Vysoká škola: strojní a textilní Katedra: technologie a slévárenství

Fakulta: strojní Školní rok: 1964/65

DIPLOMNÍ ÚKOL

pro H o l a s e Antonína

obor 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 okysličování a 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 tavenin, způsoby odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitků.

2) Při normální seriové výrobě na 2-3 vybraných dílcích sledujte a zhodnoťte stav okujení a hlavně oduhličení odlitků a seznamte se s metodikou a výsledky kontroly těchto vad v závodě.

3) Vyzkoušejte a zhodnoťte vlivy těchto faktorů na výsledné okysličení a oduhličení ocelových odlitků:

   a) vlivu obsahu uhlíku (zejména v rozsahu o,3 - o,8 %C)
   b) vlivu legujících prvků (u Mn a Si do 2 %, u Cr do 15 %) a způsobu desoxydace
   c) vlivu průřezu odlitku a polohy odlitku ve formě
   d) vlivu licí teploty (přehřátí v rozsahu 3o až 15o°C)
   e) vlivu nauhličujících prostředků ve formě.

4) Pokuste se z naměřených hodnot navrhnout optimální podmínky a event. tento postup ověřte.

5) Shromážděte si též podklady pro určení nákladů, které vznikají ve výrobě zavedením postupů k odstranění okysličení a oduhličení odlitků a ukažte na ekonomický význam boje proti těmto vadám.

15. X. 65

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

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC

V 78/65 S

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky a grafy naměřených hodnot
fotografie charakteristických struktur

Rozsah průvodní zprávy: 4o - 6o stran

Seznam odborné literatury:

Doškář J. : Přesné lití do keramických forem - Praha 1961
Šklennik J.I. : Litjo po vyplavljajemym modeljam - Moskva 1962
Obolencev F.D. : Kačestvo litych poverchostej - Moskva 1961
Obolencev F.D. : Točnost i kačestvo poverchosti otlivok - Moskva 1962
Černogorov T.B.: Polučenije otlivok s čistoj poverchostju - Moskva 1961
Norma ČSN 42o496
Časopisy : Slévárenství, Litejnoje proizvodstvo, Giesserei, Modern Castings, Foundry Trade Journal
Dipl.práce VŠST: Freiman, Hejzlar, Šrám

Vedoucí diplomní práce: Prof.Ing.Bohumil Odstrčil

Konsultanti: Ing. Jaroslav Exner

Datum zahájení diplomní práce: 3o.srpna 1965

Datum odevzdání diplomní práce: 9.října 1965

L. S.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ LIBEREC
fakulta strojního inženýrství
* 302 *

Vedoucí katedry
Prof.Ing.Bohumil Odstrčil

Děkan
Doc.Ing.Miroslav Kořínek

V Liberci dne 3.července 1965

1. Úvod

Specialisace slévárenské výroby ve strojírenských závodech dává předpoklady k postupnému zvyšování produktivity práce, a to nejen na úseku slévárenském, ale hlavně ve vlastní strojírně.

Závody, které zpracovávají drobné odlitky v seriové, případně velkoseriové až hromadné výrobě, mohou s velkou výhodou využívat předností předlívání tvaru odlitků s minimálními přídavky. V tomto směru se nejvíce nabízí metoda přesného lití, která umožňuje vysoké využití kovového materiálu a současně dává předpoklad k minimálnímu obrábění v dalších operacích.

U této technologie výroby je nutno řešit některé dílčí problémy, a to především ty, které umožní dále zlepšit ekonomickou i technickou stránku výroby těchto odlitků.

Jedním z těchto problémů, který do značné míry znehodnocuje vysokou rozměrovou přesnost těchto odlitků, zvyšuje zmetkovitost a vyžaduje zařazení dalších operací při výrobě, je oduhličení a okysličení povrchu odlitku.

Proto byly zadány dvě diplomové práce,které se tímto problémem zabývají. Každá z nich zkoumá skupinu jednotlivých vlivů působících na velikost oduhličení. Podařilo se tak podchytit působení velké řady faktorů, které zachycují širokou oblast jednotlivých vlivů.

Rozsah zkoušek provedených v této diplomní práci byl časově velmi náročný. Chtěl bych proto při této příležitosti poděkovat profesoru inž. Bohumilu Odstrčilovi, vedoucímu mojí diplomové práce

a konzultantu inž. Jaroslavu Exnerovi za odborné vedení při řešení mého diplomového úkolu. Děkuji dále inž. Straňákovi, vedoucímu slévárny ZPS, Uherský Brod a kolektivu pracovníků slévárny za cenné rady a umožnění odlévání vzorků.

2. Technologie výroby přesných ocelových odlitků.

2.1 Princip metody vytavitelného modelu

Princip metody vytavitelného modelu je v tom, že se model, vyrobený spolu s vtokem z materiálu, který se taví při nízké teplotě nebo který shoří beze zbytku, zalije kašovitou směsí z vysoce žáruvzdorné keramické hmoty a tekutého pojiva, nebo se opatří keramickým obalem z této kaše. Ztuhnutím pojiva vznikne keramická forma obalující vytavitelný nebo spalitelný model s vtokem. Ohřátím na příslušnou teplotu se model s vtokem vytaví nebo spálí, takže ve formě vznikne dutina, která je kopií modelu a vtoku. Po vypálení se formy vyplní roztaveným kovem. Takto vzniklý odlitek je shodný s modelem.

Metoda je známá již dávno. Převážně se používala při výrobě uměleckých předmětů, později v zubním lékařství. Pro odlévání ocelí nebo neželezných kovů s teplotou přes 1 100°C byla pro nízkou žáruvzdornost formovacích směsí nevhodná. Teprve po sestavení vhodných formovacích směsí o vysoké žáruvzdornosti nastal dnešní rozvoj metody vytavitelného modelu ve strojírenství.

Postupně byla metoda zdokonalována jak z hlediska vlastní technologie, tak i strojního zařízení a modelových hmot. Kromě voskových směsí se začalo používat plastických hmot, nízkotavitelných slitin a zmrzlé rtuti. Modely z plastických hmot se neodstraní z forem vytavením, ale jen spálením. Proto je oprávněný název metod vytavitelných a spalitelných modelů.

V současné době se dá metodou vytavitelného modelu odlévat součásti tvarově velmi náročné z libovolných slévárenských materiálů, které se nedají vyrábět hospodárně jinými způsoby. Přitom navíc přináší značné úspory materiálu.

2.2 Příprava výroby a výrobní dokumentace

Metoda vytavitelného modelu je poměrně nákladný výrobní pochod. Je tedy nutno před určením strojní části k odlévání uvážit, zda je pro tuto metodu vhodná a není-li ji možno vyrobit hospodárněji jinými běžnými výrobními způsoby.

Metoda má své oprávnění pouze u přesných a tvarově složitých strojních částí, které lze vyrobit jinými způsoby jen s vysokými náklady. Vhodná je zvláště při velkých seriích, při nichž amortisační náklady příliš nezvyšují cenu.

2.2.1 Návrh výrobního postupu

Při navrhování výrobního postupu je nutno vycházet z:

1) požadavků na pevnost materiálů a způsobů namáhání součástí;
2) konstrukční úpravy;
3) tvaru surového odlitku - je dán zvětšením rozměru proti výkresu o:
   a) přídavky na opracování,
   b) přídavky technologické, umožňující výrobu odlitků bez staženin,
   c) přídavky lineárního smrštění;
4) polohy modelu na stromečku;
5) vtokového systému a způsobu nálitkování;
6) formy na vytavitelné modely;
7) volby keramických forem;
8) kontroly odlitků a přejímacích podmínek.

2.2.2 Výrobní dokumentace

Podle všeobecných zásad slévárenské technologické přípravy výroby, upraví se ze dvou kopií technického výkresu součástí:

1) postupový výkres, který obsahuje veškeré změny tvarů, rozměrů, přídavky na opracování, technologické přídavky, dělící roviny, úkosy, náčrty použitých volných jader a umístění vtoků;
2) výkres matečného modelu, který je zhotoven z druhé kopie technického výkresu a jsou na něm rozměry, které jsou korigovány lineárním smrštěním;
3) výrobní karta, obsahující další údaje výrobního postupu. Jsou v ní základní údaje volené nebo vypsané ze všeobecných směrnic pro výrobu přesných odlitků. Postupně se zaváděním výroby se údaje doplňují např. o způsob oddělení odlitků od vtokové soustavy, povrchovou úpravu, zmetkovitost a pod. Z údajů ve výrobní kartě se určí cena odlitků a nákladů na dokončující operace, které se stanoví z přídavků na opracování.

Z předcházejících údajů je potom možné vypracovat ekonomickou rozvahu.

2.3 Formy a materiály na vytavitelné a spalitelné modely

2.3.1 Konstrukce a výroba forem

Podle účelu se rozlišují formy na výrobu:

a) vlastních modelů,
b) částí vtokových systémů.

Formy se vyrábějí z ocelí, litiny, nízkotavitelných slitin, plastických hmot nebo různě kombinované, a to buď třískovým obráběním s hrubě předlitým tvarem a následujícím obráběním, zaléváním matečného modelu, popř. lisováním.

Jejich konstrukce je podmíněna způsobem výroby modelů, chlazením a stupněm mechanisace provozu.

Zásady, určující tvar a druh formy, určuje technolog přípravy práce při navrhování výrobní karty odlitků.

2.3.2 Modelové hmoty

Na výrobu vytavitelných modelů se používá různých materiálů, např. vosků, plastických hmot, nízkotavitelných kovových slitin, zmrzlé rtuti, síry a pod.

Z těchto všech různých hmot jsou pro výrobu vytavitelných modelů nejvhodnější voskové směsi. Jsou vhodné proto, že přesně reprodukují i ty nejjemnější podrobnosti, po vytavení nezanechávají zbytky keramické formě, jsou regenerovatelné, poškozené modely se dají opravit a dobře se skládají do stromečků. Přitom jejich větší smrštění se dá vstřikováním pod tlakem v kašovitém stavu podstatně snížit.

Používají se v podstatě dva druhy voskových hmot:

a) pro výrobu za normálního atmosferického tlaku gravitačním litím. Jsou měkčí s delším intervalem tuhnutí.
b) tvrdší vosky s kratším intervalem tuhnutí, používané k vstřikovémulití pod tlakem v kašovitém stavu.

Používají se vosky jak živočišné, tak rostlinné, např. včelí vosk, vorvaňovina, stearin, t.zv. uhlovodíkové vosky, t.j. směs parafinických a iso-parafinických uhlovodíků. Výhodné jsou i syntetické vosky, které jsou konstantního složení a tedy i vlastností.

Vhodnou jejich kombinací, popř. i přísadou kalafuny nebo určitého druhu asfaltu získáme směsi požadovaných vlastností.

2.3.3 Posuzování vosků

Chemické a některé fyzikální vlastnosti vosků jsou známé a běžně se v průmyslu zkoušejí. Pro výrobu

modelových hmot jsou však nejdůležitější mechanické zkoušky vosků. Byly proto na základě určité podobnosti s kovovými slitinami vhodně aplikovány zkoušky/1/ běžné v metalurgii (pevnost v ohybu, smrštění) nebo zkoušky, běžné při zkoušení asfaltu (tvrdost, penetrometrem) a svíček (stabilita).

Zjišťují se tyto vlastnosti: 1) hustota, 2) bod stárnutí, 3) bod tuhnutí, 4) lineární smrštění, 5) tvrdost, 6) pevnost v ohybu, 7) stabilita, 8) křehkost, 9) roztažnost, 10) obsah popele, 11) číslo kyselosti, 12) číslo zmýdelnění.

2.4 Výroba vytavitelných modelů

Základem produktivní výroby přesných odlitků je hromadná výroba vytavitelných modelů. Rozměrově a tvarově náročné přesné odlitky vyžadují přesné a stabilní vytavitelné modely. Proto mají být výrobny modelů klimatisované, s teplotou pracovního prostředí v rozmezí 21-23°C s mechanisovanou přepravou modelů, aby se co nejvíce vyloučil přímý styk s modelem. Modely se vyrábějí různými typy vstřikovacích zařízení od nejjednodušších zařízení na gravitační odlévání vosků do forem až po automatisované zařízení. Po vyjmutí z forem se modely ukládají na podnosy a přepravují od strojů na jejich výrobu k pracovním stolům a zařízením, na nichž se zbaví otřepů, kontrolují a sestavují stromečky.

Kontrola je prováděna při zvlášť přesné výrobě odlitků s úzkými výrobními tolerancemi výrobní kontrolou u každého modelu. Jinak si kontrolu provádí sám pracovník obsluhující zařízení a vyřazuje modely postahované, nezaběhlé nebo různě deformované.

2.4.1 Sestavování modelů

Je to vhodné připojení modelů na vtokovou soustavu. Používají se:

a) sestavy jednotlivých modelů pro větší odlitky s vyššími nároky na hladkost povrchu. Nálitkování se řídí běžnou slévárenskou technologií. Vtoková soustava se zhotoví ve zvláštních formách a na model se přilepí.

b) sestavy stromečků. Modely drobnějších součástek se sestavují pro odlévání co největšího počtu kusů naráz do tzv. stromečků. Základní rozměry stromečků i s vtokovou soustavou jsou normalisované. Tvar stromečku je závislý na způsobu lití, způsobu výroby vytavitelných modelů, sestavování modelů do stromečků, obalování, vytavování, plnění formy tekutým kovem a nejvhodnějším způsobem oddělování odlitků od vtokové soustavy. Jednotlivé modely se připojují na typisovanou vtokovou soustavu zaléváním, zasunutím, lepením nebo zapájením horkou špachtlí. Nejhospodárnější je výroba celých etáží, které se nasouvají přímo na trn.

2.5 Úprava povrchu formy při výrobě voskových modelů

Aby se voskový model nepřilepil ke stěně formy, musí se před vstříknutím modelové hmoty opatřit tenkým filmem dělícího prostředku. Vhodnými dělícími látkami jsou minerální a rostlinné oleje, silikonový olej, vyšší glykoly, mýdlová voda a neutralisační produkty některých mastných kyselin s primárními, sekundárními a terciárními aminy a diaminy. Aby byly voskové modely dokonale obaleny, je nutno, aby obalová směs povrch dokonale smáčela. Dělící prostředky, které brání dokonalému smáčení, se musí odstraňovat vhodnými rozpouštědly.

2.6 Výroba keramických forem

2.6.1 Formovací hmoty pro výrobu keramické formy

Formovací hmoty pro přesné lití slitin o vysokém bodu tavení jsou kašovité konsistence. Jsou složeny z vazné kapaliny, v níž jsou rozmíchány žáruvzdorné látky, vhodné zrnitosti.

Materiály na výrobu forem musí míti tyto požadované vlastnosti:

a) dostatečnou stabilitu za vysokých teplot při odlévání, aby snesly styk s tekutým kovem;
b) schopnost tvrdnout nebo se vysrážet ze zpracovatelné tekuté konsistence v určité definované době;
c) jednoduchá příprava a obalování;
d) minimální rozměrové změny při tuhnutí, vypalování a odlévání;
e) musí být z laciných, nejlépe domácích surovin.

