \text{konst}$ a nebylo bráno na zřetel překryštalizační teplo při změně A_{c1}).

Takto vypočtené průběhy jsou pak transformovány do diagramu IRA příslušného materiálu přejatého z [12], viz obr. 49 a 50.

Pro ověření správnosti vypočtených průběhů teplot dle obr. 50 byla provedena samostatná zkouška. Z materiálu 15 241 byl zhotoven zkušební vzorek o $\varnothing$ 30 mm a v místech B a R zabudovány termočlánky. Při ochlazení vzorku z kalící teploty byly průběhy teplot v těchto místech zaregistrovány. Výsledné průběhy teplot jsou pak transformovány do diagramu IRA, viz obr. 51. Na těchto křivkách je zřetelná prodleva při teplotě asi 670 °C, která je způsobena vlivem překryštalizace odpovídající změně A_{c1} , přičemž je zde patrná značná termická hystereze způsobená velkou rychlostí ochlazování. Srovnáním odpovídajících průběhů teplot dle obr. 50 a 51 možno soudit na přesnost výpočtu provedeného popsaným způsobem. Ze srovnání plyne, že přesnost výpočtu je pro praktické účely plně vyhovující.

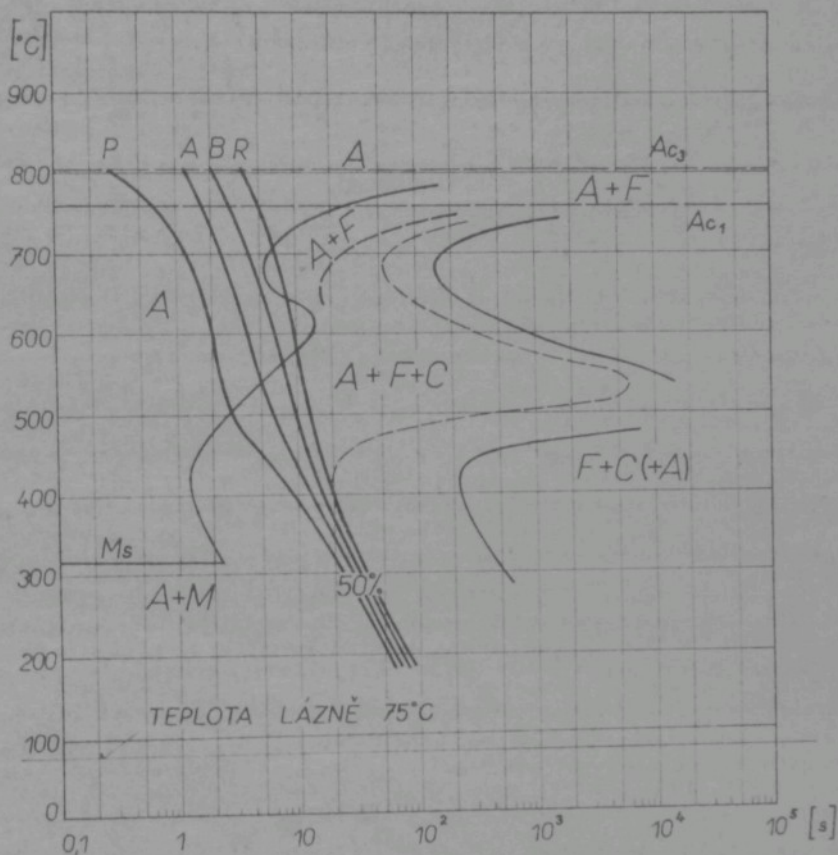
Z obrázků 49 až 51 lze odhadnout, že výsledná struktura zekaleného vzorku v lázni o teplotě 25 °C bude obsahovat v místě



AUSTENITIZACE	TEPLOTA	870°C
	DOBA	15 min
VELIKOST ZRNA		9

Ac ₃	802±8°C
Ac ₁	758±5°C
Ms	315±8°C

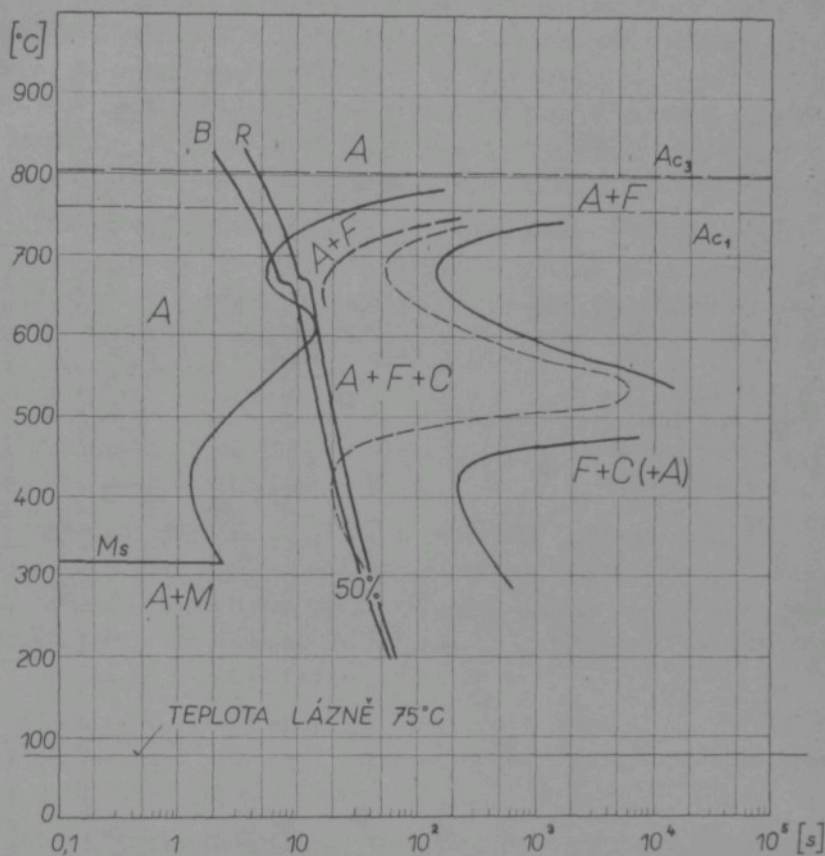
Obr. 49 - Transformované průběhy teplot do diagramu IRA pro vzorek Ø 30 mm z materiálu 15 241 při jeho ochlazení z teploty 870 °C v oleji OL-J4 o teplotě 25 °C a rychlosti proudění 0,558 m/s v místech : P - povrch, A - 3 mm pod povrchem, B - ve vzdálenosti R/2 a R - v ose vzorku.



AUSTENITIZACE	TEPLOTA	870°C
	DOBA	15 min
VELIKOST ZRNA		9

Ac ₃	802 ± 8°C
Ac ₁	758 ± 5°C
Ms	315 ± 8°C

Obr. 50 - Transformované průběhy teplot do diagramu IRTA pro vzorek Ø 30 mm z materiálu 15 241 při jeho ochlazení z teploty 870 °C v oleji OL-J4 o teplotě 75 °C a rychlosti proudění 0,535 m/s v místech : P - povrch, A - 3 mm pod povrchem, B - ve vzdálenosti R/2 a R - v ose vzorku.



AUSTENI- TIZACE	TEPLOTA	870°C
	DOBA	15 min
VELIKOST ZRNA		9

A_{c3}	802 ± 8°C
A_{c1}	758 ± 5°C
M_s	315 ± 8°C

Obr. 51 - Transformované průběhy teplot do diagramu IRA, získané přímým měřením na vzorku Ø 30 mm z materiálu 15 241 při jeho ochlazení v oleji OL-J4 o teplotě 75 °C a rychlosti proudění 0,535 m/s v místech: B - ve vzdálenosti R/2, R - v ose vzorku.

B a R malé množství feritu a kolem 45 % martensitu v jádře vzorku a kolem 60 % na jeho povrchu. Rovněž tak výsledná struktura zakaleného vzorku v lázni o teplotě 75 °C bude obsahovat v jádře vzorku (dle naměřeného průběhu také v místě B) malé množství feritu a kolem 50 % martensitu v jádře a kolem 60 % na jeho povrchu. (Tento odhad je proveden pro hodnotu teploty M_s).

Pro porovnání těchto odhadů byl proveden metalografický rozbor, který dává procentové složení výsledné struktury v uspokojivé shodě s odhadem provedeným na základě transformovaných průběhů teplot do diagramu IRA, což je zřejmé i z obrázků obr. 47 a obr. 48.

Metalografické vyhodnocení rovněž potvrzuje vcelku malý vliv teploty olejové lázně v rozsahu teplot od 25 do 75 °C na výslednou kvalitu kalených vzorků.

Závěrem této části je možno zhodnotit možnost ovládnutí procesu kalení. Tím je rozuměno nastavení takových podmínek ochlazování kalených součástí, aby bylo dosaženo předem požadované výsledné struktury. Je zřejmé, že takováto možnost existuje, je však podmíněna těmito požadavky :

- 1) proces ochlazování musí být řízen, což znamená, že kalicí lázeň se musí pohybovat jednoznačně uspořádaným nuceným proudem;
- 2) dále je třeba mít možnost teoretického rozboru tepelných pochodů, aby bylo možno volit vhodnou teplotu lázně a rychlost jejího proudění ještě před běžnými kalicími zkouškami. Přitom řešení teplotních průběhů sledovaných vzorků je třeba provést pro provozní podmínky kalení. Tak např. je třeba mít na zřeteli, že hodnota součinitele přestupu tepla je v oblasti čisté konvekce závislá, mimo jiné, na charakteristickém rozměru, dále, že rychlost ochlazování je rozdílná pro samostatný vzorek a pro svazek vzorků, neboť je tím ovlivněn charakter proudění spod. Je však třeba zdůraznit, že současný stav znalostí podkladů pro řešení tepelných pochodů zdaleka nedává

možnost uspokojivého řešení.

Jako náměty pro další výzkum k prohloubení znalosti podmínek při kalení by bylo možno uvést v ČSSR dosud buď vůbec neřešené, nebo jen částečně řešené otázky jako :

- a) tepelně-fyzikální vlastnosti olejů vhodných pro tepelné zpracování ocelí;
- b) tepelně-fyzikální vlastnosti ocelí;
- c) vypracování metody přímého měření teploty povrchu vhodné pro použití při kalení z teplot až 900 °C (případně i vyšší);
- d) sledování tepelných pochodů jednak u vzorků různých tvarů, jednak při jejich různém prostorovém uspořádání ve svazku, na různých přípravcích; sledovat případně i vhodnější uspořádání celé vsázky;
- e) současné provádění i metalografického zhodnocení vlivu vnějších podmínek kalení při uspořádaném proudění lázně;
- f) navrhnout zkušební zařízení, které by umožňovalo dostatečně přesně sledovat ochlazování vzorků při různých podmínkách kalení, případně při různém jejich uspořádání.

- 3) Neméně důležitým požadavkem je i samotné zařízení, které musí umožňovat řízený proces kalení. Naprosto k tomu nestačí pouhá kalicí vana. Jako příklad takového zařízení může sloužit zařízení dle [5], které se v provozu plně osvědčilo. Jeho významem je kalení celé vsázky v intenzifikovaném proudu oleje.

Z á v ě r

Předložená kandidátská práce se zabývá výzkumem tepelných pochodů při kalení do oleje se zvláštním zřetelem v řízeném proudu oleje. Rychlost ochlazování byla sledována na vzorcích válcového tvaru různých průměrů při jejich podélném obtékání nuceným proudem oleje ve svislé kruhové kalici vaně. Volba nuceného uspořádaného proudění kalicí lázně sledovala objasnění podmínek k ovládnutí procesu kalení. Z těchto podmínek je nejdůležitější teplota lázně a rychlost jejího proudění. Tím je možné splnit požadavky na kvalitu výsledné struktury materiálu po jeho zekalení volbou vhodné rychlosti ochlazování.

Zkušební vzorky byly zhotoveny z austenitické oceli AKC 17 255. Průběhy teplot byly měřeny na povrchu vzorků, 1 až 3 mm pod povrchem, ve vzdálenosti $R/2$ a v ose. Pro zkoušky byly vybrány dva druhy olejů pro kalici lázeň: ložiskový olej OL-J4 a válcový olej OVE-31. Tvar zkušebních vzorků a způsob obtékání vzorků olejem byl volen na základě provozních zkušeností z n.p. LIAZ Rýnovice, kde již několik let pracuje v provozu zařízení pro kalení průtočným principem [5]. Zařízení pracuje s vysokou produktivitou jako ojedinelé zařízení tohoto druhu v naší republice a bylo vyprojektováno pracovníky ústavu termomechaniky (VŠST Liberec) pod vedením prof. Ing. Dr. Karla Sýkory.

Sledování tepelných pochodů při nuceném podélném proudění kalicí lázně nebylo dosud ani ve výzkumných ústavech, ani v praxi věnováno příslušná pozornost.

