

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro

Františka Pokorného

odbor

strojírenská technologie

Protože jste splnil požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomní úkol:

Název tématu: Studium výskytu vměstků, vnitřních vad a mechanických vlastností hliníkových slitin tavených různými způsoby při kokingovém a tlakovém lití

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište druhy charakter a rozložení vměstků a vnitřních vad vyskytujících se v odlitcích z hliníkových slitin litých do kokil a pod tlakem a metody jejich vyhodnocování.
- 2) Sledujte průběh tavení hliníkové slitiny (ČSN 424384) v koksové peci plynové peci, elektrické peci odporové a indukční. Z natavené slitiny odlíjete zkušební tyče do kokily a tlakově, jednak bezprostředně po dosažení lící teploty, jednak po několik hodinách udržování taveniny na lící teplotě. Lící teplotu volte ve všech případech konstantní. (720 °C).
- 3) Na získaných vzorcích vyhodnoťte mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, tažnost), dále metalograficky výskyt vměstků a vnitřních vad.
- 4) Proveďte zhodnocení a porovnání jednotlivých způsobů tavení co do kvality materiálu (při obou způsobech lití) a nákladů na tavení.

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.

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

V 109 / 1967 S

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky, grafy, fotografie metalografických výbrusů

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

Valecký a kolektiv: Lité kovy pod tlakem
Konečný: Diplomová práce VŠST 1965
Rogoss - Hainke: Nichtmetallische Einschlüsse in Aluminiumguss
Technisch - wissenschaftliche Fortschritte im
Giessereiwesen, Leipzig 1962
Giesserei r. 1963 č. 3

Vedoucí diplomní práce: Ř. prof. Ing. Bohumil O d s t r ě ě i l

Konsultanti: Ing. Zdeněk H o l u b e c
Stanislav V o d i ě k a Náradí n.p. Česká Lípa

Datum zahájení diplomní práce: 2.10.1967

Datum odevzdání diplomní práce: 30.10.1967



Bohumil Odstrčil

Vedoucí katedry
Ř. prof. Ing. Bohumil Odstrčil

Cyril Höschl

Děkan
Mř. prof. Ing. Cyril Höschl

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

studium výskytu vměstků, vnitřních
vad a mechanických vlastností Al
slitin tavených různými způsoby.

DP ST 574,67 - 1

30. října 1967

F. Pokorný

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

V LIBERCI

STROJNÍ FAKULTA

Liberec 20. 10. 1967

Frant. Pokorný

OBSAH:

1. Zadání.....	1...1
2. Úvod.....	-4
3. Vady odlitků z hliníkových slitin při ko- kilovém a tlakovém lití	7
3.1. Poréznost odlitků.....	7
3.1.1. Poréznost způsobená uvolňováním plynu rozpuštěného v tavenině	8
3.1.2. Dutiny vzniklé zavlečením plynu do tuhajícího kovu	10
3.1.3. Vnitřní staženiny a mikrostaženiny.....	11
3.1.4. Trhliny a praskliny.....	11
3.1.5. Metody zjišťování poréznosti.....	12
3.2. Vměstky ve struktuře hliníkových slitin.....	13
3.2.1. Kysličnické vměstky.....	13
3.2.1.1. Mechanismus vzniku AlMg vměstků.....	14
3.2.1.2. Mechanismus vzniku korundových vměstků.....	16
3.2.1.3. Identifikace kysličnických vměstků.....	18
3.2.2. Vměstky kovové povahy.....	19
3.2.2.1. Tvrdé komplexní kovové sloučeniny.....	19
3.2.2.2. Karbidy.....	21
3.2.3. Nečistoty nekovového charakteru.....	21
3.3. Vliv některých přísad na strukturu hliníko- vých slitin	22
4. Tavení hliníkových slitin	25
4.1. Plyny v hliníkových slitinách a způsoby odplynění taveniny	25
4.2. Modifikace slitin AlSi.....	27

5. Používané drhy tavicích a udržovacích pecí pro Al slitiny	30
5.1. Pece s plynovým nebo olejovým topením.....	31
5.2. Elektrické pec_e.....	31
5.2.1. Odporové pec_e kelímkové.....	31
5.2.2. Odporové pec_e nístějové.....	32
5.3. Indukční pec_e.....	32
6. Experimentální část.....	34
6.1. Přehled prováděných zkoušek.....	35
6.2. Zkoušky prováděné v elektrické indukční peci.....	38
6.3. Zkoušky prováděné v el. odporové peci.....	42
6.4. Zkoušky prováděné v plynové peci.....	46
6.5. Zkoušky prováděné v koksové peci.....	50
7. Výsledky měření	51
7.1. Mechanické vlastnosti.....	51
7.2. Výskyt vměstků a vnitřních vad.....	52
7.3. Chemické složení.....	55
8. Zhodnocení získaných výsledků.....	56
8.1. Mechanické vlastnosti.....	56
8.2. Výskyt vměstků.....	57
8.3. Ekonomické zhodnocení nákladů na tavení.....	60
9. Závěr.....	62
10. Seznam použité literatury.....	64

Tato práce obsahuje 64 stran textu, 14 obrázků a 22 příloh.

2. Úvod

Hliník je kov, který je lidstvu znám přibližně asi sto let, technicky používán je však od konce 19. století a dnes je nejpoužívanějším neželezným kovem. Výroba hliníku trvale roste rychleji než ostatních neželezných kovů i oceli.

Přísadou různých prvků se dají vyrobit slitiny, které se svými vlastnostmi často velmi odlišují od hliníku, a které mají vhodné vlastnosti pro různé způsoby použití. Použití hliníkových slitin je podmíněno jejich vlastnostmi. Při výběru hliníkových slitin vhodných k jednotlivým používaným způsobům lití je třeba přihlížet ke speciálním technologickým požadavkům na slitinu. Rozdílné požadavky na technologické vlastnosti vyplynou z porovnání lití do písku, kokily a pod tlakem. Pro technologickou vhodnost je rozhodující křehkost a pevnost za vyšších teplot, schopnost vyplnění formy, která závisí na tepelném obsahu vztaženém na objem taveniny a na teplotním intervalu tuhnutí. Obecně mají slitiny hliníku malou měrnou váhu, dobré mechanické vlastnosti, dobrou tvárnost za tepla i za studena, některé z nich jsou dobře slévateľné, dají se tepelně zpracovávat. Mnoho typů dobře odolává korozi, všechny jsou nemagnetické a mají dobrou elektrickou a tepelnou vodivost.

Pro slévárenské účely se používá slitin, jež obsahují kromě hliníku obyčejně křemík, měď, zinek, hořčík, nikl, mangan a jejich kombinace. Těmito přísadami dosahujeme u odlitků vhodných mechanických vlastností, fyzikálních, chemických a technologických a zlepšují se slévárenské vlastnosti, důležité pro vlastní tavení a odlévání slitiny. Slévárenské slitiny Al se odlévají kromě běžného způsobu lití do písku ještě dalšími způsoby např. lití do kokil, pod tlakem, odstředivě apod. Vhodný způsob výroby odlitků je podmíněn velikostí a složitostí odlitku, počtem vyráběných odlitků a požadavky na rozměrovou přesnost a kvalitu povrchu s ohledem na další případné povrchové úpravy.

K tavení hliníku a hliníkových slitin se používá různých typů pecí. Konstrukce a provedení pecí musí vyhovovat základní podmínce tavení těchto slitin tj. pece musí umožnit rychlé roztavení vsázky, zabránit přehřátí taveniny, její oxidaci a naplynění. Druh a velikost pecí ve slévárnách hliníku se řídí celkovým výkonem slévárny, kusovou vahou odlitku, druhem zpracovávaného materiálu, počtem druhů odlévaných slitin, požadavky na odlitky, směnností slévárny atd.

Snahou výrobce odlitků je dosáhnout co nejnižších nákladů na výrobu hrubého odlitku, který je finálním výrobkem sléváren, při dodržení všech vlastností

odlitku, které odběratel požaduje. Cena odlitku je tvo-
řena mimo jiné náklady na tavení a ošetření taveniny.
V této práci se zabývám ekonomickým zhodnocením nákla-
dů na tavení hliníkové slitiny ČSN 424384 / Al Si 10/
při různých druzích ohřevu s ohledem na materiálové
vlastnosti natavené slitiny.

3. Vady odlitků z hliníkových slitin při kokilovém a tlakovém lití

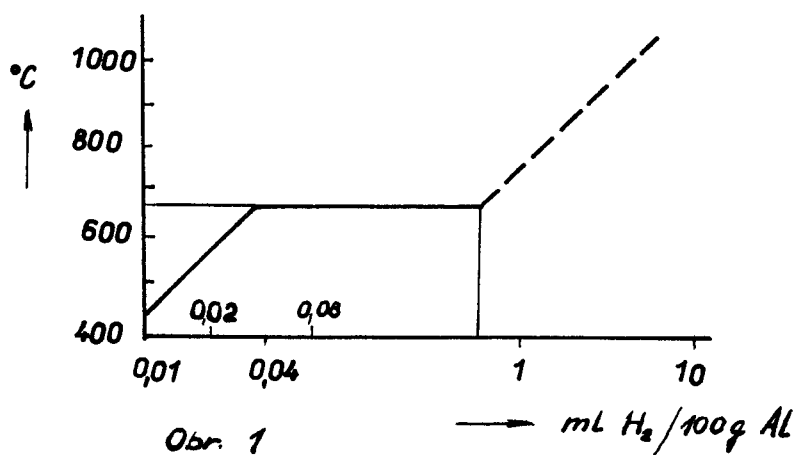
Obecně lze říci, že kvalita odlitku je určována množstvím a charakterem vnějších a vnitřních vad a materiálovými vlastnostmi odlitku. Vlastnosti kvalitního odlitku z hliníku a hliníkových slitin zaručují technické dodací předpisy ČSN 42430 a ČSN 421431. V této části se zaměřím na popis vnitřních vad a materiálových vlastností odlitků z Al slitin litých do kokil a pod tlakem. Mezi vnitřní vady patří zejména poréznost odlitku, množství, druh a charakter nečistot v materiálu odlitku, nedodržení chemického složení materiálu a nevhodná struktura materiálu odlitku.

3. 1. Poréznost odlitků

Vnitřní pórovitost materiálu odlitku značně ovlivňuje hustotu a nepropustnost a samozřejmě i mechanické hodnoty materiálu. Velikost poréznosti je ovlivňována několika faktory. Nejvýznamnější vliv má druh tavicího zařízení a způsob vedení tavby a ošetření taveniny, chemické složení materiálu, druh použité technologie a podmínky vlastního procesu lití. Podle původu vzniku dutin a pórů lze poréznost odlitku rozdělit do několika skupin.

3. 1. 1. Poréznost způsobená uvolňováním plynů rozpustěných v tavenině

Při ohřevu dochází k rozpouštění plynů v tavenině viz diagram na obr. 1



Jestliže kov nalijeme do formy slitina tuhne a plyn, jehož rozpustnost s klesající teplotou se zmenšuje, se uvolňuje a zůstává uzavřen v tuhoucím materiálu. Pórovitost je tedy podmíněna velikostí naplynění taveniny a dobou tuhnutí odlitku.

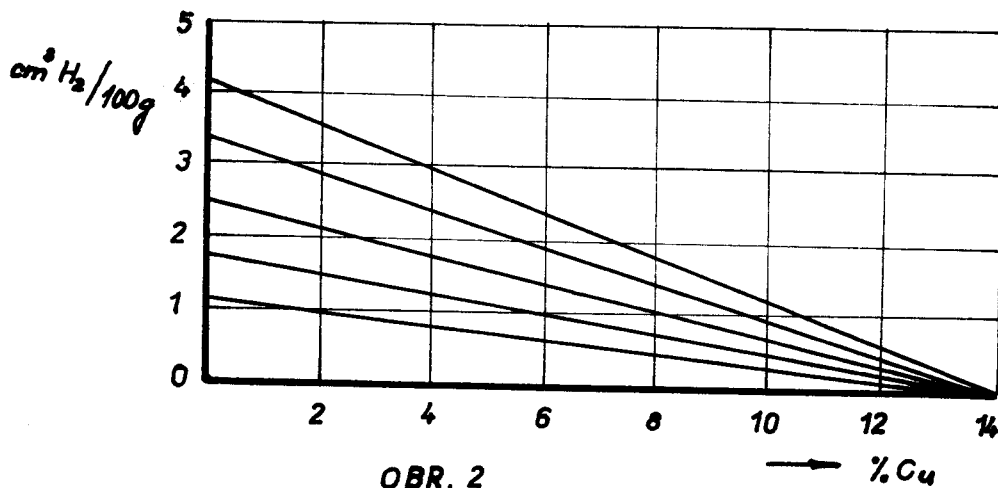
Na množství plynu rozpustěného v tavenině mají vliv obvykle tyto příčiny:

- a/ jakost vsázky
- b/ druh použitého tavicího zařízení a režim tavby
- c/ chemické složení slitiny
- d/ druh a jakost krycích a rafinačních prostředků

Popisem vlivů faktorů ad a / ad d / se zabývám v kapitole 4.1. . Popisem vlivu použitého tavicího zařízení se zabývám v kapitole 5.

Ad c / vliv chemického složení slitiny":

hliník a jeho slitiny rozpouštějí při tavení značná množství plynu hlavně však vodíku. Rozpustnost jiných plynů lze obvykle zanedbat. Největší rozpustnost pro plyn má čistý hliník. U slitin hliníku se rozpustnost plynů zmenšuje v tomto pořadí: Al Mg Si, Al Cu Mg, Al Cu Ni, Al Si. Vliv přísady mědi na rozpustnost vodíku ve slitině Al je znázorněn na obr. 2



OBR. 2

Podobný vliv na rozpustnost vodíku v Al slitinách mají i jiné prvky, jako např. Si, Mn, Ni a jiné.

Doba tuhnutí odlitku je především ovlivněna druhem a technologickými podmínkami vlastního procesu lití a chemickým složením slitiny, které ovlivňuje interval tuhnutí materiálu.

Proto při odlévání tenkostěnných odlitků s rychlým odvodem tepla je nebezpečí pórovitosti, způsobené obsahem plynu rozpuštěného v tavenině, menší než u silnějších stěn odlitku a pomalého chladnutí.

Z toho vyplývá, že nebezpečí vzniku porézности tohoto typu je obvykle nejmenší u tlakově litých odlitků, které jsou často tenkostěnné a masivní kovová forma zaručuje rychlý odvod tepla, poněkud náchylnější jsou kokilově lité odlitky a odlitky lité do pískových forem.

3. 1. 2. Dutiny vzniklé zavlečením plynu do tuhajícího kovu.

Další příčinou vzniku porézности je vzduch, který byl zavlečen do taveniny během tuhnutí. Toto nebezpečí je tím větší, čím větší rychlost má proud kovu a čím nedokonalější je odvzdušnění formy. Tento vliv se nejvýrazněji projevuje při lití do kovových forem a to zejména při tlakovém lití, při kterém je kov vstřikován do formy poměrně velkou rychlostí. Tvoření bublin zvyšuje také použití mazadel, které při styku s taveninou vyvíjejí velké množství plynů. Proto se objevují snahy odlévat do evakuovaných forem, čímž se bublinatost odlitku zmenšuje.

3. 1. 3. Vnitřní staženiny a mikrostaženiny

Další typ poréznosti je způsobován staženinami, které se tvoří v materiálu odlitku během tuhnutí. Stahování je způsobeno převážně objemovou kontrakcí v intervalu tuhnutí a roste proto při konstantní střední teplotě formy s lící teplotou taveniny. Při gravitačním lití je možno čelit vnitřním staženinám nálitkováním a tepelně vyváženým chladnutím tak, aby z nálitku byla dodávána tavenina do míst, kde se tvoří staženina. Tato úprava není možná např. při lití pod tlakem /vyjímaje do jisté míry působení dotlaku/, a proto je nutno se smířit s tím, že u odlitků litých touto technologií nebude vnitřek odlitku bez dutin, vzniklých tímto způsobem. Nejúčinnějším prostředkem proti tvoření staženin je odlévání z co nejnižší lící teploty, což je nejsnáze realizovatelné právě při lití pod tlakem.

3. 1. 4. Trhlíny a praskliny

Další dutiny v odlitku mohou být způsobeny trhlinami a prasklinami v materiálu. Čím menší je koeficient tepelné roztažnosti v intervalu teplot solidu a vyhození odlitku z formy, tím výhodnější je slitina z hlediska všech nepříznivých vlivů smrštění. V souvislosti s tím, že kovová forma brání smrštění, mohou se při lití do kovových forem uplatnit jen ty slitiny, které mají v tuhém stavu, ale i za teplot blízko teploty tuhnutí dostatečnou pevnost, nejsou křehké a snesou plastickou deformaci.

