

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a slévárenství

Fakulta: strojní

Školní rok: 1966/67

## DIPLOMNÍ ÚKOL

pro Markétu W ü n s c h o v o u

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 oduhličování přesných ocelových odlitků.

Pokyny pro vypracování:

- 1) Sledujte technologické postupy při výrobě přesných ocelových odlitků, zejména přípravu keramických obalů, výrobu skořepin, přípravu skořepin k odlévání, přípravu tavěnín, způsob odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitků.
- 2) Při normální seriové výrobě sledujte a zhodnoťte stav okujení a hlavně oduhličení odlitků a seznáňte se s metodikou a výsledky kontroly těchto vad v závodě. Sledujte též způsoby k odstranění oduhličení.
- 3) Vyzkoušejte a zhodnoťte vlivy těchto faktorů na výsledné oduhličení ocelových odlitků:
  - a) přídavek grafitu do prvního, případně druhého obalu skořepiny
  - b) přídavek SiC do prvního, případně druhého obalu skořepiny
  - c) vliv velikosti vtokové soustavy, t.j. vliv tepelného pole vtokového kůlu.Zkoušky proveďte (ad a), b) s použitím ochranných vrstev z lehce-tajících látek v posledním obalu (kyselina boritá nebo sklo), zkoušky ad c) s touto ochranou i bez ní.
- 4) Ke všem zkouškám použijte standartní vzorek pro sledování oduhličení (dle VŠST) a obvyklou metodiku a způsob hodnocení oduhličení.
- 5) Pokuste se z naměřených hodnot navrhnout optimální podmínky pro výrobu ocelových odlitků.
- 6) Shromážděte si též podklady pro určení nákladů na nápravné nauhličování a na způsob podle Vašeho návrhu.

*Witzocháns 8. XI. 66*

*Děkuji*

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

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

*V 69/66*

Rozsah grafických laboratorních prací: Tabulky a grafy naměřených hodnot, fotografie charakteristických struktur.

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran

Seznam odborné literatury:

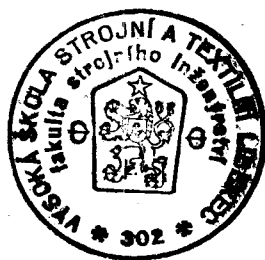
Doškář J. : Přesné lití do keramických forem  
Sklennik : Lití po vyplavljajem modeljam  
Wild M. : Dipl.práce VSST Liberec  
Holas A. : Dipl.práce VSST Liberec  
Keifer F. : Randentkohlung bei Feinguss - Giesserei (49) 1962, str. 247 - 253  
Odstrčil - Exner : Závěrečná zpráva úkolu F-6-2o-4/2, etapa 3, VSST Liberec.

Vedoucí diplomní práce: Prof. Ing. Bohumil Odstrčil

Konsultanti: Ing. Jaroslav Exner

Datum zahájení diplomní práce: 26. září 1966

Datum odevzdání diplomní práce: 5. listopadu 1966



Vedoucí katedry

Prof. Ing. Bohumil Odstrčil

Děkan

Prof. Ing. Cyril Hüschl

v Liberci dne 29. srpna 1966

VŠST  
LIBEREC

Studium oduhličování přesných  
ocelových odlitků.

DP 482/66 str. 1

5. LISTOPADU 1966

Markéta Wünschová

DIPLOMNÍ PRÁCE.

Obsah.

I. Úvod.	str.	4
II. Technologie výroby přesných ocelových odlitků	str.	6
1. Metoda vytavitelného a spalitel- ného modelu	str.	6
2. Formy na vytavitelné a spalitel- né modely	str.	6
3. Výroba voskových modelů	str.	6
3.1. Modelové hmoty	str.	6
3.2. Výroba modelů	str.	7
3.3. Sestavování modelů do stromečků	str.	7
4. Výroba keramických skořepin.	str.	8
4.1. Podstata pojení a tuhnutí formovacích hmot.	str.	8
4.2. Příprava obalové směsi	str.	8
4.3. Postup obalování a sušení	str.	9
5. Vytavování vosku	str.	10
6. Příprava keramických forem k odlití.	str.	10
6.1. Zасыпání keramických forem	str.	10
6.2. Žihání forem	str.	12
7. Odlévání forem	str.	12
7.1. Tavení materiálu a vlastní lití	str.	13
8. Tuhnutí a chlazení odlitků	str.	13

9. Konečná úprava odlitků.	str. 14
III. Oduhličování přesných ocelových odlitků.	str. 15
1. Podstata oduhličení přesných ocelových odlitků.	str. 15
2. Vlivy působící na velikost oduhličení	str. 16
3. Způsob zmenšení nebo odstranění oduhličené vrstvy.	str. 17
IV. Studium oduhličení přesných ocelových odlitků.	str. 19
1. Přehled výsledků studia oduhličení přesných ocelových odlitků zjištěných během odborné praxe.	str. 19
1.1. Vliv nauhličující přísady OB tmelu.	str. 19
1.2. Vliv přísady karbidu SiC.	str. 21
2. Vlastní zkoušky.	str. 21
2.1. Výroba zkušebních vzorků.	str. 24
2.2. Vyhodnocování hloubky oduhličení.	str. 24
2.3. Označení vzorků.	str. 27
2.4. Studium vlivu přídavku grafitu do skořepin.	str. 29
2.5. Studium vlivu přísady SiC.	str. 31
2.6. Studium vlivu velikosti vtokové soustavy.	str. 37
V. Shrnutí výsledků zkoušek.	str. 41
VI. Optimální podmínky pro výrobu přesných ocelových odlitků.	str. 43
VII. Naměřené hodnoty oduhličení.	str. 46
1. Vliv přísady grafitu do skořepin.	str. 46
2. Vliv přísady SiC do skořepin.	str. 51
3. Vliv změny prům. vtok. kúlu.	str. 55
4. Srovnávací vzorky.	str. 57
VIII. Závěr.	str. 59
IX. Použitá literatura.	str. 60

## I. Ú v o d.

Společně s rozvojem světové techniky zaznamenalo i slévárenství značné změny a pokroky, což se projevilo nejenom vzrůstem objemu výroby, zkvalitněním a zdokonalením výrobních procesů, ale také zvýšením požadavků na kvalitu odlitků. Současně s požadovanou kvalitou odlitků je nutno snižovat váhu odlitků, zmenšovat přídavky na obrábění odlitků z rychlořezných a vysoce legovaných materiálů nebo obrábění odlitků úplně odstranit, aby se zvýšila celková efektivnost výroby, proto bylo třeba vyvinout, kromě klasického způsobu výroby, nové technologie výroby odlitků, z nichž nejefektivnější je přesné lití metodou vytavitelného modelu.

Odlitky vyrobené metodou přesného lití do keramických skořepinových forem se vyznačují vysokou rozměrovou přesností, kvalitním povrchem, přinášejí značné ekonomické výhody, hlavně v oborech s vysokou pracností, seriovostí a velkou spotřebou legovaných materiálů.

Na další zpracování odlitků, získaných touto technologií výroby, má vliv oduhličení povrchové vrstvy odlitků. Proto je nutné zabývat se problémem oduhličení, určit přesně jeho velikost, najít takové přísady do skořepin, které oduhličení zamezují, nebo ho úplně odstraňují.

Většina ocelových odlitků není, z důvodu oduhličení, ihned po odlití použitelná k dalšímu tepelnému zpracování. U odlitků, jejichž povrch se celý obrábí/včetně oduhličené vrstvy/ nebo u odlitků dále cementovaných, se nemusíme problémem oduhličení zabývat. U odlitků, které se však mají dále tepelně zpracovávat, je nutno oduhličenou vrstvu

odstranit nápravným nauhličením, což zvyšuje nejen  
pracnost, ale hlavně náklady na výrobu.

Tato práce se proto zabývá závažným pro-  
blémem oduhličení přesných ocelových odlitků, stu-  
duje některé způsoby odstranění oduhličené vrstvy  
u odlitků, jako přidání nauhličujících látek do  
keramické skořepiny, získání ochranné nepropustné  
vrstvy z nízkotajících látek a vlivu průměru vte-  
kového křlu skořepiny na oduhličení odlitků.

Chtěla bych tímto upřímně poděkovat za  
poskytnuté rady vedoucímu diplomové práce Prof.  
Ing. Bohusilu Odstrěpělovi, laureátu státní ceny,  
Ing. Jaroslavu Exnerovi ČSc, odbornému asistentu  
KSL, kolektivu slévárny ZPS Uherský Brod, zvláště  
pak Ing. Straňákovi.

## II. Technologie výroby přesných ocelových odlitků.

### 1. Metoda vytavitelného a spalitelného modelu.

Princip metody vytavitelného a spalitelného modelu je v tom, že se vyrobí model i s vtokovou soustavou z materiálu, který se taví při nízké teplotě /vosk, nízkotavitelné slitiny/ nebo který shoří beze zbytku /plastické hmoty/. Tento model se zaleje kašovitou směsí z vysoce žáruzdorné keramické hmoty a tekutého pojiva. Ztuhnutím pojiva vznikne keramická forma, která přesně sleduje tvar vytavitelného modelu. Ohřátím na příslušnou teplotu se model i s vtokem vytaví nebo spálí beze zbytku, a tak vznikne dutina, která je prostorovým negativem modelu s vtokem. Keramická forma se vypálí a vyplní roztaveným kovem. Vzniklý odlitek je tvarově shodný s modelem.

V současné době je možné odlévat touto metodou tvarově velmi náročné součásti ze slitin, které se nedají jiným způsobem ekonomicky obrábět.

### 2. Formy na vytavitelné a spalitelné modely.

Podle účelu použití se rozlišují formy na výrobu:

- a/ vlastních modelů
- b/ části vtokových systémů

vyrábějí se z ocelí, litiny, nízkotavitelných slitin, plastických hmot nebo kombinované. Konstrukce forem je podmíněna způsobem výroby modelů, chlazením a stupněm mechanizace provozu.

### 3. Výroba voskových modelů.

#### 3.1. Modelové hmoty

Na výrobu vytavitelných modelů se používá různých materiálů jako na př. vosků, plastických hmot, nízkotavitelných slitin, zmrzlé rtuťi.



Nejvhodnější jsou voskové směsi, které přesně reprodukují tvar modelu, jsou regenerovatelné, po vytavení nezanechávají zbytky v keramické formě. Mají však větší smrštění než modely z plastických hmot, ale tato nevýhoda se dá snížit vstřikováním pod tlakem v kašovitém stavu.

Voskové směsi používá v ZPS Uherský Brod.

Složení: 50 % parafin  
35 % stearin  
15 % ceresin

### 3.2. Výroba modelů.

Vosková směs se ohřeje na 60°C-100°C ve vodní lázni a po rozvaření se přečerpá do zásobníku vstřikovacího zařízení, kde se za stálého míchání ochladí na 49°C-50°C. Vytvoří se vosková pasta, která obsahuje 7-10% vzduchu. Pasta se nasaje do pracovního válce a pod tlakem latem se tlačí do vstřikovacího zařízení.

Vlivem <sup>naplnění</sup> ~~naplnění~~ se vosková pasta ve formě rozepíná a tím dochází k dokonalému zaplnění formy.

Forma se před složením potře v místech, které přijdou do styku s voskovou hmotou olejem /50% strojní olej + 50% petrolej/, aby bylo usnadněno vyjímání modelu z formy. Vzduchem se ofouknou nečistoty ve formě a ta se složí. Tuhnutí modelu ve formě trvá asi 5 minut u ručního vstřikování, na automatu AV070 používaném v ZPS Uherský Brod trvá chlazení modelu po jednu otáčku karuselového stolu. Po ochlazení se forma otevře a model se <sup>dá</sup> ochladit do vody.

### 3.3. Sestavování modelu do stromečku.

Tvar stromečku je závislý na způsob lití, na způsobu výroby vytavitelných modelů, sestavování modelů do stromečku, vytavování, plnění formy tekutým kovem, a způsobu oddělování odlitků od vtokové soustavy, jednotlivé modely se připojují na vtokovou soustavu horkou špachtlí ohřátou v elektrické peci nebo zaléváním, zasunutím, lepením. Výhodná je výroba celých etáží, které

se nasouvají přímo na trn.  
Po sestavení se stromeček ofouká vzduchem a zkontroluje se spojení modelů a etáží.

#### 4. Výroba keramických forem.

##### 4.1. Podstata a pejení a tuhnutí formovacích hmot.

Formovací hmoty jsou složeny z vazné kapaliny, ve které jsou rozmíchány žáruvzorné látky vhodné zrnitosti. Vazné kapaliny jsou vodní, vodně alkoholické nebo jen alkoholické, koloidní roztoky kysličníku křemičitého  $\text{SiO}_2$ . Přidá-li se k solům /tekuté koloidní soustavy s tuhou složkou dispergovanou v tekutém prostředí /, určité množství flokulačního elektrolytu mění se sol v kašovitou látku zvanou gel. Ztuhnutí formovacích hmot je tedy vyvoláno stavovou změnou těchto koloidních roztoků.

##### 4.2. Příprava obalové směsi.

V ZPS Uherský Brod se připravuje obalová směs směsnou hydrolysou.

Do míchačky se dá 18 litrů etylalkoholu

1 1/2 litru HCL /1:12/

za stálého míchání se přidá 7 a 1/2 litru etylsilikátu.

Po míchání, které trvá 3 - 5 minut se vsype mletý křemen 6,3 kg a promíchává se 1 hodinu. Potom se roztok nechá odstát 2 hodiny.

Pro ředění obalové směsi se používá hydrolysovaného etylsilikátu.