Rychlost ochlazování kalených vzorků je podmíněna sdílením tepla na rozhraní povrchu vzorku a kalicí lázně. Proto je velmi důležité získat průběh povrchové teploty vzorků při jejich ochlazování. Přímé měření povrchové teploty při kalení, kdy dochází ke značným změnám teploty, je technicky

velmi náročné.

V kandidátské práci je proveden podrobný rozbor známých způsobů přímého měření povrchové teploty a je zdůvodněno použití nejvhodnějšího způsobu. Měřicí technice teplot uvnitř vzorků byla rovněž věnována značná pozornost a použitím miniaturních termočlánků bylo docíleno toho, že homogenita vzorků byla narušena pokud možná co nejméně.

Na základě experimentálního sledování průběhů teplot při ochlazování vzorků v olejové lázni při různých teplotách a rychlostech proudění lázně byl formulován vliv rychlosti proudění lázně a vliv její teploty na rychlost ochlazování vzorků.

Výsledky experimentů ukazují, že má-li se ovládnout proces kalení je nutné volit nucený uspořádaný pohyb kalící lázně vůči kalenému předmětu. Řízením teploty a rychlosti proudění lázně je pak možno řídit samotný proces ochlazování kalených dílů a tím i jejich kvalitu po zkalení. Tyto závěry jsou podrobně zpracovány z hlediska tepelných pochodů a potvrzeny metalografickými zkouškami na vzorcích z materiálu 15 241.

V práci je provedeno také analytické řešení teplotního pole válcového vzorku při jeho ochlazování v oleji. Pro určení nezbytné závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu vzorku $[\alpha = f(t_p)]$ je vypracována metoda, založená na využití naměřených průběhů teploty povrchu. Dle této závislosti pak je možno analyticky řešit průběhy teplot v kterémkoliv místě průřezu zkoumaného tělesa. Takto získané průběhy teplot je možno transformovat do diagramů IRA nebo ARA daného materiálu a z těchto předběžně určit výslednou strukturu po zkalení, případně odvodit opravu parametrů kalící lázně (teplota a rychlost proudění), je-li výsledek neuspokojivý.

V rámci předložené práce byl řešen pro jednoduchost a zvládnutí analytického řešení případ samostatného válce, což v praxi bývá splněno málo kdy. Výsledky zkoušek mohou však

být v mnoha směrech aplikovány na další případy. V první řadě je možno aplikovat způsob měření teploty povrchu, metodu určení závislosti součinitele přestupu tepla na teplotě povrchu a tím i analytické řešení teplotního pole kalených dílů.

Červen 1966

Hynář

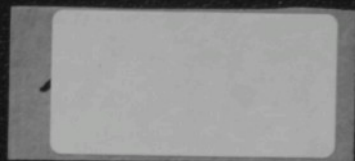
Literatura

- [1] CZOKÁN, P. - BERÁN, L. - ALBRECHT, G.: Abschrecken in strömendem Mineralöl unter Druck. - "Stahl und Eisen," 79, 1959, č. 2, s. 102 - 104.
- [2] ČIRKIN, V. S.: Teplofizičeskije svojstva materialov. Moskva, Fizmatgiz 1959. 356 s.
- [3] EKKERT, E. R. - DREJK, R. M.: Teorija teplo i masso-obmena. Moskva, Gosenergoizdat 1961. 679 s.
- [4] EILENDER, W. - AREND, H. - MINTROP, R.: Ueber die Abschreckwirkung von Härtemitteln in Abhängigkeit vom Querschnitt. = "Fertigungstechnik," 8, August 1944, s. 208 - 212.
- [5] HYNČICA, V.: Návrh zařízení pro kalení do horkého oleje průtočným principem. Zpráva č. 62 - 102, VŠST Liberec, Ústav termomechaniky, 1962. 23 s.
- [6] HYNČICA, V.: Písemná práce k aspirantskému minimu. VŠST Liberec, 1965. 52 s.
- [7] IVANCOV, G. P.: Nagrev matala. Moskva, Metallurgizdat 1948. 187 s.
- [8] JAREŠ, V.: Metalografie ocele. Praha, ČSAV 1960. 275 s.
- [9] BENZINA, n. p. Praha. Katalog pohonných látek, maziv a jiných výrobků z ropy. 1961. 94 s.
- [10] KRAUS, K.: Zvyšování ochlazovací schopnosti kalících olejů ultrazvukem. = "Hutník" 8, č. 1, s. 32 - 33. (Vychází z původní literatury:

BULAT, T.J.: "Iron Age", č.9, 1956/

- [11] KRAUS, V.: Výzkumná zpráva SVÚMT č. Z - 57 - 560. 1958. (Také: Doplnky k překladu publikace [20]).
- [12] KRAUS, V.: Atlas diagramů pro zušlechťování konstrukčních ocelí. Praha, SNTL 1964. 171 s.
- [13] KONDRATJEV, G.M.: Reguljarnyj teplovoj režim. Moskva, Gosudarstvennoje izdatelstvo tehniko- teoretičeskoj literatury, 1954. 408 s.
- [14] KUTATELADZE, Š.S.: Osnovy teorii teploobmena. 2. vydání. Moskva, Mašgiz 1962. 455 s.
- [15] LYKOV, A.V.: Teorija teploprovodnosti. Moskva, Gosudarstvennoje izdatelstvo tehniko- teoretičeskoj literatury, 1952. 392 s.
- [16] MAK ADAMS, V.CH.: Teploperedača. Moskva, Metalurgizdat, 1961. 686 s.
- [17] MICHEJEV, M.A.: Základy sdílení tepla. Praha, SNTL 1953. 382 s.
- [18] MICHEJEV, M.A.: Srednij koefficient teplootdači pri dviženiji židkosti v kanalach. =In: "Teploperedača i teplovoje modelirovanije." Sbornik AN SSSR. Moskva, 1959, s. 122-138.
- [19] OSIPOVA, V.A.: Eksperimentalnoje issledovanije processov teploobmena. Moskva, Izdatelstvo "Energija" 1964. 327 s.
- [20] PETRAŠ, L.V.: Kalicí prostředí pro tepelné zpracování kovů. Praha, SNTL 1962. 177 s.
- [21] PIŠEK, F.: Nauka o materiálu I. Praha, ČSAV 1957. 754 s.

- [22] PROPELLER - AGITATED QUENCHING. = "American Machinist," 99, 1955, July 8, s. 143, 145, 147, July 8, s. 148, s. 155, 157, 159, August 8, s. 121, 131.
- [23] STOLZ, G. - ... : Thermal considerations in oil quenching. - "Journal of the Iron and Steel Institute," 193, October 1959, č. 2, s. 116 - 123.
- [24] SÝKORA, K.: Základy sdílení tepla. (Skriptum). 2. vydání. Praha, SNTL 1962. 234 s.
- [25] ŠMYKOV, A. A.: Spravočnik termista. Moskva, Mašgin 1961. 392 s.
- [26] TAJC, N. Ju.: Technologija nagreva stali. Moskva, Metallurgizdat 1962. 567 s.



KANDIDÁTSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE

" Podmínky tepelných pochodů při kalení
v případě podélného nuceného obtékání válce olejem "

Část II
(Přílohy)

Autorské právo se řídí ustanoveními MŠK pro státní
závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne
13. července 1962. Věstník MŠK XXII, sešit 24 ze dne
31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 6

W 31/c. 2.

Aspirant : Ing. Václav H y n č i c a
Školitel : Prof. Ing. Dr. Karel Sýkora
Pracoviště : Vysoká škola strojní a textilní, Liberec
Katedra technické mechaniky,
Ústav termomechaniky

Datum odevzdání práce : červen 1966

SEZNAM PŘÍLOH

<u>Příloha</u> <u>číslo :</u>	<u>Tabulka</u> <u>číslo :</u>	<u>Název a obsah přílohy :</u>
1	I	Tepelné fyzikální vlastnosti ložiskového oleje OL-J4
	II	Tepelné fyzikální vlastnosti válcového oleje OVB-31

Výsledky měření průběhů teplot na vzorcích V1, V2, V3, V4 a V5 při jejich ochlazení z teploty 840° C v oleji OL-J4 a OVB-31 o různých teplotách a rychlostech proudění.

		Vzorek:	Druh oleje:	Teplota lázně: °C
2	III	V1	OL-J4	25
	IV	V1	OL-J4	75
	V	V1	OL-J4	125
	VI	V1	OVB-31	50
	VII	V1	OVB-31	100
	VIII	V1	OVB-31	145
3	IX	V2	OL-J4	25
	X	V2	OL-J4	75
	XI	V2	OL-J4	125
	XII	V2	OVB-31	50
	XIII	V2	OVB-31	100
	XIV	V2	OVB-31	145
4	XV	V3	OL-J4	25
	XVI	V3	OL-J4	75
	XVII	V3	OL-J4	125
	XVIII	V3	OVB-31	50
	XIX	V3	OVB-31	100
	XX	V3	OVB-31	145

Příloha
číslo:Tabulka
číslo:

Název a obsah přílohy :

		Vzorek :	Druh oleje:	Teplota lázně: °C
5	XXI	V4	OL-J4	50
	XXII	V4	OL-J4	100
	XXIII	V4	OL-J4	150
6	XXIV	V5	OL-J4	50
	XXV	V5	OL-J4	110
	XXVI	V5	OL-J4	165

Výsledky měření průběhů povrchové teploty na vzorcích V1, V2, V3 při jejich ochlazení z teploty 780°C v oleji OL-J4 a OVB-31 o různých teplotách a rychlostech proudění.

		Vzorek :	Druh oleje :	Teplota lázně: °C
7	XXVII	V1	OL-J4	25, 75, 125
	XXVIII	V1	OVB-31	50
8	XXIX	V2	OL-J4	25, 75, 125
	XXX	V2	OVB-31	50, 100, 145
9	XXXI	V3	OL-J4	25, 75, 125
	XXXII	V3	OVB-31	50, 100, 145

Pětimístné tabulky pro určení parametrického teplotního kritéria ϑ pro neomezený válec v závislosti na : r/R , Fo a Bi .

10	XXXIII	$Bi = 0,05$
	XXXIV	$Bi = 0,1$
	XXXV	$Bi = 0,2$
	XXXVI	$Bi = 0,4$
	XXXVII	$Bi = 0,6$
	XXXVIII	$Bi = 0,8$
	XXXIX	$Bi = 1,0$
	XL	$Bi = 2,0$
	XLI	$Bi = 2,4$

Příloha
číslo :

Tabulka
číslo :

Název a obsah přílohy :

10

XLII

$B_1 = 4,0$

XLIII

$B_1 = 6,0$

XLIV

$B_1 = 7,0$

XLV

$B_1 = 10,0$

XLVI

$B_1 = 15,0$

XLVII

$B_1 = 30,0$

XLVIII

$B_1 = \infty$

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI LOŽISKOVÉHO OLEJE OL-J4
V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ

Tabelka č. I

t °C	ρ kg/m ³	C_p $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$	λ $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hod} \cdot \text{deg}}$	$\nu \cdot 10^6$ m ² /s	$\eta \cdot 10^4$ kg s/m ²	$\alpha \cdot 10^4$ m ² /hod	P_r	$\beta \cdot 10^4$ $\frac{1}{\text{deg}}$
0	898,8	0,461	0,101	1000	916,2	2,44	14 750	6,38
10	893,1	0,470	0,100	400	364,2	2,38	6 050	6,42
20	887,4	0,478	0,099	190	171,9	2,33	2 940	6,46
30	881,7	0,486	0,098	100	89,9	2,29	1 570	6,50
40	876,0	0,495	0,097	57	50,9	2,24	916	6,56
50	870,3	0,503	0,097	35	31,0	2,21	570	6,60
60	864,6	0,512	0,096	23	20,3	2,17	381	6,64
70	858,9	0,520	0,095	16	14,0	2,13	270	6,68
80	853,2	0,529	0,094	11,7	10,2	2,08	202	6,72
90	847,5	0,537	0,093	8,8	7,6	2,04	155	6,77
100	841,8	0,546	0,092	6,9	5,9	2,00	124	6,81
110	836,1	0,554	0,091	5,5	4,7	1,96	101	6,86
120	830,4	0,563	0,090	4,5	3,8	1,93	84,0	6,90
130	824,9	0,571	0,089	3,8	3,2	1,89	72,4	6,94
140	819,5	0,580	0,089	3,3	2,8	1,87	63,5	6,98
150	814,1	0,588	0,088	3,0	2,5	1,84	58,7	7,02

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI VÁLCOVÉHO OLEJE OV-B31
V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ.