Žáruvzdorné látky pro vysoké teploty

Patří sem velká množství látek, které vyhovují požadavkům vysoké žáruvzdornosti. Používají se pro odlévání různých druhů litiny, oceli a jiných výše tavitelných kovů. Vzájemně se liší hlavně žáruvzdorností a reaktivností s odlévanou kovovou slitinou.

Jsou to hlavně tyto materiály a jejich teploty tavení:

mletý křemen (SiO_2)	1710°C
silimanit ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$)	1816-1860°C
mullit ($3\ Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2$)	1810-1920°C
zirkon ($ZrO_2 \cdot SiO_2$)	2430°C
kysličník zirkoničitý (ZrO_2)	2700°C
forsterit (Mg_2SiO_4)	1910°C
korund (Al_2O_3)	2200°C

Dále se mohou používat i jiné materiály, jako jsou nitridy nebo karbidy s tavícími teplotami nad 1700°C.

Kromě tavící teploty je třeba brát ohled i na jiné vlastnosti, a to:

1) charakteristiku tepelné roztažnosti. Výhodná je hladká křivka roztažnosti bez krystalických změn. Z toho důvodu je snaha nahradit ostřivo typu SiO_2 materiálem s jednoduchou křivkou roztažnosti, jestliže je dostupný a jeho použití ekonomické (silimanit, korund, zirkon a pod.).
2) vhodnost rozměrů vlastních částic. Je snaha o takové rozdělení částic, aby dávaly co nejtěsnější uložení v soustavě, vyžadující co nejmenší množství pojiva a co největší pevnost skořepiny;
3) tepelnou vodivost. Materiály na výrobu skořepin mají mnohem menší tepelnou vodivost v porovnání s materiály na pískové formy. Tím se zmenšuje tepelný gradient po průřezu odlitku a to má za následek menší pnutí.

Pojiva pro vysoké teploty

1) Etylsilikát

Při výrobě skořepin se využívá schopnosti etylsilikátu vylučovat SiO_2 z roztoku. Etylsilikát se hydrolyzuje, čili se donutí k reakci s vodou za účelem vytvoření roztoku, který vyloučí lepivý druh SiO_2, vhodný k vazbě ostřiva. Když se přidá jen tolik vody, aby proběhla hydrolýza, jsou tyto roztoky stabilní. Průběh gelace je potom závislý na stupni pH roztoku a na přidání přebytku vody. Čas tuhnutí se může lehce ovládat přídavky silných zásad a slabých kyselin, např. NH_4OH, $(NH_4)_2CO_3$ nebo organických amonných sloučenin, např. aminů. Vhodné procento přísad je závislé na typu ostřiva, požadovaném čase tuhnutí a na jiných činitelích. Přísada aminů se pohybuje v rozsahu 0,1-1% objemového, vzhledem k základnímu hydrolyzátu.

2) Vodní sklo

V některých případech je možné pro výrobu skořepin použít jako pojiva vodní sklo sodné nebo draselné. Směs se připravuje rozkladem vodního skla kyselinou solnou. Keramické formy mají malou pevnost a sníženou žáruvzdornost. Vazné kapaliny mají krátkou životnost pro samovolnou gelaci. V praxi se proto tato pojiva používají pro první obaly a další obaly jsou na bázi etylsilikátu. Pro malou smáčivost obalovací směsi je nutno povrch voskových modelů aktivisovat.

3) Fosfátová pojiva

Pro spojení ostřiva se doporučují fosfáty Al, Ca, Mg, Zn, Pb. Reakce tuhnutí fosfátových skořepin je následující:

$$MgO + NH_4H_2PO_4 + 5\ H_2O = MgNH_4PO_4 \cdot 6\ H_2O$$

Směsi jsou k dostání již namíchané, takže použití je jednoduché. Skořepiny se musí vypalovat, při čemž se pojivo rozkládá na pyrofosfát $Mg_2P_2O_7$. Horní hranice použití je 1400°C.

4) Cementy Ca-Al

V úvahu přichází $CaO.Al_2O_3$ a $CaO.2\ Al_2O_3$. Výhodnější je první sloučenina pro kratší čas potřebný k získání žádané pevnosti.

Doba tuhnutí je řízena změnou teploty složek před smíšením. Vypalovací teploty jsou v rozmezí 700-900°C. Uvolňování vody při vypálení je exotermické, což se může nepříznivě projevit u větších skořepin.

Pojivo je výhodné pro vysoké teploty, jednoduchou přípravu a rozměrovou stabilnost. Je použitelné do teplot 1600°C.

5) Pojivo na základě kovových hydroxydů

Z některých organických sloučenin kovů se mohou chemickou cestou vyloučit hydroxydy kovů, např. použitím octanu hlinitého a zvýšením pH se může vyloučit gel $Al(OH)_3$, které mohou sloužit jako pojivo. Rychlost tuhnutí je určena stupněm pH roztoku. Formy se musí vypalovat až na Al_2O_3 při teplotě asi 600°C, když jsou prosté plynů. Při použití ostřiva na bázi SiO_2 je pojivo vhodné do 1600°C.

6) Glascat proces

Materiálem je pro tento způsob křemičité práškové sklo - prášek "Glascat". Výhoda tohoto způsobu je v urychlení výroby.

2.6.2 Příprava obalovací směsi

Všeobecný postup je ten, že se žáruvzdorné plnivo pomalu přidává do matečné vazné kapaliny. Účinné míchání obalových směsí je důležité pro výrobu rozměrově kvalitní skořepiny. Míchání se provádí vrtulovými míchačkami. Jejich nevýhodou je, že se do směsi dostává vzduch, který tvoří bublinky na voskových modelech. Výhodnější je míchání v kulových mlýnech bez přístupu vzduchu.

Poměr mezi plnivem a vaznou kapalinou se řídí výrobní technologií forem, kvalitou keramických hmot a tvarem odlitků. Pro odlitky tvarově složitější s otvory a drážkami je třeba řidší obalovací směs.

2.6.3 Způsoby výroby keramických forem

1) Výroba pevné keramické formy přímým zaléváním

Formovací kašová směs k přímému zalévání voskových stromečků se skládá z práškové keramické hmoty, vhodné zrnitosti a vazné kapaliny. Stromečky ve formovacím zařízení se musí zalévat pečlivě, aby kašovitá směs neobsahovala vzduchové bublinky. Je proto nutno vystavovat na míchanou kašovitou

formovací směs a zalité formy účinkem nízkého tlaku. Po zalití je nutno provést střásání. Střásáním nastane pěchování a zároveň zmenšování objemu směsi v rámu. Nadbytečná vazná kapalina vystoupí na povrch a odstraní se. Současně se nahromadí ve vrchní vrstvě ztuhlé formovací směsi i podíl nejjemnějšího zrna. Tuto vrstvu je nutno odříznout, protože je méně hutná a při sušení by praskala.

2) Pevná keramická forma obalovým způsobem

První obměnou klasické technologie byl obalový způsob výroby pevné keramické formy s kašovitou výplňovou směsí. Jejím principem je vytvoření vhodně silného keramického obalu na stroměčku z vytavitelného nebo vypalitelného modelu několikerým namočením do řídké obalové směsi. Usušené obalené stromečky se zalijí ve formovém rámu kašovitou výplňovou směsí, která se nechá ztuhnout. Kapalnou složkou výplňové směsi bývá voda. Příklad výplňové směsi: slévárenský písek, hlinitanový cement, voda. Obměnou tohoto způsobu je nahrazení kašovité výplňové směsi směsí suchou a sypkou.

3) Zasypaná skořepina

Technologie zasypané skořepiny přináší další zjednodušení a zhospodárnění výroby. Liší se od předešlých způsobů tím, že voskový model se vytaví dříve než se obal zasype výplňovým materiálem ve formovacím přípravku. Po vyžíhání následuje hned odlévání do žhavých forem.

4) Samonosná skořepina

Představuje nejjednodušší výrobu forem metodou vytavitelného modelu. Silný keramický obal se vytvoří několikerým namočením do řídké kašovité hmoty, Podobně jako u zasypané skořepiny se vytaví nejdříve modelová hmota, vzniklá keramická skořepina se vyžíhá v peci. Po vyžíhání se ihned plní roztaveným kovem.

2.6.4 Obalování stromečků

Stromečky se obalují ponořením do kašovité obalové směsi. Před obalováním se stromečky aktivisují. Po ponoření se stromečky se natáčí a naklání tak, aby z celého povrchu mohl uniknout vzduch a aby obalová směs vytvořila rovnoměrnou vrstvu po celém povrchu. Po vytažení stromečku z obalové směsi a odkapání se obal rovnoměrně zasype hrubším křemenným nebo jiným materiálem, který zamezuje stržení směsi, praskání obalů a urychluje schnutí. Zásyp se může provádět ručně, strojně mechanicky nebo s použitím fluidní vrstvy.

Výhodné je zařadit do linky strojní máčení a zasypávání.

Zasypané stromečky se mezi jednotlivými obaly musí sušit, ve vhodném sušícím zařízení. Sušení stromečku musí být dokonalé. Nedokonale usušené obaly, u nichž neproběhla úplně přeměna solu v gel, se po novém namočení do obalové směsi rozleptávají. Narušený obal buď z voskových modelů sjíždí nebo praská na hranách a rozvírá se.

2.6.5 Vytavování vosku

Voskové modely se vytavují z keramické skořepiny sálavým teplem, teplým vzduchem, párami trichloretylenu nebo vodou. Vosk se vytavuje výhradně tepelným nárazem. Tím se do skořepiny vsákne jen nepatrné množství vosku a nebezpečí porušení skořepiny je menší. Vytvoří se dilatační spára roztavením vrstvičky vosku, která je ve styku se skořepinou a dovolí volné roztahování dalšího vosku bez porušení skořepiny.

2.6.6 Vypalování skořepin

Důvody pro vypalování skořepin:

1) nastává úplné spálení zbytku voskových hmot,
2) dokonalé odstranění vlhkosti a plynotvorných složek skořepin,
3) zvýšení prodyšnosti a pevnosti skořepiny,
4) zlepšení zabíhavosti odlévaného kovu.

Skořepiny na bázi etylsilikátu se vypalují na teplotu 900-1050°C. Při teplotách nižších než 800°C uvolňuje ještě skořepina plyny obsažené v těžkých uhlovodících. Doporučená nejnižší teplota je proto 900°C.

Vypalování musí postupovat ze začátku pozvolna, poněvadž:

a) při prudkém ohřevu vosk vsáknutý do stěn by se náhle změnil v páry, které by při rychlém unikání poškodily skořepinu;

b) musí se brát ohled na tepelnou oblast objemových změn. Při rychlém ohřevu objemové změny mohou způsobit trhliny ve skořepině. Pro křemenný písek je to teplota 580°C.

2.7 Odlévání skořepin

Po vypálení se formy ihned odlévají. Zvláště u samonosných skořepin je nutné, aby doba mezi vytažením z pece a odléváním byla co nejkratší. Rychlé ochlazování je příčinou praskání skořepin.

Formy se mohou odlévat podle použitého druhu trojím způsobem: gravitačně (stacionárně), sklopně nebo odstředivě. Odlévání se provádí z ruční pánve předehřáté na teplotu 600-700°C.

2.7.1 Chládnutí skořepin

Kromě volného chládnutí na vzduchu, aby se dosáhlo plynulého průběhu odlitků z licího pole do čistírny, staví se v poslední době chladící

tunely odlitků. Tím se v letních měsících sníží teplota ve slévárně.

Poněvadž rychlost volného chladnutí je větší než rychlost ohřevu formy, lze tedy při dostatečném odtahu chřátého vzduchu ochladit formy na dráze kratší než je délka zónové pece. Proto je možné využít vratné dráhy zónové pece jako chladícího tunelu. Dráhu tvoří plechový tunel, který se po celé délce odsává, a to úměrně k teplotě formy.

2.7.2 Konečná úprava odlitků

Kromě ručního odstraňování keramiky z odlitků je běžné používání vibračního zařízení. Zbytek keramiky (ne více než asi 4%) je možné odstranit v roztaveném NaOH. Po louhování a opláchnutí v teplé a studené vodě se povrch pasivuje horkem v 1% roztoku Alkonru R.

Oddělování odlitků od vtokové soustavy se provádí podle druhu materiálu odlitků: vibrací, urážením, frikčním řezáním, řezáním pilou, soustružením, stříháním na lisech, kroucením nebo upalováním autogenním hořákem.

Když se odlitek nebude třískově opracovávat, není správné jeho povrch čistit otryskáváním, protože se tím zhoršuje povrch, který má potom drsnost jako u kvalitních odlitků, odlévaných do pískových forem.

2.8 Kontrola výroby, přejímací podmínky

Orgány technické kontroly, kontrolující celý postup výroby ve všech operacích:

1) vstupní kontrola kontroluje jakost všech materiálů, používaných při výrobě,
2) mezioperační kontrola sleduje:
   a) přípravu modelových hmot,
   b) přípravu obalovacích směsí,
   c) vytavování modelů,
   d) zasypávání skořepin,

e) vypalování forem,
f) zasypávání skořepin,
g) vypalování forem,
h) tavení kovu,
ch) odlévání kovu,
i) konečná úprava odlitků,
j) kontrola tepelného zpracování odlitků.

3) výstupní kontrola sleduje:
a) chemické složení materiálů odlitků,
b) oduhličení ocelových odlitků,
c) rozměry odlitků,
d) vady odlitků,
e) úpravu odlitků.

Přejímací podmínky.

Vadné odlitky se rozdělují na opravitelné a neopravitelné, které se zmetkují. Je výhodné sjednat s odběratelem technické přebírací podmínky, výhodné pro obě strany. Zvýší se tím plynulost výroby a odstraní se tím případné spory.

2.9 Tavení kovů a slitin

Kovy pro přesné lití se většinou taví v malých pecích na 3-100 kg užitečné vsázky. Používají se buď obloukové pece typu Rennerferd nebo Junkers, většinou středofrekvenční pece indukční. Všechny tyto pece jsou přetavovací. Znamená to, že se nemůže měnit ve vsázce metalurgickým pochodem obsah fosforu a síry a není dostatek času na chemické rozbory běžnými analytickými metodami. Sází se proto materiál o známém chemickém složení.

Pro kyselé vyzdívky se používá křemenný písek vhodné zrnitosti, za přísady tavidel, hlavně kyseliny borité (1-3%), pro zásadité vyzdívky se používá magnesit s přísadou skleněného prášku nebo kazivce na slinutí. Kelímek se připravuje buď přímo v peci napěchováním na železnou šablonu nebo se připravuje mimo pec a po vypálení se vkládá do pece.

Při kyselém pochodu se jako struskotvorná látka používá sklo. Váže z látky kysličníky, takže po dvojnásobné výměně strusky se dosáhne lázeň velmi chudá na kyslík.

U zásaditého pochodu se používá struska z vápna a rudy.