Do nádoby hydrolyzesu se naleje 6 litrů etylsilikátu a za stálého míchání se pomalu přidává 6 litrů etylalkoholu. Po 10 minutách se velmi pomalu přidá 700 ccm HCL /1:12/ a míchá se 30 minut. Potom se ještě přidá 6 litrů etylalkoholu a míchá se 10 minut. Roztok se nechá 24 hodiny ustát.

Teplota při hydrolyze se má pohybovat kolem  $40^{\circ}\text{C}$  a nemá překročit  $45^{\circ}\text{C}$ . Vyšší teplota hydrolyzy způsobuje praskání obalů a snižuje životnost vazné kapaliny.

Pro výrobu kvalitních skořepin je důležité řádné míchání obalové směsi, které se provádí vrtulovými míchačkami.

#### 4.3. Postup obalování a sušení

Keramická forma nebo-li skořepina se vytvoří tak, že se voskový model nebo stromeček namáčí v obalové směsi a zasype se vysušeným křemičitým pískem. Zásyp se může provádět ručně, strojně mechanicky nebo s použitím fluidní vrstvy. Tento postup se dle potřeby někdy opakuje.

V ZPS Uherský Brod se k obalování ~~vrtulových~~ stromečků používá poloautomatického obalovacího stroje, který provede namočení stromečku do obalové směsi. Stromečky jsou upevněny na trnech, které nejdříve projdou vanou, ve které je březka a potom proběhnou nad nádobou s pískem, kteřou probublává vzduch. (Fluidní samostatný obal) Vzduch nahazuje písek na stromečky a tím dojde k zasypaní. Trny se stromečky se neustále otáčejí, takže vzniklý obal je stejnoměrný a rovnoměrný.

Po vytvoření každého obalu se stromečky suší. Sušící doba jednotlivých obalů je asi 4 hodiny. Je důležité, aby jednotlivé obaly byly dokonale suché z důvodů dokonalé přeměny solů v gel. Při nedokonalé přeměně by se další obaly rozleptávaly a nevytvořila by se kvalitní skořepina. Popsaný postup se provede několikrát podle druhu formy. U forem zasypaných se provádí obal 3 až 4, u forem samonosných 5 až 6 krát.

Sušení mezi jednotlivými obaly se provádělo v sušárně. Relativní vlhkost v sušárně se pohybovala mezi 80-83 % při teplotě 20°C- 22°C. Tato relativní vlhkost je předepsaná.

°C	% relativní vlhkosti
20	55 - 72
21	57 - 74
22	59 - 76
23	61 - 78
24	63 - 80
25	65 - 82
26	67 - 84

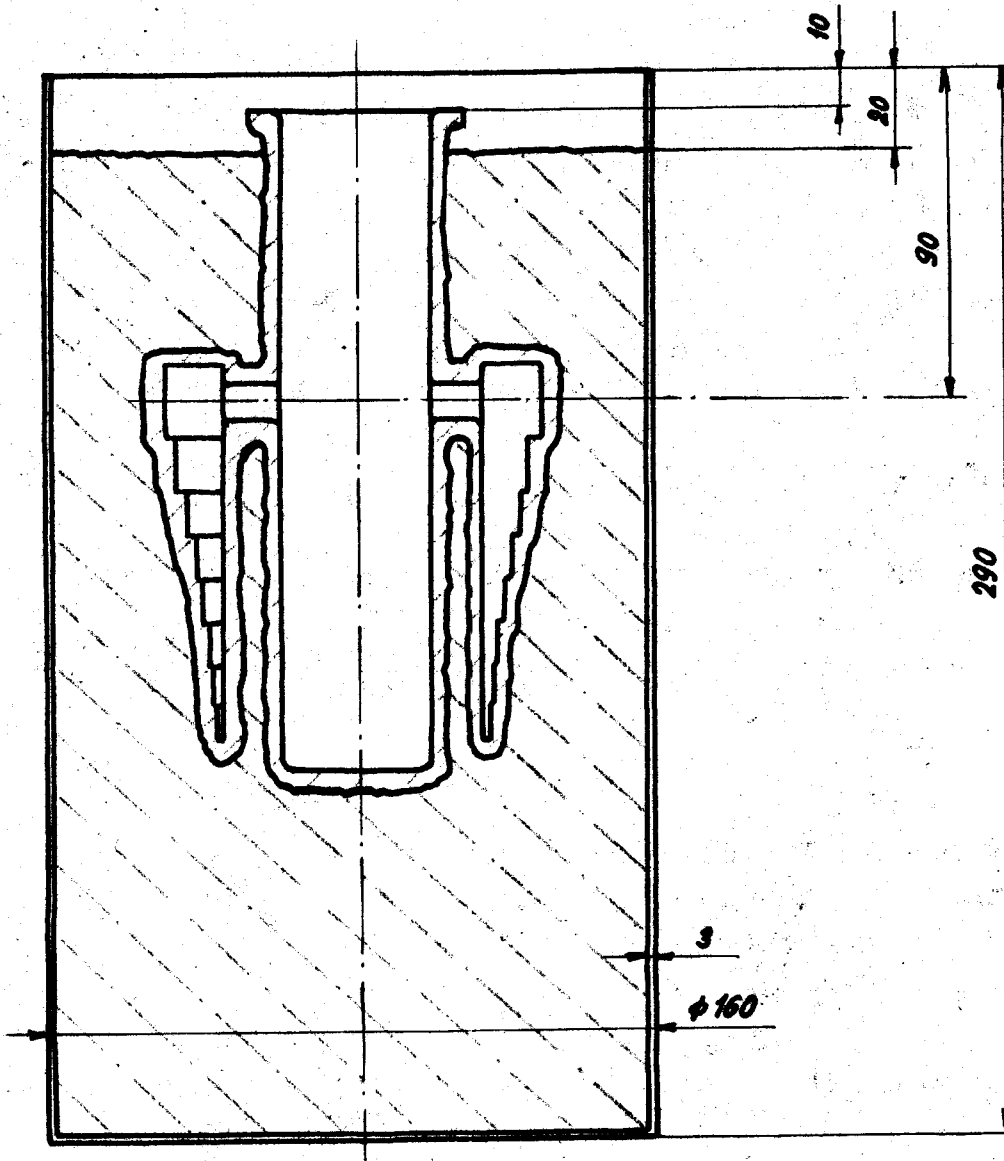
## 5. Vytavování vosku.

Po dokonalém vysušení a kontrole, není-li stromček popraskaný se ze skořepin vyváří vosk ve vaně, která je elektricky vyhřívána. Voda ve vaně je 90°C-100°C teplá. Skořepiny oddělené od trnů se zarovnají do zakládacího koše a ponoří se na 10 minut do vany, vytavený vosk vyplave na povrch a přepadem odtéká do sedimentačních van. Po ztuhnutí se vosk opět vrací do výroby. Skořepiny zbavené vosku se uloží do regálů, kde se nechají 24 hodin schnout.

## 6. Příprava keramických forem k odlití.

### 6.1. Zасыпání keramických forem.

Rámy, do kterých se skořepiny zasypávají jsou dvojího druhu. Jednak menší rámy o vnitřním Ø 170 mm a výšce 310 mm a větší rámy o vnitřním Ø 210 mm a výšce 325mm. Materiál rámu je litá žáruvzdorná ocel AKC /0,2 % C, chromu 21 %, 38 % niklu a 1% křemíku / která je použitelná do 1200°C. Skořepiny se zaformují do rámu tak, aby horní okraj licího kúlu byl přibližně v úrovni horního okraje rámu /Obr.1 /.



Obr. 1 Způsob zaformování keramických skořepin

Otvor nálevky se přikrývá víčkem, aby zásypový písek nepadal do skořepiny. Aby se skořepina přímo nedotýkala rámu, nasype se na dno 40 - 50 cm zásypového písku HOB 3-4 mm. Skořepina se zasype asi 2 cm pod horní okraj vtokového kúlu. Zasypání rámu se provádí na zasypacím stole, nad kterým je umístěn zásobník, zásypového písku, který se do zásobníku dopravuje dopravníkem. Zásypový písek se odebírá z pod vysypacího stolu. Na vysypacím stole se vyprazdňují rámy s odlitky po projití ochlazovací drahou.

### 6.2. Žihání forem.

#### Důvody pro žihání forem:

- 1/Spálí se organické zbytky ve skořepině na př.vosk
- 2/Odstraní se vlhkost a plynotvorné složky skořepin
- 3/Zvýší se pevnost a prodyšnost skořepin
- 4/Zlepší se zabíhavost odlévaného kovu.

Rámy se zakládají do pecí při teplotě cca 300°C. Teplota v peci se zdvíhá rychlostí asi 100°C/hod. až na žihací teplotu, což je 900 - 1000°C. Při této teplotě se skořepiny žihají asi 5 hodin. Samonosné skořepiny se nezasypávají a přímo se zakládají do pece, kde se žihají při teplotě 850°C po dobu 4 hodin. Teplota 900°C je nejnižší doporučená teplota při žihání skořepin, neboť při teplotách nižších než 800°C se uvolňují ze skořepin plyny z rozkladu z těžkých uhlovodíků.

### 7. Odlévání forem

Po vypálení se skořepiny ihned odlévají. Zvláště u samonosných skořepin je nutné, aby doba mezi vytažením z pece a odlitím byla co nejkratší. Protože rychlé ochlazování skořepin je příčinou jejich praskání. Mimo to je zde nebezpečí vzniku vadných odlitků nedolitím, zejména v nejtenčích průřezech. Formy

připravené v žhacích pecích se asi 5 min. před vlastním odlitím vyjmou a narovnají na lícím poli, kde se odlévají.

### 7.1. Tavení materiálu a vlastní lití.

Materiál pro vsázku se použije takový, aby jeho konečné složení odpovídalo požadovanému chemickému složení. Používá se asi 50 % materiálu nového a 50 % vratného materiálu, tj. vtoky a zmetkové výrobky. Pro každý materiál je vypracován předpis, podle kterého se určí příslušné složky vsázky.

Do kelímku se zakládá materiál, který nesmí být mastný, silně zakužený, nebo jinak znečištěný. Vsázka se začíná natavovat zespoda. Pro dodržení předepsaného obsahu uhlíku se do kelímku přidávají buď C- elektrody nebo litina. Litina se přidává uprostřed tavby a C- elektrody na začátku. Po roztavení vsázky se nahodí struska, stáhne se, nahodí se nová a přidají se feropřísady v množství určeném předpisem pro daný materiál. Dokončí se stažení strusky a vsadí se deoxygenátor.

Do připravené lící pánve, která se před vlastním litím vyhřívá na obloukové peci, se vhodí hliník pro deoxygenaci. Potom se <sup>do</sup> pánve naleje roztavený kov z tavící pece /indukční pec ISTOL 100/. Obsah lící pánve je různý a bývá asi 20 - 30 kg. Množství kovu v lící pánvi se volí ~~na~~ velikosti forem. Lící teplota je 1600°C - 1650°C.

### 8. Tuhnutí a chladnutí odlitek.

Po odlití se nechají formy asi 30 minut stát na odlévací ploše, kde chladnou na klidném vzduchu a potom se dají na chladicí válečkovou dráhu, kde dále chladnou asi 16 hodin na klidném vzduchu.

9. Konečná úprava odlitků.

Odstraňování skořepiny z odlitků se provádí buď ručně pneumatickým kladivem, nebo ve vibračním stroji. Zbytek keramiky, který se nedá odstranit otloukáním je možno odstranit louhováním v louhu sodném NaOH nebo v louhu draselném KOH. Oddělování odlitků od vtoku se děje na lisech nebo se urážejí bronzovými kladivy nebo dřevěnými palicemi. Potom jdou odlitky k dalšímu zpracování.

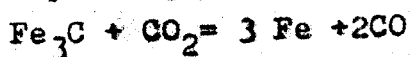


III. Oduhličování přesných ocelových odlitků.

Výhodou přesného lití do keramických forem je značná rozměrová přesnost odlitků a dobrá kvalita povrchu, takže tyto odlitky vyžadují minimální mechanické opracování a často ani není nutno odlitky opracovávat. Potom jsou ovšem <sup>na</sup> odlitky kladeny velké požadavky co do pevnosti, tvrdosti a opotřebování. Během chlazení zde však dochází k velmi nepříznivému jevu, k oduhličení povrchu odlitků. Oduhličení odlitků, částečné nebo úplné, nepříznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti odlitku. Dle druhu a složení ocelí dochází k oduhličení povrchu do hloubky 0,5 mm a někdy až 0,8 mm. U ocelí určených k cementování není nutné se oduhličěním zabývat, ale u ocelí určených k zušlechťování je důležité, aby obsah C byl v jádře i na povrchu stejný. Oduhličená vrstva zůstává i po zkalení měkká, takže není potom možné určit spolehlivě popouštěcí teplotu, která se volí dle zjištěné tvrdosti povrchu.

1/ Podstata oduhličení přesných ocelových odlitků,

Oduhličení se projevuje jako úbytek uhlíku na povrchu odlitků, které jsou vystaveny působení molekulárního kyslíku obsaženého ve vzduchu, v oxidačních atmosférách a pod., nebo působení atmosfér s nízkým uhlíkovým potenciálem. Reakcí karbidu železa s kyslíkem nebo kysličníkem uhlíčitým vzniká na povrchu odlitku vrstva čistého feritu nebo vrstva o sníženém obsahu uhlíku.