Tabulka č. II

t °C	ρ kg/m ³	C_p $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{deg}}$	λ $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{deg}}$	$\nu \cdot 10^6$ m ² /s	$\eta \cdot 10^4$ $\frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	$\alpha \cdot 10^4$ m ² /hod	P_r	$\beta \cdot 10^4$ $\frac{1}{\text{deg}}$
0	943,6	0,408	0,129	—				8,330
10	935,8	0,419	0,127	—				8,400
20	928,0	0,429	0,125	(9000)	(8514)	3,14	(103200)	8,48
30	920,2	0,440	0,123	3300	3095	3,04	39100	8,55
40	912,4	0,451	0,122	1400	1302	2,96	17000	8,62
50	904,6	0,461	0,120	700	645	2,88	8750	8,70
60	896,8	0,472	0,118	360	329	2,79	4640	8,77
70	889,0	0,484	0,116	210	190	2,70	2800	8,85
80	881,2	0,495	0,114	125	112	2,61	1725	8,93
90	873,4	0,505	0,112	81	72,1	2,54	1148	9,01
100	865,6	0,516	0,110	55	48,5	2,46	801	9,09
110	857,8	0,527	0,108	37	32,4	2,39	557	9,18
120	850,0	0,537	0,106	28	24,2	2,32	434	9,26
130	842,2	0,548	0,104	21	18,0	2,25	336	9,35
140	834,4	0,559	0,103	16	13,6	2,21	261	9,44
150	826,6	0,569	0,101	13	10,9	2,15	218	9,53
160	818,8	0,580	0,100	10	8,4	2,11	171,0	9,60

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST
VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty
POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :

Místo snímání teploty : P- povrch A- 1,7 mm pod povrchem B- 3,75 mm pod povrchem R- 7,5 mm v ose vzorku		ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLOTU :															
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100	
Teplota a rychlost proudění oleje : OL-J 4	$t_0 = 25\text{ °C}$	P	0,0	0,25	1,05	1,8	2,53	3,25	4,05	5,0	6,15	8,6	14,1	21,3			
		A	0,0	1,3	2,1	2,65	3,2	3,8	4,65	5,9	7,8	10,9	15,6	24,5	36,5	51,5	
		B	0,0	1,55	2,6	3,3	3,9	4,5	5,4	6,6	8,45	11,5	16,1	25,0	36,9	51,8	
		R	0,0	2,3	3,7	4,5	5,2	6,2	6,9	8,1	9,7	12,8	17,1	25,5	37,5	52,5	
$w_0 = 0,197\text{ m/s}$	$t_0 = 25\text{ °C}$	P	0,0	0,25	0,8	1,4	2,0	2,65	3,4	4,4	5,75	8,2	11,6				
		A	0,0	1,05	2,2	3,0	3,8	4,3	5,0	6,0	7,4	9,3	11,8	14,9	18,6	25,4	
		B	0,0	1,3	2,5	3,5	4,3	4,8	5,6	6,6	8,0	9,9	12,4	15,4	19,8	26,4	
		R	0,0	1,9	3,25	4,35	4,6	5,9	6,7	7,8	9,2	11,2	13,5	16,2	22,2	28,6	
$w_0 = 0,47\text{ m/s}$	$t_0 = 25\text{ °C}$	P	0,0	0,23	0,88	1,4	2,2	2,85	3,5	4,3	5,4	7,2	9,7	12,2			
		A	0,0	1,1	2,2	2,6	3,3	3,9	4,6	5,6	6,9	8,6	10,8	13,1	16,0	21,0	38,0
		B	0,0	1,4	2,5	3,3	3,7	4,3	5,1	6,1	7,4	9,1	11,2	13,6	16,4	21,6	39,4
		R	0,0	2,0	3,1	4,0	4,6	5,2	6,0	7,0	8,3	10,1	12,1	14,4	17,2	23,0	40,7
$w_0 = 0,98\text{ m/s}$	$t_0 = 25\text{ °C}$	P	0,0	0,3	0,52	0,96	1,65	2,28	2,85	3,5	4,45	5,78	7,4	9,2			
		A	0,0	0,9	1,8	2,4	2,8	3,3	3,9	4,7	5,65	6,8	8,3	10,1	12,3	15,0	30,3
		B	0,0	1,3	2,2	2,7	3,1	3,8	4,3	5,15	6,05	7,35	8,9	10,8	13,0	15,7	31,2
		R	0,0	2,0	2,9	3,3	3,75	4,4	5,2	6,05	7,1	8,5	10,2	12,2	14,5	17,4	33,

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :																
Teplota a rychlost proudění oleje :	Místo snímání teploty : P- povrch A- 1,7 mm pod povrchem B- 3,75 mm pod povrchem R- 7,5 mm v ose vzorku	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
		0,0	0,29	0,59	1,05	1,6	2,0	2,5	3,2	4,2	6,6	11,7	20,5			
$t_o = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	1,15	1,85	2,35	2,8	3,4	4,25	5,4	7,0	9,2	13,0	21,6	31,8	50,	
$w_o = 0\text{ m/s}$	A	0,0	1,65	2,4	2,85	3,3	3,9	4,8	6,1	7,75	10,1	14,65	22,2	34,3	53,5	
	B	0,0	2,65	3,5	3,9	4,25	4,9	6,1	7,5	9,2	12,1	17,0	23,3	39,2	60,6	
$t_o = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,31	0,68	1,12	1,55	1,92	2,4	3,0	4,0	6,2	9,8	14,5			
	A	0,0	1,2	1,9	2,3	2,7	3,35	4,1	5,1	6,6	8,4	11,7	15,5	22,5	31,5	
$w_o = 0,19\text{ m/s}$	B	0,0	1,7	2,45	2,9	3,4	3,9	4,8	6,0	7,2	9,2	12,5	16,6	23,8	32,9	
	R	0,0	2,5	3,4	3,95	4,5	5,15	5,9	6,95	8,3	10,6	13,9	18,2	25,9	35,7	
$t_o = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,21	0,55	0,98	1,5	1,9	2,3	2,9	3,65	5,3	7,85	10,8	14,7		
	A	0,0	1,2	1,9	2,35	2,8	3,25	4,0	4,9	4,1	8,3	10,7	13,5	17,0	22,8	
$w_o = 0,45\text{ m/s}$	B	0,0	1,6	2,2	2,7	3,2	3,8	4,5	5,5	6,75	8,75	11,2	14,0	17,7	24,1	
	R	0,0	2,3	2,85	3,7	4,1	4,6	5,5	6,7	8,0	9,7	12,2	15,0	19,0	26,8	
$t_o = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,21	0,49	0,77	1,1	1,4	1,75	2,2	2,95	4,25	6,25	8,7			
	A	0,0	1,15	1,9	2,35	2,8	3,25	4,0	4,9	6,2	8,0	10,1	12,6	15,5	19,5	
$w_o = 0,9\text{ m/s}$	B	0,0	1,45	2,1	2,55	3,0	3,6	4,5	5,45	6,75	8,4	10,6	13,1	16,1	20,5	
	R	0,0	2,25	2,85	3,6	4,0	4,5	5,5	6,5	7,8	9,4	11,6	14,2	17,3	22,5	

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :																
Teplota a rychlost proudění oleje :	Místo snímání teploty :	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
$t_{\circ}$ 125 °C	P	0,0	0,27	0,65	1,25	1,62	1,9	2,35	2,95	4,0	6,45	12,8	20,5	35,2		
	A	0,0	1,37	2,25	2,7	3,05	3,47	4,35	5,4	6,95	9,3	13,4	23,0	35,5	55,0	
	B	0,0	1,95	2,7	3,15	3,6	4,1	4,9	5,9	7,25	10,2	14,7	24,5	37,8	60,7	
	R	0,0	2,5	3,12	3,85	4,55	5,3	6,2	7,3	8,85	11,7	16,4	26,2	40,2	68,0	
$w_{\circ}$ 0 m/s	P	0,0	0,2	0,55	0,95	1,32	1,65	2,0	2,5	3,6	5,5	10,1				
	A	0,0	1,43	2,15	2,5	2,9	3,45	4,2	5,4	7,05	9,35	13,3	19,0	28,8	40,5	
	B	0,0	2,0	2,4	2,83	3,25	3,7	4,7	5,85	7,65	10,1	13,9	20,8	31,1	41,8	
	R	0,0	2,65	3,15	3,53	4,05	4,75	5,7	7,1	8,85	11,2	15,2	22,5	32,3	44,1	
$w_{\circ}$ 0,19 m/s	P	0,0	0,16	0,48	0,8	1,1	1,4	1,73	2,2	3,0	4,65	7,9	10,9			
	A	0,0	1,73	2,2	2,45	2,9	3,45	4,2	5,3	6,55	8,7	11,6	15,1	20,9	29,6	
	B	0,0	2,1	2,65	2,9	3,25	3,85	4,7	5,65	7,5	9,1	12,1	15,7	22,0	31,2	
	R	0,0	2,58	3,2	3,5	4,0	4,6	5,5	6,6	8,6	10,1	13,2	16,9	23,6	33,5	
$w_{\circ}$ 0,45 m/s	P	0,0	0,12	0,42	0,79	1,05	1,3	1,62	2,0	2,55	3,8	6,3	9,6			
	A	0,0	1,3	1,77	2,05	2,45	2,9	3,6	4,6	5,75	7,6	9,5	12,3	15,7	20,7	
	B	0,0	1,65	2,2	2,65	2,95	3,35	4,05	5,1	6,3	8,0	10,2	13,0	16,6	23,7	
	R	0,0	2,3	2,8	3,25	3,8	4,3	5,2	6,25	7,8	9,3	11,9	14,7	18,7	27,2	
$w_{\circ}$ 0,94 m/s	P	0,0	0,12	0,42	0,79	1,05	1,3	1,62	2,0	2,55	3,8	6,3	9,6			
	A	0,0	1,3	1,77	2,05	2,45	2,9	3,6	4,6	5,75	7,6	9,5	12,3	15,7	20,7	
	B	0,0	1,65	2,2	2,65	2,95	3,35	4,05	5,1	6,3	8,0	10,2	13,0	16,6	23,7	
	R	0,0	2,3	2,8	3,25	3,8	4,3	5,2	6,25	7,8	9,3	11,9	14,7	18,7	27,2	

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :															
Teplota a rychlost proudění oleje :	Místo snímání teploty :														
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200
$t_o = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	P – povrch	0,0	0,36	0,97	1,7	2,55	3,36	4,28	5,5	7,4	10,6	15,3	23,5		
	A – 1,7 mm pod povrchem	0,0	2,2	3,15	3,9	4,7	5,5	6,75	8,3	10,2	13,5	18,2	27,4	39,6	
	B – 3,75 mm pod povrchem	0,0	2,9	4,0	4,5	5,2	6,2	7,7	9,2	11,4	14,8	19,6	29,0	43,8	
	R – 7,5 mm v ose vzorku	0,0	3,7	4,9	5,6	6,35	7,3	8,8	10,3	12,3	15,5	20,6	31,0	45,8	
$\eta_o = 0\text{ m/s}$	P	0,0	0,25	0,69	1,38	2,2	3,05	4,0	5,32	6,86	8,7	11,2	14,0	17,5	
	A	0,0	2,15	3,0	3,65	4,3	4,8	5,8	7,05	8,55	10,3	12,4	14,8	18,0	23,6
	B	0,0	2,8	3,6	4,3	4,9	5,7	6,6	8,0	9,55	11,3	13,3	16,4	19,5	26,5
	R	0,0	3,15	4,4	5,2	6,0	6,9	7,9	9,0	10,6	12,6	15,1	18,0	22,0	29,8
$t_o = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,2	0,7	1,5	2,3	2,92	3,6	4,5	5,75	7,2	8,8	10,7	13,5	
	A	0,0	1,8	3,0	3,5	4,0	4,6	5,45	6,5	7,5	9,1	10,1	12,7	15,9	21,2
	B	0,0	2,6	3,65	4,0	4,8	5,2	6,05	7,1	8,2	9,7	11,5	13,8	17,0	23,1
	R	0,0	3,2	4,35	5,0	5,65	6,4	7,3	8,2	9,4	11,0	13,1	16,0	19,2	27,0
$\eta_o = 0,475\text{ m/s}$	P	0,0	0,18	0,68	1,18	1,7	2,2	2,8	3,5	4,4	5,5	6,9	8,6	10,9	
	A	0,0	1,9	2,6	3,1	3,5	4,1	4,85	5,7	6,9	8,2	9,7	11,5	13,9	17,7
	B	0,0	2,3	3,0	3,6	4,1	4,75	5,85	6,4	7,6	8,9	10,5	12,4	14,0	18,8
	R	0,0	3,1	3,9	4,6	5,25	6,0	6,9	7,85	9,05	10,4	12,1	14,2	16,8	21,0
$t_o = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,18	0,68	1,18	1,7	2,2	2,8	3,5	4,4	5,5	6,9	8,6	10,9	
	A	0,0	1,9	2,6	3,1	3,5	4,1	4,85	5,7	6,9	8,2	9,7	11,5	13,9	17,7
	B	0,0	2,3	3,0	3,6	4,1	4,75	5,85	6,4	7,6	8,9	10,5	12,4	14,0	18,8
	R	0,0	3,1	3,9	4,6	5,25	6,0	6,9	7,85	9,05	10,4	12,1	14,2	16,8	21,0