Elektrické pece, proti jiným druhům pecí mají výhodu v malém propalu legur. Propal závisí na příbuznosti prvku ke kyslíku. Některé prvky se vypalují více v kyselém kelímku (mangan), jiné v zásaditém (wolfram a vanad). Počítá se podle vzorce

$$R = \frac{E - F}{E} \cdot 100\%$$

kde R = relativní propal v %,
E = vypočítané chemické složení,
F = konečné složení.

2.9.1 Dezoxydace oceli

Kyslík, který je v oceli jako kysličník železnatý, je při dezoxydaci převeden na kysličník jiného prvku, který je odstranitelný z lázně nebo méně škodlivý než FeO. Dezoxydace se provádí tak, že se do roztavené oceli přidají prvky ve formě ferroslitin, které mají větší afinitu ke kyslíku než železo. Chemickou reakcí se vymění kyslík, železo se vyredukuje a vzniklý kysličník příslušného prvku přechází do strusky nebo uniká jako plyn.

Nejběžnější dezoxydovadla jsou uhlík, mangan, křemík, hliník, výjimečně titan, zirkon, vanad, vápník a bárium. Dezoxydace železa je vyjádřena těmito rovnicemi:

1) $FeO + C = CO + Fe$
2) $FeO + Mn = MnO + Fe$
3) $2\ FeO + Si = SiO_2 + 2\ Fe$
4) $3\ FeO + 2\ Al = Al_2O_3 + 3\ Fe$

Dezoxydace je tím účinnější, čím prvek užitý k dezoxydaci tvoří stabilnější kysličník. Podle rostoucí dezoxydační schopnosti je pořadí dezoxydovadel: mangan, křemík, hliník a vápník. O reakci

5) $FeO + 2H = Fe + H_2O$,

která je příčinou vzniku povrchových pórů, rozhoduje o obsahu rovnováha mezi vodíkem a kyslíkem. Čím je v oceli více vodíku, tím je třeba k průběhu reakce méně kyslíku. Hliník v malém přebytku redukuje obsah FeO až na 0,001%, což je zárukou, že nevznikne povrchová pórovitost.

2.9.2 Plyny v roztavených kovech

Plyny rozpuštěné v roztavených kovech jsou příčinou vad odlitků. Jde převážně o plyny: kyslík, dusík, vodík, kysličník uhelnatý a uhličitý.

Vliv plynu může býti dvojí:

a) s klesající teplotou se rozpustnost plynu snižuje (vodík) a při přechodu ze stavu kapalného do tuhého. V okamžiku tuhnutí je kov plynem přesycený a ten se uvolňuje. Nemá-li možnost unikat, tvoří póry, hlavně při povrchu odlitků;

b) tvoří s kovem sloučeninu (kyslík) a má nepříznivý vliv na mechanické vlastnosti. Sekundární reakce mohou způsobit vývoj plynů, který opět vede k pórovitosti.

3. Oxydace a oduhličování odlitků

3.1 Reakce mezi formou a odlévaným kovem

Vzájemné působení keramických forem a odlévaného kovu nastává jako výsledek:

1) mechanického působení proudu vlévaného kovu;
2) tepelných dilatací formy;
3) reakcí spečení;
4) působení vznikajících plynů.

Chemické reakce, probíhající ve formě po jejím zalití kovem, je možné rozdělit na děje, kterých se zúčastní:

1) jen tuhé částice,
2) kapalné a tuhé složky,
3) plynné látky.

Reakce mezi tuhými částicemi jsou ztížené pomalou difusí pevných fází a nedokonalým stykem reagujících pochodů. Nejvíc jsou rozšířeny pochody bezdifusního charakteru, jako je překrystalisace.

Reakce tuhých a kapalných fází jsou podmíněné dobou, po kterou jsou tekuté složky v tekutém stavu. Z oxydů, které jsou přítomné ve formě, je jedině kysličník železnatý má nízkou tavicí teplotu. Proto mají význam jedině reakce tekutého FeO nebo FeO-MnO se složkami formovacích směsí.

Intensivní jsou však reakce plynů, probíhající ve formě. Jsou hlavní příčinou vzniku povrchových pórů /H_2/, oduhličení a okysličení povrchu odlitku /O_2/.

Z reakcí plynů, probíhajících ve formě po odlití oceli /6 /, jsou to např.:

1) oxydační reakce

$$2\ Fe + O_2 = 2\ FeO \qquad a$$

2) hoření kysličníku uhelnatého

$$2\ CO + O_2 = CO_2 \qquad b$$

3) disociace vodních par

$$2\ H_2O = 2\ H_2 + O_2 \qquad c$$

4) reakce vodíku s kysličníkem uhličitým

$$CO_2 + H_2 = CO + H_2O \qquad d$$

5) hoření uhlíku

$$2\ C + O_2 = 2\ CO \qquad e$$

$$C + O_2 = CO_2 \qquad e'$$

6) redukce CO_2 uhlíkem

$$CO_2 + C = 2\ CO \qquad f$$

7) reakce uhlíku s vodními parami

$$C + H_2O = H_2 + CO \qquad g$$

$$C + 2\ H_2O = 2\ H_2 + CO_2 \qquad g'$$

8) rozklad uhlovodíků

$$CH_4 = C + 2\ H_2 \qquad h$$

9) oxydačně-redukční

$$Fe + H_2O = FeO + H_2 \qquad ch$$

$$Fe + CO_2 = FeO + CO \qquad i$$

Reakce kovů s plynnou atmosférou formy, které začínají v okamžiku odlití kovů, je možno rozdělit na dvě etapy. V prvé etapě se nachází volný kyslík na povrchu odlitku. Dochází k oxydačním reakcím typu (a), (b), (c), (e), (e′), (ch), (i). Těmito reakcemi se rychle sníží obsah kyslíku v oblasti styku. Potom začíná druhá etapa, během které probíhají reakce typu (d), (f), (g), (g′).

Oxydace kovů v první etapě vede k tvorbě kysličníků železa na povrchu kovů. Kysličníky kovů mohou pronikat do pórů formy a vytvářet připečeniny.

V druhé etapě se vytváří redukční atmosféra. To vede k částečné redukci kysličníku.

Reakcí (e), (e') se kromě uhlíku, vyskytujícího se jako uhlíkaté zbytky obsažené ve formovací směsi, zúčastňuje i uhlík odlévaného materiálu. Svědčí o tom vytvoření oduhličené povrchové vrstvy u odlitku.

3.2 Oxydace kovů

Oxydací kovů a slitin můžeme obecně definovat takto /5/: Oxydace kovů a slitn je soubor jevů, které provázejí reakci kovů nebo slitiny s kyslíkem, případně s plynem nebo parou, mající oxydační účinky, při čemž se kovy pokrývají na povrchu vrstvami, tvořenými produkty jejich reakce s okolím. Oxydace není jednoduchý jev. Kov reagující s kyslíkem je oddělen od svého kysličníku. Aby mohla nastat další oxydace, musí probíhat difuse aspoň v jedné z reagujících složek. Téměř vždy jsou to atomy kovů, které difundují vrstvou oxydů na povrch a tam reagují s kyslíkem. Podle toho se oxydace skládá z těchto dílčích dějů /5/:

a) děje na rozhraní mezi kovem a oxydovanou vrstvou. Je to difuse atomů kovu z vnitřku na neobsazené mřížkové polohy při povrchu kovu a jejich přeskok z povrchu kovu do intersticiální polohy v oxydové vrstvě za současné jejich ionizace.
b) difuse intersticiálních iontů a volných elektronů od povrchu kovu oxydovou vrstvou na povrch vrstvy;
c) děje na povrchu oxydové vrstvy. Je to především adsorpce kyslíku, jeho reakce s intersticiálními ionty a volnými elektrony a tvorba nových částí oxydové vrstvy, t.j. ukládání iontů kovů a kyslíku v mřížce kysličníků.

3.2.1 Oxydace železa

Reakce železa s kyslíkem je složitá. Železo tvoří tři stabilní kysličníky, a to FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3, z nichž první je nejchudší a poslední nejbohatší. Od povrchu je sled kysličníků: FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3. Při různých teplotách a tlacích probíhá však reakce na povrchu železa velmi odlišně. V diagramu soustavy Fe-O_2 / 5 / je určitá teplota (570°C), pod kterou má oxydická vrstva složení výhradně s Fe_3O_4, nad ní je tenká vrstva Fe_2O_3. Nad 570°C je největší díl FeO a nad ním jsou tenké vrstvy Fe_3O_4 a Fe_2O_3.

Složení oxydických vrstev je možno vystihnout takto:

$$\underset{(a)}{Fe}/\underset{(b)}{FeO}/\underset{(c)}{Fe_3O_4}/\underset{(d)}{Fe_2O_3}/O_2$$

Charakteristiky jednotlivých kysličníků:

a) FeO - kysličník železnatý - má mřížku typu NaCl a obsahuje kationtové vakance Fe^{++} a díry

b) Fe_3O_4 - magnetit - krystalisuje v spinelové struktuře, obsahující jak ionty Fe^{++} tak i Fe^{+++}. Existují v něm jak volné elektrony, tak díry.

c) V kysličníku Fe_2O_3, který má velmi příbuznou strukturu s kysličníkem Fe_3O_4, jsou vakance O^{--} a volné elektrony.

Děje probíhající na jednotlivých rozhraních:

1) rozhraní (a)
Na něm dochází k přeskoku iontů Fe^{++} z kovu do vrstvy FeO, kde obsazují vakance Fe^{++} a dále difundují prostřednictvím volných vakancí. Současně nastává i přeskok elektronů, které difundují prostřednictvím volných děr.

2) rozhraní (b)

Na vrstvě Fe_3O_4 nastává reakce

$$Fe_3O_4 \rightleftharpoons 4\ FeO + Fe^{++}_{\square} + 2\oplus \qquad (1),$$

která podle vnějších podmínek probíhá buď zleva doprava nebo opačně. Vrstvou Fe_3O_4 tedy difundují ionty Fe^{++} a Fe^{+++} a volné elektrony i díry.

3) rozhraní (c)

Zde probíhají dvě reakce:

a) ve vrstvě Fe_2O_3 dochází k reakci:

$$12\ Fe_2O_3 = 9\ Fe_3O_4 + Fe^{++}_{\square} + Fe^{+++}_{\square} + 8\oplus \qquad (2)$$

b) ve vrstvě Fe_3O_4 reakce

$$2\ Fe_3O_4 = 3\ Fe_2O_3 + O^{--}_{\square} + 2\ominus \qquad (3)$$

Reakce(2) znamená zmenšování vrstvy Fe_2O_3 ve prospěch Fe_3O_4, reakce (3) pravý opak.

4) rozhraní (d)

Od rozhraní (c) difundují vakance $O^{--}_{\square}$ a volné elektrony vrstvou Fe_2O_3 na povrch oxydové vrstvy (d), kde se zúčastní absorpce atomů kyslíku.

Při teplotách pod 570°C probíhá rovnice (1) ve prospěch Fe_3O_4. Při teplotách nad 570°C probíhá rovnice k rozpadu Fe_3O_4.

Reakce podle (2) a (3) slouží k vytvoření tenké vrstvy Fe_2O_3 při teplotách pod 570°C na rozhraní (c).

Průběh oxydace je však komplikovanější, protože se nejedná jen o čisté železo. V ocelích, které obsahují ještě jiné prvky, se i ony korose zúčastnují.

Kromě volného kyslíku mohou železo oxydovat i vodní páry i kysličník uhličitý.

Při styku kysličníků železa s povrchem skořepin, které obsahují SiO_2, dochází k reakci /8/

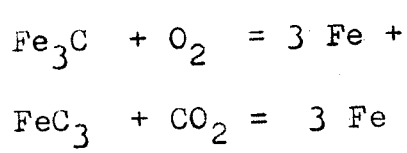
při které vzniká silikát železa ($2\ FeO.SiO_2$). Ten vytváří na převrácené straně vrstvu 0,1-0,5 mm tmavě hnědé až černé barvy.

3.3 Oduhličení povrchové vrstvy odlitků

S oxydací oceli úzce souvisí další děj, vyskytující se u odlitků, a to vznik oduhličené vrstvy na povrchu oduhličených ocelových odlitků. Podobně jako u oxydace se i u oduhličení jedná o proces difusní. U ocelí cementačních, u kterých se povrch nauhličuje, není nutné se oduhličením zabývat. U ocelí, určených k zušlechťování, je nutné, aby obsah uhlíku v jádře i na povrchu byl shodný, poněvadž se podle tvrdosti dosažené na povrchu volí popouštěcí teplota. Oduhličený povrch nedosáhne hodnot tvrdosti jádra, a proto odlitky by měly na povrchu nižší hodnotu než ve středu průřezu. Byly by tím ovlivněny nepříznivě mechanické vlastnosti. Proto je nutné se oduhličením zabývat.

3.3.1 Výklad oduhličení

Oduhličení je úbytek uhlíku ve slitinách na bázi železa. Vyskytuje se na povrchu odlitků, když tento je vystavený atmosféře, obsahující kyslík, vodní páru nebo když je její uhlíkový potenciál nižší než obsah uhlíku v oceli /7/. Vzniká tak buď vrstva čistého feritu nebo vrstva o sníženém obsahu uhlíku, která obklopuje jádro kovu s předepsaným obsahem uhlíku. Tato vrstva vzniká následkem prodyšnosti formy jako výsledek reakce uhlíku vázaného v oceli na Fe_3O_4 s kyslíkem nebo kysličníkem uhličitým. Reakce je možné vyjádřit rovnicemi:



$$Fe_3C + O_2 = 3\ Fe + CO_2$$

$$FeC_3 + CO_2 = 3\ Fe + 2\ CO$$

Tyto reakce probíhají při ochlazování u uhlíkatých ocelí asi do 400°C/ 2 /. Podle jiného autora / 7 / je uváděna teplota asi 650°C (1200°F). Oduhličování je stejně jako oxydace difusní pochod. Rychlost difuse je závislá na rozdílů koncentrací difusních míst a na difusní konstantě, která je funkcí teploty. Je tedy oduhličení ovlivněno teplotou formy, kovu a obsahu uhlíku v oceli/ 3 /.

Oxydace a oduhličení povrchu spolu vzájemně souvisí. Při zvyšování teploty odlévaného kovu a teploty formy zvětšuje se oduhličení, ale současně se zvětšuje i oxydace oceli, která potom zmenšuje pozorovatelnou vrstvu oduhličení. Podobně působí přebytek kyslíku, kdy při přímém styku se vytváří silná vrstva kysličníku.

Hloubka oduhličení tedy závisí na přístupu volného kyslíku k odlitku, tloušťce příčného řezu součástí, licí teplotě, teplotě předehřátí a tepelné vodivosti formy, její prodyšnosti, obsahu uhlíku a legujících prvcích.

Působením těchto vlivů je možné vysvětlit nepravidelnosti průběhu oduhličení u stejných odlitků z jedné tavby. Změna jednoho z vlivů může podstatně změnit velikost oduhličení vrstvy.