3. 1. 5. Metody zjišťování porézności

Propustnost odlitku, která je způsobena porézností, lze zjišťovat tlakovou vodou nebo tlakovým vzduchem. Neobrobený povrch odlitku však bývá obyčejně celistvý a vnitřní pórovitost nesouvisí s povrchem, a proto tato metoda nevede k cíli. Někdy se jí dá použít u třískově obrobených odlitků. Většinou však přicházejí v úvahu další zkoušky např. prosvěcování rentgenem nebo méně technicky náročná metoda dvojího vážení. Vnitřní porézność se také objeví při vizuálním pozorování výbrusu. Touto metodou je možno od sebe rozlišit vnitřní póry způsobené stahováním kovu a dutiny vytvořené plynem. Vada způsobená stahováním kovu při pozorování metalografického výbrusu vykazuje nerovné okraje a matný povrch dutiny. Vnitřní vada způsobená plynem je okrouhlá a má velmi odrazivý povrch.

3. 2. Vměstky ve struktuře hliníkových slitin

Vměstky jemně rozptýlené v odlitcích ze slitin hliníku jsou příčinou rychlého opotřebení rezných nástrojů a vyskytují-li se ve větších shlucích, mohou způsobit porušení rezných nástrojů. Menší částičky, jevící se na vyleštěném povrchu jako drobné tmavé tečky, působí nepříznivě při pochodech leštění a pokovování. Přítomnost vměstků rovněž snižuje mechanické vlastnosti odlitku, protože zmenšují nosný průřez a způsobují vruby ve struktuře.

Podle povahy vměstky rozdělujeme:

- 1/ kysličnické vměstky
- 2/ vměstky kovové povahy
- 3/ jiné nečistoty /nehomogení součásti ve struktuře/

3. 2. 1. Kysličnické vměstky

Mechanismus oxydace hliníku je velmi komplikovaný, protože současně vedle sebe existují různé modifikace hliníkových kysličníků /amorfni Al_2O_3 , γAl_2O_3 se spinelovou strukturou, nestabilní modifikace ηAl_2O_3 a řada dalších nestabilních modifikací a αAl_2O_3 takzv. korundová fáze/. Mechanismus oxydace hliníkových slitin je ještě komplikovanější, protože přísady a nečistoty, které obsahuje materiál, ovlivňují rychlost oxydace. Na povrchu taveniny se tvoří kysličnická vrstva, která obvykle obsahuje vyšší procento kysličníků přísadových prvků, jako např. MgO , $MgO \cdot Al_2O_3$ a

$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. přísady s vyšší tensí par, jako např. Na, Se, při konstantní teplotě zesilují oxydační proces, protože při odpařování ruší souvislou pasivační vrstvičku kysličníků na povrchu taveniny. Jiné přísady a nečistoty ve slitině např. re, zn, cu, Mn a Si ovlivňují rychlost oxydace až při teplotách kolem 800 st. C.

Z pořadí koncentrace jednotlivých prvků v kysličníkové vrstvě na povrchu taveniny lze usuzovat na to, jak který prvek ve slitině ovlivňuje rychlost oxydace.

V další části se budu zabývat popisem mechanismu vzniku nejčastěji se vyskytujícími kysličníkovými vměstky mezi něž patří zejména spinel a korund.

3. 2. 1.1. Mechanismus vzniku AlMg vměstků /spinel/

Spinelem je nazýván bezvodý hlinitan dvojmocného kovu $\text{M}^{\text{II}} \text{Al}_2\text{O}_4$. Je znám spinel hořčíku, vápníku, hliníku, zinku. Množství a druh spinelového kysličníku při tavení hliníkových slitin je ovlivňováno obyčejně obsahem a stupněm afinity příslušného kovu ke kyslíku.

Největší potíže činí právě spinel Mg, protože hořčík je jednou z nejreaktivnějších přísad a objevuje se ve většině svařenských slitin hliníku. Závěry zkoušek, které jsou popsány v literatuře [2] a které měly zjistit vlivy působící na vznik AlMg vměstků je možno shrnout do několika bodů:

- 1/ spinel $MgAl_2O_4$ se tvoří na povrchu taveniny všech používaných hliníkových slitin
- 2/ výskyt spinelů ovlivňuje procento Mg v tavenině
- 3/ množství AlMg vměstků závisí na teplotě a době ohřevu taveniny
- 4/ velikost naplynění roste s obsahem hořčíku ve slitině vlivem bouřlivější reakce a naplynování taveniny ustává s pasivací povrchu kysličníkovou vrstvou

Prísadami některých prvků lze zmenšit oxydační proces. Byly konány pokusy s přísadami Be, P a Ti. Při udržování taveniny Al Mg při 700 až 800 °C jsou v literatuře [5] udávána tato váhová množství Be, která v dostatečné míře zabráňují oxydaci:

slitina AlMg3.....	0,001 % Be
AlMg5.....	0,0015 % Be
AlMg10.....	0,004 % Be
AlMg20.....	0,02 % Be

Je uváděn tento vzorec pro stanovení minimálního množství Be v závislosti na obsahu Mg ve slitině:

$$\text{Log } (\% \text{Be}_{\text{min}}) = A \cdot (\% \text{Mg}) + B$$

$$A = 85,7 \cdot 10$$

$$B = -3,26$$

Obsahy prvků jsou dosazovány ve váhových %.

3. 2. 1. 2. Mechanismus vzniku korundových vměstků

Při tavení hliníkové slitiny, která neobsahuje Mg, se na povrchu taveniny tvoří $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, který má spinelovou strukturu. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ je známo, že při vyšších teplotách se mění v $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Inkubační doba zárodků $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ je při 700°C asi 24 hod., při 800°C asi 3 hod., při 900°C asi 3 hod.. Inkubační doba modifikační změny je vyjádřena tímto vzorcem:

$$\ln t = \ln c + \frac{Q}{RT}$$

tdoba inkubace

Q.....počáteční aktivační energie /23 kcal/mol /

c.....doba zpoždění /2sec./

Při změně $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ se uvolňuje tepelná energie, která činí 20,6 kcal/mol.

Vznikající kysličník $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, který je označován jako korund, nemá však tvrdost a kompaktnost částic, které se vyskytují v Al slitinách, a které bývají nazývány korundové vměstky. Tvorba kompaktních částic korundu je možná tehdy, když se $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ přehřeje přes bod tání /2080°C/, nebo když kysličník hliníku vzniká za vyšších teplot než je bod tání. Této teploty je možno dosáhnout při aluminotermické reakci s oxidy jiných prvků. V literatuře se poukazuje na to, že korundové vměstky se ve větší míře vyskytují v tavně,

kteřá je znečištěna kysličníky železa, SiO_2 nebo CuO . Byly konány různé pokusy, které jsou popsány v literatuře, a které měly objasnit mechanismus vzniku a místo tvoření korundových vměstků v tavenině. Podařilo se napodobit a vysvětlit korundovou reakci tímto způsobem: při tavení hliníkových slitin se tvoří na povrchu taveniny pěna z kysličníků, ve které zůstává uzavřeno dosti velké množství kovového hliníku. Tyto částice potom reagují za vývinu tepla /aluminotermická reakce/ a na povrchu taveniny se objevují záblesky. Při vlastním pokusu byl čistý hliník ohřát na 950°C a na povrch taveniny byly vhozeny okuje předehřáté na 950°C . Po krátkém promíchání vznikla samovolně aluminotermická reakce a na povrchu taveniny vznikla rychle tuhající korundová kůra. Při teplotách nižších než 750°C se ani takto nedala reakce vyvolat.

Přestože se obyčejně Al slitiny nepřehřívají přes teplotu 750°C , vyskytují se v odlitcích z Al slitin korundové vměstky. Tento jev bývá vysvětlován místním přehřátím taveniny.

3. 2. 1. 3. Identifikace kysličnických vměstků

Při zkoumání struktury je možno dva základní druhy kysličnických vměstků, spinel, korund, od sebe rozlišit, např. zkouškou mikrotvrdomosti. Podle [2] vykazuje tvrdost tyto hodnoty:

spinel.....600 - 800 jednotek mikrotvrdomosti

korund.....2 000 jednotek mikrotvrdomosti

Přepočítávací vztah mezi těmito hodnotami a hodnotami HB a HRC neexistuje.

Praktickou metodou na zjištění korundového vměstku je vrypova zkouška. Jestliže se tmavý kompaktní vměstek nedá vyrýpnout ostrou rýsovací jehlou, dá se předpokládat, že jde o korundový vměstek.

Prosvěcování rentgenem nevede k cíli, protože pohltivost vměstků je přibližně stejná jako základního materiálu.

U tlakově litých odlitků se dá zkouška na obsah vměstku zahrnout do stálé kontroly. Protože u tlakově litých odlitků bývají vměstky jemně a rovnoměrně rozptýleny, je možno vzorek odlitku rozpustit stejným způsobem jako pro chemickou analýzu tak, aby nekovové vměstky se nerozpustily. Takto je možno provádět polokvantitativní a kvantitativní zkoušky /zčernání filtru, vážení zbytku/.

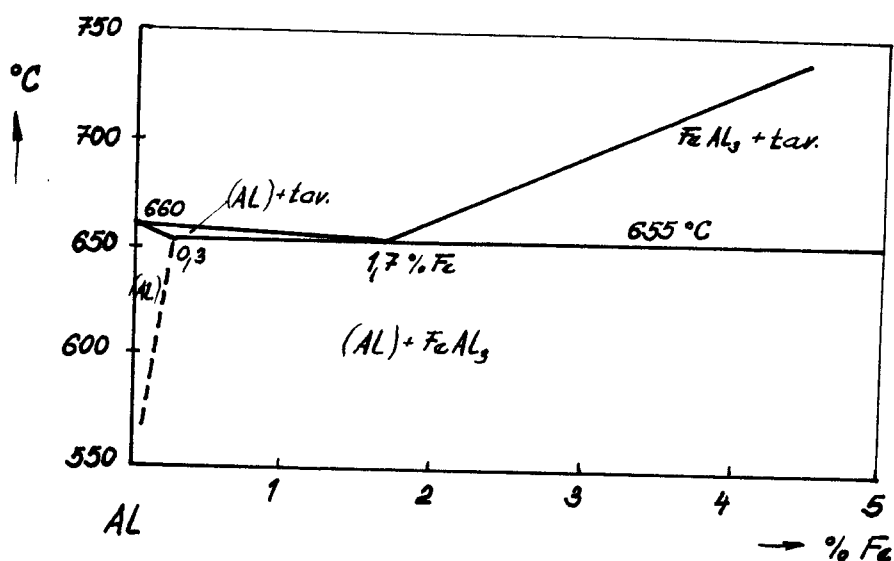
Nejlepší metodou je však mikroskopický průzkum materiálu. Mikrostruktura spinelu a korundu je charakteristická a oba vměstky se dají od sebe rozlišit podle tvaru a barvy. Podrobněji se zabývám metalografickým zjišťováním vnitřních vad v kapitole 7.2.

3. 2. 2. Vměstky kovové povahy

V používaných slitinách hliníku se někdy objevují tvrdé kovové sloučeniny, které ovlivňují životnost řezných nástrojů při obrábění odlitků, snižují tekutost roz-taveného kovu a způsobují zapékání forem.

3. 2. 2. 1. Tvrdé komplexní kovové sloučeniny

Příčinami výše uvedených poruch bývají často tvrdé komplexní sloučeniny Fe, Mn, Si a Al, které se tvoří na dně pece. Tvoření tohoto "kalu" lze vysvětlit na jednodušší soustavě a to na binární soustavě Al - Fe, jejíž rovnovážný diagram je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3

Při teplotě vyšší než 660°C je slitina v dokonale tekutém stavu při obsahu Fe menším než 1,7 %. Při vyšších obsazích železa při teplotách nepatrně vyšších než je eutektická teplota 655°C se v tavenině objevuje tuhá sloučenina FeAl₃. Jestliže do lázně, jejíž teplota je poměrně nízká /650°C/ vložíme ingot, nastane ochlazení, které způsobí precipitaci tuhých sloučenin na dně kelímku a lázeň pozbývá své homogenity. Částice Mn působí jako zárodeční jádra při precipitaci železa a do sloučeniny "vniká" křemík, takže se vytváří kal ze čtyř prvků. Tvorba kalu je podporována a urychlována přítomností jemně rozptýlených částeček kysličníku hlinitého, chovajících se jako zárodečná jádra při precipitaci komplexní sloučeniny FeMnSiAl.

Z tohoto výkladu je vidět, že tvorbu tvrdých komplexních sloučenin v Al slitinách podporuje segregace, která má za následek zvýšení obsahu Fe, Si a Mn na dně pece, a poměrně nízká teplota taveniny. Abychom zabránili vzniku tvrdých kovových vměstků, musí tavící pec, zvláště skládá-li se vsázka z ingotů a zmetků, pracovat při vysoké teplotě /700 - 730°C/, lázeň je třeba řádně odstruskovat a míchat a do udržovacích pecí se má nalévat tavenina přehřátá alespoň o 50°C, je-li dolévané množství kovu poměrně malé ve srovnání s kapacitou udržovací pece.

3. 2. 2. 2. Karbidy

Za další zdroj poruch při obrábění bývají označovány karbidy, které vznikají obyčejně při vyšších tlacích a teplotách reakcí uhlíkových částic mazacla a hliníku. Tyto příznivé podmínky pro vznik karbidů se objevují při tlakovém lití. K zvýšenému výskytu dochází zejména při intenzivním mazání formy a vstřikovacího ústrojí tlakového lícího stroje směsí oleje s příškovým grafitem.

3. 2. 3. Nečistoty nekovového charakteru

Nečistoty nekovového charakteru v hliníkových slitinách jsou často částicemi vyzdívky tavících a udržovacích pecí, zbytky formovacích materiálů atd.

3. 3. Vliv některých přísad na strukturu hliníkových slitin

Protože se v této práci zabývám účinkem vlivů působících na materiálové vlastnosti slitiny ČSN 424384 /AlSi10/, zaměřím se především na popis působení některých prvků, které obvykle obsahují slitiny typu AlSi. Dodržení chemického složení materiálu má velký vliv na kvalitu odlitku.

Křemík působí velmi značně na vlastnosti Al slitin. Zlepšuje zejména slévárenské vlastnosti, např. smrštění s rostoucím obsahem Si se zmenšuje, zabíhavost AlSi slitin se zvyšuje /od 3 do 12 %Si/, roste pevnost za tepla. Elektrická vodivost se s rostoucím obsahem Si snižuje, při obsahu Si vyšším než 10 % se zhoršují mechanické vlastnosti, obrobitelnost s rostoucím obsahem křemíku se zhoršuje.

Přirozené zrno slitin AlSi je dosti hrubé, což způsobuje křemík vyloučený hrubě ve tvaru destiček nebo jehliček v eutektiku. Aby bylo dosaženo dobrých mechanických vlastností materiálu, které jsou podmíněny jemnou krystalizací, provádí se při tavení těchto slitin takzv. "modifikace". Popisem modifikačního procesu se zabývám v kapitole 4.2.

Obsah železa v hliníkových slitinách je důležitým technologickým činitelem. Při styku hliníkových slitin se železem dochází k zvyšování obsahu Fe ve slitině. Tento jev byl jednou z příčin rozšíření tlakových licích strojů se studenou komorou, kde nedochází při vlastním lití Al slitin k znečištění železem. V pecích slitinovými kelímky lze zmenšit znečištění taveniny Fe výmazem kelímku. Množství železa ve slitině ovlivňuje rychlost reakce mezi slitinou a ocelovými a litinovými součástmi. Proto je třeba kriticky zhodnotit škodlivost vlivu železa s ohledem na užitkové vlastnosti hliníkových slitin. V normách např. ČSN 424384 se připouští vyšší obsah železa ve slitině je-li určena pro tlakové lití /2 % Fe/, než má-li být použita pro lití do písku nebo do kokily /0,8 % Fe/. ■ obavy před takzv. lepením materiálu odlitku k formě.

Všeobecně je možno říci, že až do obsahu 1,5 % Fe toto zvyšuje pevnost, zmenšuje lineární smrštění, tažnost se nesnižuje. Při vyšších obsazích se projevují některé nepříznivé vlastnosti jako např. snížení zabíhavosti, větší sklon k praskání, snížení odolnosti proti korozi, větší sklon k segregaci. Stupeň nepříznivosti vlivu Fe je závislý na chemickém složení slitiny. Při obsahu větším než 1,7 % Fe, se tvoří, jsou-li k tomu předpoklady, sloučenina $FeAl_3$, při vyšším obsahu Si sloučenina

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Studium výskytu vměstků, vnitřních vad a mechanických vlastností Al slitin tavených různými způsoby.

DP ST 574/67 - 24

30. října 1967

F. Pokorný

$Al_6Fe_2Si_3$, které dávají popud k hrubé krystalizaci.

Z uvedených poznatků je patrné, že na kvalitu odlitku má vliv celá řada technologických a materiálových vlastností a komplexní posouzení kvality odlitku vyžaduje sledování všech působících vlivů.

4. Tavení hliníkových slitin

Proces tavení hliníkových slitin má své zvláštnosti, podmíněné specifickými vlastnostmi kovu. Příznačná je velká chemická afinita ke kyslíku a schopnost rozpouštět plyny, zejména vodík. Na tyto vlastnosti je třeba brát při tavení zřetel.

Chemickou afinitou hliníku a hliníkových slitin a jejími nepříznivými důsledky se zabývám v kapitole 3. 2. 1.