Vyjádření reakcí:

2. Vlivy působící na velikost oduhličení.

Oduhličení je v podstatě difusní děj. Rychlost difuze je závislá na rozdílu koncentrací difusních míst a na difusní konstantě, která je závislá na teplotě. Z toho plyne, že s rostoucí rychlostí ochlazování oduhličaná vrstva klesá. Při pomalejším ochlazování odlité formy, které je způsobeno větším předehřátím formy, menší tepelnou vodivostí formy, předehřátím litého kovu, je hloubka oduhličení větší. Zrychlením difuze uhlíku se dá rovněž vysvětlit rostoucí hloubka oduhličené vrstvy při rostoucím obsahu uhlíku. / 3. /. Na velikost oduhličení má značný vliv i použitá výplňová směs. Navlhá směs obsahuje vodní páru, která se projeví jako oduhličovací prostředek. Několikrát použitá výplňová směs bývá značně znečištěna okujemi, které jsou přímo ve formě zdrojem kyslíku. Bylo zjištěno, že přítomnost 1-5% okují ve výplňové směsi, již značně zvětšuje hloubku oduhličené vrstvy. Stejně jako okuje, má na oduhličení nepříznivý vliv použití kovových formovacích rámu a uhlíkových nebo nízko legovaných ocelí, které se při žhání pokrývají silnou vrstvou okují. / 4. /.

Na velikost oduhličení má také vliv použití různých druhů výplňových směsí. Použitím sypkých výplňových směsí se oduhličení zmenšilo, což na př. při použití obalového způsobu s kašovitou výplňovou směsí. / 5. /. Z používaných výplňových směsí bylo oduhličení nejmenší u křemičitých písků; z hlediska různých zrnitostí výplňových směsí je zřejmě nejvýhodnější použití směsí s hrubšími zrnny. / 4. /  
Také legující prvky působí na velikost oduhličení a to tak, se oduhličení vlivem legu<sup>ží</sup> snižuje.

### 3. Způsob zmenšení nebo odstranění oduhličené vrstvy.

Odstranění oduhličení se provádí buď nápravným nauhličováním nebo pomocí využití známých poznatků, které snižují oduhličení odlitků přímo při lití a chladnutí.

1/ Nápravné nauhličování je v podstatě cementace oduhličených odlitků v nauhličujícím prášku, jehož složení je závislé na obsahu C v oceli. Také nauhličovací teplota se určuje podle obsahu C v oceli a s rostoucím obsahem C v oceli se zvyšuje.

při 0,4 % C ... 860°C

0,5 - 0,6 % C ... 880°C

0,6 - 0,7 % C ... 900°C

Po nauhličení, které je nejsnáze ovladatelné do hloubky 0,3 mm úplného oduhličení /5. /, bude obsah C v povrchové vrstvě záviset na použité teplotě, době setrvání na uhlíčovacím zásypu a na účinnosti nauhličujícího prostředku. Nauhličená vrstva není zcela rovnoměrná a je proto nutné odlitky po nauhličení vyžít na 680°C- 720°C po dobu 4 hodin .

2/ Druhá metoda zabránění oduhličení spočívá např. v použití nauhličujících prostředků, které se přidávají do materiálu formy, ochranných atmosfér, zvýšení rychlosti chladnutí a v použití upravených parameterů lití.

Nauhličující prostředky, např. dřevěné uhlí, koks, cementační prášek se mohou přidávat buď do výplňové směsi, kde se při lití vytvoří ochranná atmosféra CO, která zabráňuje oduhličení. Nevýhodou je poměrně těžké určení složení nauhličujících prostředků a také zvýšená prašnost prostředí. Nauhličující prostředky se dají přidávat přímo do materiálů keramické formy. Hořením uhlíku vzniká v pórech skořepiny redukční atmosféra, která zabráňuje oduhličení.

Další způsob je použití ochranných atmosfér při odlévání forem a zamezení přístupu vzduchu po odlití. Získají se tak kvalitní odlitky bez oxidace i bez oduhličování.

Oduhličování probíhá prakticky v intervalu od teplot tuhnutí  $700^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$ . Zvýšením rychlosti chladnutí forem se zkrátí doba setrvání odlitku v tomto intervalu a sníží se tak doba intenzivního oduhličování povrchu.

Zvýšení rychlosti ochlazování snížením teplot předehřátím forem a snížením lící teploty se nedá vždy použít, protože zde může vzniknout nebezpečí nezaběhnutí.

#### Způsob odstraňování oduhličování v ZPS Uherský Brod.

Po oddělení ze stromečku se odlitky u nichž žádáme neoduhličený povrch, na potřebný obsah uhlíku v povrchu uvedou nauhličováním. Nauhličující proces ZPS Uherský Brod probíhá v peci Monocarb. Jako nauhličující medium je zde používán teral: 40 % terpentýnová silice

30 % aceton

30 % lín

Vsázka se vloží do pece a při dosažení teploty  $750^{\circ}\text{C}$  začíná čerpadlo pouštět teral. Vlastní nauhličující proces probíhá při teplotě  $880^{\circ}\text{C}$  a trvá asi 2 hodiny. Při této teplotě se začíná teral rozkládat a vytváří nauhličující prostředí. Po dokončení nauhličování jde vsázka do chladicí jednotky, kde pomalu chladne.

IV. Studium oduhličení přesných ocelových odlitků.

Studium vlivu nahliučujících prostředků /SiC a OB-tmelu/ v obalu skořepiny a vliv vytváření ochranných vrstev lehkými tajícími látkami /tavidlo VUS 152, sklo, kyselina boritá/ bylo prováděno již během odborné praxe v roce 1965 - 66. 5,7/ Ze zjištěných výsledků nás zajímají měření změny hloubky oduhličení použitím nahliučujícího prostředku SiC a OB-tmelu do materiálu skořepiny a vliv vytvořených ochranných vrstev s použitím skla v posledním obalu skořepiny.

1/ Přehled výsledků studia oduhličení přesných ocelových odlitků, zjištěných během odborné praxe.1.1. Vliv nahliučující přísady OB-tmelu.

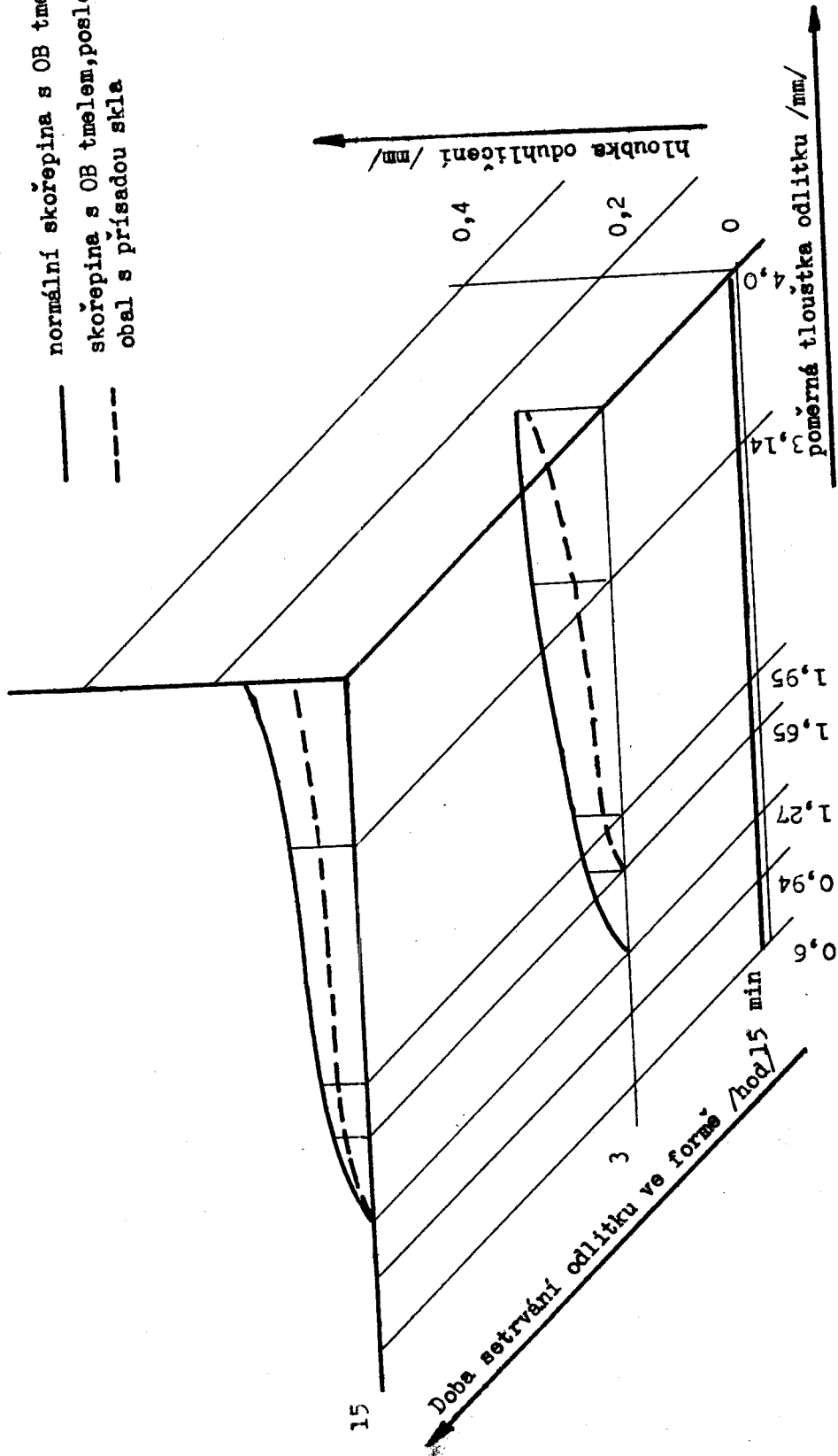
Pro ověření tohoto vlivu byla určena serie vzorků která byla vyrobena odlitím do skořepin, u nichž pro druhý a třetí obal byla použita obalová směs s přídavkem 2 % váh. OB tmelu /fenolformaldehydová syntetická pryskyřice/ na váhu obalové směsi. Jako zásypový písek byl použit křemičitý písek T2S. Po vypálení obsahovaly skořepiny 0,79 % uhlíku.

Zkouškami bylo zjištěno příznivé působení přídavků OB tmelu do obalové směsi, zejména byl-li odlitek z formy vytažen již po 15 minutách /obr.12/, avšak pro praktické využití je tento způsob nevhodný protože, jak se ukázalo při přípravě skořepin, dochází vlivem zásadité reakce OB tmelu k rychlé gelaci obalové směsi a je tedy obtížné vytvořit takto kvalitní obal skořepin.

Vytvořením posledního obalu s přídavkem mletého skla, u skořepin obsahujících OB-tmel, za účelem vytvoření ochranné vrstvy se oduhličení opět značně snížilo. Při ochlazování odlitků ve formě po dobu 3,15 hodin

Obr. 12 Vliv přísady OB tmelu do skóřepiny

- normální skóřepina s OB tmelem
- - - skóřepina s OB tmelem, poslední obal s přísadou skla



nenastalo v tenkých partiích oduhličení a při rychlém ochlazení/doba setrvání ve formě po odlití 35 minut/se oduhličení nevyskytlo vůbec /obr.12./.

### 1.2/ Vliv přísady karbidu SiC do obalu skořepiny.

Obaly skořepin, vyrobených pro tento druh zkoušek, obsahovaly karbid SiC v prvním a druhém obalu nebo druhém a třetím obalu. Karbid SiC je přidáván buď jen do obalové směsi nebo je použit i jako zásyp.

Zkoušky ukázaly, že se hloubka oduhličení přidáním karbidu SiC opět zmenšila, avšak závisela značně na rychlosti chladnutí, jak bylo zjištěna na odlitcích, které byly vyhazovány z forem v různých časových intervalech po odlití. /6 minut, 15 minut, 30 minut a 15 hodin/.

Vliv různého množství použitého SiC přidaného do břec-ky nebo jako zásyp je na obr. /10 /, /11/  
Způsoby použití ostatních přísad a výsledná oduhličení jsou uvedeny v semestrání práci /5, 7/.

Na základě výsledků provedených zkoušek /1 a 7 / bylo rozhodnuto dále ověřovat vliv přísad SiC do materiálu skořepin a látek, vytvářejících ochranné vrstvy v posledním obalu skořepiny a mimo to provést zkoušky se skořepinami s přísadou grafitu a sledovat vliv změny průměru vtokového kúlu na velikost výsledného oduhličení.