3.3.2 Způsoby zmenšení nebo odstranění oduhličené a okysličené vrstvy

Vyřazovat odlitky s oduhličeným povrchem by bylo nehospodárné. V praxi se běžně jednotlivé části stromečku po oddělení kontrolují a bezvadné části se uvedou na požadovaný obsah uhlíku v povrchové vrstvě nauhličením. Volba nauhličovadla je závislá na obsahu uhlíku v oceli. Pro oceli s menším obsahem uhlíku je nutné použít slaběji nauhličujících směsí než pro oceli s vyšším obsahem uhlíku. Obsah uhlíku v povrchové vrstvě po nauhličení bude závislý na použité teplotě, času působení a účinnosti nauhličujícího prostředku (dřevěné uhlí

nebo cementační prášky). Nejsnáze se provádí nauhličování do tloušťky 0,3 mm / 2 /.

Metoda zasypané skořepiny umožňuje odstranit oduhličení odlitků přímo při chládnutí materiálů ve formách. Zasypáním skořepiny pískem, obsahujícím nauhličující prostředek, nejčastěji dřevěné uhlí nebo cementační prášek, se při lití vytvoří ochranná atmosféra CO, která zabrání oduhličení. Vzhledem k množství vlivů působících na oduhličení, požadavkům na povrch materiálu, závisícím na dalším opracování, je těžké určit složení a množství nauhličujícího prostředku. Množství nauhličovadla se udává v rozmezí 3-15% / 2 /.

Jiný způsob, jak zabránit oduhličení, je odlévat formy v ochranné atmosféře (N_2, CO a pod.) a po odlití zamezit přístup vzduchu. Získají se tak kvalitní odlitky bez okysličení a oduhličení. Odlitky, odlité za normálních podmínek a potom ochlazované za nepřístupu vzduchu, mají proti normálním odlitkům zcela lesklý povrch bez okují. Oduhličení však zůstává / 4 /.

Značný vliv na velikost oduhličení mají legující prvky. Oduhličení je možné téměř zamezit, jestliže se množství kyslíku, podmíněné prodyšností, váže na odpovídající množství legur, které při teplotách tuhnutí mají větší afinitu ke kyslíku.

Ke zmenšení oduhličení u přesného lití je možné využít lití do "studených forem". Tento způsob se nehodí pro všechny odlitky. Při odlévání skořepin s SiO_2 nastává při 575°C překrystalisace ($\alpha - \beta$), při které dochází k velkým objemovým změnám. Tím se velké plochy deformují. Je proto třeba odlévat do skořepin chlazených nejvíce na 575°C. Podstatnějšího snížení se však dosáhne teprve při teplotách pod 500°C / 3 /.

Vlivu snížení licí teploty na oduhličení nelze vždy použít. U přesného lití jsou teploty přehřátí taveniny jen málo nad teplotou, která je nutná

k dobrému zaběhnutí.

Podobně není možné podstatně snížit prodyšnost forem, která je např. u skořepin s kašovitou výplňovou směsí jeiž velmi malá.

4 Vlastní zkoušky

4.1 Cíl provedených zkoušek

Úkolem provedených zkoušek je ověřit působení těchto faktorů na výsledné okysličení a oduhličení u ocelových odlitků:

a) vliv průřezu a polohy odlitků ve formě,
b) vliv licí teploty,
c) vliv obsahu uhlíku,
d) vliv legujících prvků (Mn, Si, Cr) a způsobu desoxydace,
e) vliv nauhličujích prostředků.

Současně s těmito zkouškami byly vybrány z normální seriové výroby vzorky, které sloužily ke srovnání oduhličení a okysličení se zkušebními odlitky, použitými na zkoušky a-e. Tvar zkoušených vzorků byl navržen na VŠST.

Všechny zkušební vzorky byly připravené a zpracované v provozních podmínkách technologií, užívanou v současné době v ZPS, Uherský Brod. Použily se rovněž materiály a suroviny, běžně používané v slévárně přesného lití v uvedeném závodě.

4.2 Výroba skořepin

Pro výrobu voskových modelů zkušebních vzorků byla použita forma, zhotovená na VŠST, Liberec. Části vtokové soustavy byly vyráběny v podnikových formách.

Voskové modely vzorků byly vyráběny na vstřikovacím zařízení, zkonstruovaným v ZPS, z voskové směsi o složení: 50% parafín,
35% stearin,
15% ceresin.

Tato směs se připravila ke vstřikování tak, že se roztavila ve vodní lázni při 60-100°C. Roztavená se přečerpala do zásobníku vstřikovacího zařízení, kde se za stálého míchání ochladila

na teplotu 49-52°C. Mícháním se vytvořila pasta, obsahující 7-10% vzduchu. Ta se potom nasála do pracovního válce, odkud se pod tlakem 1 atm vstřikovala vyhřívanou hadicí do složené formy. K usnadnění vyjmutí voskového modelu byla forma před složením natřena směsí 50% strojního oleje, 50% petroleje.

Po vstřiknutí vosku se forma chladila ve studené vodě. Nedostatečné chlazení mělo za následek deformaci modelů a tím jejich znehodnocení. Po očištění modelů (stlačeným vzduchem) a vzhledové kontrole se modely připájely horkou špachtlí ke vtokové soustavě předem sestavené na trnu. Jednotlivé části vtoku byly ze stejného vosku jako zkušební vzorky. Voskové stromečky na trnech se před obalováním odmašťovaly v alkoholu. Směs k obalování se připravila následovně: do míchačky se nalilo 16 l etylalkoholu a přidalo se 1,5 l HCl(1:12). Za míchání se přidalo potřebné množství etylsilikátu přibližně 7,5 l. Po krátkém míchání 3-5 min. se vsypala křemenná moučka - 6,3 kg. Po vsypání křemenné moučky se míchalo směsí 1 hod. a 2 hod. odstátí byla připravena k obalování.

Na stromečcích se prováděly 4 obaly. Hustota směsí se pohybovala:

pro první obal 64-65°$Bé_{20}$
" druhý " 63-64 "
" třetí " 63-64 "
" čtvrtý " 64-65 ".

Písek použitý do směsí byl JV(dolnorakouský).
Sítový rozbor:

světlost ok v mm	podíl v %
0,125	17,5
0,06	28,8
pod 0,06	59,77

Po jednotlivých máčeních se stromečky zasypávaly pískem T2S, Provodín. Sítový rozbor v příloze v tab.č.1.

Obalování a zasypávání stromečků se provádělo na mechanisované lince (obr. 3). Doba mezi jednotlivými obaly se pohybovala v rozmezí 6-8 hod. Po posledním obalu se stromečky sušily 24 hod. Sušení mezi jednotlivými obaly se provádělo na vozíčcích (obr. 4). Relativní vlhkost v sušárně se pohybovala mezi 80-83% při teplotě 20-22°C. Podle výrobního postupu je předepsaná:

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

Těšně před vyvařením vosku se provedla kontrola obalu. Silně poškozené skořepiny se vyřadily. Vosk se vyvářel ve vyvařovací vaně (obr. 5) vyhřívané horkou parou. Teplota vody ve vaně se pohybovala mezi 90-100°C. Stromečky byly ponořeny v horké vodě cca 10-20 min.

Po vyvaření se stromečky sušily nejméně 24 hod., než byly zasypány do rámů.

4.3 Tavení materiálu, způsob odlévání a chlazení skořepin

Vzorky určené k ověření vlivu obsahu uhlíku byly odlity z taveb při běžné výrobě. Pro všechny ostatní zkoušky byly provedeny zvláštní tavby. Výchozí materiál pro ně byl vratný ČSN 12060.

Materiál se tavil ve středofrekvenční peci (obr. 6) o obsahu 40 kg. Pro zkoušky s Si, Mn, Cr, aby nedocházelo k plýtvání materiálu, byl kelímek v peci napěchován na obsah 25 kg. Postupy pro jednotlivé tavby jsou uvedeny v kap. 4.4.

V podstatě byl u všech taveb dodržen postup, používaný v ZPS pro materiál ČSN 12060.

Všechny vzorky byly odlity metodou zasypané skořepiny. Použitý písek HOB k zasypání byl vratný, obsahující značné množství úlomků skořepin a okují (2%). Pro zkoušky nauhličujícím prostředkem byl proto pro jednu sadu vzorků použit nový písek, který se před zasypáním skořepin vyžíhal v peci při teplotě 900°C.

Zasypané skořepiny se vypalovaly v žíhací vozové peci při teplotě 900°C. Teplota v peci se zvyšovala rychlostí 100°C/hod. Na teplotě 900°C se při vypalování skořepiny udržovaly přibližně po dobu 3 hod.

Odlévání skořepin se provádělo z ruční pánve. Doba mezi vytažením z pece a odlitím byla co nejkratší, aby nedošlo k ochlazení skořepin pod 650°C.

Po odlití se všechny vzorky nechaly volně ochlazovat na vzduchu. Nejdříve ve slévárně a po ztuhnutí na chladící dráze (obr. 7).

4.3.1 Postupy pro vedení jednotlivých taveb

1) Vliv licí teploty na oduhličení

Tavba I, vzorek č.1-5

Materiál	kalímek	obsah pece
ČSN 12060	kyselý	40 kg

Použité suroviny:	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	40,00 kg
FeMn 80%	0,25 kg
FeSi 75%	0,03 "
litina 3-3,5% C	0,30 "
desoxydovadlo: Al	0,02 "

Postup tavby: po natavení základní vsázky se nahodí struska (křemenný písek), stáhne a nahodí nová. Ocel se ohřeje na teplotu asi 1650°C. Struska se stáhne a současně se vsadí FeSi, potom FeMn a dokončí se stažení strusky. Odpich se provádí po dosažení teploty ≈ 1700°C.

Do pánve vyhřáté do červeného žáru byl před odpichem vhozen Al v dávce 0,02 kg na 40 kg taveniny.

Postup odlévání: k odlévání byla použita sifonová pánev. Skořepiny byly vytaženy z pece těsně před odlitím. Jejich teplota se pohybovala v rozmezí 600-700°C. Všechny vzorky byly odlity z jedné pánve. Před olitím jednotlivých vzorků byla měřena teplota taveniny v pánvi ponorným termočlánkem Pt-PtRH10. Termočlánek byl chráněn proti styku s taveninou křemennou trubičkou. Současně byla teplota taveniny sledována optickým pyrometrem.

Váha jednotlivých vzorků byla 2 kg. Celkově bylo odlito 5 vzorků o váze ≈ 10 kg. Zbytek kovu byl odlit do housky.

2) a) Vliv nauhličujících prostředků ve formě na oduhličení

b) Vliv desoxydace na oduhličení.

Tavba II, vzorek č.7-19

Materiál	Kelímek	Obsah pece
ČSN 12060	kyselý	40 kg

Použité suroviny:

	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	40 kg

Použité suroviny:	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	40 kg
FeMn 80%	0,25 kg
FeSi 75%	0,03 "
litina 3-3,5% C	0,30 "
desoxydovadlo: Al	0,02 "
" : FeMn pro vz.18	0,02 "
" : FeSi " " 19	0,02 "

Postup tavby: vedení tavby bylo stejné jako u tavby I. Odpich byl proveden při teplotě 1650°C. Pro vzorek č.18 místo desoxydace Al byl k tomu účelu použit FeMn. Ten byl dán do pánve, rozdrcen na kousky do velikosti asi 3 mm. Po odlití vzorku byl zbytek taveniny odlit do housky.

Zbývající část taveniny, asi 10 kg, byla desoxydována FeSi v pánvi a odlita jako vzorek č.19.

Poznámka: Pro vzorky 7-16 byl písek použitý k zasypání skořepin do rámu smíchán s cementačním práškem o složení
16% $BaCO_3$,
79% dřevěné uhlí,
zbytek koks.
Množství cementačního prášku v jednotlivých formách je uvedeno v tab. č.1.

3) Vliv křemíku na oduhličení

Tavba III, vzorky č.1/05; 1/08; 1/10; 1/15; 1/20.

Materiál	Kelímek	Obsah pece
ČSN 12060	kyselý	25 kg

Použité suroviny:	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	25 kg
FeMn 80%	0,16 kg
FeSi 75% postupně až do obsahu 2% Si v tavenině	
litina 3-3,5% C	30 kg
desoxydace: Al	0,025 kg

Postup tavby: po natavení základní dávky byla tavba legována FeSi v množství 0,15 kg. Po roztavení FeSi byla tavba odpíchnuta při teplotě 1650°C do pánve vyhřáté do červeného žáru. V pánvi byl hliník k zajištění konečné desoxydace. Po odlití vzorku byla tavenina z pánve přelita zpět do pece. Následovalo další legování FeSi v dávkách mezi jednotlivými odpichy:

0,075 kg
0,075 kg
0,15 "
0,15 "

Jednotlivé dávky byly počítány s ohledem na uvažovaný 10% propal a potřebu 2 kg kovu na 1 vzorek.

Při odlévání každého vzorku byla měřena teplota taveniny v pánvi optickým pyrometrem. Pec pro tavbu III-V byla udusána na obsah 25 kg.

4) Vliv manganu na oduhličení

Tavba IV, vzorky č.2/05, 2/08, 2/10, 2/15, 2/20

Materiál	Kelímek	Obsah pece
ČSN 12060	kyselý	25 kg

Použité suroviny:	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	25 kg
FeMn 80% postupně až do předpokládaných 2% Mn v tavenině	
FeSi 75%	0,02 kg
litina 3-3,5% uhlíku	0,30 kg
desoxydace Al	0,02 kg

Postup tavby: po natavení základní vsázky byla tavba legována dávkou FeMn po stažení strusky. Po roztavení FeMn byl proveden odpich při 1600-1650°C. V pánvi vyhřáté do červeného žáru byl hliník. Po odlití vzorku se zbytek taveniny vrátil do pece. Následovalo další legování v dávkách mezi jednotlivými odpichy, směřující k směrným obsahům manganu.

Vypočtené množství: 0,156 kg FeMn
0,10 kg FeMn
0,10 kg "
0,20 kg "
0,20 kg "

Tyto dávky FeMn při uvažovaném propalu 40% přebytku taveniny odpovídaly:

0,6% Mn
0,8% "
1,0% "
1,5% "
2,0% "

Předpokládané složení neodpovídá chemickému rozboru, který byl proveden ZPS, Uherský Brod.

5) Vliv obsahu chromu

Tavba V, vzorky č.3/05, 3/10, 3/20, 3/40, 3/80, 3/120.

Materiál	Kelímek	Obsah pece
ČSN 120060	kyselý	25 kg

Použité suroviny:	váha vsázky
vratný, ČSN 12060	25 kg
FeCr 65% v dávkách do obsahu 12% Cr v tavenině	
FeMn 80%	0,16 kg
FeSi 75%	0,02 kg
slitina	0,3 kg
desoxydace: Al	0,03 kg

Postup tavby: po natavení základní vsázky byla tavenina legována první dávkou FeCr 65%. FeCr byl před použitím rozbit na menší kousky a vyžíhán. Po nasazení první dávky byla postupně stahována struska. Teplota byla kontrolována optickým pyrometrem. Vzhledem k charakteru slitiny bylo nutno urychlit odlévání, aby nedošlo k velkému propalu chromu. Každá dávka byla desoxydována Al v pánvi v množství 0,005 kg na pánev.