4. 1. Plyny v hliníkových slitinách a způsoby odplynění taveniny

Při tavení hliníkových slitin je zejména nutné chránit kov před vlivem ovzduší, které obsahuje kromě vzdušného kyslíku vždy vodní páru, která se při styku s roztaveným kovem rozkládá na kyslík a vodík. Vznikající vodík je kovem přijímán a snadno způsobuje naplynění kovu, jímž se slitina znehodnocuje.

Jiným zdrojem vodíku je také např. zoxydovaný povrch vsazeného materiálu, jež je vlastně vrstvičkou hydroxydu hlinitého, který obsahuje vodu, a která se rozkládá a uvolňuje vodík.

Naplynění taveniny může nastat také vlivem použití vlhkého paliva, vlhkého náradí, vlhkých rafinačních a krycích solí, vlhkou vyzdívkou atd.

Hliníkové slitiny se mají ohřívat pokud možno na nejnižší teplotu, která je zapotřebí k lití, neboť s pře -

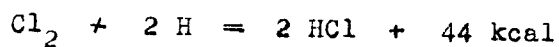
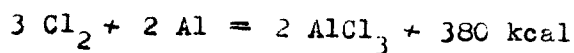
hřátím stoupá sklon k naplynění.

K stanovení obsahu plynů v tavenině bylo vypracováno několik metod, z nichž některé mají provozní charakter a dávají dobré výsledky, takže se jich běžně v tavírnách používá.

Došlo-li již k naplynění taveniny a je-li nebezpečí, že by se zvýšený obsah plynu projevoval nepříznivě na vlastnostech odlitku, musí se před odléváním tavenina odplynit.

K odplyňování se používají obvykle tyto metody:

- 1/ snížení teploty taveniny téměř až k bodu tuhnutí a pak rychlé ohřátí na lici teplotu
- 2/ odstátí taveniny při snížených teplotách po dosti dlouhou dobu
- 3/ použití ultrazvuku
- 4/ tavení ve vakuu
- 5/ promývání taveniny netečným plynem
- 6/ použitím plynného chlóru. Zde vedle účinku fyzikálního, jako při promývání taveniny netečným plynem, vystupuje také účinek chemický. Chlór reaguje s hliníkem a vodíkem rozpuštěným v tavenině podle těchto reakcí:



Odplynění plynným chlórem je velmi účinné, avšak chlórování způsobuje u slitin typu AlSi potíže při očkování.

7/ Odplyňování taveniny organickými solemi uvolňujícími chlór

8/ Použitím anorganických solí takzv. tavidel jako např. chloridů, fluoridů, uhličitánů nebo síranů různých kovů. Při styku halové soli nastává tato reakce:



Vznikající AlCl_3 má čistící účinek na taveninu.

4. 2. Modifikace slitin AlSi.

Pětirožené zrno slitin hliníku s křemíkem je dosti hrubé, což způsobuje Si vyloučený hrubě ve tvaru destiček nebo jehliček v eutektiku. Aby bylo dosaženo dobrých mechanických vlastností, které jsou podmíněny jemnou krystalizací, provádí se v rozmezí obsahu 9 až 13,5 % Si ve slitině zvláštní zpracování taveniny, jemuž se říká modifikování. Princip modifikace spočívá v nepatrné přísadě Na do taveniny. Existuje několik teorií, které vysvětlují vliv sodíku. Podle jedné teorie způsobuje sodík určité přechlazení slitiny, čímž se zároveň přesune eutektický bod ke straně vyššího obsahu Si. Podle druhé teorie se přísadou Na utvoří potrojně eutektikum Al - Si - Na s výhodnými vlastnostmi. Další teorie takzv. absorpční vysvětluje vliv sodíku

30. října 1967

K. Pokorný

takto: sodík je v tavenině přítomen v křoidálním stavu a je absorbován primárně vyloučenými krystaly a brání jim v dalším růstu.

Čtvrtá teorie předpokládá, že částice Na brání mechanicky růstu křemíkových krystalů. Dosud není jednotně stanoveno, která teorie je správná.

Modifikace slitin AlSi se provádí několika způsoby:

- 1/ kovovým sodíkem
- 2/ solemi, jež uvolňují sodík
- 3/ kombinovaným způsobem

ad 1/ modifikace kovovým sodíkem je rychlá, levná, má však některé nevýhody, jako např. nebezpečí zvýšeného naplynění taveniny, které je způsobeno rozkladem NaOH, tvořícího se na povrchu kovového sodíku, a tím i větší porézności materiálu odlitku, a proto se od této metody stále více upouští.

ad 2/ modifikace solemi je dražší než kovovým Na, avšak dávkování je přesné a proces probíhá klidněji. Používané soli mají nejen modifikační účinek, ale také čistí a odplyňují taveninu.

Při modifikaci slitiny pro tlakové nebo kokilové odlitky se někdy používá menší množství modifikačních prostředků, protože kovová forma obvykle zaručuje rychlejší odvod tepla z materiálu než písková forma. Rychlým odvodem tepla jsou vytvořeny příznivější podmínky pro tvorbu jemné krystalizace.

Vlivem vířivého pohybu taveniny je možno pozorovat výrazné snižování obsahu reaktivnějších prvků, mezi něž patří zejména sodík a hořčík, které je způsobeno oxidací těchto prvků. Proto intenzivní míchání taveninou při provádění modifikace zmenšuje modifikační vliv použitých přípravků. Dále je nutno si uvědomit, že účinek modifikace se ruší chlácením nebo jiným odplyněním, při kterém je tavenina promíchávána, prováděným po modifikaci. Po provedení modifikace je možno rovněž zjistit značný úbytek Mg v tavenině, s čímž se také někdy počítá a počáteční obsah hořčíku ve slitině se volí vyšší.

Vliv sodíku se časem zmenšuje, a proto, uplyne-li mezi modifikací a odléváním taveniny delší doba, má být provedena znovu modifikace.

Rovněž výše teploty má na obsah sodíku v tavenině velký vliv, a proto nad eutektické slitiny, které mají vyšší tavicí teplotu, nebývají obvykle modifikovány Na, protože sodík se rychle okysličuje a jeho účinek mizí. Proto se nadeutektické slitiny AlSi modifi-

kují fosforem, titanem, bórem a jejich kombinacemi.

5. Používané druhy tavicích a udržovacích pecí pro Al slitiny

K tavení slitin hliníku se používá několik druhů pecí. Jejich konstrukce musí vyhovovat základní podmínce tavení těchto slitin tj. musí umožnit rychlé roztavení vsázky, zabránit přehřátí taveniny, její oxidaci a naplynění. Druh a velikost pecí ve slévárnách hliníku je určována celkovým výkonem slévárny, kusovou vahou odlitek, druhem zpracovávaného materiálu, počtem odlévaných slitin, požadavky na odlitky, směnností slévárny atd.

Velikost u nás používaných pecí se pohybuje od 500 kg do 5 000 kg taveniny. Ve velkých zahraničních automobilkách jsou instalovány tavicí pece o obsahu až 20 t.

Velikostí tavicích pecí je dán i jejich typ. Až do užitečného obsahu 1 000 kg jsou používány pece kelímkové, které bývají obyčejně sklopné. Tavicí pece nad 1 000 kg užitečného obsahu se volí jako nístějové. nebo bubnové.

Při volbě způsobu ohřevu je třeba přihlížet k dostupnosti a ceně paliva a k vlivu způsobu vytápění na jakost tavené slitiny. Dnes používané pece se obyčejně vy-

tápějí topným plynem, olejem nebo elektricky. Koksové pece se vyskytují zcela ojediněle, protože znehodnocují ve větší míře taveninu naplyněním a koksovým mourem a regulace teploty není dostatečná.

5. 1. Pece s plynovým nebo olejovým topením

Tyto pece se stavějí jako kelímkové nebo nístějové. Regulace teploty je obtížnější než u pecí elektrických. Vcelku nejsou plynové a olejové pece z hlediska jakosti tavených slitin výhodné, a proto se jich používá zejména tam, kde převažují hospodářské výhody použití poměrně levného a snadno dostupného plynu nebo topného oleje.

5. 2. Elektrické pece

Ve slévárnách hliníku se používá obyčejně odporových a indukčních elektrických pecí. Jiné typy elektrických pecí nejsou rozšířeny.

5. 2. 1. Odporové pece kelímkové

Topné odpory bývají u těchto pecí uspořádány vně kelímku, který bývá litinový nebo grafitový. Topný prostor pece má být dobře utěsněn, protože jakékoli proudění vzduchu způsobuje zvýšenou oxidaci topných spirál

a znamená značné ztráty tepla. Tyto pece jsou poměrně levné, nenáročné na údržbu a jsou snadno opravitelné. Využití elektrické energie je poněkud menší než u pecí indukčních.

5. 2. 2. Odporové pece nístějové

Nístějové pece se stavějí obyčejně od obsahu 500 kg až do 3 t hliníkové taveniny. Při stejné velikosti vykazují nístějové elektrické odporové pece nižší spotřebu elektrické energie než pece kelímkové. Velký povrch lázně usnadňuje působení rafinačních prostředků a rychlost tavení sázených pevných slitin je větší než u pecí kelímkových.

5. 3. Indukční pece

V indukčních pecích se ohřívá vsázka buď tím, že vsázka tvoří jednozávitový sekundární obvod transformátoru s jádrem /kanálkové pece/, nebo tím, že se v tavenině indukují vířivé proudy, kdy kolem kelímku je umístěno vinutí /bez jádrové pece/. U indukčních pecí obou typů lze snadno mechanizovat sázení, neboť se sází vrchem do vlastního tavícího prostoru.

V moderních slévárnách hliníku se stále více uplatňují indukční kanálkové pece. Využije se v nich lépe

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Studium výskytu vměstků, vnitřních vad a mechanických vlastností Al slitin tavených různými způsoby.

DP ST 574/67 - 33

30. října 1967

F. Pokorný

elektrické energie /proti bezjádrové indukční peci o 10 %/,
a zejména se získá poměrně málo naplyněná a zoxydovaná ta-
venina. Je tomu tak proto, že tavící prostor má výhodný
tvar, takže slitina se stýká se vzduchem jen na velmi ma-
lém povrchu.

6. Experimentální část

V experimentální části své práce jsem měl za úkol, na základě poznatků popsaných v předcházejících kapitolách, sledovat kvalitu a materiálové vlastnosti vzorků odlitých ze slitiny ČSN 424384 /AlSi 10/. Tento materiál byl zvolen proto, že se předpokládalo, že bude běžně používán ve všech slévárnách hliníku, kde jsem prováděl před-diplomní praxi. Zkoušky jsem prováděl v tlakové slévárně AZNP Mladá Boleslav, kde se používá k tavení a udržování hliníkových slitin elektrických indukčních pecí, ve slévárně n. p. Nářadí Česká Lípa, kde používají k tavení a udržování materiálu elektrických odporových pecí, v n.p. Metalis Nejdek, kde jsou instalovány plynové tavící a udržovací pece a v n.p. Meopta Nový Bor, kde taví materiál v koksových kelímkových pecích.

Vzorky, zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu, jsem odléval do kovové formy jednak gravitačně a jednak pod tlakem. Hlavním mým úkolem bylo sledovat jaký vliv na vlastnosti těchto odlitých vzorků /obsah vměstků a jiných nečistot, mechanické vlastnosti/ mají různé způsoby ohřevu a doba udržování roztaveného materiálu na lici teplotě.

6. 1. Přehled prováděných zkoušek

Jak jsem již dříve uvedl, vlastní zkoušky jsem prováděl s materiálem ČSN 424384 /AlSi 10/, který je v podstatě pondeutektický silumin. Norma ČSN 424384 předepisuje toto chemické složení housek:

Chemické složení	Si	Mn	Al
	7 až 11 %	0,2 až 0,5 %	zbytek

Dovolený obsah přímíšenin nejvýše %:

Fe	Cu	Ni	Mg	Pb	Sn	Zn	celkem
0,8	1,5	0,5	0,45	0,2	0,2	0,9	3,5

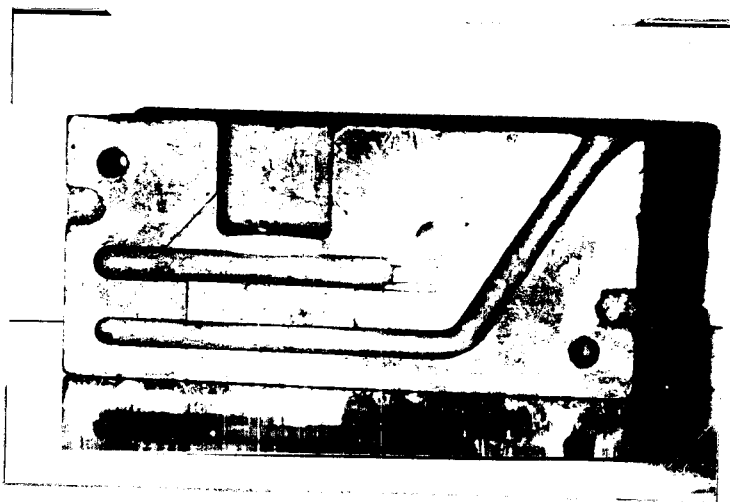
Tento materiál byl ohřát na teplotu 720 °C a na této teplotě udržován několik hodin. V určitých časových intervalech byly odlévány vzorky materiálu do kovových forem.

Jednak byl materiál odléván do kokily na zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu /obr. 4 /, která je uvedena v normě ČSN 421430. Výkres odlitku zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu z této kokily je na obr. 5.

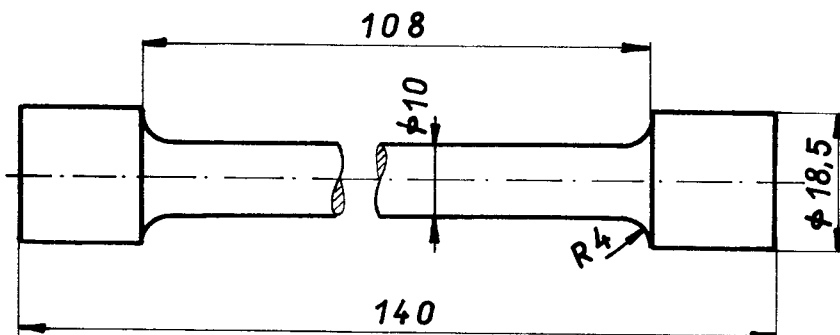
Dále byl materiál odléván do kokily na tyče pro zkoušku pevnosti v tahu podle Pillinga /obr. 6 /.

Výkres odlitku zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu z této kokily je na obr. 7. Tato zkušební tyč má stejný tvar a rozměry jako tlakově odlitá zkušební tyčka pro zkoušku pevnosti v tahu kruhového průřezu.

Tlakově byl materiál odléván do formy, která je majetkem AZNP Mladá Boleslav. Tlaková forma, viz obr. 8 je navržena konstruktéry AZNP Mladá Boleslav. Tvar zkušební tyče obdélníkového průřezu byl změněn vzhledem k tyči uváděné v ČSN 421431, protože docházelo k praskání v přechodové části. Odlitky zkušebních tyčí z tlakové formy jsou na obr. 9.



Obr. 4



OBR. 5

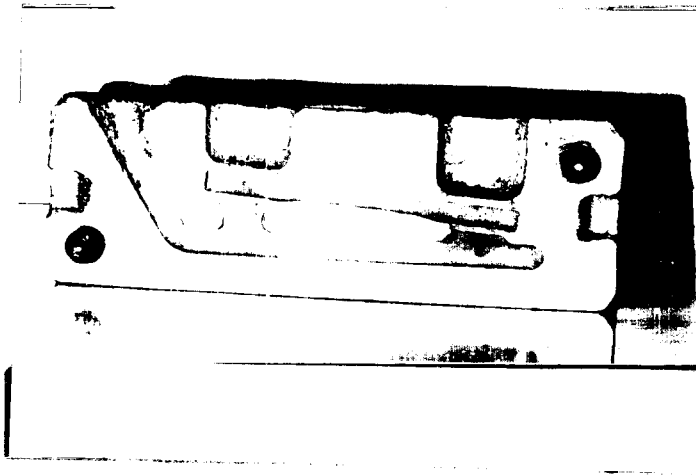
VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Studium výskytu vměstků, vnitřních vad a mechanických vlastností Al slitin tavených různými způsoby.