### 2. Vlastní zkoušky

Úkolem provedených zkoušek bylo ověřit vliv těchto faktorů na výsledné oduhličení přesných ocelových odlitek:

1/ Vliv nahličujících přísad do obalu skořepiny

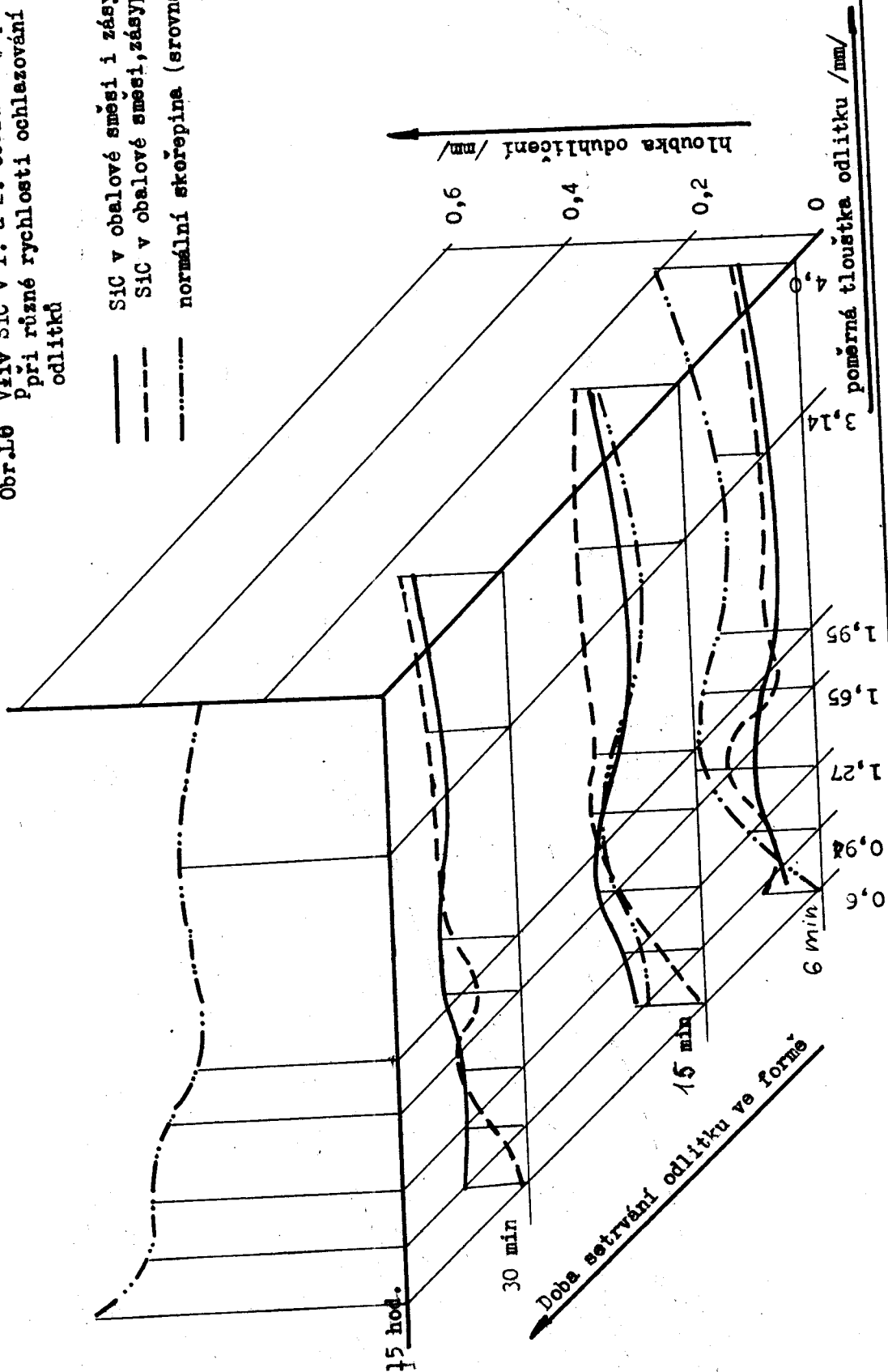
a/ grafit

b/ SiC

Při vytvoření ochranné vrstvy v posledním obalu skořepiny.

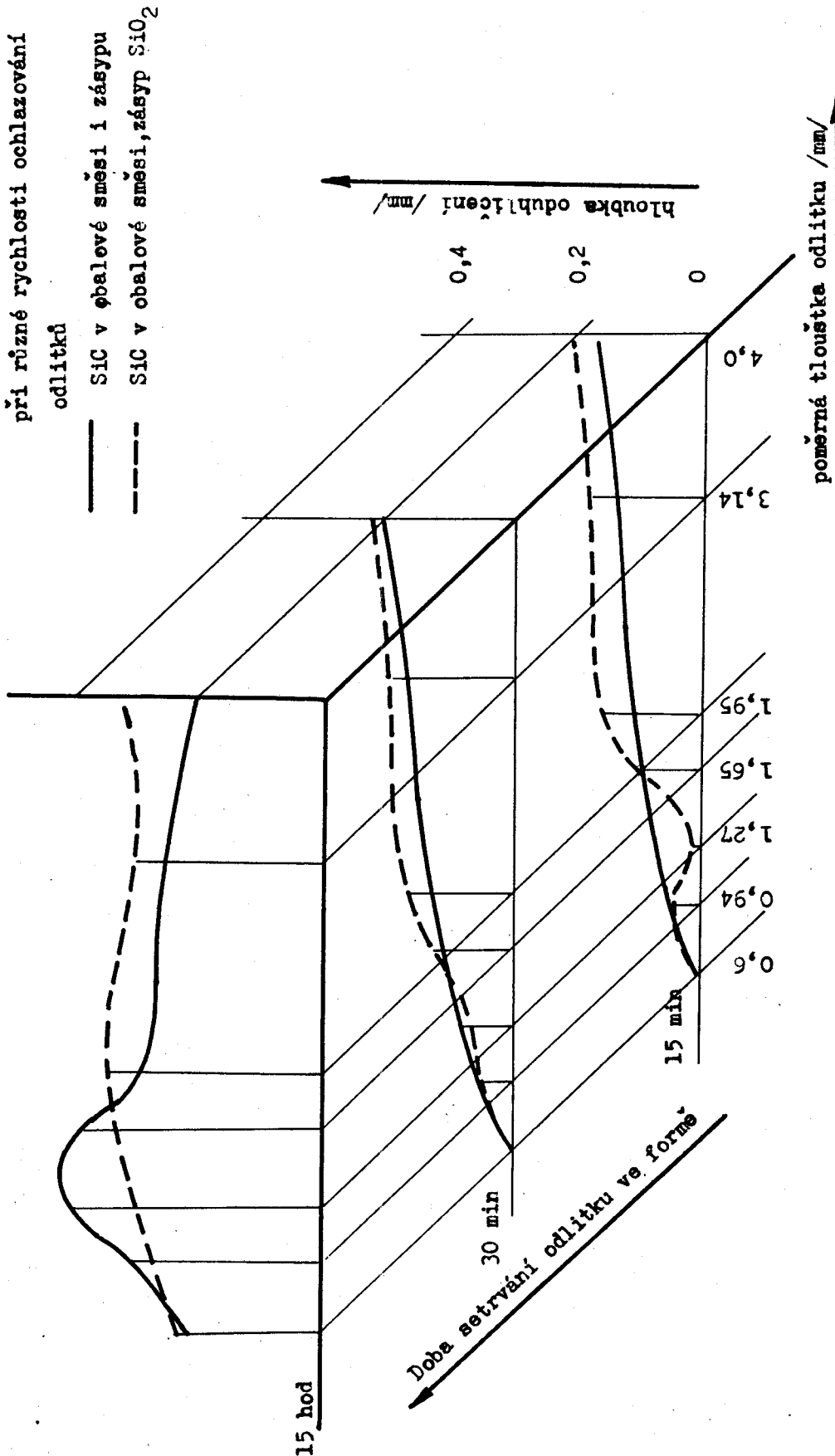
Obr. L6 Vliv SiC v 1. a 2. obalu skořepiny  
při různé rychlosti ochlazování  
odlitků

— SiC v obalové směsi i zásypu  
- - - SiC v obalové směsi, zásypp  $SiO_2$   
- · - · - · normální skořepina (srovnávací)





Obr. 11 Vliv SiC ve 2. a 3. obalu skorepiny  
při různé rychlosti ochlazování  
odlitků



## 2. Vliv změny průměru vtokového kůlu.

Pro všechny provedené zkoušky byl vybrán odstupňovaný zkušební vzorek, jehož tvar byl navržen na VSŠT v Liberci. /obr. 3 /. Technologie výroby vzorků byla shodná s technologií výroby ZPS Uherský Brod. Výroba skořepin byla odlišná, neboť byly použity zvláštní materiály

### 2.1. Výroba zkušebních vzorků

Pro výrobu voskových modelů byla použita forma zhotovená na VSŠT Liberec.

Složení použité modelové směsi:

50 % parafin

35 % stearin

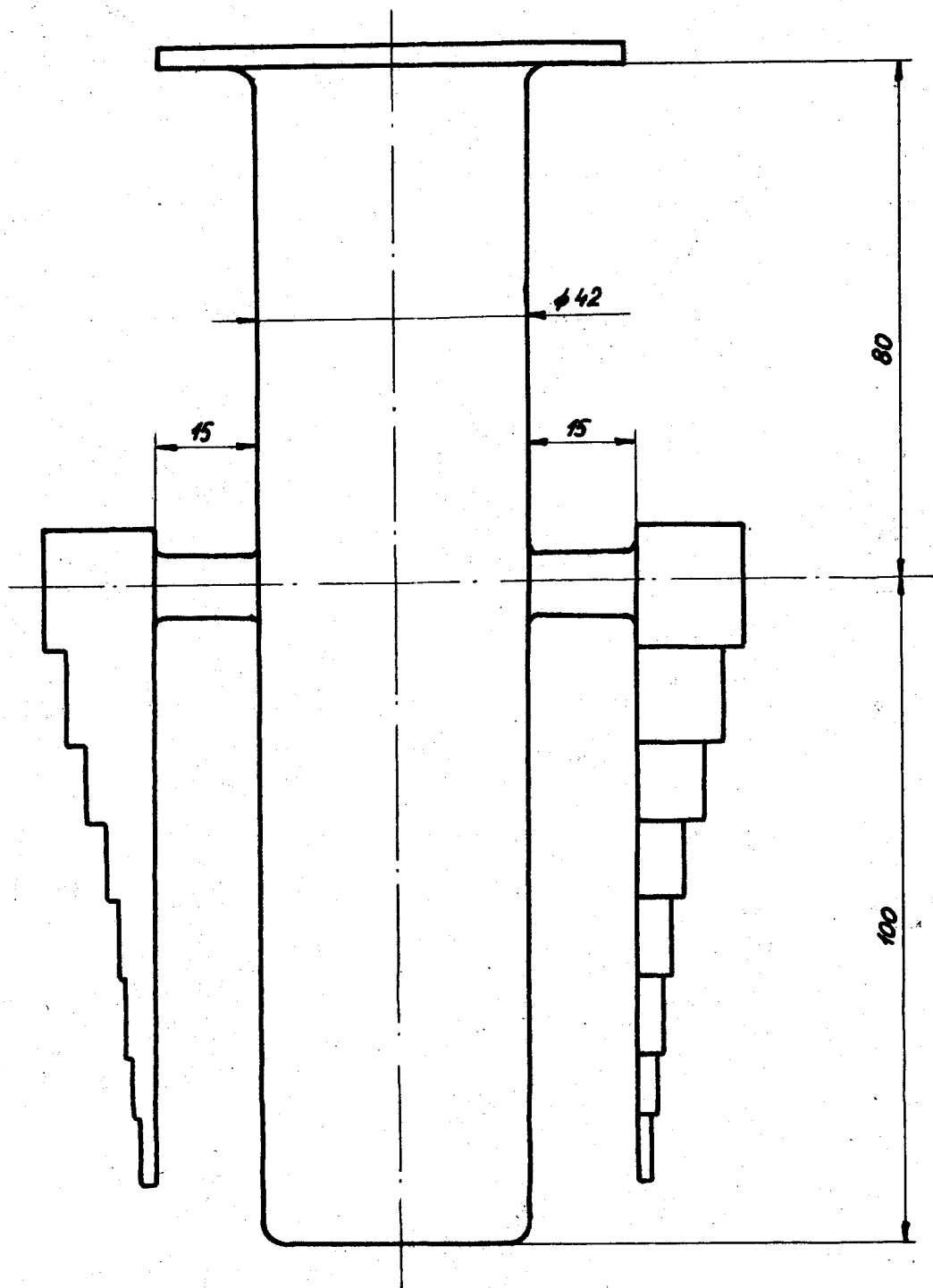
15 % ceresin

Hotové modely byly na vtokovou soustavu upevněny způsobem, který je na obr. / 2 /

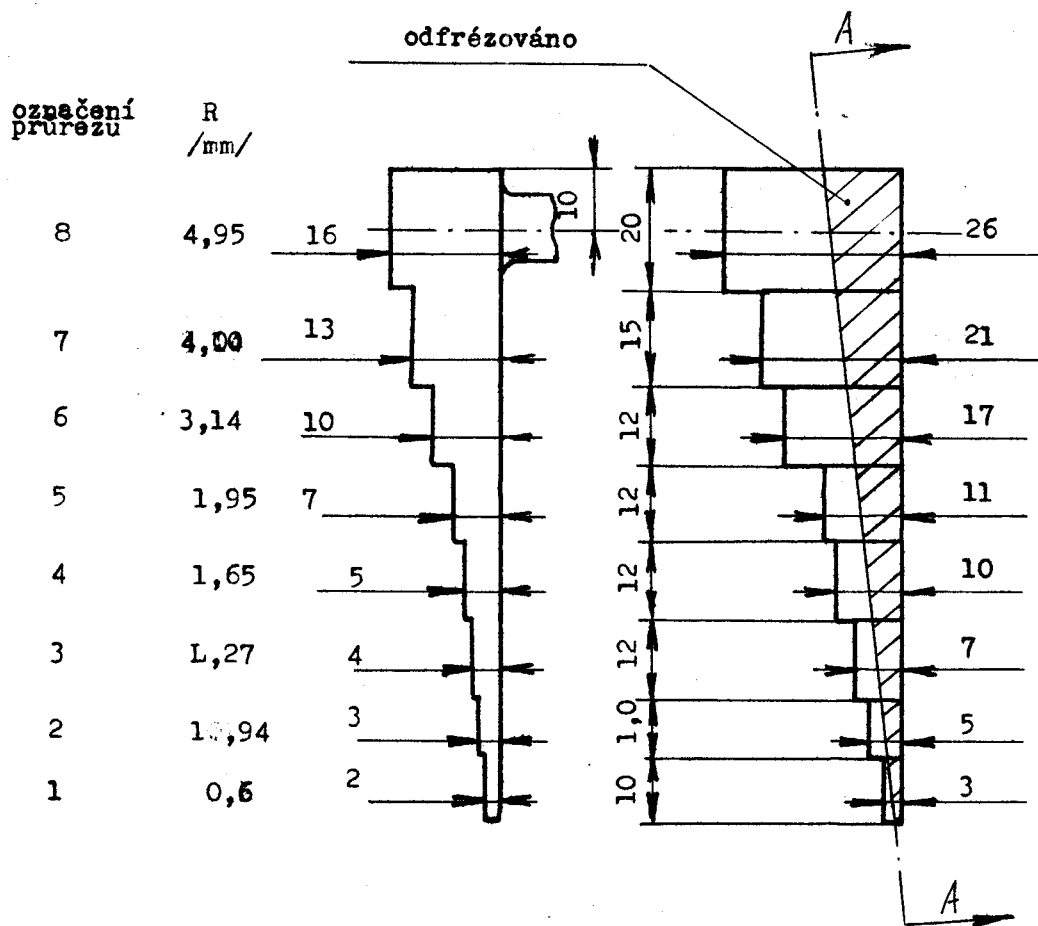
Po zaformování do formovacích rámců z lité, žáruvzdorné oceli AKC obr./ 1 / byly <sup>skořepiny</sup> vypáleny v peci při teplotě 900°C po dobu 4 hodin. Po vypálení byly formy při předehřívací teplotě 900°C odlity. Odlévána byla uhlíková ocel 422661 s 0,6 % C. Lící teplota byla 1580°C. Odlité formy se nechaly chladnout na volném vzduchu tj. asi 15 hodin až na normální teplotu. Některé byly vytahovány z forem dřív v různých časových intervalech a potom dále chladly na volném vzduchu. Všechny vzorky byly odlity z jedné tavby /tab.1 / Byly odlity do zasypaných i do samonosných skořepin. Výplňový písek byl křemičitý písek HOB.