Vypočtené dávky FeCr:

0,19kg	odpovídá	0,5% Cr
0,19"	"	1 % "
0,32"	"	2 % "
0,58"	"	4 % "
1,16"	"	8 % "
1,16"	"	12 % "

U taveb III-V je postup tavení základní vsázky shodný s tavbou I a II. Při dalších legováních mezi jednotlivými odpichy nebyla již nahazována struska.

6) Vliv uhlíku na oduhličení

Tavba VI, VII a VIII.

Vzorky byly odlity z tavby běžné výroby závodu ZPS, Uherský Brod. Byly odlévány:

tavba VI	z materiálu	ČSN 12020	
" VII	"	ČSN 12060	se zvýšeným obsahem C (0,55% C)
" VIII	"	ČSN 12060	se zvýšeným obsahem C (0,65%C)

Vzorky odlité z taveb VII a VIII nebyly pojaty do vyhodnocení. Nebyla u nich měřena teplota lití. Skořepiny použité k odlévání měly teploty pouze 300°C.

Tavby VI-VIII byly vedeny podle technologie, užívané v ZPS, Uherský Brod. V těchto tavbách bylo použito do vsázky také tyčového materiálu dle příslušné ČSN a typu vsázky. Rozsah použití byl u surového vsázkového materiálu od 10-50%.

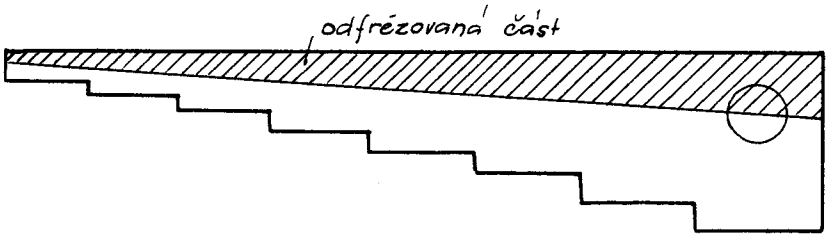
U taveb VII a VIII bylo ke zvýšení obsahu C použito rozdrcených elektrod. Tento způsob dává dle zkušeností nejlepší využití uhlíku při nauhličování. Má současně minimální procento popelovin. Tím je zajištěna vysoká čistota kovu.

Průběh tavby, t.j. natavení, ohřev lázně, zajištění strusky na hladině kovu, měření teploty, postup legování byl shodný s tavbami I-V.

4.4 Příprava vzorku pro vyhodnocování

Odlitky vzorku chladly ve formě 24 hod. Po této době byly odlitky vyjmuty z forem. Keramická forma byla očištěna tak, aby odlitek mohl být použit k dalšímu zpracování. Některé skořepiny s typickým zabarvením byly použity k dokumentárnímu fotografování. K zajištění evidence vzorkových odlitků byly tyto očíslovány a potom odděleny od vtokového kanálu.

Ke stanovení stupně oduhličení byly vzorky frézováním upraveny tak, aby dobře vyhovovaly podmínkám přípravy metalografického výbrusu. Způsob řezání vzorků je patrný z obrázku.



Obr.č.1

Po rozřezání byly vzorky zalévány do Dentakrylu. Po jeho ztuhnutí byl zalévací Dentakryl upraven tak, aby umožňoval upnutí do svěráku brousícího stroje. Broušení vzorku bylo nutno zařadit do procesu přípravy z toho důvodu, protože při frézování došlo k deformaci vzorku. Aby při frézování a broušení nedošlo k případnému porušení struktury, a to hlavně v povrchových vrstvách, volil jsem intensivní chlazení. Tak byly vzorky připraveny k vypracování metalografických výbrusů.

4.4.1 Číslování vzorků

K zajištění evidence vzorků byly tyto očíslovány tak, aby číslo udávalo polohu vzorku při odlévání a současně bylo možno podle tohoto číslování jednoznačně určit poslání vzorku, t.j. která souvislost je tímto vzorkem sledována. U materiálu dle ČSN 12060 byly vzorky označeny takto:

vzorky č.1-5 sledují vliv teploty lití na oduhličení
" " 7-11 " " nauhličujícího prostředku, přidaného do formovací směsi s novým pískem
" " 12-16 sledují vliv nauhličujícího prostředku, přidaného do formovací směsi s vratným pískem
vzorek č.17 sleduje vliv desoxydace Al na oduhličení
" " 18 sleduje vliv desoxydace Mn na oduhličení
" " 19 sleduje vliv desoxydace Si na oduhličení

U odlitků, kde byl sledován vliv legujícího prvku na okysličení v povrchové vrstvě, bylo číslování voleno takto:

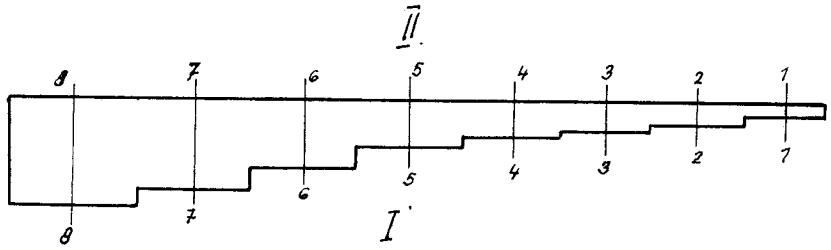
odlitky legované Si mají první číslo 1
" " Mn " " " 2
" " Cr " " " 3
" s vyšším obsahem C mají první číslo 4

Další číslo uvedené za tímto základním označením udává procentuelní obsah základního legujícího prvku. Označení 1/0,5 znamená, že jde o vzorek legovaný Si, kde obsah Si je 0,5%. Y před číslem označuje vodorovný způsob zaformování.

4.5 Způsoby vyhodnocování vzorků

Na základě systematiky zkoušek bylo účelné sledovat po odlití povrch odlitků i vzhled, případně zabarvení skořepiny. Z toho důvodu v první části probíhalo vizuální hodnocení odlitku i skořepiny.

Hodnocení oduhličení se provádělo metalograficky podle ČSN 420496. Místa hodnocení jsou označena v obrázku.



Obr. č.2

Zjištěné hodnoty oduhličení v těchto místech jsou uvedeny v tabulkách. Hodnoty z tabulek jsou vyneseny do grafů. Z těchto grafů je patrný průběh změny oduhličení odlitků v závislosti na sledovaném kriteriu.

Aby hodnocení výsledků bylo objektivní, bylo nutno určit chemické složení jednotlivých vzorků. Chemické rozbory byly zhotoveny v laboratořích ZPS, Uherský Brod. Pro každou tavbu byl proveden úplný chemický rozbor, pro který byl vzat odlitek, odlitý uprostřed odlévání. Prvek, který se během tavby měnil, byl stanoven chemicky u každého odlitku z dané tavby.

Chemické rozbory jsou uvedeny v příloze v tab.č.1.

4.5.1 Vnější vzhled skořepin a odlitků

Skořepiny vzorky bez nauhličujícího prostředku měly na přivrácené straně povrchu k odlitku hnědočernou vrstvu (2 $FeO.SiO_2$) a nebyl mezi jednotlivými skořepinami pozorovatelný rozdíl.

Zabarvení skořepin odlévaných v zásypu nauhličujícího prostředku v horní části, kde skořepina byla vystavena přímému působení vzduchu, bylo normální. ~~zbarvení~~. S hloubkou zásypu se barva skořepiny měnila od hnědočerného zabarvení přes žluté až po světle šedé. Šedé zbarvení je způsobeno

nauhličujícím prostředkem. Podle zbarvení bylo možné usoudit, kam až vyhořel cementační prášek při vypalování skořepin. Vnitřní strana skořepin u vzorku 7/11, 8/11, 9/a 13 je vyfotografována na obr.č. 18, č. 19, č. 20, č. 17.

Obdobné zabarvení měly i některé skořepiny, odlité při běžné výrobě bez nauhličujícího prostředku. Šedá až světlešedohnědá barva těchto skořepin měla místy hnědé skvrny. Toto zabarvení skořepin měly hlavně odlitky č. 09, příruby a víčka ve spodní části stromečku. Na stromečku těchto součástí byly proto přilepeny i zkušební vzorky, a to v každé třetině jeden. Vzhled skořepin, zkušebních vzorků a součástí je na obr.č. 21, 22 a. 23.

U všech zkušebních vzorků byly povrchová okuj stejná. Pouze vzorky č.1 a 2 měly oproti ostatním silnější oxydační vrstvu, snadno se odlupující.

Vzorky 09, u kterých měla skořepina odlišné zabarvení, měly lesklý modravý povrch. Obdobný vzhled měly i odlitky víčka, příruby a zkušebních vzorků, braných ze spodních částí stromečku. Vzorky z vyšších částí měly oxydační vrstvu normální.

4.5.2 Naměřené hodnoty oduhličení

1) Vliv licí teploty

Vzorek č.	Licí teplota °C	Místo měření č.	I oduhličení úplné	I oduhličení celkové	II oduhličení úplné	II oduhličení celkové
1	1640	1	–	–	–	–
2		2	neměřeno		neměřeno	
		3	–	–	–	–
		4	0,15	0,60	0,16	0,45
		5	0,15	0,50	0,16	0,47
		6	0,20	0,65	0,13	0,60
		7	0,15	0,60	0,18	0,65
		8	0,18	0,60		
2	1620	1	0,15	0,40	0,13	0,47
		2	0,15	0,50	0,17	0,52
		3	0,16	0,65	0,18	0,53
		4	0,17	0,65	0,20	0,55
		5	0,20	0,70	0,25	0,67
		6	0,20	0,65	0,15	0,62
		7	0,15	0,60	0,16	0,50
		8	0,23	0,80		
3	1590	1	0,12	0,30	0,05	0,15
		2	0,17	0,50	0,18	0,32
		3	0,13	0,55	0,12	0,43
		4	0,15	0,60	0,14	0,65
		5	0,20	0,65	0,10	0,65
		6	0,20	0,75	0,15	0,68
		7	0,20	0,75	0,15	0,70
		8	nešel změřit			
4	1555	1	nezaběhlý			
		2	0,06	0,28	nešlo měřit	
		3	–	0,30	špatně viditelné oduhličení	
		4	0,08	0,45	–	0,44
		5	0,08	0,55	0,08	0,40
		6	0,12	0,62	0,10	0,55
		7	0,12	0,62	0,12	0,57
		8	0,15	0,60		
5	1520	1	–	0,10	–	0,10
		2	–	0,20	0,05	0,25
		3	–	0,25	–	0,35
		4	0,08	0,45	0,13	0,45
		5	0,05	0,47	0,12	0,52
		6	0,12	0,55	0,14	0,64
		7	neměř.	0,60	0,12	0,62
		8	–	0,65		

2) Vliv nauhličujícího prostředku ve formě

a) nový písek

Vzorek č.	% cementačního prášku	Místo měření č.	I Oduhličení úplné	I Oduhličení celkové	II Oduhličení úplné	II Oduhličení celkové
7	3	1	0,01	0,01	0,01	0,01
		2	–	–	0,01	0,01
		3	–	–	–	–
		4	0,01 x/	0,12	0,01 x/	0,01 x/
		5	0,02	0,20	0,01	0,01
		6	0,02	0,25	–	0,12
		7	–	0,40	–	0,40
		8	–	0,50		
8	6	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	0,25	–	0,20
		7	–	0,35	–	
		8	–	0,55		
9	9	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	–	–	–
		7	–	0,40	–	–
		8	–			
10	12	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–

2) Vliv nauhličujícího prostředku ve formě

a) nový písek

Vzorek č.	% cementačního prášku	Místo měření č.	I Oduhličení úplné	I Oduhličení celkové	II Oduhličení úplné	II Oduhličení celkové
7	3	1	0,01	0,01	0,01	0,01
		2	–	–	0,01	0,01
		3	–	–	–	–
		4	0,01 x/	0,12	0,01 x/	0,01 x/
		5	0,02	0,20	0,01	0,01
		6	0,02	0,25	–	0,12
		7	–	0,40	–	0,40
		8	–	0,50		
8	6	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	0,25	–	–
		7	–	0,35	–	0,20
		8	–	0,55		
9	9	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	–	–	–
		7	–	–	–	–
		8	–	0,40		
10	12	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	–	–	–
		7	–	–	–	–
		8	–	0,30		
11	15	1	–	–	–	–
		2	–	–	–	–
		3	–	–	–	–
		4	–	–	–	–
		5	–	–	–	–
		6	–	–	–	–
		7	–	–	–	–
		8	0,02	0,15 xx/	–	–

x/ místní oduhličení
xx/ v horní polovině

b) vratný písek

Vzorek č.	% cementačního prášku	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
12	3	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
		4	-	-	-	0,15
		5	0,03 x/	0,03 x/	-	0,20
		6	xxx/	0,35	-	0,20
		7	-	0,45	-	0,25
		8	-	0,55		
13	6	1	xxx/	xxx/	-	-
		2	xxx/	xxx/	-	-
		3	-	-	-	-
		4	-	-	-	-
		5	0,01	0,20	-	0,18
		6	0,02	0,35	-	0,25 xx/
		7	0,05	0,60	-	0,25
		8	-	0,60		
14	9	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
		4	-	-	-	-
		5	-	-	-	-
		6	-	z/	0,05 x/	0,25 x/
		7	-	0,40	0,05	0,45
		8	-	0,65		
15	12	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
		4	0,01 x/	0,01 x/	0,01	0,01
		5	-	0,20	0,02	0,02
		6	0,03	0,35	-	0,20
		7	0,03	0,45	-	0,25
		8	0,05	0,55		
16	15	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	-	-	-
		4	-	-	-	-
		5	-	-	-	-
		6	-	0,25	-	0,45
		7	-	0,35	-	0,20
		8	0,05	0,65		

x/ místní
xx/ nevýrazné
xxx/ zredukovaná okuj(? (0,05-0,08)
z/ po okraji pás feritu 0,03-0,05

3) Vliv desoxydace

Vzorek č.	Desoxydace	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
17	Al	1	-	0,08	-	-
		2	-	0,10	-	0,10
		3	-	0,25	-	0,25
		4	-	0,33	-	0,35
		5	-	0,40	-	0,35
		6	-	0,45	-	0,45
		7	-	0,45	-	0,47
		8	-	0,55		
18	Mn	1	-	0,10	-	0,15
		2	-	0,20	-	0,20
		3	-	0,23	-	0,25
		4	-	0,30	-	0,24
		5	-	0,30	-	0,30
		6	-	0,35	-	0,35
		7	-	0,40	-	0,40
		8	-	0,40		
19	Si	1	-	0,07	-	0,08
		2	-	0,20	-	0,20
		3	-	0,30	-	0,30
		4	-	0,30	-	0,30
		5	-	0,40	-	0,32
		6	-	0,45	-	0,40
		7	-	0,50	-	0,45
		8	-	0,45		