Místo snímání teploty : P - povrch A - 1,7 mm pod povrchem B - 3,75 mm pod povrchem R - 7,5 mm v ose vzorku		ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 15 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :														
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
Teplota a rychlost proudění oleje : OVB-31	$t_o = 145^{\circ}\text{C}$	0,0	0,15	0,38	0,74	1,0	1,45	2,15	3,2	4,9	7,55	12,2	19,5			
		0,0	2,25	2,8	3,05	3,7	4,5	5,4	6,55	8,3	10,9	16,0	25,5	40,5		
		0,0	2,6	3,1	3,55	4,2	5,1	6,0	7,3	9,1	11,7	17,0	27,2	44,0		
		0,0	3,3	3,9	4,65	5,3	6,2	7,3	8,8	10,8	13,3	18,9	30,8	51,0		
$t_o = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,2	0,46	0,75	1,2	1,4	2,0	2,9	4,45	6,6	9,5	14,4	23,0		
	A	0,0	2,4	3,0	3,35	3,9	4,6	5,6	6,9	8,45	10,6	14,0	18,4	26,3	39,	
	B	0,0	2,75	3,4	3,85	4,5	5,2	6,2	7,5	9,25	11,5	15,	19,4	28,2	41,0	
	R	0,0	3,45	4,3	4,9	5,8	6,4	7,45	8,8	10,8	13,3	17,1	21,3	32,1	45,2	
$w_o = 0,195 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $t_o = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,12	0,38	0,61	0,85	1,18	1,65	2,4	3,75	5,5	8,2	12,0			
	A	0,0	2,1	2,55	2,9	3,2	3,9	4,8	5,9	7,5	8,4	12,2	16,1	22,1	36,1	
	B	0,0	2,5	3,0	3,4	3,8	4,5	5,4	6,55	8,2	9,2	13,2	17,2	24,0	37,1	
	R	0,0	3,2	3,95	4,45	5,05	5,8	6,7	7,85	9,5	11,8	15,2	19,5	27,9	39,1	
$w_o = 0,46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $t_o = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,1	0,32	0,53	0,78	1,0	1,38	2,05	3,15	4,8	7,1	10			
	A	0,0	1,6	2,05	2,4	2,75	3,4	4,3	5,2	6,7	8,7	11,1	14,0	18,5	27,8	
	B	0,0	2,2	2,65	3,1	3,5	4,2	5,15	6,3	7,7	9,6	12,0	15,2	20,5	30,7	
	R	0,0	3,3	3,85	4,45	5,0	5,8	6,9	8,2	9,75	11,4	14,0	17,6	24,6	36,4	

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLOTU :																
Teplota a rychlost průdušné oleje :	Místo snímání teploty : P - povrch A - 2,3 mm pod povrchem B - 4,75 mm pod povrchem R - 10,0 mm v ose vzorku	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
		t ₀ = 25 °C	0,0	0,53	0,95	1,21	1,6	2,05	2,6	3,6	4,8	8,75	11,8	29,5		
w ₀ = 0 m/s	A	0,0	2,0	3,4	4,3	5,3	6,3	7,8	9,9	13,2	17,2	26,1	38,8	56,1	77,5	
	B	0,0	2,6	3,95	5,0	6,1	7,1	8,6	10,7	13,8	18,0	27,9	40,9	57,8	79,7	
	R	0,0	3,1	4,7	5,95	7,2	8,3	9,7	11,7	14,6	19,1	29,9	43,3	60,1	83,0	
t ₀ = 25 °C	P	0,0	0,6	1,15	1,61	2,21	2,9	3,75	4,9	6,6	9,5	14,2				
	A	0,0	1,8	3,0	4,0	5,2	6,3	7,7	9,1	11,3	14,2	18,0	21,5	30,0	37,5	
	B	0,0	2,5	3,8	5,0	6,2	7,2	8,8	10,5	12,5	15,3	19,3	23,7	31,0	38,7	
w ₀ = 0,12 m/s	R	0,0	3,0	4,5	5,7	7,0	8,3	9,9	11,8	14,0	16,7	20,5	26,3	32,5	40,3	
	P	0,0	0,25	0,75	1,1	1,6	2,3	3,1	4,0	5,5	8,2	11,8				
	A	0,0	1,7	2,8	3,7	4,3	5,2	6,5	8,25	10,5	13,1	16,3	21,7	27,4	33,5	
w ₀ = 0,49 m/s	B	0,0	2,1	3,3	4,4	5,2	6,2	7,5	9,35	11,5	14,1	16,9	22,7	28,4	35,3	
	R	0,0	2,8	4,3	5,5	6,5	7,6	9,0	10,9	13,0	15,5	17,9	24,1	29,8	36,5	
	P	0,0	0,33	0,6	0,9	1,42	1,85	2,4	3,6	5,05	7,05	9,0	11,8	15,3		
t ₀ = 25 °C	A	0,0	1,5	2,6	3,35	3,85	4,55	5,5	6,3	8,7	10,6	13,2	16,1	20,0	26,2	
	B	0,0	1,9	3,0	3,7	4,25	5,0	5,8	7,65	9,4	11,5	14,0	17,0	20,6	27,7	
	R	0,0	2,4	3,4	4,3	5,0	5,9	7,0	8,6	10,5	12,8	15,3	18,3	23,0	30,0	
w ₀ = 1 m/s																

ČAS ODOPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST
VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty
POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :

Teplota a rychlost proudění oleje :	Místo snímání teploty :	ČAS ODOPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :														
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
$t_0 = 75$ °C	P – povrch	0,0	0,4	0,95	1,31	1,61	1,94	2,41	3,1	4,2	6,85	11,4	19,1			
	A – 2,3 mm pod povrchem	0,0	1,9	2,8	3,35	4,1	5,1	6,4	8,35	10,8	14,1	18,8	27,7	39,3	62,3	
	B – 4,75 mm pod povrchem	0,0	2,1	3,2	4,0	4,9	5,95	7,2	9,05	11,6	15,1	19,6	28,7	40,2	63,7	
	R – 10,0 mm v ose vzorku	0,0	2,75	4,0	5,0	6,1	7,2	8,5	10,1	12,9	16,1	20,9	30,1	41,5	65,5	
$w_0 = 0$ m/s	P	0,0	0,4	0,81	1,1	1,38	1,62	1,98	2,5	3,7	6,75	13,0	21,9			
	A	0,0	1,7	2,5	3,3	4,1	5,2	6,9	9,0	11,9	15,4	20,8	28,8	38,8		
	B	0,0	2,05	3,1	3,8	4,8	6,0	7,5	9,55	12,5	16,2	22,1	30,1	40,3		
	R	0,0	2,8	4,15	5,2	6,0	7,1	8,6	10,7	13,8	17,4	23,8	31,8	42,2		
$w_0 = 0,192$ m/s	P	0,0	0,26	0,51	0,88	1,18	1,45	1,79	2,35	3,55	6,3	11,2				
	A	0,0	1,4	2,1	2,7	3,3	4,8	6,1	8,25	10,9	13,1	16,7	23,4	30,2	38,6	
	B	0,0	1,9	2,9	3,6	4,35	5,7	6,55	9,05	11,6	14,0	17,8	24,2	31,2	39,7	
	R	0,0	2,9	4,1	4,9	5,8	7,0	7,35	10,2	12,7	15,3	19,4	25,4	32,6	41,2	
$w_0 = 0,47$ m/s	P	0,0	0,2	0,48	0,67	0,86	1,1	1,42	1,9	2,8	4,82	8,2	12,5			
	A	0,0	1,2	2,1	3,0	3,9	4,9	6,3	8,1	10,3	13,1	16,2	20,3	27,3	36,0	
	B	0,0	1,75	2,65	3,6	4,5	5,55	6,95	8,65	11,0	13,8	17,0	21,7	28,9	37,5	
	R	0,0	2,6	3,65	4,5	5,5	6,6	8,0	9,65	12,3	14,9	18,1	23,5	31,3	39,5	

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :															
Teplota a rychlost proudění oleje :	Místo snímání teploty :														
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200
$t_0 = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	P - povrch	0,0	0,3	0,7	1,0	1,38	1,78	2,21	2,8	4,1	7,15	15,0	30,0		
	A - 2,5 mm pod povrchem	0,0	2,1	2,9	3,6	4,4	5,4	6,9	8,7	11,3	16,0	23,4	34,6	54,6	86,6
	B - 7,4 mm pod povrchem	0,0	2,5	3,25	4,3	5,1	6,2	7,7	9,7	12,6	17,2	24,6	34,8	58,6	92,6
	R - 15 mm v ose vzorku	0,0	3,0	4,1	5,1	6,1	7,3	8,8	11,0	13,9	18,1	25,9	37,9	63,1	99,5
$\eta_0 = 0 \text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}}$	P	0,0	0,3	0,74	1,0	1,28	1,58	1,9	2,45	3,65	6,35	11,7	20,6		
	A	0,0	2,15	3,1	3,8	4,5	5,4	6,6	8,75	11,0	14,7	20,6	29,1	39,1	
	B	0,0	2,5	3,55	4,3	5,0	6,2	7,4	9,4	12,4	16,0	22,2	31,0	41,2	
	R	0,0	3,1	4,45	5,2	5,9	7,0	8,6	10,8	13,9	17,8	24,5	32,2	44,0	
$t_0 = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,3	0,52	0,7	0,9	1,16	1,49	1,95	2,9	5,5	10,9			
	A	0,0	1,5	2,1	2,8	3,5	4,5	5,9	7,9	10,1	13,7	16,6	23,4	30,0	41,8
	B	0,0	2,1	2,9	3,6	4,55	5,75	7,15	8,9	10,6	14,8	18,1	24ml	32,6	44,1
	R	0,0	3,1	4,0	4,8	5,0	7,05	8,6	10,4	11,6	16,1	20,0	27,2	35,6	46,8
$\eta_0 = 0,47 \text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}}$	\ P	0,0	0,3	0,44	0,6	0,78	1,0	1,25	1,66	2,4	4,1	7,82	11,35		
	A	0,0	1,4	1,9	2,7	3,2	4,3	5,7	7,65	10,1	13,2	16,0	21,5	29,1	38,5
	B	0,0	2,0	2,7	3,5	4,3	5,7	6,8	8,55	10,4	14,2	18,1	23,0	31,3	40,0
	R	0,0	2,9	3,7	4,6	5,5	6,6	7,95	9,6	11,0	15,4	19,3	23,9	32,8	42,3

Místo snímání teploty:		ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu:															
Teplota a rychlost proudění oleje:	P- povrch A-2,3 mm pod povrchem B- 4,75 mm pod povrchem R-10,0mm v ose vzorku	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100	
$t_o = 50$ °C	P	0,0	0,22	0,6	1,32	2,2	3,0	4,0	5,43	7,9	12,0	19,3	28,2				
	A	0,0	1,4	2,8	3,9	5,25	6,9	9,1	11,9	15,3	19,4	28,9	39,5				
	B	0,0	2,5	3,75	5,05	6,35	8,05	10,2	12,7	16,2	21,0	30,4	41,5				
$w_o = 0$ m/s	R	0,0	3,7	5,35	6,6	8,0	9,6	11,8	14,5	17,7	23,1	32,7	44,0				
$t_o = 50$ °C	P	0,0	0,42	0,71	1,1	1,55	2,15	3,35	5,43	8,0	11,3	15,2	19,6				
	A	0,0	1,7	3,1	4,2	5,5	6,9	8,5	10,7	13,5	16,3	21,0	26,5	32,0	41,0		
	B	0,0	2,5	4,2	5,5	7,0	8,5	10,4	12,2	14,7	17,4	22,5	28,0	34,0	43,5		
$w_o = 0,202$ m/s	R	0,0	3,5	5,0	6,2	7,5	9,3	11,6	13,5	16,0	19,7	24,5	30,5	37,0	47,0		
$t_o = 50$ °C	P	0,0	0,12	0,3	0,7	1,21	1,84	2,7	4,12	6,12	8,55	11,6	15,2				
	A	0,0	2,0	3,1	3,85	4,9	6,2	8,0	10,0	12,3	15,0	17,9	22,0	27,5	33,7		
	B	0,0	2,4	3,6	4,5	5,65	7,05	9,2	10,9	13,0	15,9	19,2	23,6	29,2	35,7		
$w_o = 0,495$ m/s	R	0,0	3,4	4,7	5,7	6,95	8,5	10,4	12,4	14,9	17,4	21,1	25,9	31,5	38,3		
$t_o = 50$ °C	P	0,0	0,1	0,28	0,58	1,0	1,4	2,0	2,9	4,54	6,45	8,7	11,5				
	A	0,0	1,9	2,8	3,6	4,4	5,6	7,1	8,9	10,9	13,3	15,8	18,4	23,0	30,7		
	B	0,0	2,0	3,4	4,4	5,2	6,6	8,05	9,7	11,7	13,9	16,5	19,6	25,3	32,3		
$w_o = 1,01$ m/s	R	0,0	2,7	4,65	5,7	6,75	8,1	9,6	11,2	13,0	15,1	17,8	21,5	27,9	34,5		