### 2.2. Vyhodnocování hloubky oduhličení.

Hloubka oduhličení se vyhodnocovala metalograficky podle Československé státní normy ČSN 42 0496. Oduhličení se měřilo na odstupňovaném vzorku obr./ 3 /. Bylo měřeno na obou stranách vzorku, měření na rovné straně uvažujeme jako kontrolní měření. Protože se



Obr. 2. Uspořádání modelu na vtokové soustavě.



Obr. 3 Odstupňovaný zkušební odlitek

u vzorků nikde nevyskytlo úplné oduhličení, tj. vrstva na povrchu odlitku tvořena pouze feritem, odpovídá naměřené oduhličení, částečné, oduhličení celkovému.

Oduhličení celkové se rovná oduhličení úplné + částečné.

Vyleštěné výbrusy se leptaly roztokem  $\text{HNO}_3$  /nital/.

2.3. Označení vzorků.

K zajištění evidence vzorků byly tyto očíslovány tak, aby bylo možno určit o jaký druh zkoušky jde.

## I. Vliv přísady grafitu do skořepin

- vzorky č. 315 - 318 ... skořepina obsahovala  
0,5% grafitu v prvním obalu
- "- č. 315.1 - 318.1 skořepina obsahovala  
0,5% grafitu v prvním a druhém obalu
- "- č. 319 - 322 ... 0,75 grafitu v prvním obalu
- "- č. 319.1 - 322.1 0,75 % grafitu v prvním a druhém obalu
- "- č. 323 - 327 ... 1% grafitu v prvním obalu
- "- č. 323.1 - 327.1 ... 1% grafitu v prvním a druhém obalu

## II. Vliv přísady SiC do skořepin

- vzorky č. 341 - 343... 40% SiC v prvním obalu
- "- č. 341.1 - 343.1.. 40% SiC v prvním a druhém obalu
- "- č. 344.1, 346.1.. 70 % SiC v prvním a druhém obalu
- "- č. 344 - 346.... 70 % SiC v prvním obalu
- "- č. 347 - 349 ... 100 % SiC v prvním obalu
- "- č. 347.1, 349.1.. 100 % SiC v prvním a druhém obalu

## III. Vliv změny průměru vřokového kůlu s ochrannou vrstvou skla.

Vzorky č. 361, 361.1 ... průměr vtokového kúlu  
Ø 20 mm.

-"- č. 362, 362.1 ... Ø 25 mm.

-"- č. 363, 363.1 ... Ø 30 mm

IV. Vliv změny průměru vtokového kúlu bez ochranné  
vrstvy skla.-----

vzorky č. 381, 381.1 ... Ø 20 mm.

-"- č. 382, 382.1 ... Ø 25 mm.

-"- č. 383, 383.1 ... Ø 30 mm.

#### 2.4. Studium vlivu přísadků grafitu do skořepin.

Pro zjištění vlivu přísadků oduhličujících látek na velikost oduhličení byly vyrobeny tři druhy skořepin, které obsahovaly v prvním nebo v prvním a druhém obalu toto množství grafitu:

- 1/ 0,5 % grafitu
- 2/ 0,75 % grafitu
- 3/ 1 % grafitu

/počítáno na pevnou část obalové směsi./

Pro poslední obal skořepin byla použita obalová směs s přísadkem mletého skla, za účelem vytvoření ochranné nepropustné vrstvy.

Složení obalové směsi:

- 1800 gr .... křemenná moučka
- 600 gr .... skelný prach
- 900 gr .... vazná kapalina
- 7 gr .... kyselina boritá

Princip vytvoření ochranné vrstvy je v tom, že se teplem uvolněným při chladnutí odlitek lehce-tající látka, v našem případě sklo, roztaví a vyplní póry posledního obalu keramické skořepiny a vytvoří se tak nepropustná vrstva, která oddělí atmosféru skořepiny od atmosféry formy a tím se zabrání přístupu kyslíku, z okolí keramické skořepiny, k povrchu odlitku.

Obalová směs pro ostatní obaly byla normální, běžně používaná v ZPS Uherský Brod.

Zasypané skořepiny měly čtyři obaly, samonosné pět obalů. Sušící doba mezi jednotlivými obaly byla čtyři hodiny.

Odlité keramické formy byly ochlazovány ve formách až do úplného vychladnutí tj. asi 15 hodin a nebyly vytahovány z forem po 6 minutách a 15 minutách



po odlití a dále chladly na klidném vzduchu.

Pro srovnání byla odlita serie výrobků do normálních skořepin a do skořepin obsahujících pouze mleté sklo v posledním obalu.

Žádaný obsah C /%/		0,5	0,75	1
Přidané množství grafitu /g/ na 1 kg tuhé fáze		5	7,5	10
Vypočtené množství C /%/	V obalové směsi	0,4	0,6	0,8
	V 1.obalu skořepiny	0,18	0,27	0,36
	V 2.obalu skořepiny	0,18	0,27	0,36
	V celé skořepině			
	1.obal	0,045	0,06	0,09
	2.obal	0,09	0,12	0,18
Množství C /%/ zjištěné analyzou		1,86 2,04	2,3	

Poměrně vysoký obsah uhlíku ve skořepině se dá vysvětlit tím, že při zkouškách obsahu uhlíku docházelo ke spalování zbytku vosku na skořepinách. Z tohoto důvodu nebylo možno u ostatních skořepin stanovit obsah uhlíku.

Výsledky zkoušek s přísadou grafitu do materiálu skořepiny, s použitím ochranné vrstvy skla, neukázaly výrazný účinek grafitu na snížení oduhličení, protože množství grafitu v procentech bylo počítáno pouze na pevnou část obalové směsi a výsledný obsah uhlíku ve skořepině /0,09 % -- 0,45 %/ byl velmi nízký, ve srovnání s obsahem uhlíku ve skořepině s OB tmelem /0,79 % C/. Mimoto je možné předpokládat, že podmínky pro vznik chemických reakcí ve skořepině s grafitem budou ovlivněny tím, že OB tmel je zcela rozpustný v alkoholu obalové směsi a aktivní povrch uhlíku po vy-

palování skořepin je větší, než aktivní povrch grafitu, který se pouze jemně rozptýlí v obalové směsi.

Srovnáním výsledků zkoušek s použitím grafitu v prvním a druhém se zkouškami přísadou grafitu do prvního obalu vidíme, že velikost oduhličení je u obou způsobů prakticky stejná, z toho vyplývá, že pro provozní účely bude výhodné použití přísady grafitu pouze do prvního obalu skořepiny. Vliv větší rychlosti ochlazování se projevil příznivě u odlitků ochlazovaných ve formě 15 hod. i u odlitků vytažených z formy po 15 min. a 6 min, ve srovnání z oduhličení odlitků ze skořepin normálních. U samonosných skořepin se oduhličení přísadou grafitu poněkud zvýšilo. Obr./4 a 5/

## 2. 5. Studium vlivu přísady SiC do skořepiny.

Vytvořením ochranné nepropustné vrstvy na povrchu skořepiny se oddělí atmosféra stěny skořepiny od atmosféry formy a v tomto omezeném prostoru skořepiny se rozkladem karbidu vytvoří atmosféra s vysokým uhlíkovým potenciálem, která zabraňuje oduhličování odlitku. / 2 /

Pro ověření tohoto tvrzení byly provedeny zkoušky, při kterých byl do prvního a druhého obalu skořepiny přidáván karbid SiC v množství určeném poměrem:

$\frac{\text{SiC}}{\text{moučka SiO}_2} = 40 \% ; 70 \% ; 100 \%.$

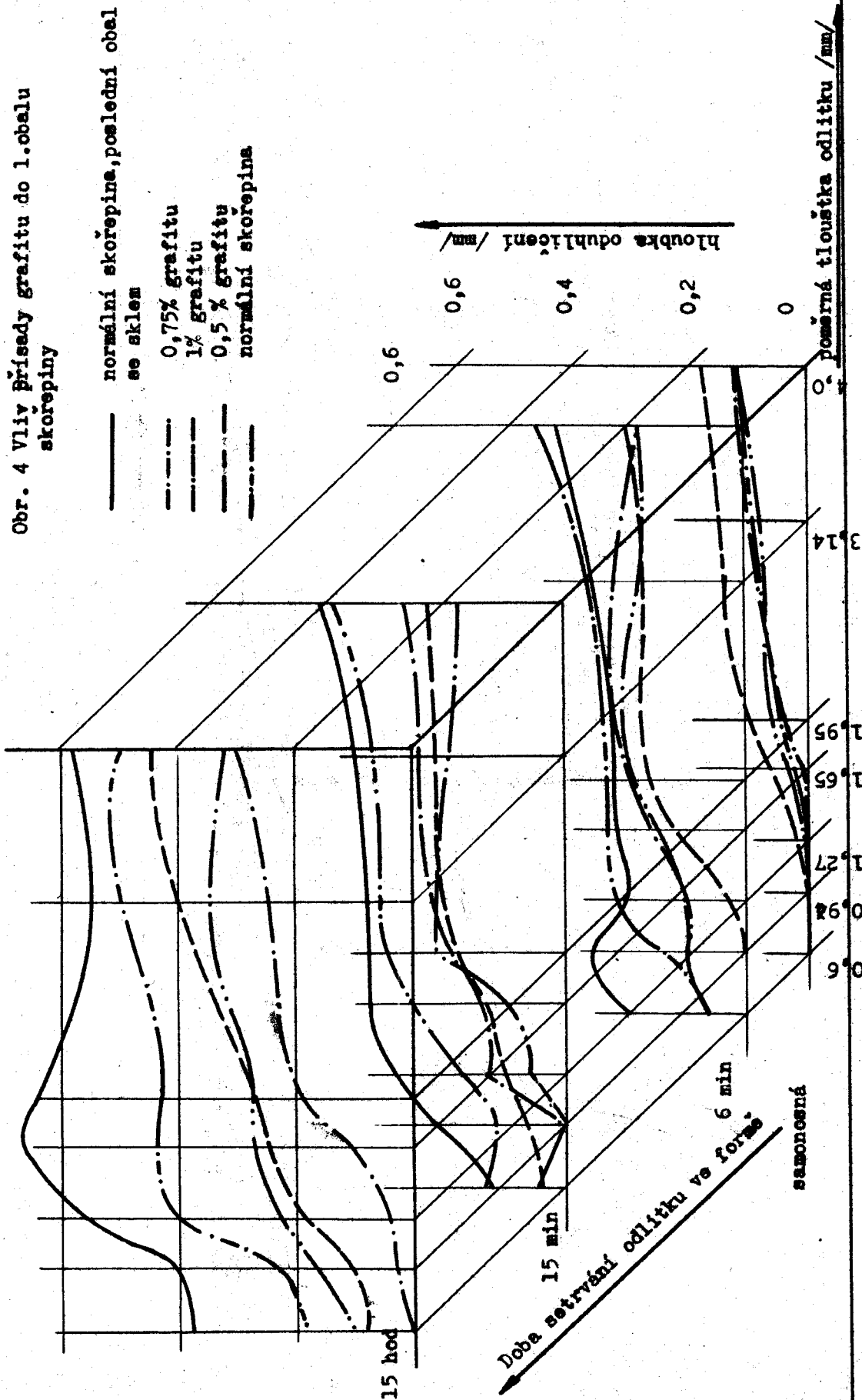
Jako přísada do posledního obalu bylo přidáno mleté sklo, za účelem vytvoření ochranné nepropustné vrstvy.