4) Vliv Si

a) svisle zaformované vzorky

Vzorek č.	Si %	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
1/0,5	0,50	1	–	0,05	–	0,05
		2	–	0,07	–	0,05
		3	–	0,18	–	0,12
		4	–	0,28	–	0,30
		5	–	0,40	–	0,40
		6	0,01	0,55	0,01 x/	0,55
		7	0,07	0,70	0,05	0,60
		8	0,12	0,80		
1/0,8	0,72	1	–	0,05	–	0,05
		2	–	0,07	–	0,07
		3	–	0,12	–	0,10
		4	–	0,23	–	0,25
		5	–	0,30	–	0,32
		6	–	0,55	–	0,48
		7	–	0,55	–	0,55
		8	–	0,65		
1/1,0	0,88	1	–	0,05	–	0,05
		2	–	0,05	–	0,05
		3	–	0,15	–	0,12
		4	–	0,20	–	0,20
		5	–	0,50	–	0,30
		6	–	0,65	–	0,67
		7	–	0,75	0,05	0,70
		8	–	0,75		
1/1,5	1,50	1	–	0,10 xx/	–	0,05 xx/
		2	–	0,12 xx/	–	0,15 xx/
		3	0,07	0,23	0,06	0,25
		4	0,10	0,35	0,08	0,32
		5	0,10	0,45	0,10	0,48
		6	0,13	0,53	0,12	0,48
		7	0,15	0,50	0,10	0,45
		8	?	0,55		
1/2,0 xx/ 2,05		1	0,01 z/	0,01 z/	0,08	0,08
		2	0,06	0,06	xxx/	xxx/
		3	–	0,13	–	0,15
		4	0,03	0,17	–	0,15
		5	0,05	0,30	–	0,20
		6	0,10	0,42	0,05	0,42
		7	0,06	0,45	0,12	0,53
		8	–	0,50		

x/ místní

xx/ obtížně se vyhodnocuje

xxx/ zčásti 0,1 úplné

z/ výrazné úplné 0,08

b) vodorovně zaformované vzorky

Vzorek č.	Si %	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
1/0,5	0,50	1	-	0,03	-	0,05
		2	-	0,05	-	0,08
		3	-	0,15	-	0,10
		4	-	0,25	-	0,25
		5	-	0,40	-	0,38
		6	0,05	0,55	0,02	0,60
		7	0,06	0,75	0,05	0,70
		8	0,10	0,80		
1/0,8	0,72	1	-	0,03	-	0,05
		2	-	0,07	-	0,09
		3	-	0,15	-	0,12
		4	-	0,20	-	0,20
		5	-	0,35	-	0,33
		6	-	0,65	-	0,65
		7	-	0,85	-	0,70
		8	0,03	0,70		
2/1,0	0,88	1	-	0,07	-	0,07
		2	-	0,10	-	0,10
		3	-	0,10	-	0,10
		4	-	0,20	?	?
		5	-	0,40	-	0,33
		6	0,01	0,55	0,03	0,57
		7	0,05	0,62	0,12	0,65
		8	0,06	0,60		
1/1,15	1,50	1	-	0,03	-	0,05
		2	-	0,08	-	0,05
		3	-	0,08	-	0,10
		4	-	0,17	-	0,16
		5	-	0,33	- x/	0,20
		6	0,06	0,45		0,50
		7	0,07	0,50	0,08	0,55
		8	0,10	0,60		

x/ zredukovaná okuj?

1/2,0	2,05	1	uražená špice(neměřeno)			
		2	-	0,05	-	0,06
		3	-	0,06	-	0,05
		4	-	0,19	-	0,16
		5	0,05	0,22	?	0,25
		6	0,05	0,38	0,07	0,30
		7	0,08	0,50	0,08	0,45
		8	0,12	0,50		

5) Vliv manganu

Vzorek č.	Mn %	Místo měření č.	I oduhličení úplné mm	I oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
2/0,5	0,85	1	-	0,03	-	0,02
		2	-	0,06	-	0,05
		3	-	0,20	-	0,20
		4	-	0,35	-	0,30
		5	-	0,40	-	0,45
		6	-	0,55	-	0,50
		7	-	0,65	-	0,55
		8	-	0,73		
2/0,8	1,16	1	-	0,21	-	0,23
		2	-	0,23	-	0,30
		3	-	0,30	-	0,40
		4	-	0,40	-	0,39
		5	-	0,45	-	0,45
		6	-	0,55	-	0,45
		7	-	0,55	-	0,75
		8	0,03	0,75		
2/1,0	1,45	1	-	-	-	-
		2	-	-	-	-
		3	-	0,25	-	0,28
		4	-	0,40	0,01	0,35
		5	0,02	0,45 x/	0,02	0,42
		6	0,02	0,45 x/	0,02	0,42
		7	0,05	0,58 x	0,04	0,45
		8	-	0,55 x		
2/1,5	1,85	1	-	-	-	-
		2	-	-	0,01	0,01
		3	0,01	0,15	0,02	0,13
		4	0,04	0,23	0,02	0,17
		5	0,07	0,30	0,04	0,23
		6	0,06	0,30	0,05	0,23
		7	0,04	0,18	0,05	0,25
		8	-	0,18		
2/2,0	3,10	1	na povrchu světlá nesouvislá vrstva, tloušťky 0,01-0,05 (redukovaná okují)			
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				

6) Vliv chromu

Vzorek č.	Cr %	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
3/0,5	0,55	1	-	-	-	-
		2	-	0,20	-	0,20
		3	0,05	0,35	0,03	0,32
		4	0,05	0,45	0,10	0,50
		5	0,03	0,45	0,11	0,60
		6	0,05	0,60	0,15	0,73
		7	0,05	0,70	0,10	0,65
		8	-	0,70		
3/1,0	1,05	1	-	-	-	-
		2	-	0,15	-	0,15
		3	-	0,25	-	0,16
		4	-	0,25	-	0,30
		5	-	0,40	-	0,33
		6	-	0,45	0,08	0,45
		7	0,03	0,45	0,08	0,45
		8	0,05	0,55		
3/2,0	2,05	1	-	-	-	-
		2	-	0,10	-	0,08
		3	-	0,15	-	0,12
		4	-	0,25	-	0,22
		5	-	0,20	0,01	0,30
		6	0,02	0,30	0,03	0,40
		7	0,06	0,35	-	0,40
		8	-	0,40		
3/4,0	3,75	1				
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
3/8,0	7,50	1	metalograficky nebylo zjištěno žádné oduhličení			
		2				
		3				
		4				
		5				
		6				
		7				
		8				
3/12,0	11,75	1				
		.				
		.				
		8				

7) Vliv uhlíku

Vzorek č.	C %	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
4/0,2	0,25	1	-	0,12	-	0,05
		2	-	0,15	-	-
		3	0,03	0,20	0,04	0,15
		4	0,05	0,27	-	0,18
		5	0,07	0,35	0,12	0,35
		6	0,15	0,50	0,07	0,40
		7	0,15	0,40	0,10	0,37
		8	0,15	0,50		
4/0,5	0,59	1		místně 0,01		
		2	-	0,02	-	0,03
		3	-	0,07	-	0,07
		4	-	0,13	-	0,13
		5	-	0,20	-	0,18
		6	-	0,25	-	0,25
		7	-	0,35	-	0,32
		8	-	0,5		
4/0,6	0,62	1	-	0,01 x/	-	-
		2	-	0,02 x/	-	0,03
		3	-	0,07	-	0,07
		4	-	0,13	-	0,08
		5	0,01 x/	0,26	-	0,20
		6	0,02 x/	0,28	0,02	0,25
		7	-	0,30	0,02	0,25
		8	-	0,30		

x/ místně

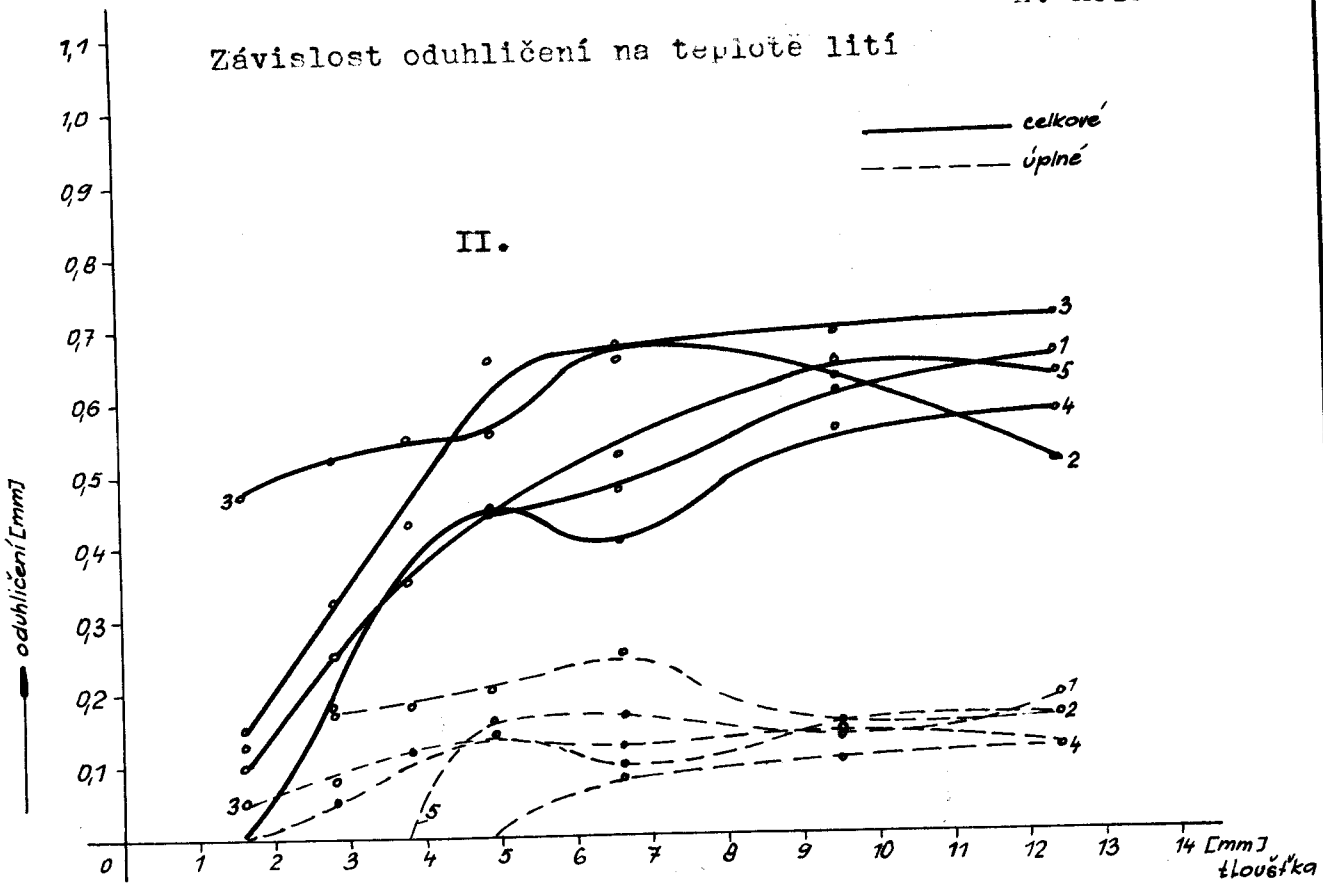
8) Srovnávací vzorky (chemický rozbor v příloze, tab.č.1)

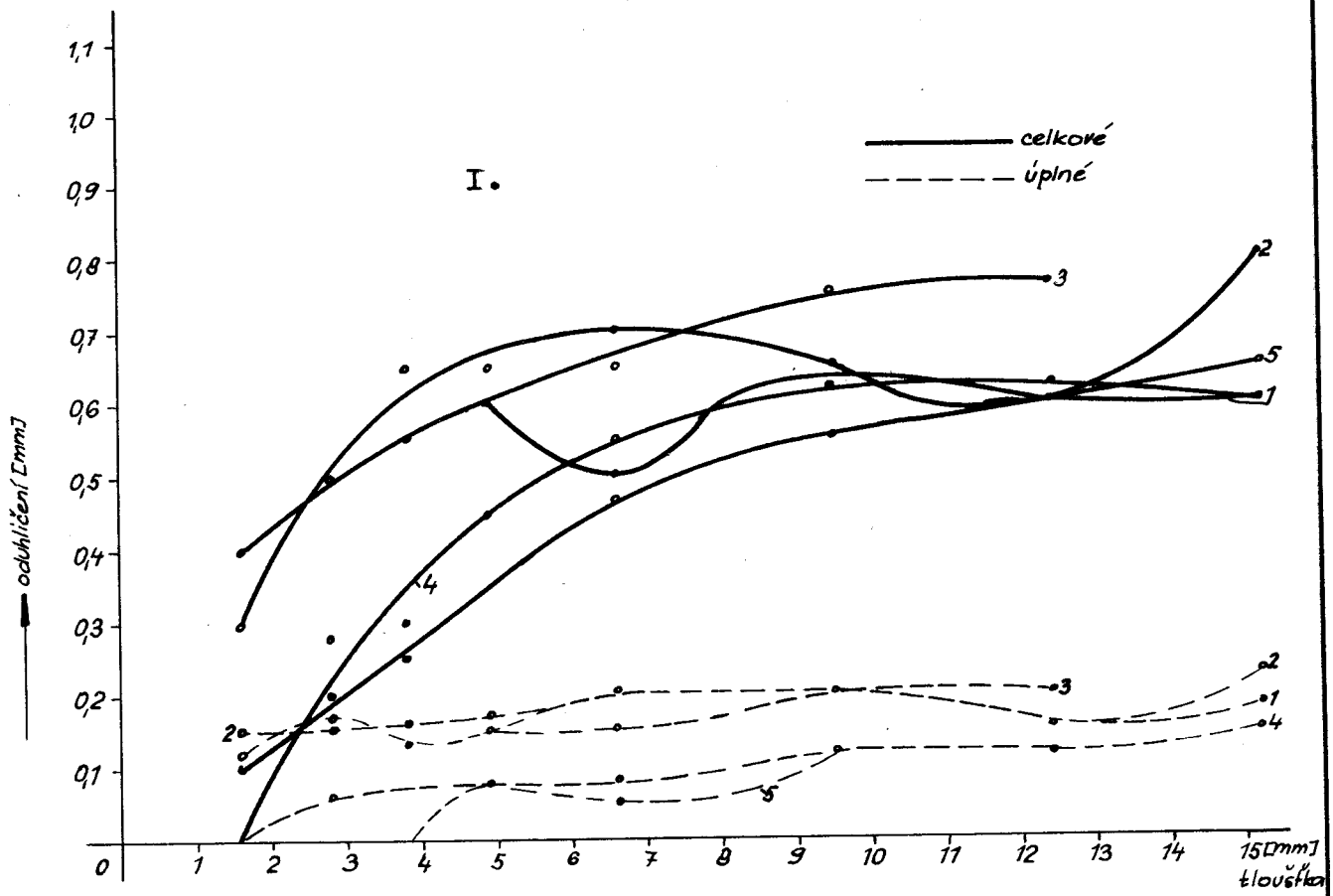
Vzorek č.	Místo měření č.	I Oduhličení úplné mm	I Oduhličení celkové mm	II Oduhličení úplné mm	II Oduhličení celkové mm
7/1	1	-	0,21	-	0,23
	2	-	0,40	-	0,35
	3	-	0,60	-	0,50
	4	-	0,60	-	0,60
	5	0,05	0,65	-	0,65
	6	0,10	0,76	-	0,75
	7	0,12	0,85	0,05	0,85
	8	0,15	1,00		
8/2	1	-	0,20	-	0,16
	2	-	0,28	-	0,25
	3	-	0,37	-	0,40
	4	-	0,43	-	0,40
	5	-	0,45	-	0,37
	6	-	0,50	-	0,40
	7	0,03	0,60	-	0,40
	8	0,07	0,75		