Místo snímání teploty :		ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLazenÍ PRÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :														
		840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
Teplota a rychlost proudění oleje : OVB-31	P- A-2,3 mm pod povrchem B-4,75 mm pod povrchem R-10,0 mm v ose vzorku	P	0,0	0,18	0,49	0,86	1,3	1,9	3,0	4,85	8,1	12,5	20,3	32,5		
		A	0,0	1,6	2,2	3,15	4,2	6,0	8,0	10,7	14,2	19,0	30,0	42,7		
		B	0,0	2,5	3,55	4,55	5,8	7,5	9,5	12,3	16,0	22,0	32,7	45,2		
		R	0,0	3,45	5,2	6,6	7,85	9,5	11,7	14,5	18,4	25,0	36,0	48,6		
$t_o = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $w_o = 0\text{ m/s}$ $t_o = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	P A B R	P	0,0	0,16	0,45	1,0	1,53	2,15	3,0	4,5	8,8	10,2	15,5	21,3		
		A	0,0	1,4	2,6	3,5	4,6	6,1	8,2	10,6	13,6	17,0	22,3	29,6	37,8	
		B	0,0	2,3	3,5	4,45	5,6	7,1	9,15	11,5	14,3	17,7	23,5	30,6	39,0	
		R	0,0	3,7	4,8	6,0	7,2	8,65	10,7	13,0	15,6	19,2	25,2	32,4	40,8	
$\varphi_o = 0,197\text{ m/s}$ $t_o = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	P A B R	P	0,0	0,14	0,35	0,8	1,23	1,98	2,6	3,7	5,7	8,25	12,0	16,8		
		A	0,0	1,2	2,2	3,0	3,9	5,45	7,5	9,7	12,5	16,2	20,9	27,0	34,5	
		B	0,0	1,9	3,1	3,8	5,0	6,6	8,5	10,7	13,3	16,9	22,1	28,2	35,7	
		R	0,0	3,6	4,5	5,5	6,7	8,3	10,1	12,2	14,7	17,7	23,9	30,1	37,5	
$w_o = 0,485\text{ m/s}$ $t_o = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	P A B R	P	0,0	0,1	0,3	0,52	0,88	1,28	1,9	2,9	4,7	6,55	9,7	13,7		
		A	0,0	1,2	2,0	2,75	3,85	5,2	7,0	9,2	11,9	14,8	18,2	22,9	29,9	
		B	0,0	2,1	2,85	3,9	5,05	6,85	8,15	1,01	13,7	15,5	19,0	24,5	31,3	
		R	0,0	3,4	4,4	5,6	6,85	8,3	9,9	11,7	13,8	16,6	20,4	26,7	33,3	

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :																
Teplota a rychlost proudění oleje : OWB-31	Místo snímání teploty : P- povrch A- 2,3 mm pod povrchem B- 4,75 mm pod povrchem R 10,0 mm v ose vzorku	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
		0,0	0,12	0,29	0,6	0,98	1,35	1,95	3,0	5,2	8,5	13,7	22,0			
$t_{\theta} = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,12	0,29	0,6	0,98	1,35	1,95	3,0	5,2	8,5	13,7	22,0			
	A	0,0	1,35	2,1	2,9	4,05	5,3	7,4	9,6	12,6	16,4	24,8	35,8			
	B	0,0	2,4	3,4	4,5	5,6	7,0	8,85	1,11	14,1	18,4	28,2	39,1			
$w_{\theta} = 0 \text{ m/s}$	R	0,0	3,9	5,2	6,3	7,55	8,9	10,7	13,0	16,0	19,8	32,0	41,8			
$t_{\theta} = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,11	0,26	0,5	0,85	1,28	1,86	2,9	4,72	7,56	11,4	16,5			
	A	0,0	1,55	2,35	3,1	4,25	5,9	7,85	10,5	13,6	16,4	23,6	31,2			
	B	0,0	2,55	3,5	4,4	5,65	7,1	8,9	11,3	14,1	17,9	24,6	32,4			
$w_{\theta} = 0,197 \text{ m/s}$	R	0,0	3,8	5,1	6,15	7,4	9,1	10,3	12,4	15,3	19,3	26,0	34,0			
$t_{\theta} = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,1	0,24	0,4	0,63	0,99	1,42	2,4	4,15	6,7	9,7	14,2			
	A	0,0	1,3	2,0	2,8	3,7	4,9	6,4	8,5	1,7	15,0	19,3	25,9			
	B	0,0	2,35	3,3	4,15	5,1	6,8	8,0	10,1	13,0	16,2	20,9	28,1			
$w_{\theta} = 0,485 \text{ m/s}$	R	0,0	3,7	5,0	5,9	6,9	8,2	9,9	12,1	14,8	17,8	23,0	30,4			
$t_{\theta} = 145^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,09	0,13	0,27	0,44	0,62	0,98	1,58	2,75	5,0	8,0	12,4			
	A	0,0	1,3	1,8	2,6	3,5	4,56	6,2	8,1	10,5	13,4	16,4	22,6	29,8		
	B	0,0	2,1	3,1	3,95	4,8	6,7	7,55	9,45	11,9	14,7	17,9	24,7	32,5		
$w_{\theta} = 0,99 \text{ m/s}$	R	0,0	3,3	4,8	5,7	6,6	7,8	9,3	11,2	13,7	16,45	20,1	27,2	35,7		

Místo snímání teploty :		ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST VZORKU O Ø 30 mm V OLEJI Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu :														
Teplota a rychlost proudění oleje :	01 - J 4	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
$t_{\circ} = 25^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,34	0,75	1,3	2,2	3,05	3,95	5,7	10,2	19,0					
$w_{\circ} = 0 \text{ m/s}$	A	0,0	1,25	2,9	4,0	5,6	7,5	10,0	13,0	16,6	22,8	33,4	49,4			
	B	0,0	3,48	5,42	7,25	8,8	11,15	13,5	17,0	22,0	28,3	37,9	55,4			
	R	0,0	5,7	8,3	10,5	12,4	14,8	17,4	21,0	27,4	34,0	42,6	61,4			
$t_{\circ} = 25^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,26	0,49	0,82	1,25	1,75	2,4	3,6	6,2	11,4	18,8				
$w_{\circ} = 0,21 \text{ m/s}$	A	0,0	1,3	4,2	5,8	7,5	9,2	11,1	13,2	16,0	21,9	31,8	39,3	54,3	71,9	
	B	0,0	3,22	5,73	7,75	9,75	12,7	14,1	17,4	21,5	26,4	36,0	44,7	59,8	77,4	
	R	0,0	5,15	7,8	9,7	12,0	14,4	17,2	21,7	27,3	33,3	41,1	49,9	65,3	83,9	
$t_{\circ} = 25^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,25	0,45	0,68	0,92	1,3	1,85	2,55	4,55	8,0	15,0	23,2			
$w_{\circ} = 0,558 \text{ m/s}$	A	0,0	1,5	3,2	4,5	5,2	6,5	8,05	9,7	13,8	19,1	25,9	33,5	42,5	54,5	
	B	0,0	3,05	5,25	6,58	9,0	9,8	12,0	19,8	19,5	24,7	31,1	38,0	47,0	59,6	
	R	0,0	5,0	7,4	9,15	11,0	13,1	15,9	19,9	25,1	30,4	36,3	43,3	51,9	64,7	
$t_{\circ} = 25^{\circ}\text{C}$	P	0,0	0,24	0,4	0,58	0,83	1,2	1,95	3,05	4,55	7,0	11,5	16,8			
	A	0,0	1,85	3,2	4,4	5,15	4,3	6,0	8,1	11,4	15,4	20,9	26,5	32,1	40,0	
	B	0,0	2,58	4,07	4,94	6,58	7,83	10,0	12,45	16	20,5	28,5	30,9	36,0	44,7	
$w_{\circ} = 1,02 \text{ m/s}$	R	0,0	4,6	6,9	8,2	9,9	11,9	14,1	16,8	21	25,5	30,0	35,1	40,5	49,5	

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPIOTU:

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLOTU :

ČAS ODPOVÍDÁJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST

[illegible]

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPIOTU:

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLOTU:

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST
VZORKU O Ø 30 mm V OLEJI Z TEPLoty
POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLotu:

Teplota a rychlost průběhu oleje :	Místo snímání teploty :	840	800	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
		0,0	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3,72	7,2	11,0	18,6	27,5			
$t_0 = 145\text{ }^{\circ}\text{C}$	P - povrch	0,0	2,3	2,8	3,65	4,65	6,5	9,7	13,3	18,5	26,0	35,0	46,0			
	A - 2,5 mm pod povrchem	0,0	3,8	5,05	6,35	8,2	10,3	13,5	17,8	23,5	30,1	39,0	49,5			
	B - 7,4 mm pod povrchem	0,0	6,4	7,9	9,5	11,7	13,2	17,3	22,4	28,4	35,0	42,8	53,0			
	R - 15 mm v ose vzorku	0,0	0,12	0,3	0,5	0,72	1,06	1,7	2,8	5,3	9,2	15,4	25,4			
$\psi_0 = 0,205\text{ m/s}$	P	0,0	2,15	2,6	3,3	4,4	6,3	9,25	13,1	17,2	23,6	31,4	40,0			
	A	0,0	3,9	4,6	6,05	7,9	10,0	12,6	16,5	21,1	27,3	35,0	43,7			
	B	0,0	6,0	7,1	9,0	11,3	13,9	16,5	20,5	25,5	31,5	39,1	48,0			
	R	0,0	0,09	0,23	0,4	0,6	0,95	1,42	2,36	4,2	7,2	12,3	20,0			
$t_0 = 145\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	2,05	2,5	3,0	4,2	5,7	8,2	10,3	15,4	20,0	27,0	34,5			
	A	0,0	3,5	4,5	5,8	7,5	9,4	12,0	15,4	19,7	25,0	31,4	38,7			
	B	0,0	5,7	7,0	8,5	10,7	12,9	15,6	19,2	23,7	29,5	35,5	42,7			
	R	0,0	0,09	0,23	0,4	0,6	0,95	1,42	2,36	4,2	7,2	12,3	20,0			
$\psi_0 = 1,0\text{ m/s}$	P	0,0	2,05	2,5	3,0	4,2	5,7	8,2	10,3	15,4	20,0	27,0	34,5			
	A	0,0	3,5	4,5	5,8	7,5	9,4	12,0	15,4	19,7	25,0	31,4	38,7			
	B	0,0	5,7	7,0	8,5	10,7	12,9	15,6	19,2	23,7	29,5	35,5	42,7			
	R	0,0	0,09	0,23	0,4	0,6	0,95	1,42	2,36	4,2	7,2	12,3	20,0			
$t_0 = 145\text{ }^{\circ}\text{C}$	P	0,0	2,05	2,5	3,0	4,2	5,7	8,2	10,3	15,4	20,0	27,0	34,5			
	A	0,0	3,5	4,5	5,8	7,5	9,4	12,0	15,4	19,7	25,0	31,4	38,7			
	B	0,0	5,7	7,0	8,5	10,7	12,9	15,6	19,2	23,7	29,5	35,5	42,7			
	R	0,0	0,09	0,23	0,4	0,6	0,95	1,42	2,36	4,2	7,2	12,3	20,0			
$\psi_0 = 1,0\text{ m/s}$	P	0,0	2,05	2,5	3,0	4,2	5,7	8,2	10,3	15,4	20,0	27,0	34,5			
	A	0,0	3,5	4,5	5,8	7,5	9,4	12,0	15,4	19,7	25,0	31,4	38,7			
	B	0,0	5,7	7,0	8,5	10,7	12,9	15,6	19,2	23,7	29,5	35,5	42,7			
	R	0,0	0,09	0,23	0,4	0,6	0,95	1,42	2,36	4,2	7,2	12,3	20,0			

ČAS ODPOVÍDÁJÍCÍ OCHLAZENÍ PŘÍSLUŠNÝCH MÍST

VZORKU Ø 70mm V OLEJI Z TEPLoty

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLOTU:

[illegible]

ČAS ODPOVÍDÁJÍCÍ OCHLazení PRÍSLUŠNÝCH MÍST

VZORKU	Ø	70	mm	V	OLEJI	Z	TEPLoty
--------	---	----	----	---	-------	---	---------