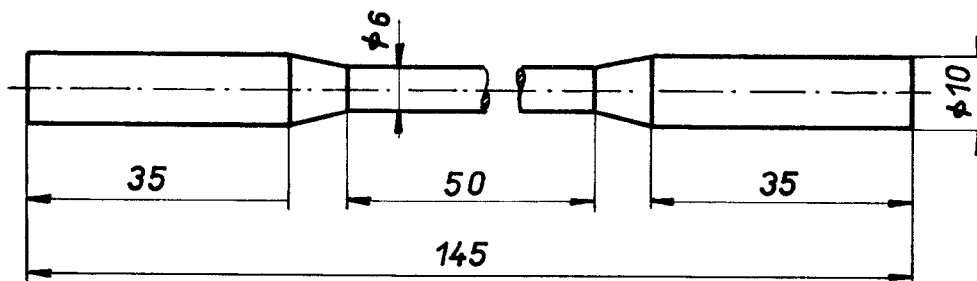
DP ST 574/67 - 37

30. října 1967

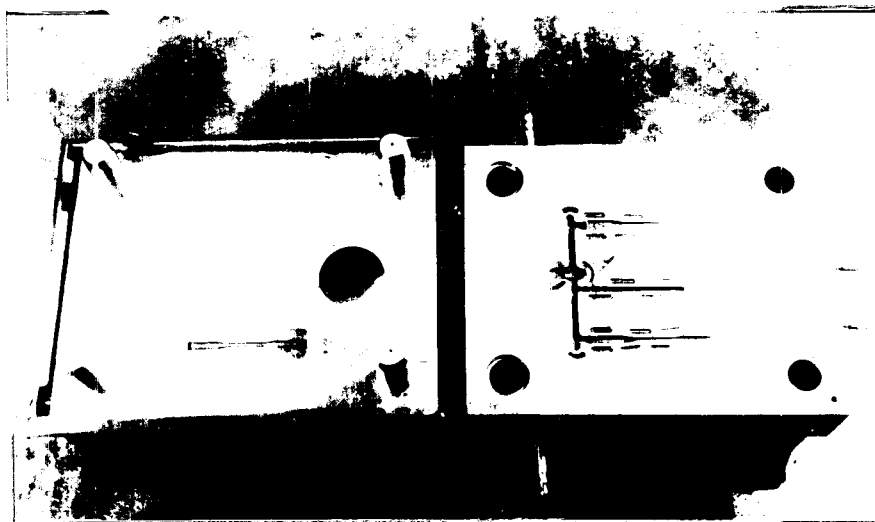
F. Pokorný



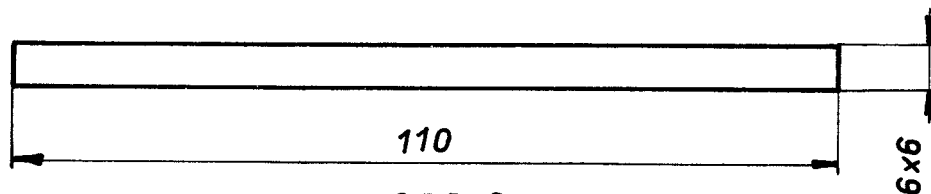
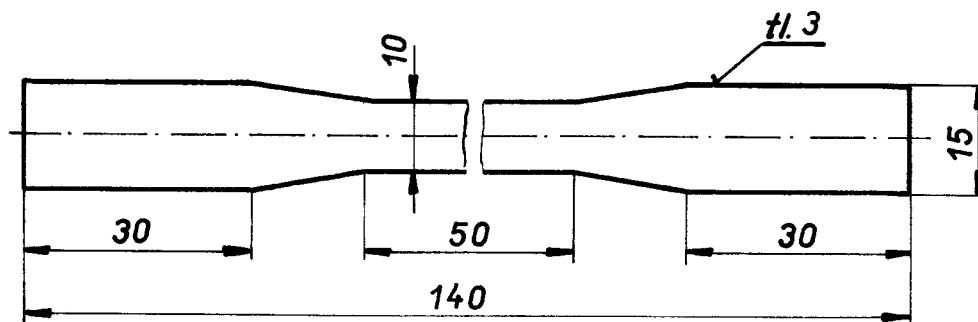
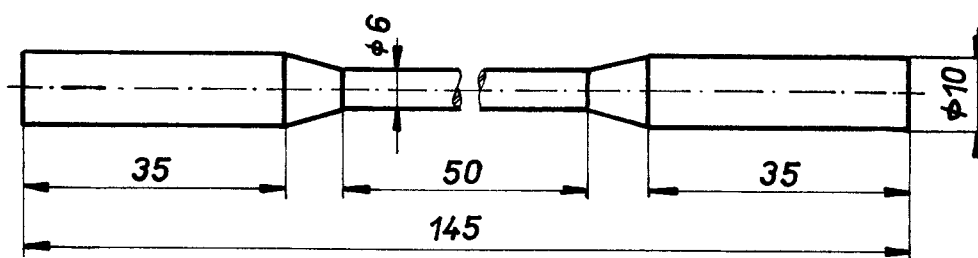
Obr.6



OBR. 7



Obr. 8



OBR. 9

6.2. Zkoušky prováděné v elektrické indukční peci

Tyto zkoušky jsem prováděl v tlakové slévárně AZNP Mladá Boleslav, kde k tavení a udržování hliníkových slitin používají elektrických indukčních pecí.

Tavící elektrická indukční pec SNFA 5 000

Parametry pece:

Maximální výkon 1 050 kg taveniny /hod.

Maximální obsah 5 000 kg taveniny

Obsah kanálů 1 700 kg taveniny

3 induktory

Maximální proud 300 A/1 induktor

Maximální výkon 540 kW

6° regulace

Automatická kompenzace $\cos \varphi = 0,95 - 0,98$

Spotřeba proudu 535 kWh/t

Vyzdívka ELLO

Udržovací elektrická indukční pec JATAL 100

výrobek firmy PIEL /Polsko/

Parametry pece:

Užitečný obsah 100 kg

Obsah kanálů 40 kg

Maximální proud 80 A

3° regulace

Automatická kompenzace $\cos \varphi = 0,95 - 0,98$

Spotřeba proudu 3 kW/hod. /při 700°C udrž. tepl./

Vyzdívka EZ2 /Polsko/

Popis průběhu tavení a udržování taveniny a odběru vzorků

Po natavení materiálu v elektrické indukční peci SNFA 5 000 bylo asi 60 kg taveniny dopraveno do elektrické indukční udržovací pece JATAL 100 pomocí vysokozdvižného vozíku, který slouží pro rozvoz taveniny.

Po dosažení teploty taveniny v udržovací peci 720°C byly odlity první zkušební vzorky. Teplota kokil byla udržována v rozmezí 250 až 300°C, jak doporučuje norma ČSN 421430. Teplota kokil byla měřena dotykovým pyrometrem zn. Thermophil.

Konstantní teplota taveniny v udržovací peci 720°C byla udržována pomocí automatického padáčkového regulátoru pece a teplota taveniny byla průběžně kontrolována ponořeným termočlánkem Fe - konstantan.

Ihned po odlití prvních zkušebních vzorků byla provedena rafinace a odplynění taveniny způsobem běžně prováděným v AZNP Mladá Boleslav.

Rafinace byla provedena přípravkem Alsil 710.

Chemické složení:

NaF	KCl	NaCl	Na ₃ AlF ₆
8 %	30 %	52 %	10 %

Maximální vlhkost 3 %

Rozsah teplot použití 705 - 725 °C

Použité množství 1%

Odplynění bylo provedeno odplyňovacími tabletami Alfinox

Použité množství 0,3 - 0,4 %

Po rafinaci a odplynění taveniny byly odlity nové zkušební vzorky. Dále byly vzorky odebírány v určitých časových intervalech. Časové schéma, počet a druh odebraných vzorků je zachyceno v tabulce 1.

číslo vzorku	1		2	3	4
doba odběru vzorků po dosažení konst. teploty 720 °C /hod./	0	rafinace	0,5	6	11,5
počet vzorků	5		5	5	5
kokila dle ČSN 421430	5		5	5	5
kokila Pilling	5		5	5	5

Tabulka 1

6. 3. Zkoušky prováděné v elektrické odporové peci

Tyto zkoušky jsem prováděl v tlakové slévárně n.p. Nářadí Česká Lípa, kde k tavení a udržování hliníkových slitin používají elektrických odporových pecí.

Tavící elektrická nístějová odporová pec UCAL 1000/1

/konstrukce firmy Siemens v naklápěcím provedení/

Parametry pece:

Kapacita	1 000 kg taveniny
Jmenovitý příkon	150 kW
Třífázové napětí	380 V/50 Hz
Výrobnost	240 kg/hod. /720°C/
Doba roztápění	10 hod.
Spotřeba naprázdno	21 kWh
Topných článků	2
Magnezitová vyzdívka	

Popis průběhu tavení a udržování taveniny a odběru vzorků

Vlastní tavení materiálu jsem prováděl v elektrické odporové udržovací peci RT2X, protože nebylo zaručeno, že kov z tavící pece UCAL 1 000 bude mít požadované chemické složení /ČSN 424384/, jelikož v této peci se taví rovněž odpad všech používaných hliníkových slitin v n.p. Nářadí Česká Lípa.

Odvážil jsem 50 kg hošek materiálu ČSN 424384, tento materiál jsem postupně vkládal do litinového kelímku elektrické odporové pece RT2X, která byla nastavena na plný výkon. Litinový kelímek této pece byl před vsázením ošetřen kaolínovým výmazem.

Po dosažení teploty taveniny v udržovací peci 720°C byly odlity první zkušební vzorky. Teplota kokil byla udržována v rozmezí 250 až 300°C, jak doporučuje norma ČSN 421430, teplota tlakové formy byla udržována v rozmezí 150 až 200°C. Teplota kokil a tlakové formy byla kontrolována termokřídami.

Tlakově byly vzorky odlévány na tlakovém licím stroji se studenou horizontální komorou CLO 180/22.

Podmínky licího procesu:

teplota formy 150 až 200°C

teplota taveniny 720°C

lisovací síla 22 t

rychlost vstřik. pístu 1,1 m/sec.

Konstantní teplota taveniny byla udržována pomocí automatického padáčkového regulátoru pece a byla průběžně měřena ponorným termočlánkem Fe - konstantan.

Zde se výrazně projevil tepelný spád mezi teplotou taveniny, která byla měřena ponorným termočlánkem, a mezi teplotou topného prostoru odporových spirál, kde je umístěn měřicí termočlánek pece. Padáčkový regulátor pe-

ce byl při konstantní teplotě taveniny 720°C nastaven na 840°C.

Ihned po odlití prvních zkušebních vzorků byla provedena rafinace taveniny způsobem běžně prováděným ve slévárně n.p. Náradí Česká Lípa.

Rafinace byla provedena přípravkem Alsil 680

Chemické složení:

NaF	KCl	NaCl	Na ₃ AlF ₆
5 %	45 %	45 %	5 %

Maximální vlhkost 3 %

Rozsah teplot použití 670 - 700°C

Použité množství 0,5 - 1 %

Po rafinaci byly odlity nové zkušební vzorky. Dále byly vzorky odebírány v určitých časových intervalech. Asi po 46 hod. udržování taveniny na teplotě 720°C byla provedena opět rafinace a odlity zkušební vzorky. Časové schéma, počet a druh odebraných vzorků je zachyceno v tabulce 2.

číslo vzorku		1		2	3
doba ohřevu: ma. 720 C-4hod.	doba odběru vzorků po dosažení konst. teploty 720°C [hod]	0		1	11
	druh vzorku		rafinace		
	kokila dle ČSN 421430	3		3	3
	kokila Pilling	5		5	5
	tlaková forma	5		5	5

číslo vzorku	4	5	6	7	8		9
doba odběru vzorků [hod]	19	27	35	43	51,5	rafinace	52
kokila dle ČSN 421430	3	3	3	3	3		3
kokila Pilling	5	5	5	5	5		5
tlaková forma	5	5	5	5	5		5

Tabulka 2

6. 4. Zkoušky prováděné v plynové peci

Tyto zkoušky jsem prováděl v tlakové slévárně n.p. Metalis Nejdek, kde k tavení a udržování hliníkových slitin používají plynových pecí.

Tavící plynová pec

je nístějové konstrukce s přímým ohřevem materiálu.

Udržovací plynová pec

je kelímková, podobného tvaru jako kelímková odporová udržovací pec. Litinový kelímek této pece je ohříván spalováním směsí plynu a vzduchu.

Popis průběhu tavení a udržování taveniny a odběru vzorků

V tomto závodě plynová tavící pec slouží pouze k přetavování odpadu společně s houskami. Z tavící pece jsou odlévány housky materiálu, které slouží k vlastní přípravě taveniny v udržovacích pecích u tlakových licířích strojů. Proto, aby bylo dosaženo požadovaného chemického složení materiálu, vlastní tavení jsem prováděl v plynové udržovací peci, kde jsem taval housky materiálu dodávané do n.p. Metalis Nejdek Hutní odbytovou základnou, u kterých je zajištěno požadované chemické složení.

Odvážil jsem 50 kg housek materiálu ČSN 424384 a tento jsem postupně vkládal do litinového kelímku plynové udr-

žovací pece, která byla nastavena na plný výkon. Litinový kelímek této pece byl před sázením ošetřen kaolinovým výmazem.

Po dosažení teploty taveniny v udržovací peci 720°C byly odlity první zkušební vzorky. Teplota kokil byla udržována v rozmezí 250 až 300°C, jak doporučuje norma ČSN 421430. Teplota kokil byla kontrolována termokřídami.

Po dosažení teploty taveniny 720°C byl nastaven škrtící ventil přívodu plynu tak, aby teplota taveniny byla udržována na požadované konstantní výši. Vlivem nerovnoměrné dodávky plynu bylo nutno občas korigovat nastavení škrtícího ventilu přívodu plynu. Teplota kovu kolísala v rozmezí 720 ± 30°C. Teplota materiálu byla průběžně měřena ponorným termočlánkem Fe - konstantan.

Ihned po odlití prvních zkušebních vzorků byla provedena rafinace a odplynění taveniny způsobem běžně prováděným v n.p. metalis Nejdek.

Rafinace byla provedena přípravkem **MEGUSAL**.

Tento přípravek působí také jako modifikační činidlo.

Chemické složení:

NaF	KCl	NaCl	křemená moučka
38,1 %	31,45 %	25,75 %	4,7 %

Maximální vlhkost 3 %

Rozsah teplot použití 730 - 800 °C

Použité množství 1 %

Odplynění bylo provedeno odplyňovacími tabletami Fosco

Použité množství 0,3 až 0,4 %

Po rafinaci a odplynění taveniny byly odlity nové zkušební vzorky. Dále byly vzorky odebírány v určitých časových intervalech. Asi po 50 hod. udržování taveniny na teplotě 720 °C byla provedena opět rafinace a odplynění a odlity zkušební vzorky. Časové schéma, počet a druh odebraných vzorků je zachyceno v tabulce 3.

číslo vzorku		1		2	3
720 C...4 hod. doba ohřevu na vzorku	dobu odběru vzorků po dosažení konst. teploty 720°C /Hod/	0	rafinace	0,5	4,5
	druh vzorku	kokila dle ČSN 421430		4	4
		kokila Pilling		5	5

číslo vzorku	4	5	6	7	8		9
dobu odběru vzorků/hod/	13	21	28,5	38,5	44	rafinace	45
kokila dle ČSN 421430	4	4	4	4	4		4
kokila Pilling	5	5	5	5	5		5

Tabulka 3

6. 5. Zkoušky prováděné v koksové peci

K doplnění dříve uvedených zkoušek jsem měl za úkol provést ještě zkoušky s materiálem taveným v koksové peci. Tento způsob tavení hliníkových slitin je dosud používán ve slévárně n.p. Meopta Nový Bor, kde jsem měl zkoušky provést.

V době, kdy jsem tento závod navštívil nemohl jsem z provozních důvodů natavit stejný materiál jako v předcházejících případech /materiál ČSN 424334/. Abych alespoň informativně mohl posoudit tento způsob tavení, odléval jsem zkušební vzorky z materiálu ČSN 424330, který v tomto závodě používají na odlitky lité do kokil. Teplota kovu byla 680 °C /měřeno ponorným termočlánkem re - konstantan/. Po provedené rafinaci a očkovaní přípravkem T3 jsem odebral opět vzorky nataveného kovu.

Chemické složení rafinační a očkovací soli T3:

NaF	KCl	NaCl	křemená moučka
38,1 %	31,45 %	25,75 %	4,7 %

Časové schéma, počet a druh odebraných vzorků je zachyceno v tabulce 4.

číslo vzorku	1		2
kokila ČSN421430	5		5
kokila Pilling	5		5

Tabulka 4

7. Výsledky měření

Na získaných vzorcích jsem vyhodnocoval mechanické-
vlastnosti /pevnost a tažnost/ a metalograficky výskyt
vměstků a vnitřních vad. Pro zachycení případných změn
chemického složení materiálu v průběhu udržování taveniny
na konstantní teplotě 720°C jsem ze slitiny tavené v ele-
ktrické indukční peci provedl spektrální analýzu na kvan-
tometru v AZNP Mladá Boleslav.

7. 1. Mechanické vlastnosti vzorků

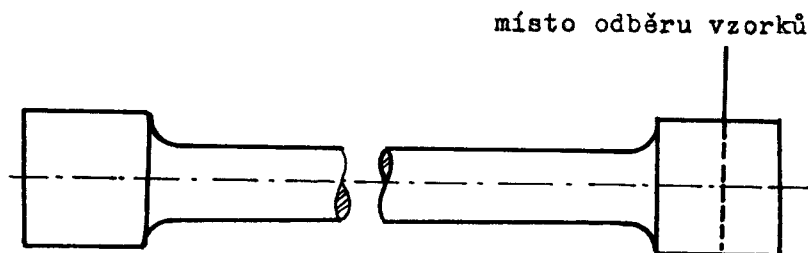
Mechanické vlastnosti jsem zjišťoval na odlitých
zkušebních vzorcích tyčí pro zkoušku pevnosti v tahu,
viz. obr. 5, obr. 7, obr. 9. Vlastní zkoušky pevnosti
v tahu jsem prováděl podle normy ČSN 420310.