Graf č. 1

A. Holas

Závislost oduhličení na teplotě lití

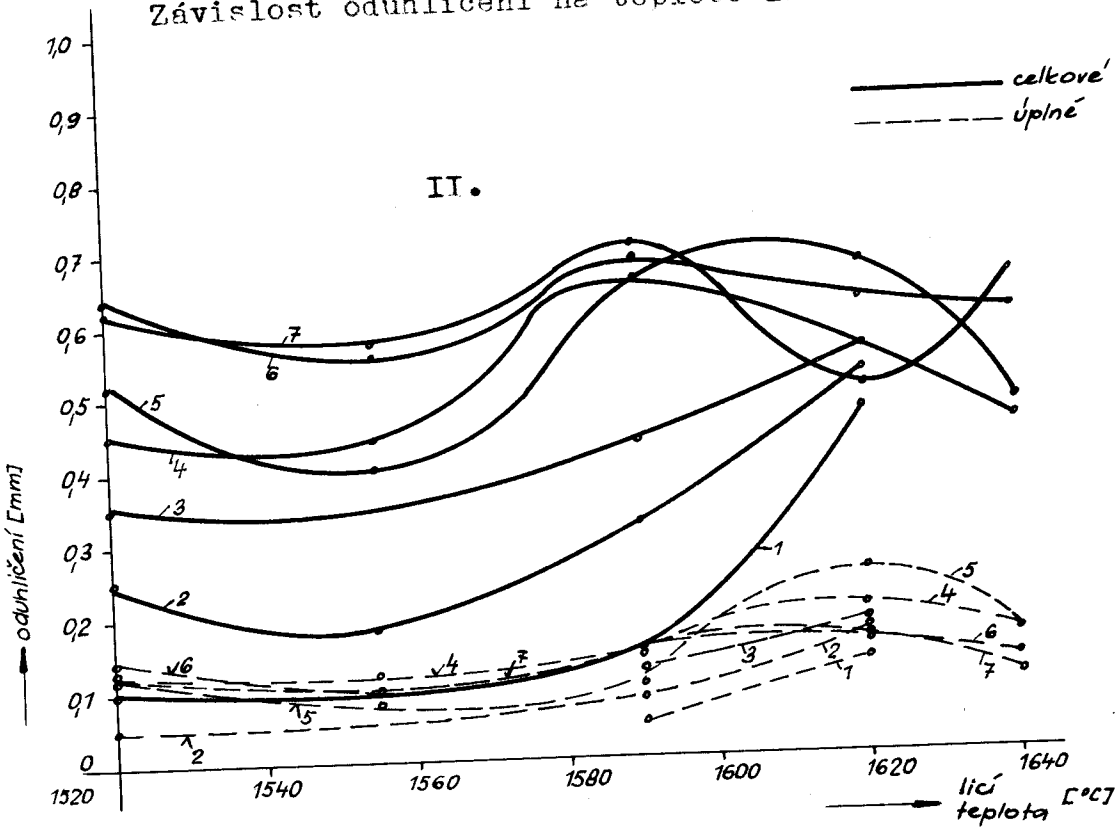


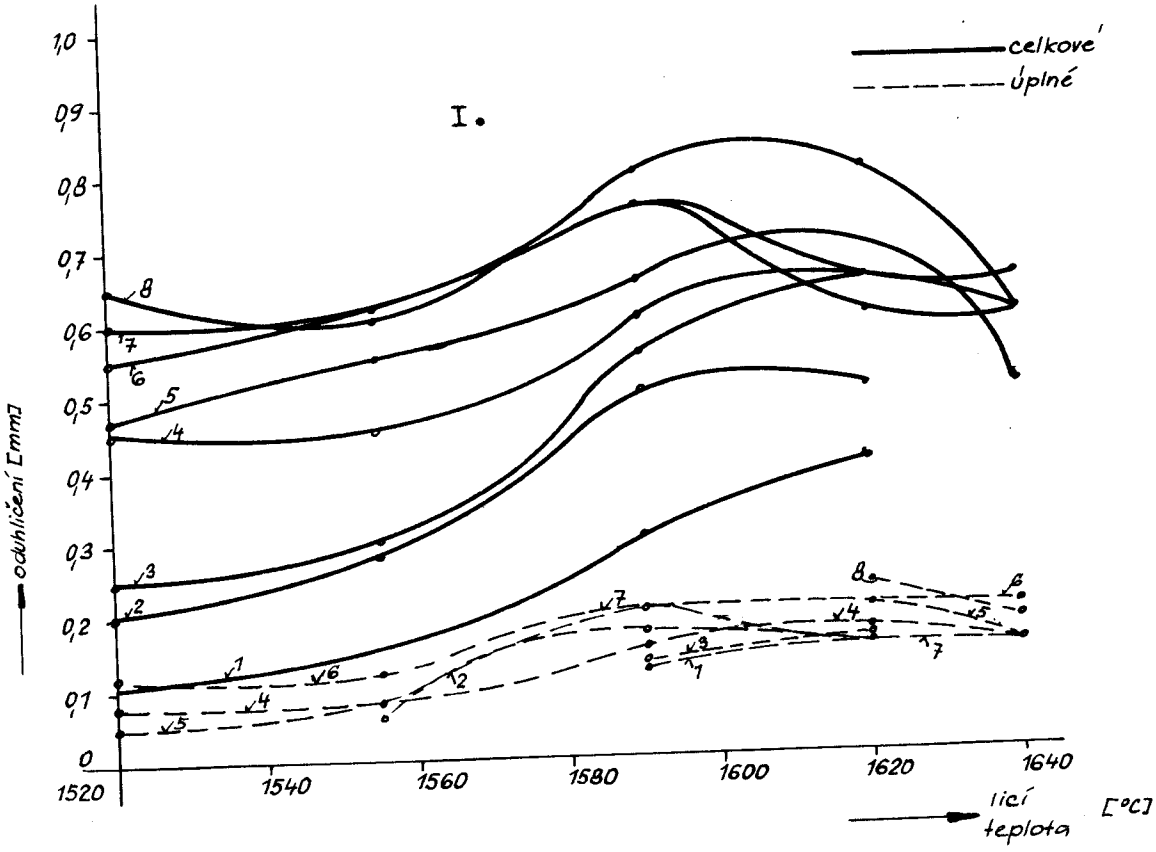


Graf č. 2

A. Holas

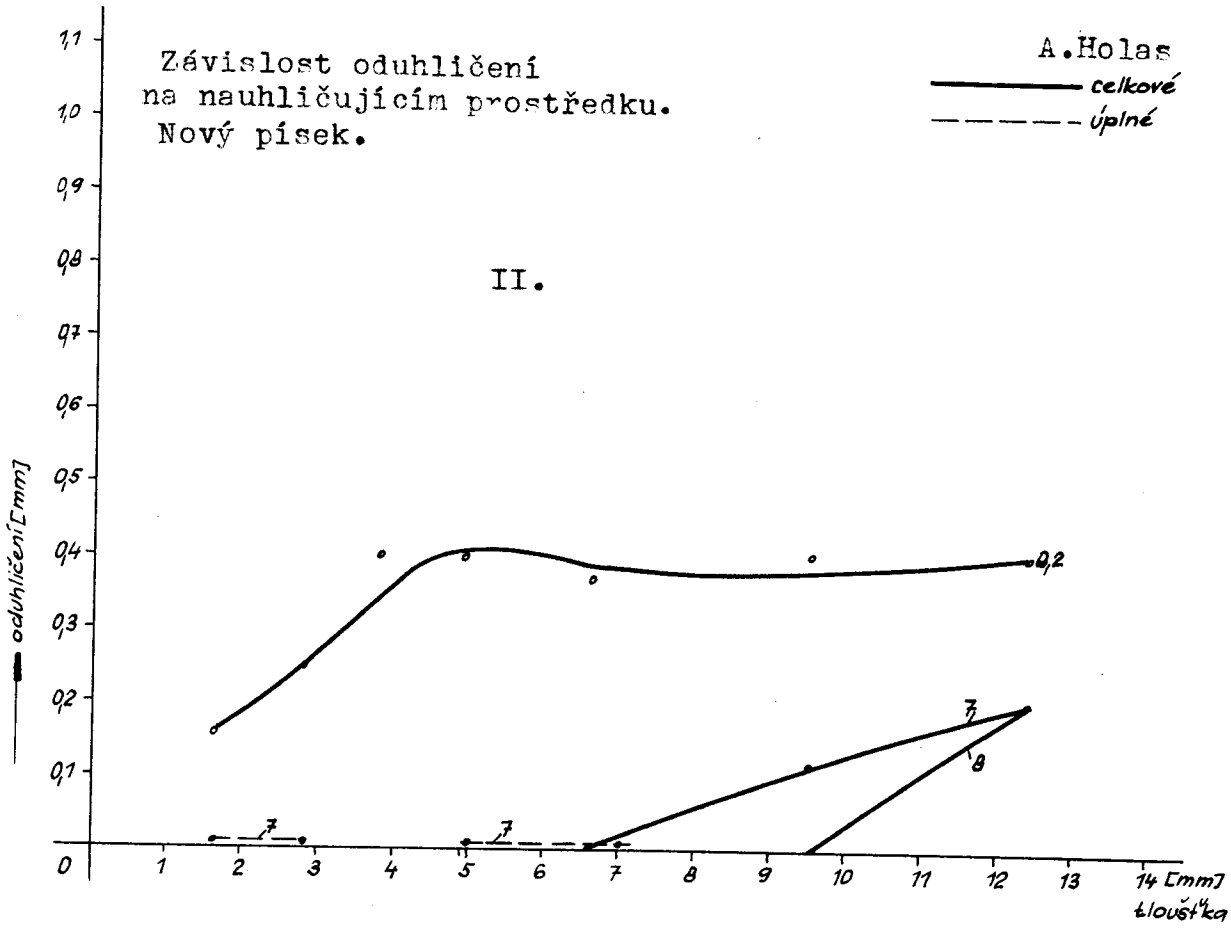
Závislost oduhličení na teplotě lití

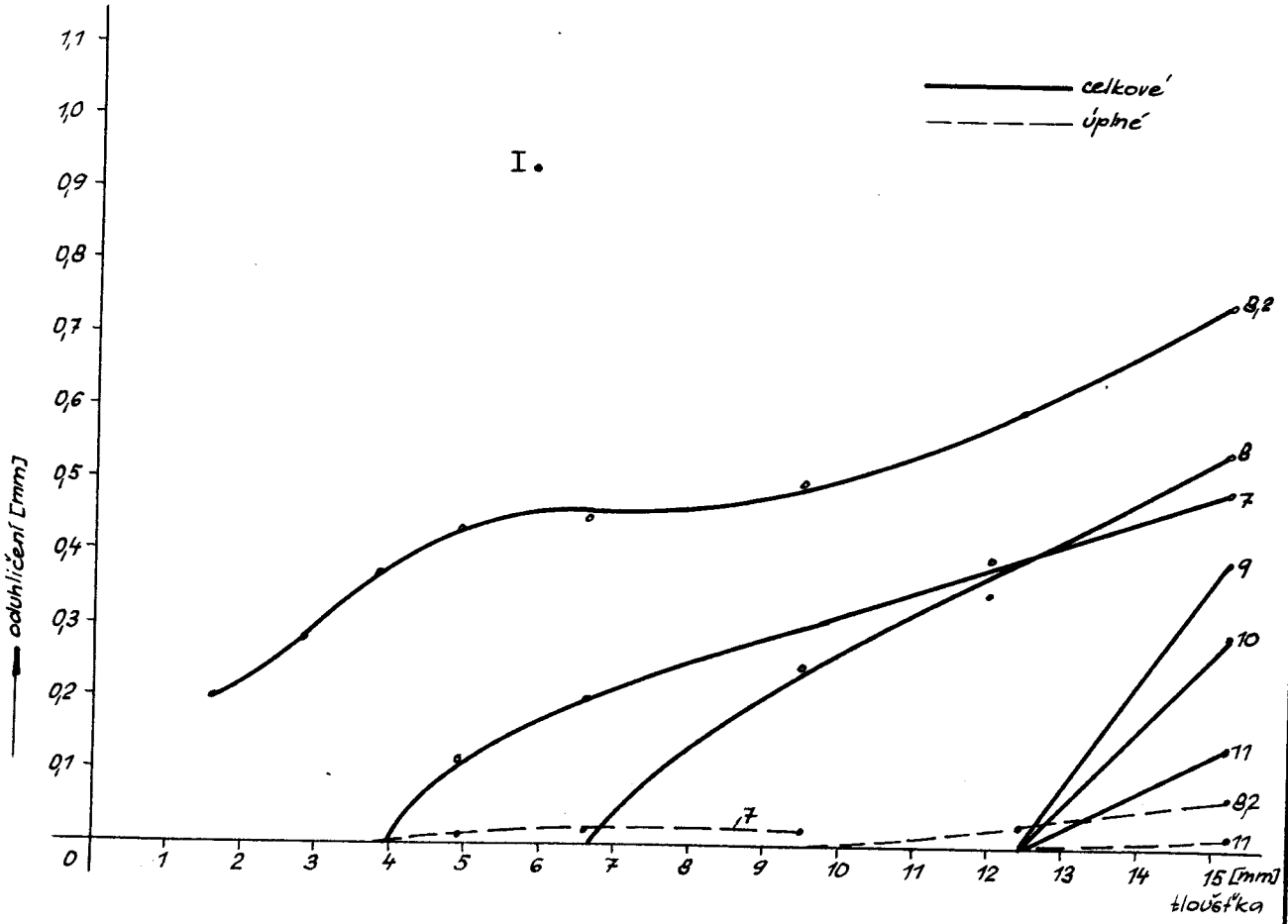




Závislost oduhličení
na nauhličujícím prostředku.
Nový písek.