POČÁTEČNÍ 840 °C NA TEPLITU:

VZORKU Ø 70 mm V OLEJI Z TEPLoty

POČÁTEČNÍ 820 °C NA TEPLITU:

VZORKU	Ø	15 mm	V	OLEJI	OVB 31

Z. TEPLoty POČÁTEČNÍ 780 °C NA TEPLotu :

Teplota oleje t_o [°C]	Rychlost průtoku oleje w_o [m/s]	ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ POVRCHU VZORKU O Ø 20 mm V OLEJI OL J4 Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 780 °C NA TEPLOTU :													
		780 s	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
25	0,0	0,0	0,12	0,56	1,00	1,70	2,00	2,50	4,40	7,90	13,5	22,5	36,0	62,0	
25	0,2	0,0	0,10	0,54	0,79	1,13	1,39	1,76	3,00	6,40	10,7	18,7	27,5	42,0	
25	0,49	0,0	0,09	0,48	0,69	1,06	1,33	1,70	2,70	4,95	7,90	11,9	19,0	28,0	
25	1,0	0,0	0,09	0,45	0,67	0,91	1,06	1,35	2,4	4,10	6,4	9,5	13,5	20,0	
75	0,0	0,0	0,14	0,47	0,9	1,3	1,0	1,75	2,9	5,15	9,2	15,0	25,0	43,0	
75	0,192														
75	0,47														
75	0,96														
125	0,0	0,0	0,14	0,5	0,95	1,35	1,60	1,85	3,50	6,90	13,8	25,0	42,5	75,0	
125	0,192	0,0	0,07	0,45	0,68	0,85	1,15	1,40	2,70	5,60	9,50	16,5	27,0	44,0	
125	0,47	0,0	0,06	0,35	0,51	0,65	0,80	1,10	2,40	4,50	7,80	12,5	20,0	35,0	
125	0,96	0,0	0,05	0,34	0,50	0,65	0,77	0,92	1,70	3,50	6,00	10,0	15,0	23,0	

ČAS ODPOVÍDÁJÍCÍ OCHLÁZENÍ POVRCHU

ČAS ODPOVÍDAJÍCÍ OCHLAZENÍ POVRCHU

VZORKU O Ø 30 mm V OLEJI OL J4

Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 780 °C NA TEPLotu :

Teplota oleje t_0 [°C]	Rychlost proudění oleje w_0 [m/s]	780 °C											780 °C NA TEPLotu :				
		780	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	150	100	50
25	0,0	0,0	0,15	0,75	1,55	2,3	2,7	3,3	5,4	11,0	27,5	60,5	160	355			
25	0,21	0,0	0,13	0,63	1,28	1,90	2,25	2,9	4,4	10,7	24,0	52,0	110	215			
25	0,558	0,0	0,1	0,60	0,93	1,25	1,55	1,9	2,8	6,0	14,5	30,0	62,0	122			
25	1,02	0,0	0,1	0,55	0,70	1,00	1,30	1,65	2,40	4,40	9,00	18,0	37,0	71,0			
75	0,0	0,0	0,20	0,60	1,04	1,23	1,55	2,05	4,3	9,2	20,5						
75	0,20																
75	0,535																
75	0,975																
125	0,0	0,0	0,14	0,65	1,05	1,42	1,65	1,85	2,65	5,25	17,4	53,0	180	430			
125	0,2	0,0	0,11	0,62	0,91	1,15	1,30	1,60	2,20	5,20	15,8	38,5	120	305			
125	0,535	0,0	0,09	0,54	0,77	1,0	1,10	1,35	1,95	4,25	11,5	28,5	81,0	225			
125	0,975	0,0	0,09	0,38	0,63	0,78	0,95	1,18	1,68	3,4	8,4	19,3	33,5	100			

Z TEPLoty POČÁTEČNÍ 780 °C NA TEPLotu:

	750	700	650	600	550	500	450	400	350	300	250	200	100
50	0,0	0,14	0,61	1,05	1,74	3,52	7,12	11,8	20,5	35,5	71,0		
50	0,222	0,0	0,19	0,47	0,71	1,04	2,02	3,88	7,65	12,2	22,5	51,6	
50	0,56	0,00	0,09	0,28	0,47	0,70	1,05	2,52	5,2	9,1	15,3	32,0	
50	1,03	0,0	0,07	0,21	0,38	0,56	1,00	2,00	5,00	8,45	13,7	21,0	
110	0,0	0,14	0,38	0,57	0,90	1,75	3,8	8,55	18,0	36,0	66,0		
110	0,205	0,0	0,19	0,52	0,71	1,04	1,98	3,95	8,7	15,0	26,6	40,0	
110	0,55	0,0	0,14	0,30	0,48	0,70	1,46	3,0	5,9	11,3	19,2	32,00	
110	1,00	0,0	0,10	0,24	0,39	0,52	1,0	2,0	3,70	6,20	11,5	23,0	
145	0,0	0,0	0,1	0,29	0,47	0,76	1,60	3,23	7,20	18,5	37,0	85,0	
145	0,205	0,0	0,14	0,33	0,52	0,73	1,32	2,88	6,1	13,7	28,0	54,0	
145	0,55	0,0	0,10	0,24	0,38	0,57	1,13	2,31	4,79	9,9	19,1	39,0	
145	1,00	0,0	0,09	0,19	0,31	0,47	0,95	1,51	3,08	6,85	12,5	27,5	

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} R = Bi = 0,05$

TABULKA Č. XXXIII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,08	0,99941	0,99680	0,99520	0,99301	0,98987	0,98640	0,98189
0,10	0,99866	0,99522	0,99333	0,99089	0,98753	0,98393	0,97940
0,20	0,99172	0,98624	0,98374	0,98076	0,97699	0,97317	0,96859
0,30	0,98264	0,97673	0,97411	0,97103	0,96721	0,96335	0,95880
0,40	0,97313	0,96717	0,96455	0,96147	0,95765	0,95383	0,94932
0,50	0,96360	0,95767	0,95507	0,95201	0,94823	0,94444	0,93997
0,60	0,95415	0,94826	0,94568	0,94265	0,93891	0,93516	0,93073
0,80	0,93548	0,92972	0,92719	0,92422	0,92055	0,91687	0,91253
1,00	0,91719	0,91153	0,90905	0,90614	0,90254	0,89893	0,89468
1,20	0,89925	0,89371	0,89127	0,88842	0,88489	0,88135	0,87718
1,60	0,86442	0,85909	0,85675	0,85400	0,85061	0,84721	0,84320
2,00	0,83093	0,82581	0,82357	0,82093	0,81767	0,81440	0,81054
2,8	0,76781	0,76308	0,76100	0,75856	0,75555	0,75253	0,74897
3,0	0,75280	0,74815	0,74612	0,74373	0,74077	0,73781	0,73432
4,0	0,68200	0,67780	0,67595	0,67379	0,67111	0,66843	0,66527
5,0	0,61787	0,61406	0,61239	0,61042	0,60800	0,60557	0,60270
5,6	0,58232	0,57873	0,57715	0,57530	0,57302	0,57073	0,56803
6,0	0,55976	0,55631	0,55480	0,55302	0,55097	0,54862	0,54603
7,0	0,50712	0,50400	0,50262	0,50101	0,49902	0,49703	0,49468
8,0	0,45943	0,45660	0,45536	0,45390	0,45210	0,45029	0,44816
10,0	0,37708	0,37476	0,37374	0,37254	0,37106	0,36958	0,36783
12,0	0,30950	0,30759	0,30675	0,30577	0,30456	0,30334	0,30190
14,0	0,25402	0,25246	0,25177	0,25096	0,24997	0,24897	0,24779
16,0	0,20849	0,20721	0,20664	0,20598	0,20516	0,20434	0,20338
18,0	0,17112	0,17007	0,16961	0,16906	0,16839	0,16772	0,16692
20,0	0,14045	0,13959	0,13921	0,13876	0,13821	0,13766	0,13701
25,0	0,08572	-	-	-	-	-	0,08362
30,0	0,05231	-	-	-	-	-	0,05103
40,0	0,01949	-	-	-	-	-	0,01901
50,0	0,00726	-	-	-	-	-	0,00708
60,0	0,00270	-	-	-	-	-	0,00264

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 0,1$$

TABULKA Č. XXXIV

$\alpha \cdot R$ R^2	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,99722	0,98946	0,98671	0,98313	0,97515	0,96920	0,95930
0,2	0,98356	0,97191	0,96796	0,96336	0,95467	0,94832	0,93847
0,3	0,96584	0,95344	0,94932	0,94455	0,93585	0,92951	0,91982
0,4	0,94747	0,93513	0,93099	0,92625	0,91768	0,91144	0,90192
0,5	0,92923	0,91709	0,91300	0,90834	0,89993	0,89380	0,88447
0,6	0,91129	0,89936	0,89536	0,89079	0,88254	0,87653	0,86738
0,8	0,87641	0,86494	0,86109	0,85670	0,84876	0,84298	0,83418
1,0	0,84287	0,83184	0,82814	0,82391	0,81628	0,81072	0,80225
1,5	0,76453	0,75452	0,75116	0,74733	0,74040	0,73520	0,72769
2,0	0,69346	0,68439	0,68134	0,67786	0,67159	0,66686	0,66005
3,0	0,57054	0,56307	0,56057	0,55770	0,55254	0,54865	0,54304
4,0	0,46940	0,46326	0,46120	0,45884	0,45459	0,45140	0,44678
5,0	0,38620	0,38114	0,37945	0,37751	0,37401	0,37138	0,36759
6,0	0,31774	0,31430	0,31219	0,31059	0,30771	0,30555	0,30243
8,0	0,21508	0,21226	0,21132	0,21024	0,20829	0,20678	0,20471
10,0	0,14559	0,14335	0,14304	0,14231	0,14099	0,13997	0,13857
12,0	0,09855	0,09726	0,09683	0,09633	0,09544	0,09496	0,09380
14,0	0,06671	0,06583	0,06554	0,06521	0,06460	0,06428	0,06349
16,0	0,04515	0,04456	0,04437	0,04414	0,04373	0,04351	0,04298
18,0	0,03056	0,03016	0,03003	0,02988	0,02960	0,02945	0,02909
20,0	0,02069	0,02042	0,02033	0,02022	0,02004	0,01994	0,01969
25,0	0,00780	-	-	-	-	-	0,00742
30,0	0,00294	-	-	-	-	-	0,00280
35,0	0,00111	-	-	-	-	-	0,00106

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 0,2$$

TABULKA Č. XXXV

$\alpha \cdot r$ R^2	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,99381	0,98051	0,97330	0,96374	0,95199	0,93750	0,92333
0,2	0,96731	0,94674	0,93743	0,92624	0,91326	0,89836	0,88446
0,3	0,93358	0,91200	0,90252	0,89191	0,87844	0,86390	0,85047
0,4	0,89923	0,87807	0,86884	0,85795	0,84548	0,83144	0,81849
0,5	0,86577	0,84531	0,83629	0,82589	0,81386	0,80034	0,78787
0,6	0,83346	0,81375	0,80516	0,79504	0,78347	0,77044	0,75844
0,7	0,80234	0,78336	0,77509	0,76535	0,75421	0,74167	0,73011
0,8	0,77238	0,75410	0,74614	0,73677	0,72604	0,71397	0,70285
0,9	0,74353	0,72594	0,71827	0,70925	0,69892	0,68731	0,67660
1,0	0,71576	0,69883	0,69142	0,68276	0,67282	0,66164	0,65133
1,5	0,59167	0,57771	0,57158	0,56443	0,55621	0,54697	0,53844
2,0	0,48916	0,47758	0,47252	0,46661	0,45981	0,45217	0,44512
3,0	0,33429	0,32638	0,32292	0,31888	0,31423	0,30901	0,30419
4,0	0,22845	0,22304	0,22068	0,21792	0,21474	0,21117	0,20788
5,0	0,15612	0,15243	0,15081	0,14892	0,14675	0,14431	0,14207
6,0	0,10669	0,10417	0,10306	0,10177	0,10029	0,09862	0,09708
7,0	0,07291	0,07119	0,07043	0,06955	0,06854	0,06739	0,06635
8,0	0,04983	0,04865	0,04813	0,04753	0,04684	0,04606	0,04534
9,0	0,03405	0,03325	0,03289	0,03248	0,03201	0,03148	0,03099
10,0	0,02327	0,02272	0,02248	0,02220	0,02187	0,02151	0,02118
11,0	0,01590	0,01553	0,01536	0,01517	0,01495	0,01470	0,01447
12,0	0,01087	0,01061	0,01050	0,01037	0,01022	0,01005	0,00989
14,0	0,00508	-	-	-	-	-	0,00462
16,0	0,00237	-	-	-	-	-	0,00216
18,0	0,00111	-	-	-	-	-	0,00101