Získané hodnoty trhacích zkoušek jsou uvedeny v
tabulce v příloze 1,2,3,5,6,7,8,9,10.

Pevnost v tahu a tažnost vzorků v závislosti na do-
bě udržování taveniny na konstantní teplotě 720°C znázor-
ňuje graf v příloze 11,12,13,14,15,16.

7.2. Výskyt vměstků a vnitřních vad

Výskyt vměstků a vnitřních vad v závislosti na době udržování taveniny na konstantní teplotě 720°C jsem vyhodnotoval na metalografických výbrusech. Z každé sady odlišných tyčí pro zkoušku pevnosti v tahu do kokily dle ČSN 421430 jsem odebral vzorky pro metalografické výbrusy. Tyto vzorky jsem odebíral u všech tyčí ze stejného místa jak je znázorněno na obr.10, aby bylo zaručeno srovnatelné hodnocení čistoty materiálu.



Obr.10

Největší pozornost z hlediska čistoty materiálu se dosud věnuje oceli, kde vedle obvyklých mechanických zkoušek se hodnotí jakost oceli podle obsahu a druhu nečistot. K určení obsahu a charakteru vměstků v oceli je vypracováno několik srovnávacích a početních metod.

Technické dodací předpisy pro odlitky z hliníku a ze slitin hliníku ČSN 421430, které zaručují kvalitu odlitku, věnují pozornost pokud se týče vnitřní kvality materiálu, chemickému složení, hustotě odlitku a čistotě a tepelnému zpracování materiálu.

Kontrola hustoty odlitku se provádí rentgenováním. K posouzení místní pórovitosti materiálu lze použít stupnice šesti vzorkových rentgenových snímků a šesti vzorkových makroskopických výbrusů, které uvádí citovaná norma.

K zjištění čistoty materiálu a jeho tepelného zpracování doporučuje tato norma provést zkoušky makrostruktury a mikrostruktury, neuvádí však způsob vyhodnocování metalografických výbrusů.

K vyhodnocování vzorků jsem chtěl použít přístroje "QUANTIMET", jež je instalován ve Státní autorizované zkušebně při VA AZ v Brně, a který je používán k vyhodnocování výbrusů ocelových vzorků.

Na tomto přístroji se zvětšený obraz metalografického výbrusu promítá na televizní obrazovku a pomocí rozkladu obrazu přístroj určí procentuelní obsah černé plochy pozorovaného zorného pole /vměstky v oceli se jeví na vyleštěném výbrusu jako tmavé skvrny na světlém podkladě/.

Tato metoda v mém případě nevedla k cíli, protože při mechanickém leštění vzorků použité slitiny AlSi10 se objevila struktura materiálu vlivem rozdílné tvrdosti strukturních složek.

Proto jsem použil k vyhodnocování vměstků početní metody. Vyleštěný nenaleptaný výbrus jsem pozoroval při stonásobném zvětšení na metalografickém mikroskopu "LEITZ", viz obr. 11. Na každém výbrusu jsem hodnotil deset zorných polí o velikosti 1 mm^2 .

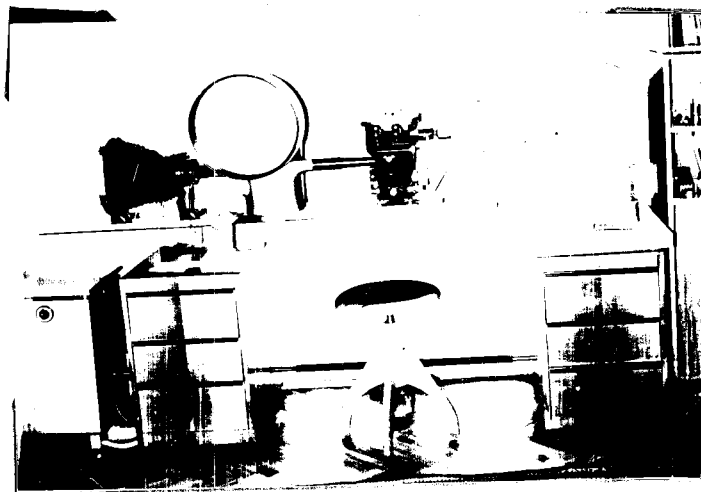
Rozložení vměstků v rozsahu pozorovaného výbrusu bylo velmi nerovnoměrné. V některých místech bylo zjištěno na ploše 1 mm^2 méně než 10 vměstků /vyskytla se i místa bez vměstků/, v některých částech se objevil i větší počet než 100. Zhluky většího rozsahu však nebyly zjištěny. Velikost vměstků se pohybovala od 0,8 do 0,01 mm. Větší vměstky se nevyskytly, menší vměstky než 0,01 mm nebyly registrovány.

Počet vměstků jednotlivých vzorků je uveden v tabulce v příloze 17,18,19.

7. 3. Chemické složení

Jak jsem již dříve uvedl, bylo u vzorků materiálu taveného v indukční el. peci zjištěno chemické složení, aby byly zachyceny jeho případné změny v průběhu udržování taveniny na konstantní teplotě.

Naměřené hodnoty udává tabulka v příloze 20.



Obr. 11

8. Zhodnocení získaných výsledků.

8.1. Mechanické vlastnosti.

Na základě získaných hodnot trhacích zkoušek je možno říci, že pokles pevnosti v závislosti na době udržování taveniny na konstantní teplotě se nejvýrazněji projevuje u tyčí litých do kokil ČSN 42 14 30. Pokles pevnosti tyčí litých do kokily Pilling s časem udržování taveniny není tak výrazný. U tlakově litých tyčí výrazný pokles pevnosti nebyl pozorován. Tato skutečnost je zřejmě podmíněna dobou tuhnutí odlitku. /rychlý odvod tepla dává předpoklady pro tvorbu jemné krystalizace, která podmiňuje dobré mechanické vlastnosti./

Ze srovnání hodnot trhacích zkoušek tyčí odlévaných do kokil ČSN 421430 z materiálu taveného různými způsoby je vidět, že nejlepší mechanické vlastnosti má materiál tavený v indukční peci. Větší pokles pevnosti v závislosti na době udržování taveniny se projevil u materiálu taveného v elektrické odporové a plynové peci. Tento jev lze vysvětlit růstem obsahu Fe v tavenině udržované v litinovém kelímku. Rozdíly v mechanických hodnotách materiálu taveného v kelímkové odporové peci a materiálu taveného v plynové kelímkové peci byly patrně způsobeny zvýšeným kolísáním teploty taveniny udržované v plynové peci.

8.2. Výskyt vměstků.

Pro správné ohodnocení čistoty materiálu je třeba aby byl proveden dostatečný počet zkoušek. Vzhledem k poměrně velké časové náročnosti přípravy metalografických výbrusů byl zhotoven pouze 1 výbrus z každé sady odlitých vzorků.

Při hodnocení výbrusů materiálu ČSN 424384 udržovaného v různých pecích se proto projevil kolísání obsahu vměstků v různých vzorcích.

Přesto na získaných hodnotách metalografických zkoušek je vidět nápadný pokles obsahu nečistot v materiálu po provedené rafinaci.

Při pozorování výbrusů se z dobou udržování taveniny nápadně měnila struktura materiálu. Tento jev lze vysvětlit snížením vlivu modifikačních přísad v tavenině a pravděpodobně růstem obsahu Fe v materiálu, udržovaného v litinovém kelímku.

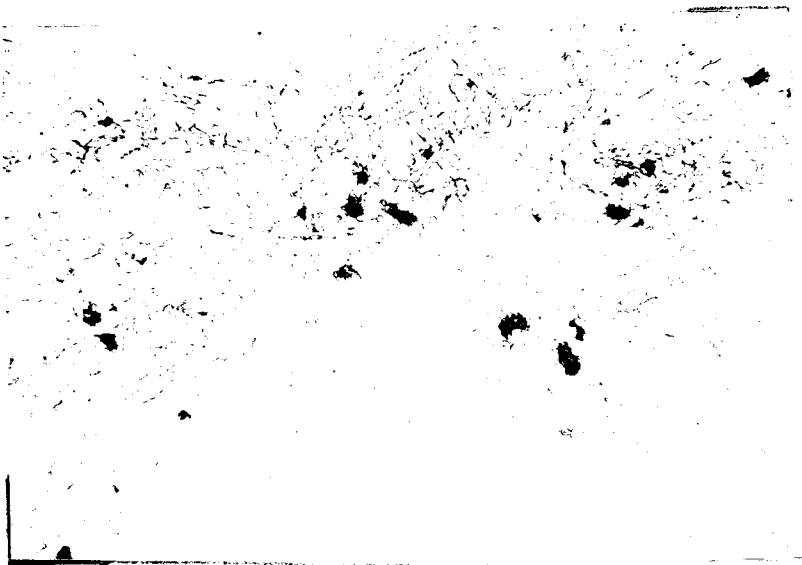
Vlivem jednotlivých přísad na krystalisaci se zabývá v kapitole 3.2.

Na obr.12 je metalografický výbrus nataveného materiálu, kde je vidět jemná struktura kovu.

Obr.13 je fotografie téhož materiálu po provedené rafinaci. Zde se vyskytuje menší počet nečistot než v předešlém případě.

Obr.14 zachycuje hrubou strukturu téhož materiálu

udržovaného na teplotě 720°C asi 45 hodin.

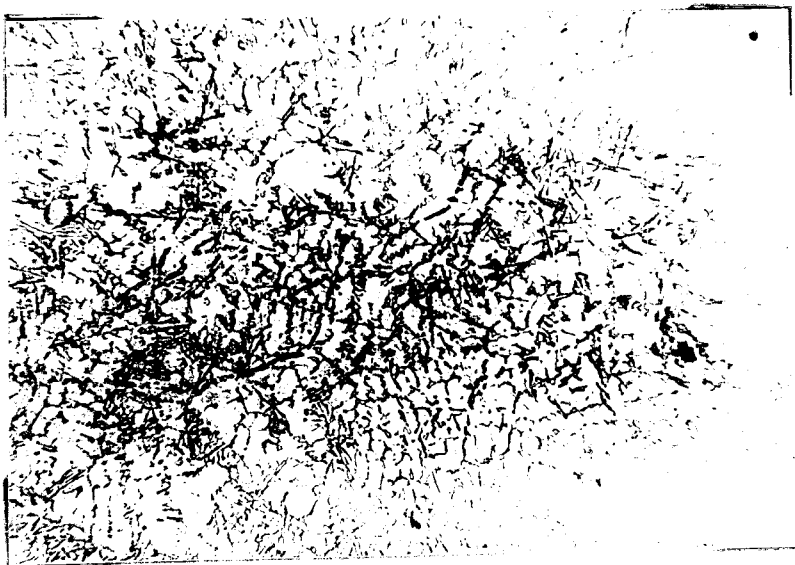


Neleptáno

100x

Obr.12

Materiál: ČSN 424384



Neleptáno

100x

Obr.13

Materiál: 424384



Neleptáno

100x

Obr.14

Materiál: ČSN 424384

Vzájemně porovnávat jednotlivé způsoby tavení s ohledem na čistotu materiálu na odebraných vzorcích nelze, protože prováděné zkoušky byly provozního charakteru. Jak vyplývá z rešeršní části, na růst Obsahu vměstků má vliv mimo jiné chemické složení materiálu. I když jsem ve všech případech použil materiálu ČSN 424384, norma dovoluje dosti velké tolerance v obsahu jednotlivých prvků a nečistot.

Pro vzájemné srovnání jednotlivých způsobů tavení s ohledem na čistotu materiálu by bylo nutné zajistit stejné chemické složení vsázky, stejnou počáteční čistotu mate-

riálu, stejnou technickou úroveň použitého tavicího zařízení atd.

8.3. Ekonomické zhodnocení nákladů na tavení

Při ekonomickém hodnocení nákladů jednotlivých způsobů tavení jsem vycházel z podkladů jednotlivých sléváren a z údajů, které vyplynuly z konzultací s prasovníky těchto závodů. Mnohé hodnoty jsou určeny odhadem, některé srovnatelné hodnoty se liší, viz. "cena suroviny", "cena vratného odpadu" v příloze č. 21. Do nákladů na tavení jsem zahrnul pouze některé přímé položky, jiné náklady, na př. vyvolané investice atd. jsem v tomto hodnocení nepostihl. Proto tyto okolnosti poněkud zkreslují celkové srovnání jednotlivých způsobů tavení.

Na základě získaných údajů jsem vypracoval přehlednou tabulku, která je uvedena v příloze č. 21.

Abych vyloučil vliv rozdílných údajů položky 2 v tabulce v příloze č. 21, provedl jsem kalkulaci ceny 1 kg materiálu odlitku, kde je od ceny nataveného kovu odpočítávána cena a procentuelní množství odpadu, které je zpět uvedeno v položce 2 v příloze č. 21.

Z tabulky v příloze 22, kde je uvedena kalkulace ceny 1 kg materiálu odlitku, je vidět, že nejnižší náklady na tavení jsou při tavení materiálu v plynové peci. Poněkud vyšší náklady se objevují při použití el. indukční pece.

Poměrně vysoká cena materiálu taveného v elektrické odporové peci je patrně podmíněna vyšší cenou suroviny, viz. položka 1 v příloze č. 21.

Toto ekonomické hodnocení je také ovlivňováno množstvím nataveného kovu za sledované období. Čím více materiálu je nataveno, tím menší podíl odpisů, nákladů na údržbu a na gen. opravy je zahrnováno do ceny 1 kg taveniny.

V této kapitole jsem se zabýval srovnáním nákladů na tavení jednotlivých sléváren hliníku/AZNP Mladá Boleslav, n.p. Metalis Nejdek, n.p. Nářadí Česká Lípa/, vycházejíc, jak jsem již uvedl, z podkladů jednotlivých závodů, které se ve srovnatelných hodnotách často liší, ovšem ekonomičtí pracovníci těchto závodů tyto údaje zahrnují do vlastních ekonomických výpočtů a kalkulací, na př. do ceny odlitků. Bylo by proto nutné sjednotit srovnatelné položky.

9. Závěr

Pokud se týče vlivu udržovací pece, jeví se nejvýhodnější z hlediska mechanických vlastností materiálu el. indukční pec, kde se neprojevuje tak výrazný pokles pevnosti v závislosti na době udržování taveniny.

Velký vliv na mechanické vlastnosti v závislosti na době udržování taveniny měla také použitá technologie lití. U tlakově litých tyčí se neprojevilo tak výrazné zhoršení mechanických vlastností jako u tyčí litých do kokily v závislosti na době udržování taveniny. Tento jev je však podmíněn, jak jsem již uvedl, zřejmě rychlostí tuhnutí taveniny. U konkrétního tlakového odlitku a formy mohou ovšem nastat jiné tepelné poměry.

Jako nejvýhodnější způsob tavení z ekonomického hlediska se jeví plynová pec. Ovšem v n.p. Metalis Nejdek, kde je tato pec instalována, se oběvovaly poruchy při odpichu /zánášení a ucpávání odpichového otvoru/. Tato porucha byla zřejmě způsobena tvorbou tvrdých komplexních kovových sloučenin, viz. kapitola 3.2.2.1. V el. odporové nístějové peci, která je používána pro tavení hliníkových slitin v n.p. Náradí Česká Lípa se tyto poruchy neoběvovaly, ačkoli podmínky pro tvorbu komplexních sloučenin jsou podobné, protože z této pece je častěji odléváno a tím nejsou vytvořeny příznivé podmínky pro segregaci, která je podmínkou tvorby těchto sloučenin.

VŠST LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ

Studium výskytu vměstků, vnitřních
vad a mechanických vlastností Al
slitin tavených různými způsoby

DP ST 574/67-63

30. října 1967

F. Pokorný

Z tohoto hlediska se jeví jako nejvýhodnější el. indukční pec, ve které vlivem vířivého pohybu taveniny nejsou předpoklady pro tvorbu segregace.

Proto při hodnocení vhodnosti pece je třeba brát v úvahu vedle ekonomického hlediska také mimo jiné režim provozu pece.

Závěrem chci ještě poděkovat vedení hutních provozů za to, že mi bylo umožněno provedení potřebných zkoušek, vedoucímu diplomní práce s. prof. Odstčilovi a konsultantům s. ing. Holubcovi a s. Vodičkovi za cenné rady a připomínky při zpracování DP.