Složení obalové směsi pro poslední obal skořepiny:

1800 g křemenná moučka

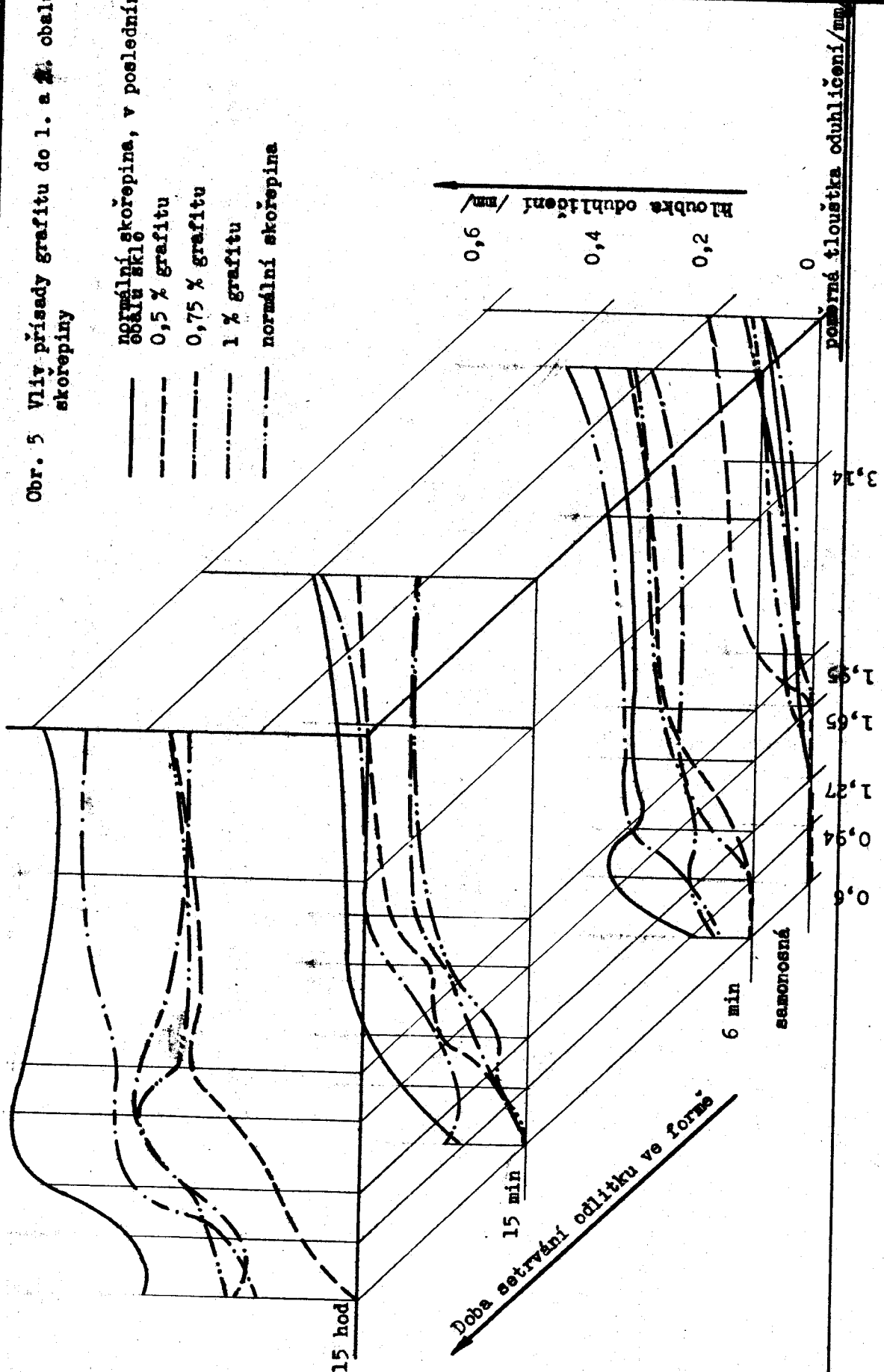
900 ml vazná kapalina

Obr. 4 Vliv přísady grafitu do 1. obalu skorepiny



Obr. 5 Vliv přísady grafitu do 1. a 2. obalu  
skorépiny

- normální skorépinu, v poslední obalu
- - - 0,5 % grafitu
- · - · 0,75 % grafitu
- · - · - · 1 % grafitu
- · - · - · - · normální skorépinu



600 g sklo

7 g kyselina boritá

Doba segrvání odlitku ve formě byla 15 min, 6 min od okamžiku odlití. Potom byly odlitky i se skořepinami vyhozeny z forem a chladly dále na volném vzduchu. Tímto opatřením bylo možno sledovat vliv rychlosti ochlazování na velikost oduhličení. Odlity byly také samonosné skořepiny. Počet obalů u samonosných skořepin byl 5, u zasypávaných 4. Zrnitost použitého karbidu SiC v obalové směsi:

0,06...63,5 g

0,04...21,2 g

0,01...14,2 g

a menší.. 1,1g

Výsledky zkoušek s použitím různého množství SiC, přidávaného do obalové směsi a s vytvořením ochranné vrstvy v posledním obalu skořepiny ukazuje obr./6 a.7/

Při různé rychlosti ochlazování odlitků ve formě bylo dosaženo nejlepších výsledků u samonosné skořepiny, kdy bylo oduhličení nulové bez ohledu na množství přidaného SiC v rozsahu 40 - 100 %. U odlitků ze skořepin obsahujících 40 % SiC, které chladly ve formě 15 a 6 min. nepřesáhlo oduhličení nikde hodnoty 0,2 mm. Bylo-li při přípravě obalové směsi použito 100 % SiC, výsledné oduhličení u odlitků, vytažených z formy po 6 min., bylo nulové, u odlitků, které byly ochlazovány ve formě 15 min, se oduhličení projevovalo nepatrně pouze v tenkých průřezech.

Stejně i u odlitků, obsahujících v materiálu skořepiny 70 % SiC, oduhličení značně kleslo. U odlitků, které byly ochlazovány ve formě 6 min., nepřesáhlo oduhličení nikde hodnotu 0,1 mm a v tenkých průřezech bylo oduhličení nulové.



Obr. 7 Vliv přísady SiC do 1. a 2. obalu  
skorépiny

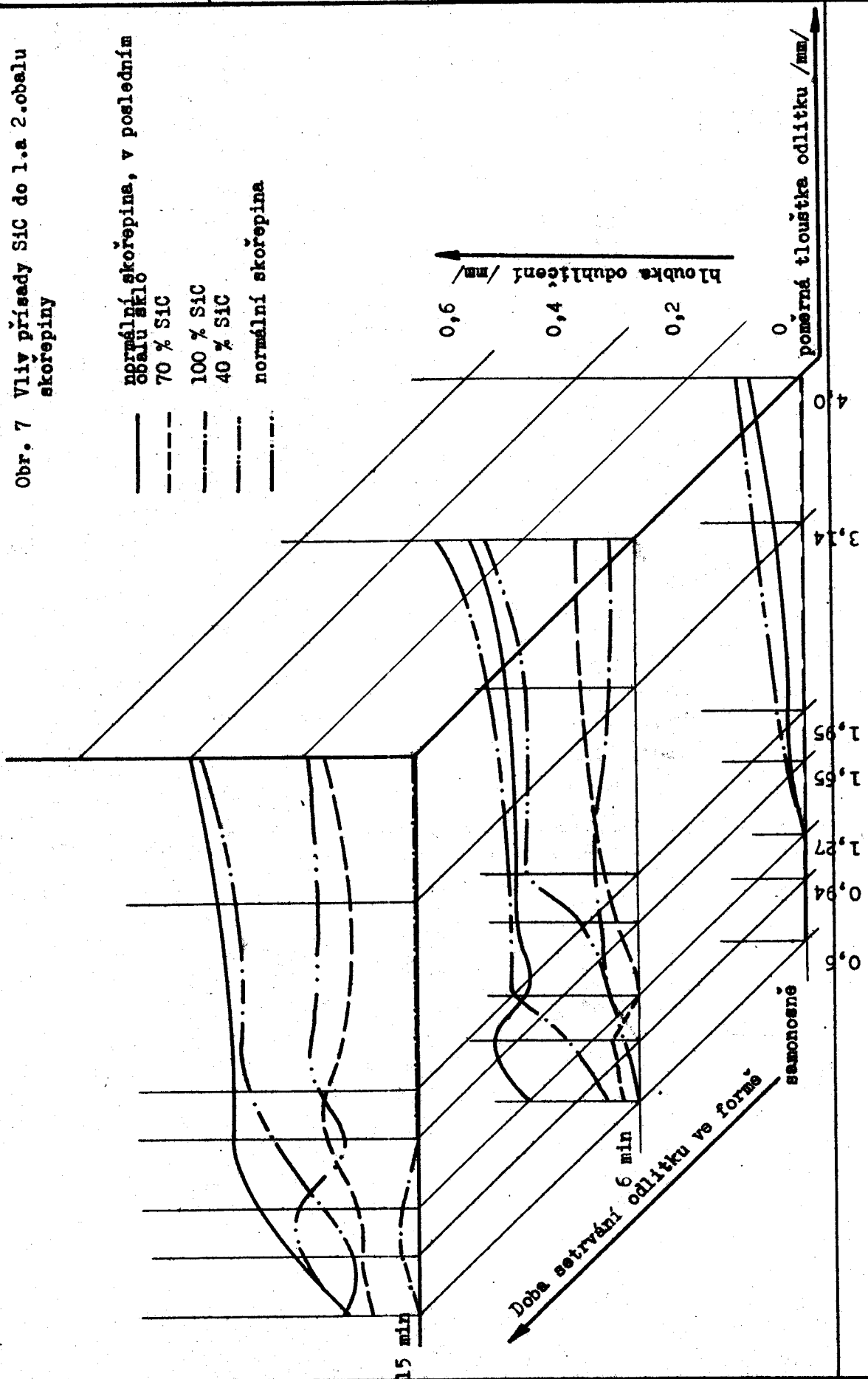
normální skorépinina, v poslední  
obalu sklo

70 % SiC

100 % SiC

40 % SiC

normální skorépinina



Srovnáme-li velikosti oduhličení u vzorků, které byly vyrobeny odlitím do skořepin, obsahujících SiC v prvním obalu nebo v prvním a druhém obalu, vidíme, že se použití jednoho nebo jednoho a druhého obalu s přísadou SiC výrazně neprojevílo, a bude tedy výhodné přidávat SiC pouze do prvního obalu.

Obalování voskových stromečků v obalové směsi obsahující 100 % SiC bylo poměrně obtížné, protože SiC rychle klesal ke dnu, mimoto po odstranění skořepiny z odlitku zůstala na povrchu odlitku vrstva připečeného SiC a povrch odlitků byl poměrně dost drsný. Z tohoto důvodu bude výhodnější použití přísavku 70 % SiC do obalové směsi, neboť oduhličení se u těchto skořepin značně snížilo a nedocházelo zde k připečení SiC k odlitku.

## 2. 6. Studium vlivu velikosti vtokové soustavy.

Pro zjištění vlivu tepelného pole vtokového kůlu byly vyrobeny tři druhy vtokových soustav o těchto průměrech vtokového kůlu:

a/  $\phi$  20 mm

b/  $\phi$  25 mm

c/  $\phi$  30 mm

Uspořádání zkušebních vzorků na vtokových soustavách bylo provedeno tak, že jeden vzorek měl stále konstantní vzdálenost 36 mm od osy vtokového kůlu k rovné části vzorku, a druhý vzorek byl umístěn tak, aby vzdálenost rovné části od povrchy vtokového kůlu byla 15 mm, což odpovídá umístění zkušebních vzorků na vtokové soustavě



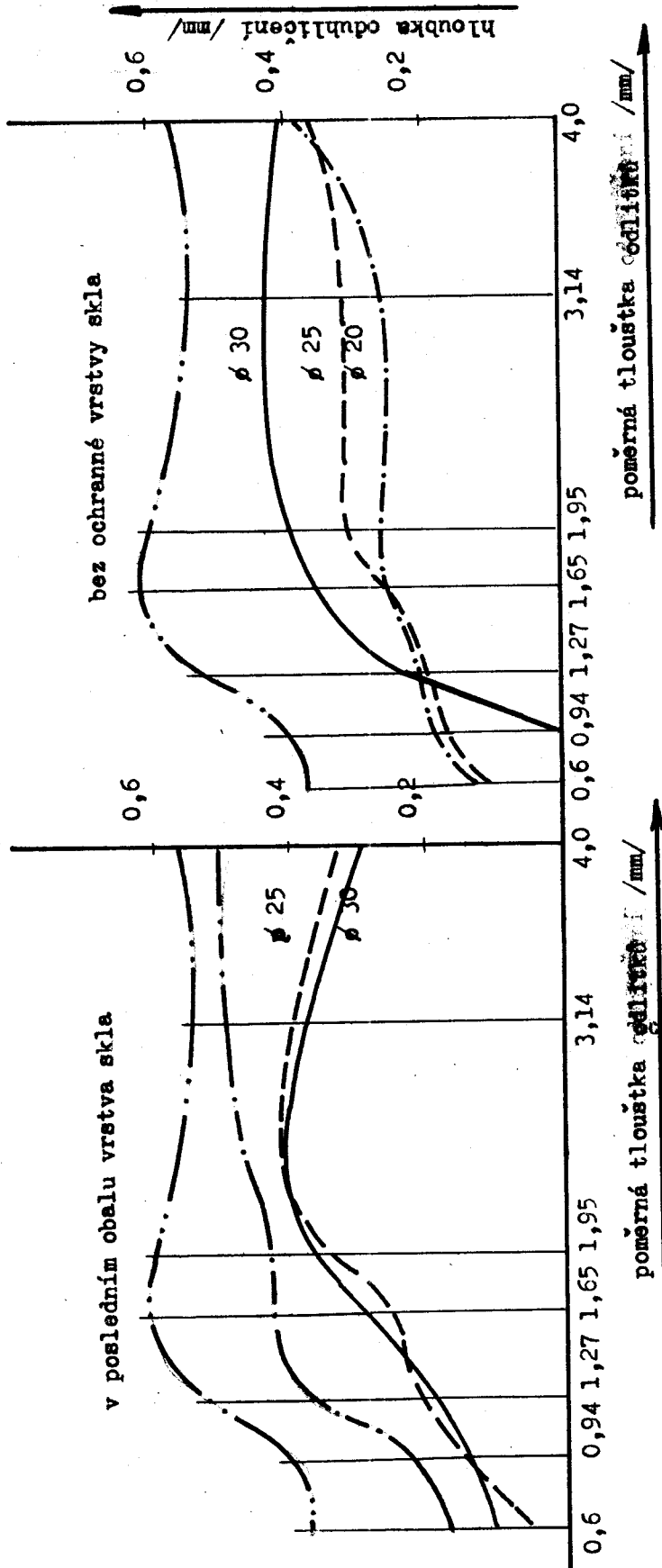
u předešlých zkoušek, obr. [2].