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 0,4$

TABULKA Č. XXXVI

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	-	0,99114	0,98380	0,97135	0,95516	0,92842	0,89654
0,10	0,99032	0,96454	0,95073	0,93278	0,91051	0,88324	0,85163
0,20	0,94009	0,90201	0,88492	0,86456	0,84093	0,81412	0,78428
0,30	0,87856	0,84005	0,82325	0,80354	0,78099	0,75573	0,72788
0,40	0,81810	0,78163	0,76582	0,74731	0,72621	0,70264	0,67673
0,50	0,76120	0,72712	0,71237	0,69511	0,67546	0,65353	0,62942
0,60	0,70811	0,67639	0,66265	0,64660	0,62831	0,60790	0,58547
0,70	0,65869	0,62918	0,61640	0,60147	0,58446	0,56548	0,54461
0,80	0,61272	0,58527	0,57338	0,55949	0,54367	0,52601	0,50543
0,90	0,56996	0,54442	0,53336	0,52044	0,50572	0,48817	0,47124
1,00	0,53018	0,50642	0,49614	0,48412	0,47042	0,45514	0,43835
1,20	0,45875	0,43819	0,42831	0,41890	0,40705	0,39383	0,37929
1,40	0,39695	0,37916	0,37146	0,36247	0,35221	0,34077	0,32820
1,60	0,34347	0,32808	0,32142	0,31363	0,30476	0,29487	0,28398
1,80	0,29720	0,28389	0,27812	0,27138	0,26371	0,25514	0,24573
2,00	0,25705	0,24564	0,24065	0,23482	0,22818	0,22077	0,21262
3,00	0,12474	-	-	-	-	-	0,10314
4,00	0,06050	-	-	-	-	-	0,05003
5,00	0,02935	-	-	-	-	-	0,02426
6,00	0,01424	-	-	-	-	-	0,01177
7,00	0,00691	-	-	-	-	-	0,00571
8,05	0,00335	-	-	-	-	-	0,00277
9,00	0,00162	-	-	-	-	-	0,00134

$$\text{VÁLEC}; \quad \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 0,6$$

TABULKA Č. XXXVII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,05	0,99935	0,98691	0,97603	0,95849	0,93264	0,89687	0,85088
0,10	0,98566	0,94888	0,92908	0,90362	0,87202	0,83389	0,78955
0,20	0,91429	0,86146	0,83791	0,80991	0,77770	0,74150	0,70109
0,30	0,82959	0,77782	0,75540	0,72915	0,69936	0,66616	0,62966
0,40	0,74897	0,70145	0,68099	0,65711	0,63011	0,60009	0,56738
0,50	0,67540	0,63240	0,61390	0,59233	0,56796	0,54089	0,51139
0,60	0,60892	0,57011	0,55342	0,53397	0,51199	0,48758	0,46098
0,70	0,54895	0,51394	0,49890	0,48136	0,46155	0,43954	0,41557
0,80	0,49486	0,46331	0,44975	0,43394	0,41608	0,39624	0,37463
0,90	0,44611	0,41767	0,40544	0,39119	0,37509	0,35721	0,33772
1,00	0,40216	0,37652	0,36550	0,35265	0,33814	0,32201	0,30445
1,20	0,32682	0,30599	0,29703	0,28659	0,27480	0,26169	0,24742
1,40	0,26560	0,24867	0,24139	0,23290	0,22332	0,21267	0,20107
1,60	0,21584	0,20208	0,19617	0,18927	0,18149	0,17283	0,16340
1,80	0,17541	0,16423	0,15942	0,15382	0,14749	0,14045	0,13279
2,00	0,14255	0,13346	0,12956	0,12500	0,11986	0,11414	0,10792
2,50	0,08487	-	-	-	-	-	0,06425
3,00	0,05053	-	-	-	-	-	0,03825
4,00	0,01791	-	-	-	-	-	0,01356
5,00	0,00635	-	-	-	-	-	0,00480
6,00	0,00225	-	-	-	-	-	0,00170

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 0,8$$

TABULKA č. XXXVIII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,99904	0,99649	0,99127	0,97118	0,93551	0,87713
0,04	-	0,99048	0,97971	0,96129	0,93128	0,88732	0,82836
0,05	0,99933	0,98314	0,96877	0,94648	0,91323	0,86756	0,80902
0,06	0,99784	0,97558	0,95673	0,93190	0,89633	0,84960	0,79167
0,08	0,99167	0,95525	0,93320	0,90378	0,86538	0,81770	0,76114
0,10	0,98119	0,93432	0,90917	0,87725	0,83742	0,78973	0,73451
0,15	0,94123	0,87989	0,85127	0,81685	0,77633	0,73001	0,67828
0,20	0,89142	0,82595	0,79678	0,76270	0,72341	0,67934	0,63090
0,30	0,78755	0,72522	0,69829	0,66721	0,63194	0,59289	0,55043
0,40	0,69145	0,63585	0,61194	0,58451	0,55343	0,51912	0,48191
0,50	0,60624	0,55731	0,53631	0,51221	0,48494	0,45486	0,42225
0,60	0,53136	0,48845	0,47002	0,44890	0,42499	0,39862	0,37004
0,70	0,46569	0,42808	0,41193	0,39342	0,37246	0,34935	0,32430
0,80	0,40814	0,37517	0,36102	0,34479	0,32643	0,30617	0,28422
0,90	0,35769	0,32880	0,31640	0,30218	0,28608	0,26833	0,24909
1,00	0,31348	0,28816	0,27729	0,26483	0,25072	0,23517	0,21831
1,20	0,24078	0,22133	0,21298	0,20341	0,19258	0,18063	0,16768
1,40	0,18494	0,17000	0,16359	0,15624	0,14792	0,13874	0,12879
1,50	0,16208	0,14899	0,14338	0,13693	0,12963	0,12159	0,11287
1,60	0,14205	0,13058	0,12565	0,12001	0,11309	0,10656	0,09892
1,80	0,10911	0,10029	0,09651	0,09217	0,08719	0,08185	0,07598
2,00	0,08381	0,07703	0,07413	0,07080	0,06703	0,06287	0,05836
3,00	0,02240	-	-	-	-	-	0,01560
4,00	0,00599	-	-	-	-	-	0,00417
5,00	0,00160	-	-	-	-	-	0,00111

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 1$$

TABULKA Č: XXXIX

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,04	-	0,99013	0,97748	0,97638	0,91801	0,86467	0,79388
0,05	-	0,98114	0,96416	0,93687	0,89640	0,84128	0,77338
0,06	0,99937	0,97070	0,95209	0,91929	0,87630	0,82022	0,75133
0,08	0,99179	0,94737	0,92134	0,88353	0,83982	0,78312	0,71637
0,10	0,97904	0,92337	0,89278	0,85423	0,80716	0,75080	0,68635
0,20	0,87208	0,79536	0,76197	0,72227	0,67709	0,62659	0,57162
0,30	0,75176	0,68071	0,65064	0,61545	0,57598	0,53242	0,48553
0,40	0,64340	0,58167	0,55568	0,52539	0,48151	0,45423	0,41491
0,50	0,54977	0,49686	0,47461	0,44868	0,41971	0,38786	0,35366
0,60	0,46963	0,42438	0,40537	0,38321	0,35846	0,33125	0,30204
0,70	0,40111	0,36246	0,34623	0,32731	0,30616	0,28292	0,25797
0,80	0,34259	0,30958	0,29572	0,27955	0,26150	0,24164	0,22034
0,90	0,29261	0,26442	0,25257	0,23877	0,22855	0,20639	0,18819
1,00	0,24992	0,22584	0,21424	0,20393	0,19032	0,17628	0,16073
1,20	0,18231	0,16475	0,15737	0,14877	0,13916	0,12860	0,11726
1,40	0,13300	0,12018	0,11480	0,10853	0,10152	0,09381	0,08554
1,60	0,09702	0,08767	0,08375	0,07917	0,07406	0,06843	0,06237
1,80	0,07078	0,06396	0,06109	0,05910	0,05402	0,04992	0,04550
2,00	0,05163	0,04666	0,04457	0,04213	0,03941	0,03642	0,03319
3,00	0,01067	-	-	-	-	-	0,00686
4,00	0,00220	-	-	-	-	-	0,00142

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 2$$

TABULKA Č. XL

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,04	0,99616	0,97812	0,95515	0,91569	0,85210	0,76204	0,64513
0,05	0,99748	0,96246	0,93229	0,88603	0,81709	0,72597	0,61304
0,06	0,99419	0,94464	0,90894	0,85695	0,78545	0,69450	0,58536
0,08	0,98101	0,90584	0,86198	0,80403	0,73165	0,64121	0,53906
0,10	0,95921	0,86560	0,81725	0,75655	0,68264	0,59691	0,50099
0,15	0,88075	0,76738	0,71627	0,65592	0,58664	0,50980	0,42687
0,20	0,78992	0,67738	0,62902	0,57321	0,51064	0,44152	0,37016
0,30	0,61929	0,52557	0,48753	0,44183	0,39255	0,33956	0,28383
0,40	0,48072	0,40711	0,37651	0,34178	0,30350	0,26244	0,21921
0,50	0,37240	0,31525	0,29150	0,26336	0,23493	0,20312	0,16974
0,60	0,28838	0,24409	0,22570	0,20485	0,18230	0,15762	0,13142
0,70	0,22329	0,18900	0,17436	0,15861	0,14083	0,12176	0,10176
0,80	0,17289	0,14634	0,13531	0,12281	0,10904	0,09428	0,07879
0,90	0,13387	0,11331	0,10472	0,09509	0,08442	0,07300	0,06101
1,00	0,10365	0,08773	0,08112	0,07363	0,06537	0,05652	0,04724
1,50	0,02884	0,02441	0,02255	0,02049	0,01823	0,01372	0,01315
2,00	0,00803	0,00679	0,00628	0,00570	0,00506	0,00438	0,00366
2,20	0,00481	-	-	-	-	-	0,00219
2,40	0,00289	-	-	-	-	-	0,00131
2,60	0,00173	-	-	-	-	-	0,00079

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 2,4$

TABULKA Č: XLI

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
R^2	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,99677	0,99072	0,97074	0,92295	0,83355	0,69204
0,04	0,99940	0,97474	0,94821	0,90230	0,82989	0,72883	0,59799
0,05	0,99760	0,95681	0,92230	0,86866	0,79108	0,68950	0,56409
0,06	0,99374	0,93660	0,89579	0,83677	0,75634	0,65557	0,53518
0,08	0,97591	0,89300	0,84370	0,77859	0,69623	0,59889	0,48746
0,10	0,95358	0,84830	0,79449	0,72704	0,64550	0,55248	0,44884
0,15	0,86579	0,74100	0,69529	0,61971	0,54472	0,46299	0,37512
0,20	0,76618	0,64459	0,59282	0,53327	0,46667	0,39543	0,32000
0,30	0,58385	0,48584	0,44521	0,39914	0,34828	0,29453	0,23816
0,40	0,44036	0,36566	0,33484	0,29998	0,26160	0,22115	0,17879
0,50	0,33147	0,27512	0,25189	0,22563	0,19676	0,16632	0,13445
0,60	0,24941	0,20699	0,18951	0,16975	0,14802	0,12511	0,10115
0,70	0,18764	0,15572	0,14258	0,12771	0,11136	0,09413	0,07610
0,80	0,14117	0,11716	0,10727	0,09608	0,08378	0,07082	0,05725
0,90	0,10621	0,08814	0,08070	0,07229	0,06303	0,05328	0,04307
1,00	0,07991	0,06631	0,06071	0,05439	0,04742	0,04008	0,03241
1,20	0,04523	0,03754	0,03437	0,03078	0,02684	0,02269	0,01834
1,40	0,02560	0,02125	0,01945	0,01742	0,01519	0,01284	0,01038
1,50	0,01926	0,01598	0,01463	0,01311	0,01143	0,00966	0,00781
1,60	0,01449	0,01203	0,01101	0,00986	0,00860	0,00727	0,00588
1,80	0,00820	0,00680	0,00623	0,00558	0,00487	0,00411	0,00332
2,00	0,00464	0,00385	0,00353	0,00316	0,00276	0,00233	0,00188
2,20	0,00263	-	-	-	-	-	0,00107
2,40	0,00149	-	-	-	-	-	0,00060