F. Pokorný

10. Seznam použité literatury

- 1/ Valecký: Lití kovů pod tlakem
- 2/ Rogoss, Hainke: Nichtmetallische Einschlüsse in Aluminiumguss
Technisch-wissenschaftliche Fortschritte
im Giessereiwesen Leipzig 1962
- 3/ Píšek F.: Nauka o materiálu, II. díl, 2. svazek
nakladatelství ČSAV, Praha 1959
- 4/ Colwel: Causes de points durs dans les alliages d'aluminium coulés sous pression
Fonderie 133, 1957, II, číslo 2
- 5/ W. Thiele: Die Oxydation von Aluminium und Aluminiumlegierungsschmelzen
Giesserei 1963, číslo 3

Příloha č.22

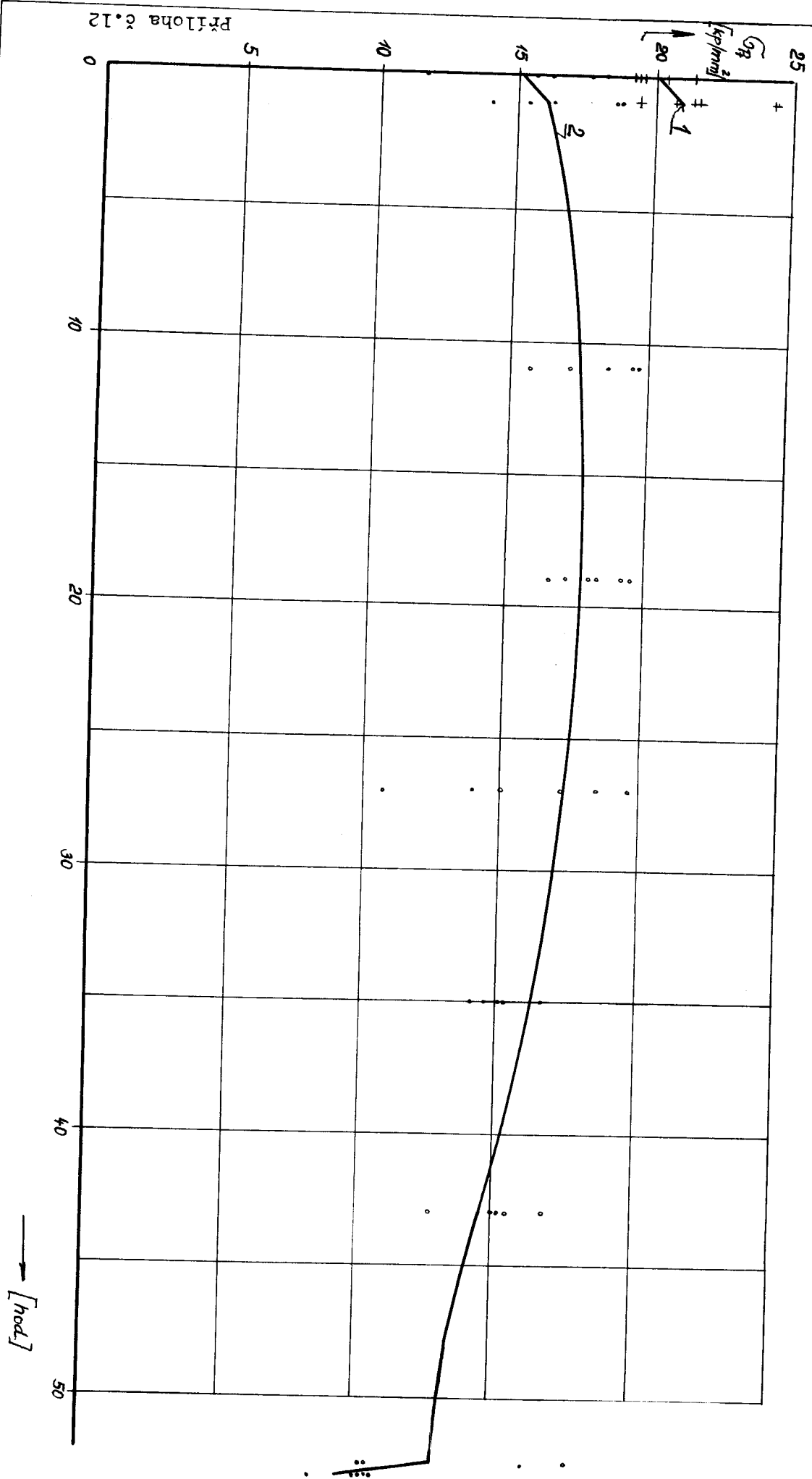
<u>Kalkulace ceny 1 kg materiálu v odlitku</u>							
n.p.Nářadí Česká Lípa III.čtvrtletí 1967							
využití kovu	množství /kg/	%	položka	kg	jednot. cena	cena /Kčs/	
nataveno	254 981	100	hotový odlit.	100	X	X	
	dobrych odlitků	85 163	33,3	odpad 66,7%	200,3	X	X
	zmetků	-----	--	spotřeba kovu	300,3	8,3719	2514,082
	odpad	168 542	66,1	hodnota odpadu 66,1	198,2	6,62	1310,892
	nenávratné ztráty	1 274,9	0,6	cena 1 kg kovu v odlitku		12,03190	

<u>Kalkulace ceny 1 kg materiálu v odlitku</u>							
n.p.Metalis Nejdek III.čtvrtletí 1967							
využití kovu	množství kovu	%	položka	kg	jednot. cena	cena /Kčs/	
nataveno	2 107 548	100	hotový odlit.	100	X	X	
	dobrych odlitků	1 375 596,6	65,27	odpad 35,33%	54,63	X	X
	zmetků	89 781,54	4,26	spotřeba kovu	154,63	8,3327	1288,546
	odpad	642 169,9	30,47	hodnota odpadu 34,73	53,70	6,82	366,234
	nenávratné ztráty	12 645,3	0,6	cena 1 kg kovu v odlitku		9,22312	

<u>Kalkulace ceny 1 kg materiálu v odlitku</u>							
AZNP Mladá Boleslav II.čtvrtletí 1967							
využití kovu	množství/kg/	%	položka	kg	jednot. cena	cena /Kčs/	
nataveno	1 510 667	100	hotový odlitek	100	X	X	
	dobrych odlitků	821 802,15	54,4	odpad 45,6 %	83,82	X	X
	zmetků	---	--	spotřeba kovu	183,82	9,0802	1669,131
	odpad	679 800,15	45	hodnota odpadu 45%	82,72	8,30	686,576
	nenávratné ztráty	9 064	0,6	cena 1 kg kovu v odlitku		9,82555	

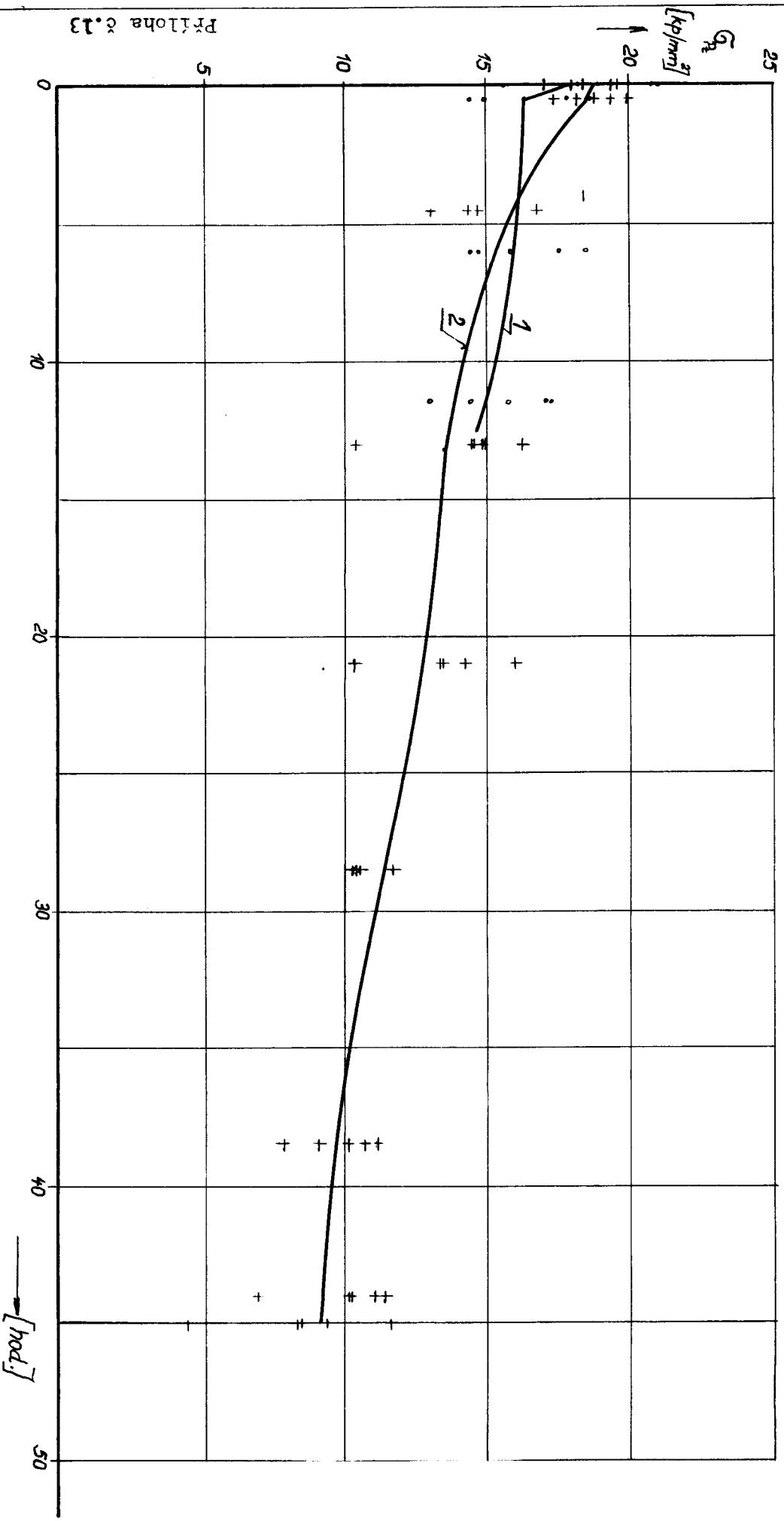
Pevnost v tahu zkušebních tyčí litých do kokily Pilling

1.....koksová pec...met. ČSN 424330
 2.....odporová pec...met. ČSN 424384



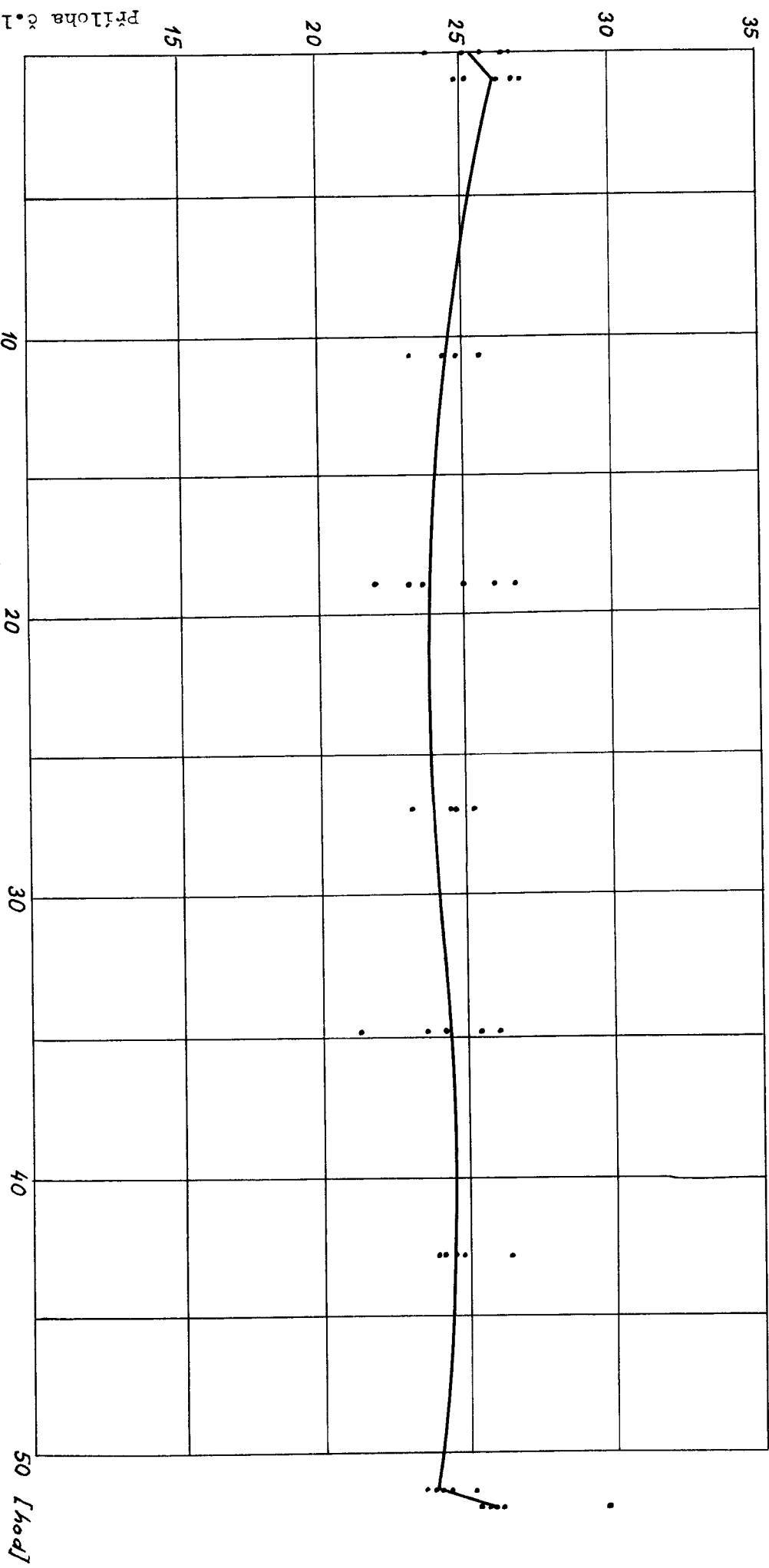
Pevnost v tahu zkušebních tyčí litých do kokily Pilling

- 1 ... indukční pec
- 2 ... plynová pec



Pevnost v tahu tlakové litých tyčí čtvercového průřezu mat. ČSN 424384 odporová pec

σ_{Pt} [kp/mm²]



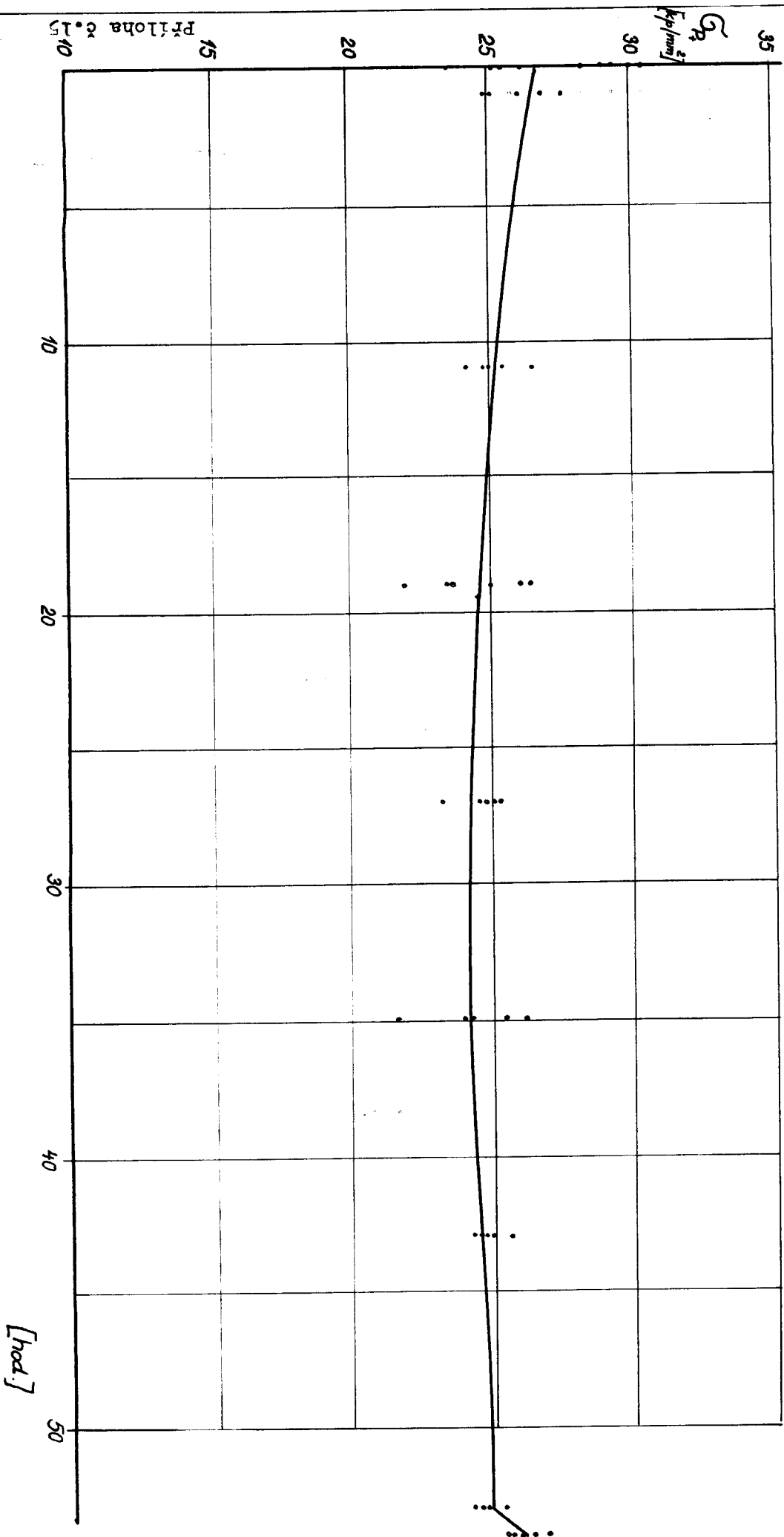
Príloha č.14

50 [hod]