Tato zkouška byla provedena s použitím lehce tající látky jako přísady do posledního obalu i bez ní. Obalová směs použitá k obalování stroměčků byla normální, běžně používaná v ZPS Uherský Brod. Stejně tak i zásypový písek byl normální křemičitý písek. Odlitky odlité do těchto skořepin chladly ve formách až na normální teplotu, t. j. asi 15 hodin.

Vliv použití vtokových kúlů o různých průměrech, se projevil snížením oduhličení ve srovnání s oduhličením odlitků ze skořepin o průměru vtokového kúlu 42 mm. Na velikost oduhličení nemělo výrazný vliv poloha umístění zkušebních vzorků na vtokovém kúlu, respektive, tento vliv je pravděpodobně podstatně menší, než vliv samotného průměru vtokového kúlu a jeho tepelné kapacity. Použitím menších průměrů vtokového kúlu /ø 20, 25, 30 mm/, se oduhličení značně snížilo, zejména, byl-li použit nejmenší průměr vtokového kúlu. Ze zjištěných hodnot oduhličení je vidět, že u skořepin obsahujících v posledním obalu mleté sklo, se vliv použití různých průměrů vtokového kúlu výrazně neprojevil, zatím co u skořepin bez ochranné vrstvy se velikost oduhličení snižovala se zmenšujícím se průměrem vtokového kúlu. Obr. 9 a 8/

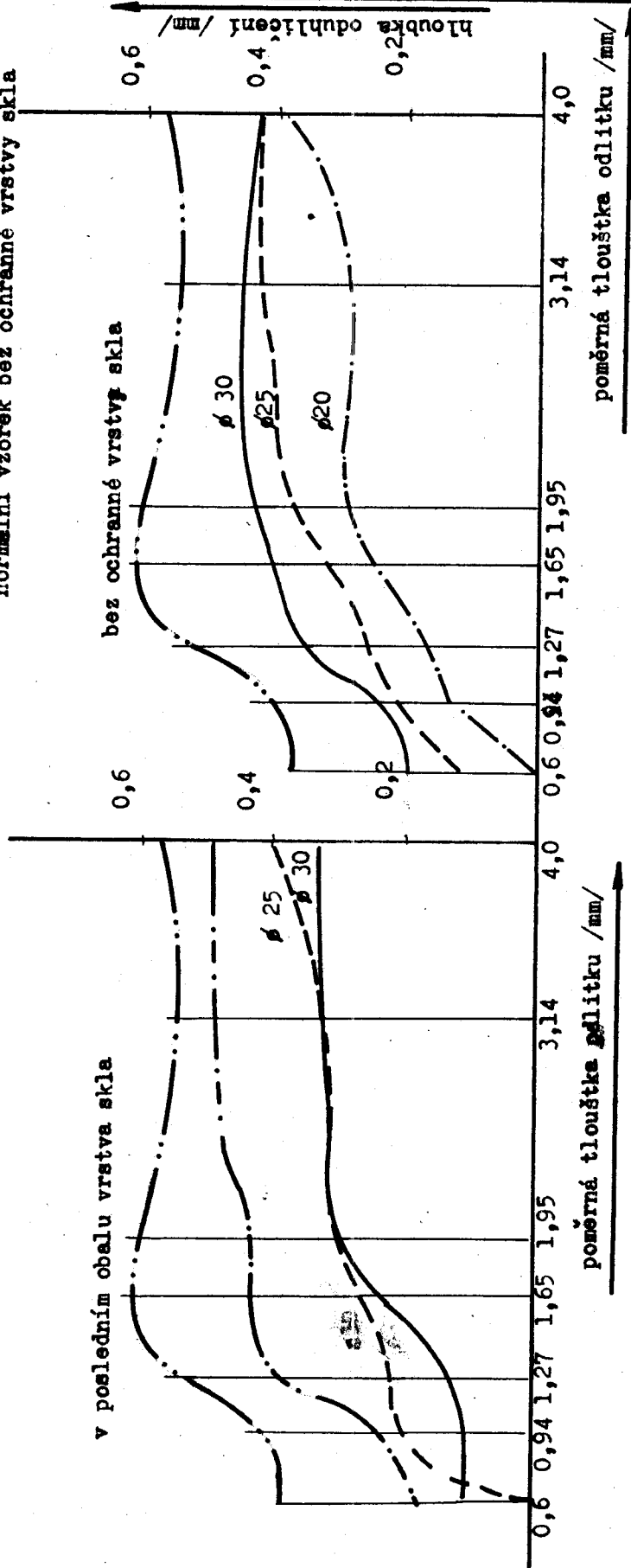
Obr. 8 Vliv velikosti vtokové soustavy

- · — · — normální vzorek s ochrannou vrstvou skla
- · — · — normální, bez ochranné vrstvy skla



Obr. 9 Vliv velikosti vtokové soustavy

normální vzorek s ochrannou vrstvou skla  
normální vzorek bez ochranné vrstvy skla



V. Shrnutí výsledků zkoušek.

Po zhodnocení výsledků všech provedených zkoušek je možno říci, toto:

- 1/ Jako nejvýhodnější způsob odstranění nebo zmenšení oduhličení povrchové vrstvy odlitků, se ukázala přísada SiC do materiálu skořepiny s použitím lehkotajících látek do posledního obalu skořepiny, v kombinaci se zvýšenou rychlostí ochlazování odlitků. Minimálního oduhličení bylo dosaženo při použití 100 % SiC u obalové směsi, avšak vzhledem k obtížné přípravě obalů skořepiny a horší jakosti povrchu odlitku, bude výhodnější použití 70 % SiC, kdy byla hloubka oduhličené vrstvy max. 0,1 mm u odlitků ochlazovaných ve formě 15 a 6 min., a u samonosných byla hloubka oduhličené vrstvy nulová. Obalování stromečků u obalovací směsi tohoto složení bylo poměrně snadné a povrch odlitků, po odstranění skořepiny, je nejvýhodnější. SiC stačí přidávat do prvního obalu skořepiny.
- 2/ Přísada grafitu do skořepiny a použití ochranné nepropustné vrstvy u posledního obalu skořepiny, se u provedených zkoušek, výrazně neprojevila, neboť obsah C u skořepiny je příliš nízký. Výsledky zkoušek s přidáním OB tmelu ukazují, že při vyšším obsahu C bude mít přísada grafitu na snížení oduhličení <sup>příznivý</sup> ~~příznivý~~ vliv, zejména při větší rychlosti ochlazování. Podle výsledků všech dosud provedených zkoušek bude pravděpodobně vyhovující obsah grafitu ve skořepině cca (0,8 - 1) %. Tote tvrzení však bude nutno ještě jednou laboratorně i provozně vyzkoušet.

3/ Provedené zkoušky s použitím různých průměrů vtokového kúlu / 20,25,30 mm / ukázaly, že se oduhličení zmenšilo, ve srovnání s oduhličěním odlitků získaných ze skořepin s průměrem vtokového kúlu 42 mm, v tom smyslu, že se zmenšujícím se průměrem vtokového kúlu hodnota oduhličěné vrstvy zmenšovala / pouze v případě, nebylo-li u posledního obalu skořepiny použito materiálu vytvářejícího ochranu nepropustnou vrstvu/. U skořepin, které měly ochranu vrstvu se vliv různého průměru vtokového kúlu neprojevil. Pokles oduhličení byl průměrně stejný, ať bylo použito kteréhokoliv sledovaného průměru vtokového kúlu.

### VI. Optimální podmínky pro výrobu přesných ocelových odlitků.

Z výsledků uvedených v kapitole V se dají navrhnout tyto optimální podmínky pro výrobu přesných ocelových odlitků:

V posledním obalu použijeme vždy přísady lehce tající látky /sklo/. Přísada SiC v obalové směsi bude dána množstvím 70 % nebo grafit v množství (0,8 - 1) %. Současně použijeme větší ochlazovací rychlosti /6 - 15 min. chladne odlitek ve formě a dále chladne na volném vzduchu/. Průměr vtokového kůlu, při uvedených obsazích SiC nebo grafitu a lehce tající látky, je optimální při hodnotách 20 - 25 mm.

### Ekonomické zhodnocení navržených optimálních podmínek.

Použitím navržených opatření pro zábranu oduhličení se dosavadní náklady na výrobu odlitků poněkud zvýší v těchto položkách:

- 1/ Mechanizované vyjímání odlitků z forem — tato položka představuje zvýšení ceny o odlitků cca o 30 - 50 Kčs/t. (1)
- 2/ Použití přísady mletého skla do posledního obalu.  
Pro vytvoření jednoho obalu skořepiny bude spotřeba mletého skla na jednu tunu odlitků cca 17 kg. Cena mletého skla je odhadem 1,5 Kčs/kg, t. zn. zvýšení ceny odlitků o 25 Kčs/t.
- 3/ Přídavek grafitu do hmoty skořepiny.  
a/ Přídavek 0,5 % grafitu... spotřeba na jednu tunu odlitků je 37 kg grafitu, t. zn. zvýšení ceny odlitků o 34 Kčs/t.

- b/ Příklad 0,75 % grafitu ....spotřeba  
na jednu tunu odlitků je 5,5 kg gra-  
fitu ....t.zn. 50 Kčs/t
- c/ Příklad 1 % grafitu ....spotřeba na  
1 tunu odlitků .....7,42 kg grafitu,  
t.zn. 67 Kčs/t

Vypočtené hodnoty v Kčs platí pro jeden obal  
s přísadou grafitu.

4/ Příklad SiC do tuhé fáze obalové směsi.

- a/ Příklad 40 % grafitu ....spotřeba  
30 kg SiC na 1 tunu odlitků, t.zn. zvýše-  
ní ceny odlitků o 150 Kčs/t.
- b/ Příklad 70 % grafitu ....spotřeba 53 kg  
SiC na 1 tunu odlitků, t.zn. zvýšení ceny  
o 265 Kčs/t.
- c/ Příklad 100 % SiC....spotřeba 75 kg  
SiC na 1 tunu odlitků, t.zn. zvýšení ceny  
o 375 Kčs/t.

Pro srovnání jsou uvedeny náklady na nápra-  
vné oduhličování odlitků třídy 5 v peci Monocarb  
HOA 20/15. Hodnoty použité k výpočtům jsou uve-  
deny v závodních předpisech ZPS Uherský Brod.

Př.: Součást malý třmen -váha 195 g

Nahličování součásti ...2 min....cena 1min.

je 0,1 Kčs + DR

DR = 218 %

195 g .....8,66 Kčs

1 kg.....32,6 Kčs

1 t .....3260 Kčs

Srovnání vypočtených nákladů s předpokládanými  
náklady na navržená technologická opatření jsou  
uvedena v tabulce :

Nápravné nauhličování		3260 Kčs
Technologická opatření	Náklady Kčs/t	% z nákladů pro nápravné nauhličování
a/ zrychlené ochlazení odlitků	30 - 50	0,94 - 1,56
b/ vytvoření ochranných nepropustných vrstev	25	0,77
c/ nauhličující prostředky do skořepiny 0,5 - 1 %	34 - 67	1,04 - 2,06
d/ přídavek SiC do skořepiny 40 - 100 % SiC	150 - 375	4,6 - 11,5

Výsledky tohoto ekonomického hodnocení ukazují na značný ekonomický význam těchto navrhovaných opatření.

Všechny výpočty byly prováděny pouze pro jeden obal s grafitem nebo s SiC.



VII. Naměřené hodnoty oduhličení.

1) Vliv přísady grafitu do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)	
		zuby	rovná
315	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,02	0,00
	4	0,06	0,05
	5	0,10	0,10
	6	0,15	0,12
	7	0,18	0,15
	8	0,20	
315.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,08
	5	0,10	0,10
	6	0,16	0,14
	7	0,20	0,19
	8	0,22	
316	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,03	0,03
	4	0,12	0,14
	5	0,16	0,16
	6	0,17	0,16
	7	0,20	0,18
	8	0,24	
316.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,03	0,00
	4	0,12	0,12
	5	0,17	0,17
	6	0,20	0,22
	7	0,24	0,25
	8	0,23	
317	1	0,05	0,05
	2	0,00	0,05
	3	0,13	0,10
	4	0,14	0,20
	5	0,18	0,23
	6	0,21	0,21
	7	0,22	0,23
	8	0,27	

Naměřené hodnoty oduhličení.