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 4$

TABULKA Č: XLII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLITNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	0,99931	0,99266	0,98504	0,95586	0,88710	0,75858	0,56290
0,04	0,99786	0,96237	0,92472	0,87053	0,76224	0,62607	0,45661
0,05	0,99532	0,93744	0,88942	0,81611	0,71299	0,57968	0,42098
0,06	0,98970	0,90998	0,85430	0,77522	0,66896	0,54095	0,39164
0,08	0,96823	0,85385	0,78760	0,70336	0,59923	0,47986	0,34523
0,10	0,93439	0,79640	0,72701	0,64204	0,54232	0,43031	0,30937
0,15	0,82047	0,66635	0,59923	0,52163	0,43513	0,34202	0,24503
0,20	0,69869	0,55632	0,49709	0,43006	0,35686	0,27943	0,19988
0,30	0,49164	0,38697	0,34445	0,30063	0,24560	0,19188	0,13713
0,40	0,34242	0,26898	0,23927	0,20612	0,17041	0,13307	0,09509
0,50	0,23806	0,18695	0,16627	0,14322	0,11840	0,09275	0,06606
0,60	0,16547	0,12993	0,11556	0,09953	0,08228	0,06425	0,04591
0,70	0,11500	0,09030	0,08031	0,06918	0,05718	0,04465	0,03190
0,80	0,07992	0,06275	0,05582	0,04808	0,03974	0,03103	0,02217
0,90	0,05555	0,04361	0,03879	0,03341	0,02762	0,02157	0,01541
1,00	0,03860	0,03031	0,02696	0,02322	0,01920	0,01499	0,01071
1,20	0,01865	0,01464	0,01302	0,01122	0,00927	0,00724	0,00517
1,40	0,00900	0,00707	0,00629	0,00542	0,00448	0,00350	0,00250
1,50	0,00626	0,00491	0,00437	0,00377	0,00311	0,00243	0,00174
1,60	0,00435	-	-	-	-	-	0,00121
1,80	0,00210	-	-	-	-	-	0,00058

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 6$$

TABULKA Č. XLIII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,99563	0,97961	0,94155	0,85177	0,68957	0,45024
0,04	0,99886	0,95236	0,90426	0,82415	0,70338	0,53841	0,34566
0,05	0,99533	0,92124	0,86149	0,77195	0,64826	0,49100	0,31283
0,06	0,98805	0,88792	0,81994	0,72512	0,60172	0,45226	0,28659
0,08	0,96084	0,82027	0,74336	0,64526	0,52677	0,39172	0,24654
0,10	0,91835	0,75542	0,67591	0,57958	0,46824	0,34563	0,21673
0,15	0,78602	0,61289	0,53792	0,45493	0,36257	0,26496	0,16543
0,20	0,65034	0,49689	0,43421	0,36409	0,28861	0,21007	0,13093
0,30	0,43206	0,32655	0,28432	0,23759	0,18821	0,13637	0,08492
0,40	0,28441	0,21460	0,18675	0,15597	0,12322	0,08945	0,05568
0,50	0,18696	0,14103	0,12271	0,10248	0,08095	0,05876	0,03659
0,60	0,12286	0,09268	0,08064	0,06735	0,05320	0,03862	0,02405
0,70	0,08073	0,06091	0,05300	0,04426	0,03496	0,02538	0,01580
0,80	0,05306	0,04003	0,03491	0,02908	0,02297	0,01668	0,01036
0,90	0,03487	0,02630	0,02289	0,01911	0,01510	0,01096	0,00681
1,00	0,02291	0,01729	0,01504	0,01256	0,00992	0,00720	0,00447
1,20	0,00900	0,00747	0,00649	0,00543	0,00428	0,00311	0,00193
1,40	0,00427	0,00322	0,00280	0,00234	0,00185	0,00134	0,00084
1,50	0,00281	0,00212	0,00184	0,00154	0,00121	0,00088	0,00055
1,60	0,00185	-	-	-	-	-	0,00036

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 7$

TABULKA Č. XLIV

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	0,99959	0,99324	0,97615	0,93826	0,83862	0,66188	0,40756
0,04	0,99747	0,94603	0,89518	0,81035	0,68124	0,51031	0,30659
0,05	0,99372	0,91373	0,83974	0,75520	0,62446	0,46815	0,27570
0,06	0,98581	0,87840	0,80602	0,70636	0,57698	0,42246	0,25120
0,08	0,95655	0,80906	0,72660	0,62423	0,50140	0,36249	0,21442
0,10	0,91125	0,74063	0,65733	0,55758	0,44308	0,31780	0,18736
0,15	0,73284	0,59423	0,51868	0,43284	0,33921	0,24084	0,14135
0,20	0,63320	0,47709	0,41371	0,34310	0,26744	0,18913	0,11082
0,25	0,51239	0,38315	0,33033	0,27419	0,21329	0,15070	0,08819
0,30	0,41272	0,30772	0,26560	0,21982	0,17085	0,12057	0,07058
0,35	0,33186	0,24717	0,21342	0,17644	0,13720	0,09640	0,05662
0,40	0,26670	0,19853	0,17145	0,14167	0,11008	0,07765	0,04545
0,45	0,11423	0,15947	0,13773	0,11318	0,08840	0,06215	0,03650
0,50	0,17209	0,12809	0,11063	0,09139	0,07100	0,05009	0,02932
0,60	0,11103	0,08214	0,07137	0,05896	0,04581	0,03232	0,01891
0,70	0,07163	0,05332	0,04605	0,03804	0,02955	0,02085	0,01220
0,80	0,04622	0,03440	0,02971	0,02454	0,01907	0,01345	0,00787
0,90	0,02982	0,02219	0,01917	0,01583	0,01230	0,00868	0,00508
1,00	0,01924	0,01432	0,01237	0,01022	0,00794	0,00510	0,00328
1,20	0,00801	-	-	-	-	-	0,00130
1,40	0,00333	-	-	-	-	-	0,00057
1,50	0,00215	-	-	-	-	-	0,00037

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 10$

TABULKA Č. XLV

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,99176	0,97753	0,91991	0,80419	0,60102	0,31398
0,04	0,99758	0,93678	0,88088	0,77742	0,63307	0,44568	0,22635
0,05	0,99280	0,89879	0,83028	0,71805	0,57391	0,39830	0,20094
0,06	0,98335	0,85918	0,78199	0,66643	0,52551	0,36100	0,18125
0,08	0,94931	0,78149	0,69637	0,58135	0,45027	0,30530	0,15239
0,10	0,89935	0,70956	0,62362	0,51380	0,39354	0,26471	0,13165
0,15	0,74686	0,55776	0,48176	0,39044	0,29492	0,19641	0,09723
0,20	0,59981	0,43926	0,37704	0,30364	0,22828	0,15049	0,07485
0,30	0,37361	0,27301	0,23362	0,18765	0,14068	0,09318	0,04601
0,40	0,23430	0,16977	0,14522	0,11660	0,08740	0,05787	0,02858
0,50	0,14574	0,10559	0,09031	0,07251	0,05434	0,03598	0,01777
0,60	0,09064	0,06567	0,05617	0,04510	0,03380	0,02238	0,01105
0,70	0,05637	0,04084	0,03493	0,02805	0,02102	0,01392	0,00687
0,80	0,03506	0,02540	0,02173	0,01744	0,01307	0,00866	0,00427
0,90	0,02180	0,01580	0,01351	0,01085	0,00813	0,00539	0,00266
1,00	0,01356	0,00982	0,00840	0,00675	0,00506	0,00335	0,00165
1,20	0,00524	0,00380	0,00325	0,00261	0,00196	0,00130	0,00064
1,40	0,00203	0,00147	0,00126	0,00101	0,00076	0,00050	0,00025
1,50	0,00126	0,00092	0,00078	0,00063	0,00047	0,00031	0,00015

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 15$

TABULKA Č: XLVI

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLITNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
R^2	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,99043	0,98119	0,90815	0,76901	0,53639	0,22266
0,04	0,99810	0,92769	0,85927	0,74714	0,58703	0,38429	0,15520
0,05	0,99202	0,88494	0,80285	0,68398	0,52708	0,33969	0,13628
0,06	0,98104	0,84133	0,75125	0,63009	0,47892	0,30549	0,12200
0,08	0,94255	0,75779	0,66183	0,54325	0,40559	0,25528	0,10136
0,10	0,88723	0,68210	0,58744	0,47597	0,35137	0,21938	0,08684
0,15	0,72387	0,52651	0,44557	0,35520	0,25893	0,16006	0,06311
0,20	0,57119	0,40740	0,34310	0,25995	0,19730	0,12162	0,04790
0,25	0,44581	0,31623	0,26560	0,20080	0,15223	0,09372	0,03688
0,30	0,34668	0,24545	0,20596	0,15562	0,11792	0,07256	0,02852
0,35	0,26927	0,19052	0,15982	0,12069	0,09146	0,05627	0,02214
0,40	0,20906	0,14788	0,12403	0,09808	0,07097	0,04365	0,01718
0,45	0,16224	0,11479	0,09628	0,07613	0,05509	0,03389	0,01334
0,50	0,12654	0,08910	0,07473	0,05909	0,04276	0,02631	0,01035
0,55	0,09777	0,06916	0,05801	0,04587	0,03319	0,02042	0,00803
0,60	0,07589	0,05368	0,04502	0,03560	0,02576	0,01585	0,00623
0,70	0,04571	-	-	-	-	-	0,00376
0,80	0,02754	-	-	-	-	-	0,00226
0,90	0,01659	-	-	-	-	-	0,00136
1,00	0,01000	-	-	-	-	-	0,00082
1,20	0,00363	-	-	-	-	-	0,00030
1,40	0,00132	-	-	-	-	-	0,00011

$$\text{VÁLEC; } \frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = 30$$

TABULKA Č: XLVII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	-	-	-	-	-	-
0,04	0,99839	0,91186	0,83102	0,70461	0,52909	0,31430	0,07575
0,05	0,99134	0,86397	0,77077	0,63922	0,47062	0,27539	0,06625
0,06	0,97798	0,82559	0,71642	0,58468	0,42457	0,24589	0,05915
0,08	0,93394	0,72980	0,62416	0,49867	0,35575	0,20329	0,04904
0,10	0,87109	0,64907	0,54908	0,43305	0,30571	0,17331	0,04193
0,15	0,69563	0,49139	0,40889	0,31470	0,22158	0,12442	0,03023
0,20	0,54186	0,37398	0,30956	0,23959	0,16628	0,09310	0,02265
0,25	0,41263	0,28513	0,23562	0,18615	0,12621	0,07059	0,01719
0,30	0,31547	0,21751	0,17964	0,13863	0,09614	0,05376	0,01308
0,35	0,24074	0,16596	0,13703	0,10574	0,07333	0,04099	0,00998
0,40	0,18369	0,12663	0,10456	0,08067	0,05594	0,03127	0,00762
0,45	0,14017	0,09662	0,07975	0,06156	0,04268	0,02386	0,00581
0,50	0,10695	0,07373	0,06088	0,04697	0,03257	0,01821	0,00443
0,60	0,06227	0,04292	0,03545	0,02735	0,01896	0,01060	0,00258
0,70	0,03626	0,02499	0,02064	0,01592	0,01104	0,00617	0,00150
0,80	0,02111	0,01455	0,01202	0,00927	0,00643	0,00359	0,00088
0,90	0,01229	0,00847	0,00700	0,00540	0,00357	0,00209	0,00051
1,00	0,00716	-	-	-	-	-	0,00030
1,20	0,00243	-	-	-	-	-	0,00010

VÁLEC; $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot R = Bi = \infty$

TABULKA Č. XLVIII

$\frac{\alpha \cdot r}{R^2}$	PARAMETRICKÉ TEPLOTNÍ KRITÉRIUM PŘI $\frac{r}{R} =$						
	0,0	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,02	-	0,98429	0,94081	0,83942	0,63713	0,34802	0
0,04	0,99628	0,88906	0,79433	0,65141	0,46025	0,23473	0
0,05	0,98434	0,83555	0,73000	0,58562	0,40630	0,20449	0
0,06	0,97054	0,78396	0,67357	0,53191	0,36437	0,18181	0
0,08	0,91776	0,69061	0,58016	0,44887	0,30249	0,14938	0
0,10	0,84836	0,61025	0,50576	0,38661	0,25805	0,12669	0
0,15	0,66183	0,45262	0,32229	0,27866	0,18402	0,08974	0
0,20	0,50150	0,33797	0,27467	0,20633	0,13582	0,06611	0
0,30	0,28271	0,18934	0,15362	0,11523	0,07576	0,03684	0
0,40	0,15850	0,10618	0,08613	0,06460	0,04246	0,02065	0
0,50	0,08889	0,05955	0,04831	0,03623	0,02382	0,01158	0
0,60	0,04985	0,03340	0,02709	0,02032	0,01336	0,00649	0
0,70	0,02796	0,01874	0,01519	0,01140	0,00749	0,00364	0
0,80	0,01568	0,01051	0,00852	0,00639	0,00420	0,00205	0
0,90	0,00880	0,00589	0,00478	0,00358	0,00236	0,00115	0
1,00	0,00494	0,00331	0,00268	0,00201	0,00132	0,00064	0
1,20	0,00155	0,00104	0,00084	0,00063	0,00042	0,00020	0

Červen 1966.

H. Kůrka