Pevnost v tahu tlakové litých plochých tyčí

met. ŠSN 424384

odporová pec

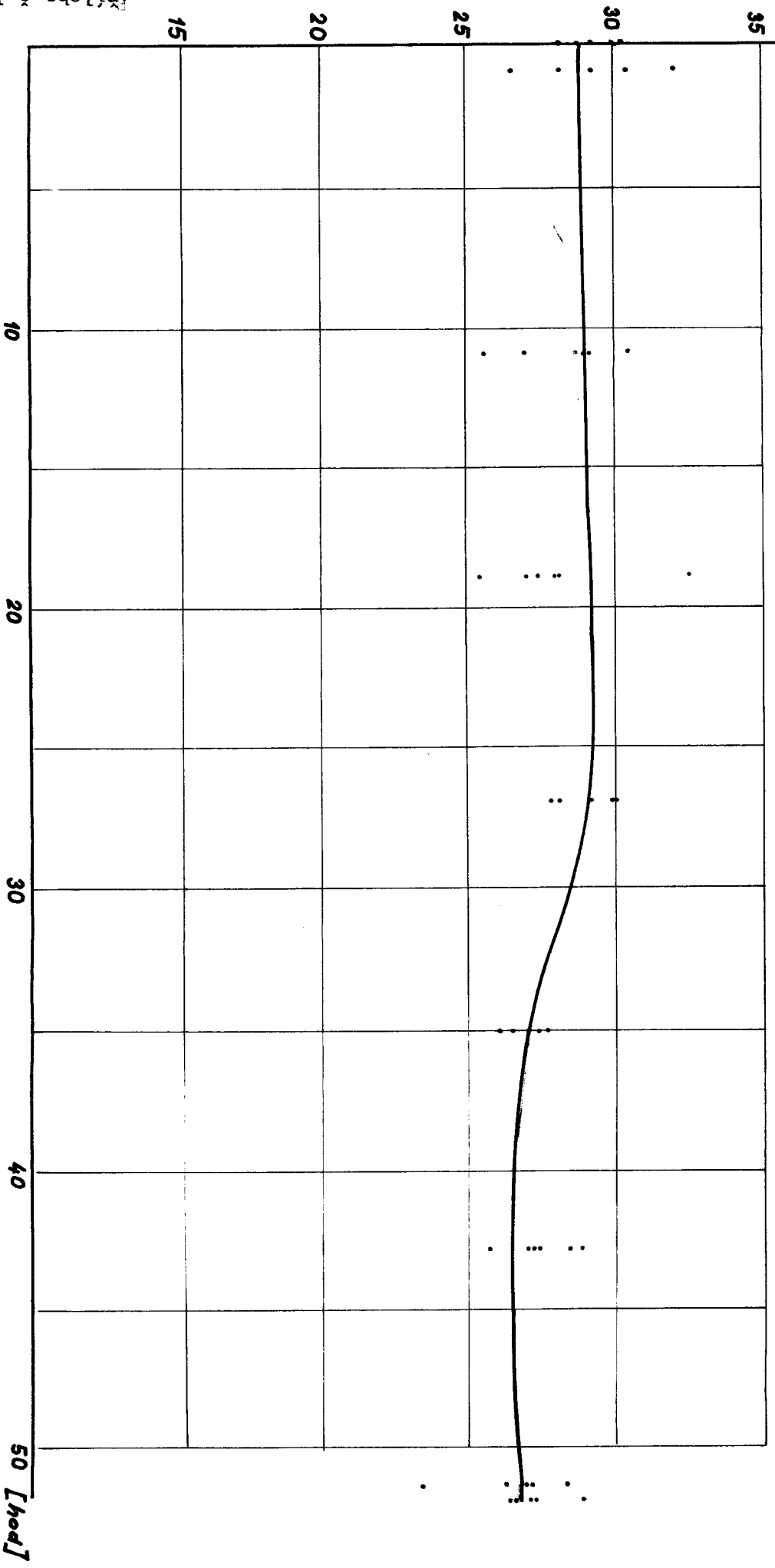


Príloha č. 15

Pevnost v tahu tlakové litých tyčí kulatého průřezu

mat. ČSN 424384 odporová pec

σ_{pt} [kp/mm²]



Mechanické vlastnosti tlakově litých vzorků/mat. ČSN 424384
/taveno v odporové elektrické peci/

číslo vzorku	P /kp/	b h /mm/	F /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _R [kp/mm ²]
1	784	10 3	30	40	-	-	-	26,13
1	768	10 3	30	40	-	-	-	25,6
1	790	10 3	30	40	-	-	-	26,3
1	752	10 3	30	40	-	-	-	25,06
1	712	10 3	30	40	-	-	-	23,73
2	710	10 3	30	40	-	-	-	26,6
2	748	10 3	30	40	-	-	-	24,9
2	783	10 3	30	40	-	-	-	26,1
2	754	10 3	30	40	-	-	-	25,13
2	805	10 3	30	40	-	-	-	26,83
3	752	10 3	30	40	-	-	-	25,6
3	748	10 3	30	40	-	-	-	24,9
3	710	10 3	30	40	-	-	-	26,6
3	748	10 3	30	40	-	-	-	24,9
3	710	10 3	30	40	-	-	-	26,6
3	696	10 3	30	40	-	-	-	23,2
4	783	10 3	30	40	-	-	-	26,1
4	712	10 3	30	40	-	-	-	23,73
4	660	10 3	30	40	-	-	-	22
4	710	10 3	30	40	-	-	-	26,6
4	752	10 3	30	40	-	-	-	25,06
4	712	10 3	30	40	-	-	-	23,73
5	752	10 3	30	40	-	-	-	25,06
5	748	10 3	30	40	-	-	-	24,9
5	740	10 3	30	40	-	-	-	24,66
5	696	10 3	30	40	-	-	-	23,2
5	754	10 3	30	40	-	-	-	25,13
6	718	10 3	30	40	-	-	-	23,93
6	642	10 3	30	40	-	-	-	21,4
6	735	10 3	30	40	-	-	-	24,5
6	786	10 3	30	40	-	-	-	26,2
6	762	10 3	30	40	-	-	-	25,4
7	724	10 3	30	40	-	-	-	24,13
7	736	10 3	30	40	-	-	-	24,53
7	770	10 3	30	40	-	-	-	25,66
7	735	10 3	30	40	-	-	-	24,5
7	748	10 3	30	40	-	-	-	24,9
8	760	10 3	30	40	-	-	-	25,3
8	742	10 3	30	40	-	-	-	24,73
8	745	10 3	30	40	-	-	-	24,83
8	724	10 3	30	40	-	-	-	24,13
8	735	10 3	30	40	-	-	-	24,5
9	768	10 3	30	40	-	-	-	25,6
9	778	10 3	30	40	-	-	-	25,93
9	790	10 3	30	40	-	-	-	26,3
9	760	10 3	30	40	-	-	-	25,3
9	305	10 3	30	40	-	-	-	26,33

Mechanické vlastnosti tlakově litých vzorků /čtvercový průřez/

/taveno v elektrické odporové peci - materiál ČSN 424334/

číslo vzorku	P /kp/	a /mm/	F ² /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _p [kp/mm ²]
1	948	6	36	50	50,1	0,1	0,2	27,9
1	1008	6	36	50	50,1	0,1	0,2	31,7
1	906	6	36	50	50,1	0,1	0,2	25,9
1	864	6	36	50	-	-	-	24,6
1	898	6	36	50	-	-	-	25,7
2	950	6	36	50	-	-	-	27,2
2	970	6	36	50	-	-	-	28,7
2	890	6	36	50	-	-	-	25,4
2	1020	6	36	50	-	-	-	29,2
2	980	6	36	50	-	-	-	28
3	950	6	36	50	-	-	-	27,2
3	910	6	36	50	-	-	-	31,7
3	890	6	36	50	-	-	-	25,4
3	1020	6	36	50	-	-	-	29,2
3	990	6	36	50	-	-	-	28,3
3	970	6	36	50	-	-	-	28,7
4	948	6	36	50	-	-	-	27,9
4	900	6	36	50	-	-	-	25,8
4	860	6	36	50	-	-	-	24,4
4	1010	6	36	50	-	-	-	29,9
4	870	6	36	50	-	-	-	24,3
4	950	6	36	50	-	-	-	27,1
5	872	6	36	50	-	-	-	25
5	780	6	36	50	-	-	-	22,3
5	660	6	36	50	-	-	-	13,9
5	764	6	36	50	-	-	-	21,8
5	380	6	36	50	-	-	-	25,1
6	798	6	36	50	-	-	-	22,8
6	694	6	36	50	-	-	-	19,8
6	850	6	36	50	-	-	-	24,3
6	870	6	36	50	-	-	-	24,9
6	870	6	36	50	-	-	-	24,9
7	870	6	36	50	-	-	-	24,9
7	740	6	36	50	-	-	-	21,1
7	846	6	36	50	-	-	-	24,2
7	892	6	36	50	-	-	-	25,5
7	766	6	36	50	-	-	-	21,9
8	770	6	36	50	-	-	-	22
8	756	6	36	50	-	-	-	21,6
8	842	6	36	50	-	-	-	24,1
8	770	6	36	50	-	-	-	22
8	840	6	36	50	-	-	-	24
9	806	6	36	50	-	-	-	23,1
9	740	6	36	50	-	-	-	21,1
9	810	6	36	50	-	-	-	23,2
9	720	6	36	50	-	-	-	20,6
9	778	6	36	50	-	-	-	22,2

mechanické vlastnosti tlakově litých vzorků /kulatý průřez/
/tavěno v elektrické odporové peci - mat. ČSN 424384/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F ₂ /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	σ %	σ _p [kp/mm ²]
1	846	6	28,3	50	50,5	0,5	1	30
1	350	6	28,3	50	50,5	0,5	1	30,4
1	832	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	29,4
1	800	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	28,3
1	820	6	28,3	50	50,3	0,3	0,6	29
2	930	6	28,3	50	50,6	0,6	1,2	32,9
2	800	6	28,3	50	50,3	0,3	0,6	28,3
2	850	6	28,3	50	50,3	0,3	0,6	30,4
2	732	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	25,8
2	832	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	29,4
3	730	6	28,3	50	-	-	-	25,8
3	770	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	27,2
3	820	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	29
3	850	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	30,4
3	832	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	29,4
3	820	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	29
4	780	6	28,3	50	-	-	-	27,7
4	800	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	28,3
4	930	6	28,3	50	50,2	0,2	0,4	32,9
4	800	6	28,3	50	50,1	0,1	0,2	28,2
4	725	6	28,3	50	-	-	-	25,6
4	770	6	28,3	50	-	-	-	27,2
5	846	6	28,3	50	-	-	-	29,3
5	850	6	28,3	50	-	-	-	30
5	832	6	28,3	50	-	-	-	29,4
5	792	6	28,3	50	-	-	-	28
5	800	6	28,3	50	-	-	-	28,3
6	786	6	28,3	50	-	-	-	27,8
6	772	6	28,3	50	-	-	-	27,3
6	740	6	28,3	50	-	-	-	26,2
6	752	6	28,3	50	-	-	-	26,6
6	794	6	28,3	50	-	-	-	27,7
7	768	6	28,3	50	-	-	-	27,1
7	810	6	28,3	50	-	-	-	28,6
7	772	6	28,3	50	-	-	-	27,3
7	730	6	28,3	50	-	-	-	25,8
7	770	6	28,3	50	-	-	-	27,2
8	686	6	28,3	50	-	-	-	24,2
8	764	6	28,3	50	-	-	-	27
8	744	6	28,3	50	-	-	-	26,3
8	776	6	28,3	50	-	-	-	28,4
8	768	6	28,3	50	-	-	-	27,1
9	774	6	28,3	50	-	-	-	27,3
9	752	6	28,3	50	-	-	-	26,6
9	768	6	28,3	50	-	-	-	27,2
9	754	6	28,3	50	-	-	-	26,6
9	820	6	28,3	50	-	-	-	29

Mechanické vlastnosti vzorků litých do ko kily filling

/taveno v plynové peci - materiál ČSN 424384/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	σ %	σ _n [kp/mm ²]
1	650	6,5	33,2	50	51	1	2	19,6
1	600	6,5	33,2	50	51	1	2	18,05
1	690	6,5	33,2	50	52	2	4m	20,8
1	610	6,5	33,2	50	51	1	2	18,4
1	565	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	17
2	575	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	17,3
2	640	6,5	33,2	50	51	1	2	19,3
2	660	6,5	33,2	50	51	1	2	19,9
2	600	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	18,1
2	620	6,5	33,2	50	51	1	2	18,7
3	555	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	16,7
3	610	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	18,4
3	535	6,5	33,2	50	-	-	-	16,1
3	430	6,5	33,2	50	-	-	-	12,95
3	475	6,5	33,2	50	-	-	-	14,3
3	485	6,5	33,2	50	-	-	-	14,6
4	540	6,5	33,2	50	-	-	-	16,2
4	485	6,5	33,2	50	-	-	-	14,6
4	495	6,5	33,2	50	-	-	-	14,9
4	500	6,5	33,2	50	-	-	-	15
4	350	6,5	33,2	50	-	-	-	10,5
4	485	6,5	33,2	50	-	-	-	14,6
5	350	6,5	33,2	50	-	-	-	10,5
5	455	6,5	33,2	50	-	-	-	13,7
5	535	6,5	33,2	50	-	-	-	16,1
5	450	6,5	33,2	50	-	-	-	13,6
5	485	6,5	33,2	50	-	-	-	14,6
6	390	6,5	33,2	50	-	-	-	11,8
6	348	6,5	33,2	50	-	-	-	10,44
6	340	6,5	33,2	50	-	-	-	10,4
6	340	6,5	33,2	50	-	-	-	10,4
6	350	6,5	33,2	50	-	-	-	10,5
7	373	6,5	33,2	50	-	-	-	11,2
7	360	6,5	33,2	50	-	-	-	10,8
7	340	6,5	33,2	50	-	-	-	10,2
7	307	6,5	33,2	50	-	-	-	9,25
7	263	6,5	33,2	50	-	-	-	7,95
8	344	6,5	33,2	50	-	-	-	10,35
8	232	6,5	33,2	50	-	-	-	7
8	370	6,5	33,2	50	-	-	-	11,1
8	380	6,5	33,2	50	-	-	-	11,45
8	344	6,5	33,2	50	-	-	-	10,35
9	230	6,5	33,2	50	-	-	-	8,45
9	394	6,5	33,2	50	-	-	-	11,85
9	322	6,5	33,2	50	-	-	-	9,7
9	148	6,5	33,2	50	-	-	-	4,45
9	280	6,5	33,2	50	-	-	-	8,45

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily Pilling

/taveno v indukční peci - mat. ČSN 424384/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	σ %	σ _p [kp/mm ²]
1	676	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	21
1	606	6,5	33,2	50	-	-	-	18,2
1	628	6,5	33,2	50	50,4	0,4	0,8	18,9
1	520	6,5	33,2	50	-	-	-	15,7
1	676	6,5	33,2	50	50,6	0,6	0,52	21
2	620	6,5	33,2	50	50,4	0,4	0,8	18,7
2	495	6,5	33,2	50	-	-	-	14,9
2	480	6,5	33,2	50	-	-	-	14,5
2	540	6,5	33,2	50	50,2	0,2	0,4	16,3
2	590	6,5	33,2	50	50,3	0,3	0,6	17,8
3	615	6,5	33,2	50	50,3	0,3	0,6	18,5
3	480	6,5	33,2	50	-	-	-	14,5
3	530	6,5	33,2	50	50,1	0,1	0,2	15,9
3	555	6,5	33,2	50	-	-	-	16,8
3	490	6,5	33,2	50	-	-	-	14,75
4	575	6,5	33,2	50	50,1	0,1	0,2	17,4
4	434	6,5	33,2	50	-	-	-	13,05
4	528	6,5	33,2	50	50,1	0,1	0,2	15,9
4	550	6,5	33,2	50	50,2	0,2	0,4	16,6
4	490	6,5	33,2	50	-	-	-	14,75