1) Vliv přísady grafitu do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)	
		zuby	rovná
317.1	1	0,00	0,00
	2	0,05	0,00
	3	0,15	0,11
	4	0,18	0,20
	5	0,25	0,23
	6	0,30	0,27
	7	0,32	0,27
	8	0,35	
318.1	1	0,00	0,00
	2	0,10	0,00
	3	0,14	0,15
	4	0,22	0,20
	5	0,30	0,30
	6	0,30	0,30
	7	0,35	0,30
	8	0,32	
318	1	0,08	0,10
	2	0,10	0,17
	3	0,18	0,20
	4	0,25	0,27
	5	0,27	0,27
	6	0,40	0,40
	7	0,45	0,40
	8	0,30	
319	1	0,00	0, ulomen
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,01	0,00
	5	0,04	0,06
	6	0,08	0,08
	7	0,09	0,10
	8	0,10	
319.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,03	0,00
	6	0,04	0,01
	7	0,10	0,06
	8	0,10	

Naměřené hodnoty oduhličení.

1) Vliv přísady grafitu do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)	
		zuby	rovná
320	1	0,06	0,00
	2	0,10	0,00
	3	0,10	0,06
	4	0,16	0,13
	5	0,20	0,20
	6	0,22	0,20
	7	0,18	0,27
	8	0,20	
320.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,08	0,05
	4	0,14	0,15
	5	0,13	0,13
	6	0,15	0,17
	7	0,20	0,18
	8	0,20	
321	1	0,04	0,00
	2	0,06	0,08
	3	0,10	0,08
	4	0,13	0,20
	5	0,20	0,22
	6	0,25	0,25
	7	0,27	0,23
	8	0,31	
321.1	1	0,00	0,00
	2	0,05	0,07
	3	0,10	0,12
	4	0,15	0,17
	5	0,20	0,20
	6	0,20	0,25
	7	0,20	0,25
	8	0,20	
322	1	0,00	0,00
	2	0,04	0,00
	3	0,05	0,00
	4	0,10	0,23
	5	0,23	0,25
	6	0,25	0,28
	7	0,30	0,40
	8	0,28	

Naměřené hodnoty oduhličení.

1) Vliv přísady grafitu do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení /mm/	
		zuby	rovná
322.1	1	0,22	0,20
	2	0,20	0,28
	3	0,30	0,21
	4	0,40	0,40
	5	0,40	0,28
	6	0,32	0,37
	7	0,32	0,33
	8	0,28	
323	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,03	0,03
	5	0,07	0,04
	6	0,0-	0,10
	7	0,12	0,12
	8	0,13	
323.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,02	0,02
	5	0,05	0,05
	6	0,08	0,08
	7	0,13	0,10
	8	0,13	
324	1	0,06	0,00
	2	0,10	
	3	0,10	nebylo měřeno
	4	0,15	
	5	0,20	0,15
	6	0,18	0,15
	7	0,20	
	8	0,23	nebylo měřeno
324.1	1	0,07	0,07
	2	0,12	0,00
	3	0,10	0,00
	4	0,15	0,15
	5	0,17	0,13
	6	0,20	0,20
	7	0,23	0,20
	8	0,24	

Naměřené hodnoty oduhličení.

1) Vliv přísady grafitu do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)			
		zuby	rovná		
326	1	ulomené	ulomené		
	2				
	3			0,06	0,00
	4			0,08	0,13
	5			0,22	0,20
	6			0,20	0,20
	7			0,18	0,23
	8			0,20	
326.1	1	0,00	0,00		
	2	0,06	0,00		
	3	0,05	0,04		
	4	0,15	0,17		
	5	0,18	0,18		
	6	0,22	0,25		
	7	0,22	0,25		
	8	0,26			
327	1	0,10	0,10		
	2	0,17	0,18		
	3	0,22	0,20		
	4	0,27	0,30		
	5	0,25	0,30		
	6	0,35	0,30		
	7	0,27	0,30		
	8	0,30			
327.1	1	0,23	0,22		
	2	0,26	0,25		
	3	0,30	0,25		
	4	0,40	0,38		
	5	0,32	0,37		
	6	0,32	0,38		
	7	0,25	0,40		
	8	0,30			

Naměřené hodnoty oduhličení.

2) Vliv přísady SiC do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení /mm/	
		zuby	rovná
341	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	0,00
341.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,02	0,00
342	1	0,00	0,03
	2	0,03	0,05
	3	0,06	0,05
	4	0,07	0,15
	5	0,18	0,16
	6	0,13	0,16
	7	0,18	0,18
	8	0,23	
342.1	1	0,00	0,00
	2	0,03	0,03
	3	0,05	0,08
	4	0,10	0,10
	5	0,20	0,16
	6	0,20	0,18
	7	0,20	0,18
	8	0,27	
343	1	0, ulomený	ulomený
	2	0,11	0,10
	3	0,18	0,10
	4	0,20	0,12
	5	0,20	0,14
	6	0,18	0,16
	7	0,20	0,19
	8	0,21	

Naměřené hodnoty oduhličení.

2) Vliv přísady SiC do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení /mm/	
		zuby	rovná
343.1	1	0,12	0,07
	2	0,20	0,08
	3	0,22	0,10
	4	0,13	0,13
	5	0,18	0,19
	6	0,18	0,17
	7	0,19	0,20
	8	0,20	
344	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	
344.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	
345	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,04	0,00
	6	0,07	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	
345.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,04	0,00
	5	0,06	0,06
	6	0,10	0,08
	7	0,11	0,08
	8	0,12	

~~Naměřené hodnoty~~ hodnoty oduhličení.

2) Vliv přísady SiC do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)	
		zuby	rovná
346	1	0,10	0,05
	2	0,10 úplné	0,07
	3	0,04	0,05
	4	0,00	0,05
	5	0,05	0,00
	6	0,08	0,03
	7	0,10	0,00
	8	0,15 místně	
346.1	1	0,08	0,06
	2	0,10	0,12
	3	0,10	0,15
	4	0,16	0,10
	5	0,16	0,10
	6	0,12	0,07
	7	0,16	0,08
	8	0,15	
347	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	0,00
347.1	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,00	0,00
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	0,00
348	1	0,00	
	2	0,00	
	3	0,05 místně	
	4	0,00	
	5	0,00	
	6	0,00	
	7	0,00	
	8	0,00	



Naměřené hodnoty oduhličení.

2) Vliv přísady SiC do skořepiny.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení (mm)	
		zuby	rovná
348.1	1	0,03 úplně	
	2	0,06 úplně	
	3	0,05	
	4	0,07	
	5	0,08	
	6	0,05	
	7	0,05 místně	
	8	0,00	
349	1	ulomeno	ulomeno
	2		
	3		
	4	0,10 úplně	0,03
	5	0,00	0,03
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	0,00
349.1	1	ulomeno	ulomeno
	2		
	3	0,03	0,00
	4	0,03	0,01
	5	0,00	0,00
	6	0,00	0,00
	7	0,00	0,00
	8	0,00	0,00

Naměřené hodnoty oduhličení.

3) Vliv změny  $\phi$  vtokového kulu.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení. (mm)	
		zuby	rovná
362	1	0,00	0,05
	2	0,20	0,15
	3	0,20	0,20
	4	0,25	0,28
	5	0,30	0,30
	6	0,32	0,35
	7	0,20	0,33
	8	0,32	
362.1	1	0,06	0,08
	2	0,15	0,18
	3	0,22	0,20
	4	0,25	0,20
	5	0,36	0,28
	6	0,40	0,30
	7	0,33	0,35
	8	0,40	0,30
363	1	0,10	0,10
	2	0,10	0,10
	3	0,10	0,23
	4	0,22	0,26
	5	0,30	0,27
	6	0,32	0,32
	7	0,33	0,32
	8	0,30	
363.1	1	0,10	0,12
	2	0,14	0,13
	3	0,20	0,20
	4	0,30	0,25
	5	0,40	0,30
	6	0,38	0,32
	7	0,30	0,30
	8	0,40	
364 381	1	ulomeno	ulomeno
	2	0,13	0,14
	3	0,18	0,20
	4	0,25	0,25
	5	0,30	0,29
	6	0,28	0,33
	7	0,39	0,36
	8	0,47	

Naměřené hodnoty oduhličení.

3) Vliv změny průměru vtokového kulu.

Vzorek č.	místo měření	Částečné oduhličení	
		zuby	rovná
381.1	1	0,12	0,10
	2	0,19	0,13
	3	0,20	0,13
	4	0,25	0,24
	5	0,26	0,30
	6	0,25	0,30
	7	0,38	0,30
	8	0,43	
382	1	0,13	0,00
	2	0,21	0,28
	3	0,26	0,30
	4	0,30	0,38
	5	0,38	0,36
	6	0,42	0,36
	7	0,43	0,40
	8	0,45	
382.1	1	0,10	0,10
	2	0,17	0,15
	3	0,19	0,20
	4	0,25	0,30
	5	0,32	0,27
	6	0,31	0,35
	7	0,39	0,38
	8	0,41	
383	1	0,20	0,17
	2	0,23	0,27
	3	0,37	0,28
	4	0,40	0,38
	5	0,44	0,45
	6	0,45	0,41
	7	0,43	0,41
	8	0,52	
383.1	1	neměřeno	neměřeno
	2		
	3	0,24	0,35
	4	0,36	0,38
	5	0,40	0,36
	6	0,43	0,42
	7	0,40	0,53
	8	0,43	

Naměřené hodnoty oduhličeni.

4/ Srovnávací vzorky.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličeni (mm)	
		zuby	rovna
311	1	0,00	0,00
	2	0,00	0,00
	3	0,00	0,00
	4	0,04	0,03
	5	0,05	0,03
	6	0,09	0,10
	7	0,12	0,12
	8	0,13	
311.1	1	ulomeno	ulomeno
	2		
	3	0,00	0,00
	4	0,03	0,00
	5	0,03	0,04
	6	0,06	0,07
	7	0,10	0,09
	8	0,10	
312	1	0,06	0,06
	2	0,13	0,10
	3	0,22	0,10
	4	0,23	0,21
	5	0,23	0,25
	6	0,27	0,30
	7	0,35	0,35
	8	0,40	
312.1	1	0,10	0,10
	2	0,26	0,18
	3	0,20	0,18
	4	0,22	0,24
	5	0,22	0,17
	6	0,24	0,18
	7	0,30,3	0,22
	8	0,30	
313	1	0,14	0,18
	2	0,12	0,15
	3	0,17	0,23
	4	0,25	0,25
	5	0,30	0,30
	6	0,32	0,31
	7	0,38	0,40
	8	0,38	

Naměřené hodnoty oduhličení.

4) ~~U~~zobrazovací vzorky.

Vzorek č.	místo měření	částečné oduhličení. (mm)	
		zuby	rovná
313.1	1	0,12	0,10
	2	0,22	0,17
	3	0,28	0,22
	4	0,33	0,30
	5	0,33	0,30
	6	0,36	0,40
	7	0,40	0,38
	8	0,40	
313	1	0,18	0,18
	2	0,23	0,20
	3	0,40	0,40
	4	0,44	0,52
	5	0,43	0,52
	6	0,50	0,55
	7	0,50	0,50
	8	0,45	
314.1	1	0,38	0,35
	2	0,40	0,45
	3	0,56	0,50
	4	0,62	0,60
	5	0,60	0,57
	6	0,55	0,46
	7	0,58	0,50
	8	0,48	

VIII. Závěr.

Úkolem této práce bylo ověřit vliv přísad nauhličujících přísad, vliv vytváření ochranných nepropustných vrstev, vliv zvýšené rychlosti ochlazování a vliv velikosti vtokové soustavy na velikost oduhličení přesných ocelových odlitků. Jako nejspolehlivější prostředek se ukázalo použití karbidu křemíku SiC, jehož rozkladem vzniká v místě reakce atmosféra s vysokým uhlíkovým potenciálem, za současného použití nepropustné vrstvy v posledním obalu skořepiny, která mechanicky oddělí atmosféru skořepiny od atmosféry formy. Zároveň je vhodné používat vyšších rychlostí ochlazování odlitků.

Navržené optimální podmínky pro výrobu přesných ocelových odlitků metodou vytavitelného modelu jsou dány ekonomickým zdůvodněním. Přeji bych si, aby tyto optimální podmínky našly široké uplatnění v závodech přesného lití v ČSSR.

V Liberci dne 5. listopadu 1966

Wünschová Markéta

IX. Použitá literatura.

1. EXNER J.: :Oduhličování a okysličování povrchu ocelových odlitků při přesném lití na vytavitelný model.-disertační kandidátská práce.Vysoká škola strojní a textilní,Liberec 1966
2. EXNER J. :Způsob zabránění oduhličování povrchové vrstvy ocelových odlitků.-Vysoká škola strojní a textilní,Liberec 1966-PV4062-66
3. KEIPER F. :Randentkohlung bei Feinguss. = "Giesserei" 49,1962,č.9, s.247-253.
4. WILD M. :Studium okysličování a oduhličování přesných ocelových odlitků -diplomová práce VŠST Liberec 1965 /ved. DP Prof. Ing.B.Odstrčil,konzultant Ing. J.Exner/.
5. DOŠKÁŘ J. :Přesné lití do keramických forem.Praha,SNTL,1961
6. SVÁROVSKÝ J.,  
WÜNSCHOVÁ M. :Studium oduhličování přesných odlitků z ocelí-semesterální práce VŠST Liberec 1965-1966-zimní semestr /Vedoucí úkolu Ing.J.Exner/.
7. WÜNSCHOVÁ M. :Studium oduhličování přesných odlitků z ocelí-semesterální práce VŠST Liberec 1965-1966-letní semestr /vedoucí úkolu Ing. J.Exner/.