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily Plling
/taveno v odporové elektrické peci - mat. ČSN 424384/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F ₂ /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	σ %	σ _p [kp/mm ²]
1	607	6,5	33,2	50	50,3	0,8	1,6	18,2
1	525	6,5	33,2	50	50,6	0,6	1,2	15,7
1	384	6,5	33,2	50	50,3	0,3	0,6	11,6
1	540	6,5	33,2	50	50,6	0,6	1,2	16,3
1	585	6,5	33,2	50	50,8	0,8	1,6	17,6
2	540	6,5	33,2	50	50,6	0,6	1,2	16,3
2	620	6,5	33,2	50	50,8	0,8	1,6	18,7
2	507	6,5	33,2	50	50,4	0,4	0,8	15,3
2	465	6,5	33,2	50	50,2	0,2	0,4	14
2	620	6,5	33,2	50	50,8	0,8	1,6	18,7
3	570	6,5	33,2	50	50,3	0,3	0,6	17,2
3	623	6,5	33,2	50	50,8	0,8	1,6	18,75
3	620	6,5	33,2	50	50,6	0,6	1,2	18,7
3	650	6,5	33,2	50	50,8	0,8	1,6	19,6
3	520	6,5	33,2	50	50,4	0,4	0,8	15,7
3	620	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	18,7
4	655	6,5	33,2	50	50,6	0,6	1,2	19,7
4	600	6,5	33,5	50	50,4	0,4	0,8	18,1
4	615	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	18,5
4	550	6,5	33,2	50	50,2	0,2	0,4	16,6
4	643	6,5	33,2	50	50,5	0,5	1	19,3
4	570	6,5	33,2	50	50,2	0,2	0,4	17,2
5	354	6,5	33,2	50	-	-	-	10,7
5	655	6,5	33,2	50	50,3	0,3	0,6	19,7
5	615	6,5	33,2	50	50,1	0,1	0,2	18,5
5	500	6,5	33,2	50	-	-	-	15
5	570	6,5	33,2	50	-	-	-	17,2
6	465	6,5	33,2	50	-	-	-	14
6	500	6,5	33,2	50	-	-	-	15
6	508	6,5	33,2	50	-	-	-	15,2
6	550	6,5	33,2	50	-	-	-	16,6
6	480	6,5	33,2	50	-	-	-	14,5
7	515	6,5	33,2	50	-	-	-	15,5
7	500	6,5	33,2 _m	50	-	-	-	15
7	550	6,5	33,2	50	-	-	-	16,6
7	420	6,5	33,2	50	-	-	-	12,65
7	500	6,5	33,2	50	-	-	-	15
8	545	6,5	33,2	50	-	-	-	16,4
8	600	6,5	33,2	50	-	-	-	18
8	342	6,5	33,2	50	-	-	-	10,3
8	350	6,5	33,2	50	-	-	-	10,5
9	358	6,5	33,2	50	-	-	-	10,75
9	364	6,5	33,2	50	-	-	-	10,95
9	376	6,5	33,2	50	-	-	-	10,3
9	284	6,5	33,2	50	-	-	-	8,55
9	350	6,5	33,2	50	-	-	-	10,5
9	342	6,5	33,2	50	-	-	-	10,3

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily ČSN 421430

/taveno v koksové peci - materiál ČSN 424330/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _R [kp/mm ²]
1	1575	10	78,5	50	56,5	6,5	13	20,00
1	1525	10	78,5	50	55	5	10	20,07
1	1650	10	78,5	50	57	7	14	21,01
1	1550	10	78,5	50	54,5	4,5	9	19,74
1	1680	10	78,5	50	57,5	7,5	15	21,40
2	1520	10	78,5	50	55,4	5,4	10,8	19,36
2	1720	10	78,5	50	55,5	5,5	11	21,91
2	1540	10	78,5	50	54,5	4,5	9	19,61
2	1625	10	78,5	50	57	7	14	20,7
2	1560	10	78,5	50	56	6	12	19,87

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily Pilling

/taveno v koksové peci - materiál ČSN 434230/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _R [kp/mm ²]
1	680	6,5	33,2	50	55	5	10	20,4
1	650	6,5	33,2	50	53	3	6	19,6
1	645	6,5	33,2	50	53	3	6	19,4
1	714	6,5	33,2	50	56	6	12	21,4
1	640	6,5	33,2	50	54	4	8	19,3
2	720	6,5	33,2	50	56	6	12	21,6
2	810	6,5	33,2	50	56	6	12	24,4
2	690	6,5	33,2	50	53	3	6	20,7
2	714	6,5	33,2	50	53	3	6	21,4
2	650	6,5	33,2	50	52	2	4	19,6

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily ČSN 421430

/taveno v indukční peci - mat. ČSN 424384/

číslo vzorku	P/kp	d /mm/	F ₂ /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _p kp/mm ²
1	1750	10	78,5	50	52	2	4	22,3
1	1720	10	78,5	50	52	2	4	21,9
1	1760	10	78,5	50	52	2	4	22,4
1	1740	10	78,5	50	51,5	1,5	3	22,2
1	1770	10	78,5	50	52,5	2,5	5	22,6
2	1650	10	78,5	50	51,5	1,5	3	21
2	1660	10	78,5	50	51,5	1,5	3	21,2
2	1630	10	78,5	50	51	1	2	20,8
2	1670	10	78,5	50	52	2	4	20,75
2	1640	10	78,5	50	51,5	1,5	3	20,9
3	1625	10	78,5	50	51,4	1,4	2,8	20,7
3	1610	10	78,5	50	51,2	1,2	2,4	20,5
3	1630	10	78,5	50	51,5	1,5	3	20,8
3	1620	10	78,5	50	51,4	1,4	2,3	20,6
3	1630	10	78,5	50	51,5	1,5	3	20,8
4	1475	10	78,5	50	50,4	0,4	0,8	18,8
4	1450	10	78,5	50	50,4	0,4	0,8	18,5
4	1490	10	78,5	50	50,5	0,5	1	19
4	1470	10	78,5	50	50,4	0,4	0,8	18,7
4	1480	10	78,5	50	50,5	0,5	1	18,85

Příloha č.3

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily ČSN 421430

/taveno v plynové peci - materiál ČSN 424384/

číslo vzorku	P /kp/	d /mm/	F ₂ /mm ² /	l ₀ /mm/	l ₁ /mm/	Δl /mm/	σ %	σ _p [kp/mm ²]
1	1450	10	785	50	51	1	2	18,47
1	1460	10	78,5	50	51	1	2	13,59
1	1620	10	78,5	50	51,5	1,5	3	20,62
1	1800	10	78,5	50	52	2	4	22,92
2	1275	10	78,5	50	50,2	0,2	0,4	16,24
2	1160	10	78,5	50	50,1	0,1	0,2	16,06
2	1310	10	78,5	50	50,3	0,3	0,6	16,68
2	1350	10	78,5	50	50,3	0,3	0,6	17,19
3	1050	10	78,5	50	-	-	-	13,37
3	1075	10	78,5	50	-	-	-	13,69
3	1280	10	78,5	50	50,1	0,1	0,2	16,30
3	1325	10	78,5	50	50,2	0,2	0,4	16,87
4	340	10	78,5	50	-	-	-	4,33
4	210	10	78,5	50	-	-	-	2,67
4	350	10	78,5	50	-	-	-	4,45
4	295	10	78,5	50	-	-	-	3,76
5	280	10	78,5	50	-	-	-	3,57
5	270	10	78,5	50	-	-	-	3,43
5	140	10	78,5	50	-	-	-	1,78
5	100	10	78,5	50	-	-	-	1,27
6	200	10	78,5	50	-	-	-	2,5
6	100	10	78,5	50	-	-	-	1,27
6	105	10	78,5	50	-	-	-	1,33
6	120	10	78,5	50	-	-	-	1,52
7	200	10	78,5	50	-	-	-	2,5
7	130	10	78,5	50	-	-	-	1,65
7	150	10	78,5	50	-	-	-	1,91
7	120	10	78,5	50	-	-	-	1,58
8	120	10	78,5	50	-	-	-	1,58
8	120	10	78,5	50	-	-	-	1,58
8	150	10	78,5	50	-	-	-	1,91
8	130	10	78,5	50	-	-	-	1,65
9	195	10	78,5	50	-	-	-	2,48
9	125	10	78,5	50	-	-	-	1,59
9	155	10	78,5	50	-	-	-	1,97
9	90	10	78,5	50	-	-	-	1,15

Mechanické vlastnosti vzorků litých do kokily ČSN 421430

/taveno v odporové elektrické peci - mat. ČSN 424384/

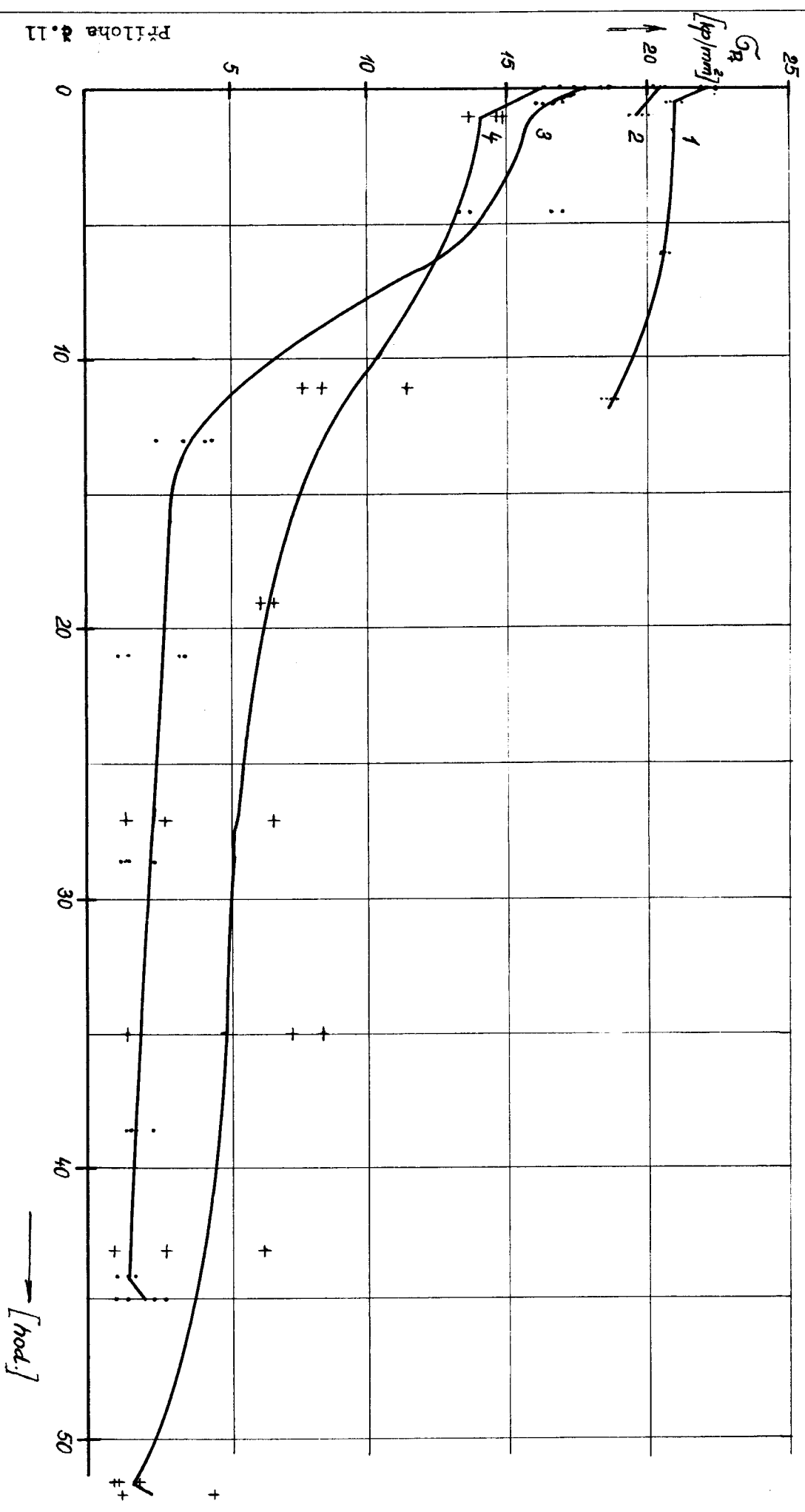
číslo vzorku	P /kp/	d. /mm/	F ₂ /mm ² /	l. /mm/	l, /mm/	Δl /mm/	δ %	σ _R [kp/mm ²]
1	1250	10	78,5	50	50,6	0,6	1,2	15,92
1	1 200	10	78,5	50	50,2	0,2	0,4	15,28
2	1 150	10	78,5	50	50,3	0,3	0,6	14,64
2	1 250	10	78,5	50	50,8	0,8	1,6	15,92
2	1 070	10	78,5	50	50,1	0,1	0,2	13,63
3	615	10	78,5	50	-	-	-	7,84
3	905	10	78,5	50	50,1	0,1	0,2	11,52
3	660	10	78,5	50	-	-	-	8,4
4	500	10	78,5	50	-	-	-	6,3
4	525	10	78,5	50	-	-	-	6,68
4	525	10	78,5	50	-	-	-	6,68
5	525	10	78,5	50	-	-	-	6,68
5	220	10	78,5	50	-	-	-	2,8
5	110	10	78,5	50	-	-	-	1,4
6	575	10	78,5	50	-	-	-	7,32
6	125	10	78,5	50	-	-	-	1,59
6	675	10	78,5	50	-	-	-	8,5
7	220	10	78,5	50	-	-	-	2,8
7	500	10	78,5	50	-	-	-	6,3
7	75	10	78,5	50	-	-	-	0,95
8	150	10	78,5	50	-	-	-	1,91
8	75	10	78,5	50,	-	-	-	0,95
8	80	10	78,5	50	-	-	-	1,02
9	375	10	78,5	50	-	-	-	4,77
9	100	10	78,5	50	-	-	-	1,27
9	100	10	78,5	50	-	-	-	1,27
-								
-								
-								

Pevnost v tahu zkušebních tyčí litých do kokily ČSN 421430

mat. ČSN 424384

met. ČSN 424330 ...2

- 1..... indukční pec
- 2..... koksová pec
- 3..... plynová pec
- 4..... odporová pec



[hod.]

Počet vměstků /material ČSN 424384 taveno v el. odpor. peci/

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
1	počet vměstků	3	11	15	10,	15	12	8	60	20	10	16,4

číslo vzorku	číslo zor. pole	1	2	3	4	5	6	7m	8	9	10	ϕ
2	počet vměstků	5	4	5	7	11	11	20	10,	15	5	9,3

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ/
3	počet vměstků	17	15	15	20	21	34	12	19	7	10	17,1

číslo vzorku	číslo zor. pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
4	počet vměstků	5	2	4	2	3	2	5	5	3	3	3,9

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
5	počet vměstků	10	19	4	12	5	16	10	6	12	11	10,5

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
6	počet vměstků	3	8	17	18	39	26	20	12	6	10	15,9

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
7	počet vměstků	9	4	13	10	22	6	16	13	7	8	10,8

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
8	počet vměstků	3	5	2	7	7	3	4	6	7	2	4,7

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ϕ
9	počet vměstků	7	8	8	4	17	15	11	8	3	6	8,7

Počet vměstků /materiál ČSN 424384, taveno v plynové peci/

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
1	počet vměstků	11	3	6	21	31	12	6	7	3	2	12

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
2	počet vměstků	4	5	3	14	16	10	6	3	5	2	6,6

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
3	počet vměstků	23	42	14	38	25	31	52	13	22	17	27,7

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
4	počet vměstků	3	5	7	3	7	4	3	2	3	4	4,1

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
5	počet vměstků	1	2	3	10	2	4	2	5	7	3	3,9

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
6	počet vměstků	4	2	3	5	6	3	4	5	1	1	3,4

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
7	počet vměstků	13	4	13	6	5	6	4	4	6	12	7,3

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
8	počet vměstků	15	8	22	13	16	8	32	11	10	24	15,9

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	∅
9	počet vměstků	6	7	7	4	12	5	7	7	3	3	6,6

Počet vměstků /materiál ČSN 424384, taveno v el. indukční peci/

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
1	počet vměstků	30	25	22	40	12	4	10	35	24	14	21,6

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
2	počet vměstků	5	8	16	5	0	6	7	1	1	10	5,9

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
3	počet vměstků	30	25	16	1	27	14	20	19	4	8	16,4

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
4	počet vměstků	8	3	4	11	10	8	12	3	4	7	7

X												
X												

Počet vměstků /materiál ČSN 424330 taveno v koksové peci/

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
1	počet vměstků	8	5	12	10	17	15	17	20	19	23	14,6

číslo vzorku	číslo zor.pole	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
2	počet vměstků	7	5	9	10	12	8	13	21	4	6	9,5

Chemické složení materiálu taveného v el. indukční peci

mat. ČSN 424384

	Fe / % /	Cu / % /	Si / % /	Mg / % /	Mn / % /
předepsané složení	do 0,8	do 1,5	7 -11	do 0,45	0,2-0,5
číslo vzorku	X	X	X	X	X
1	0,63	1,5	8	0,09	0,35
2	0,64	1,52	7,9	0,09	0,35
3	0,65	1,53	8,1	0,09	0,35
4	0,64	1,53	8,1	0,08	0,36
5	X	X	X	X	X