A.Holas



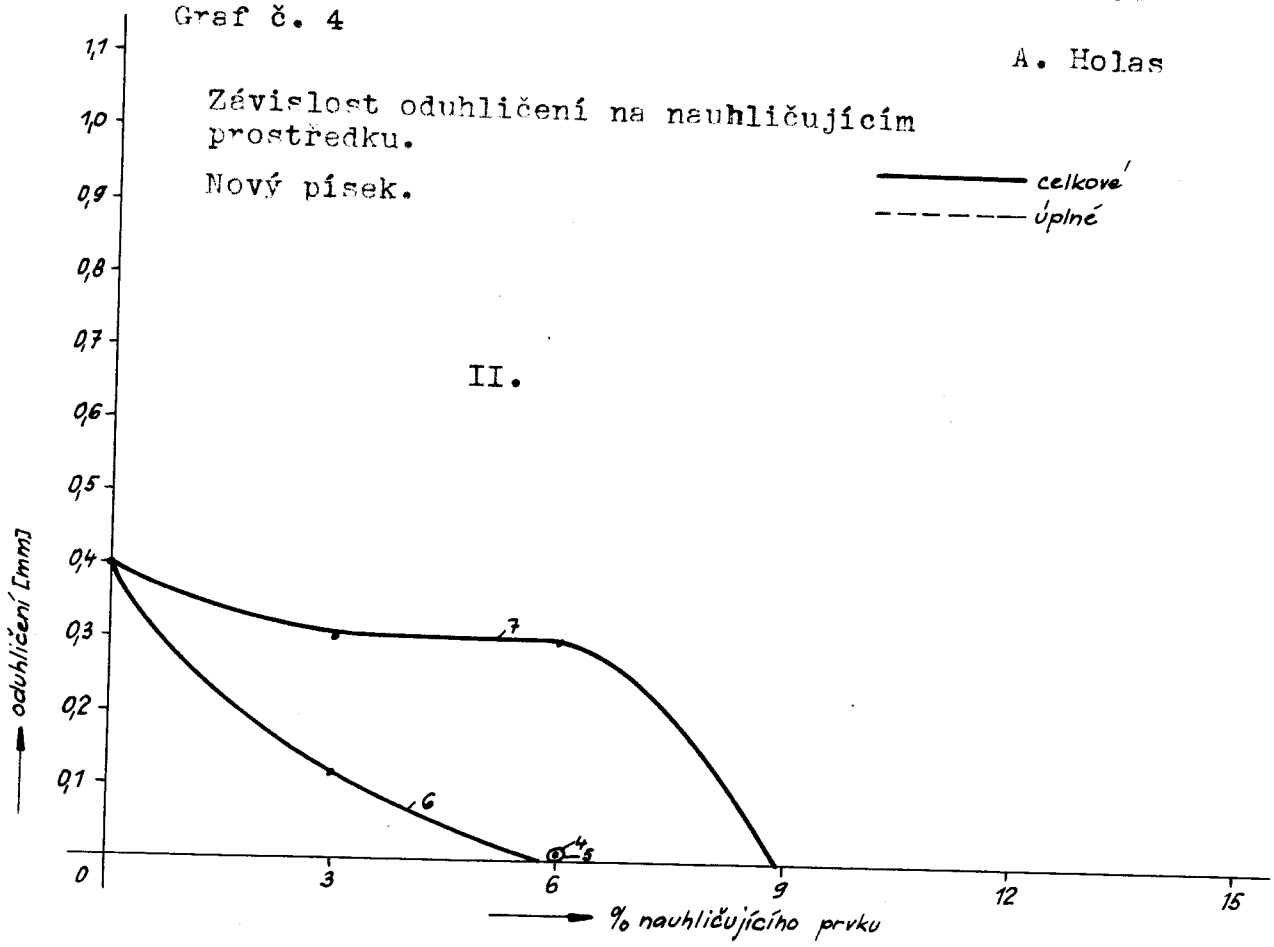


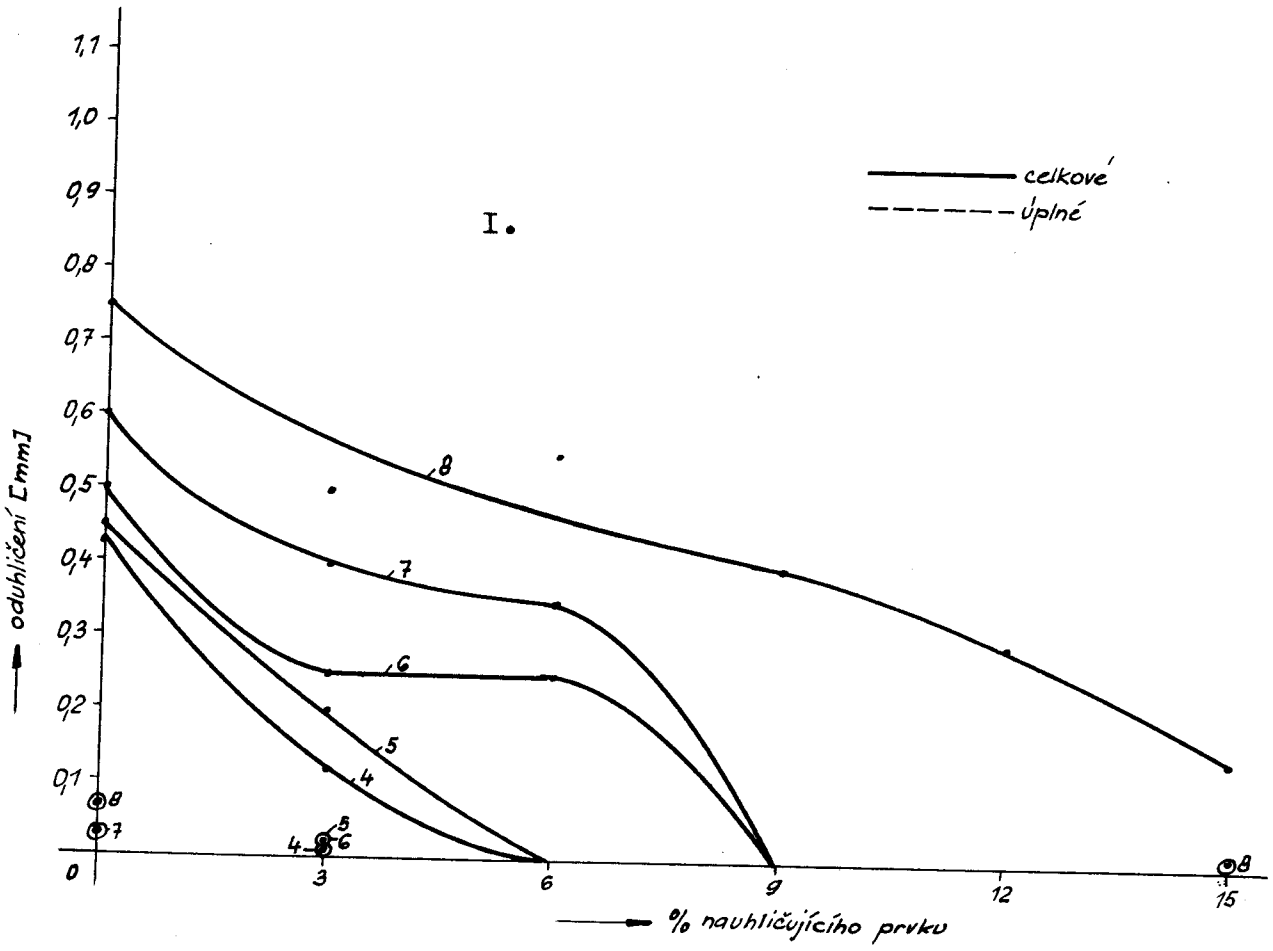
Graf č. 4

A. Holas

Závislost oduhličení na nauhličujícím prostředku.

Nový písek.

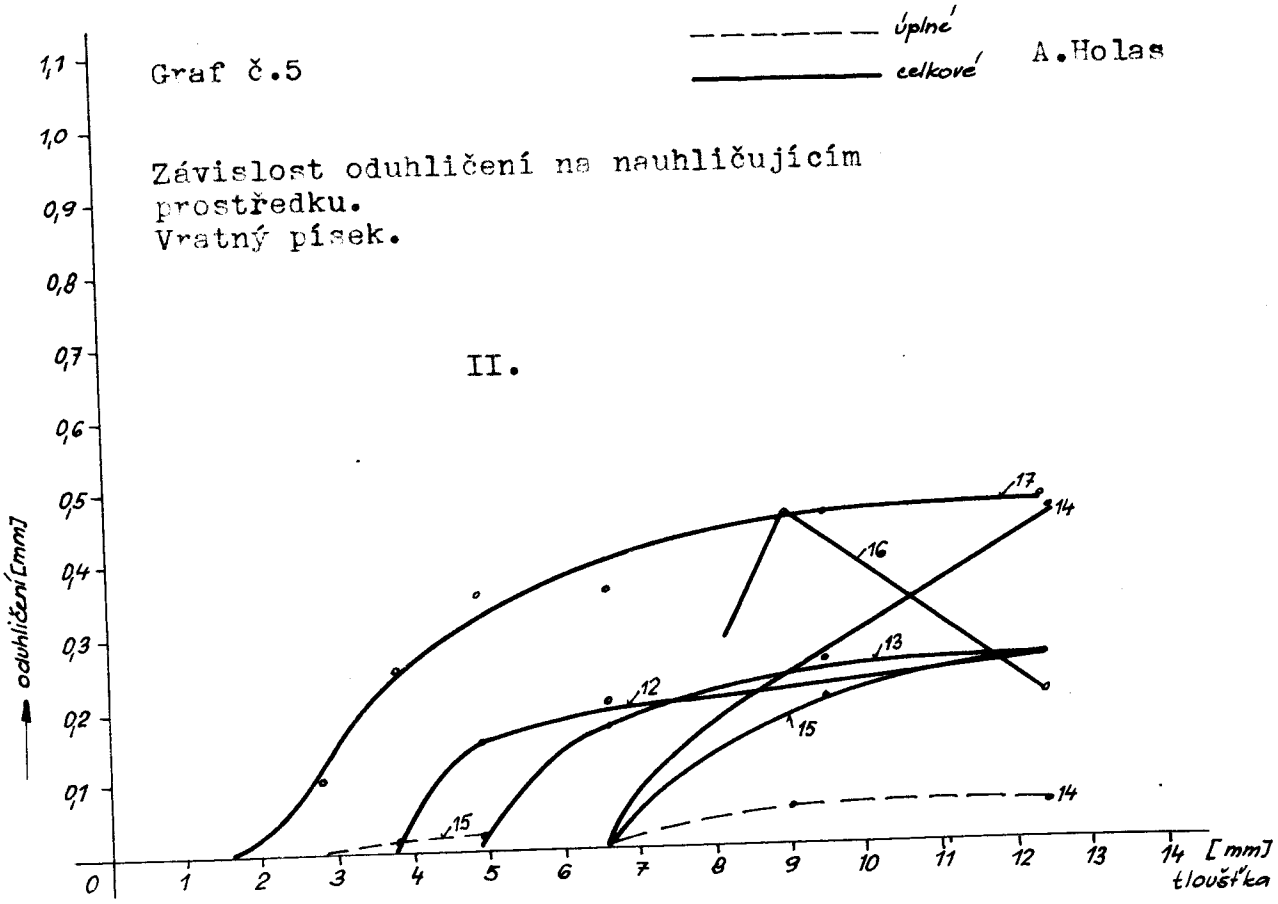


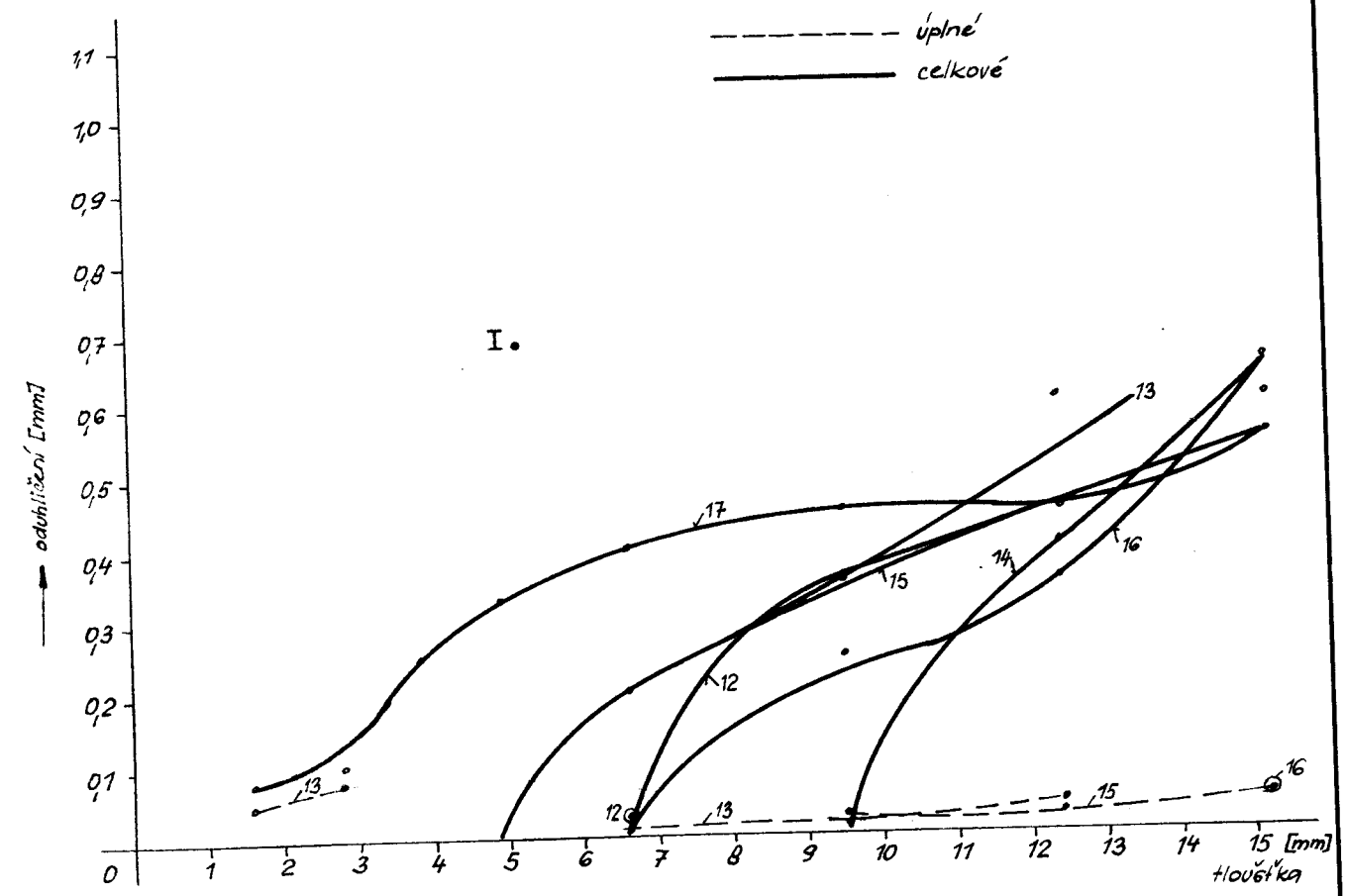


Graf č.5

A.Holas

Závislost oduhličení na nauhličujícím prostředku.
Vratný písek.

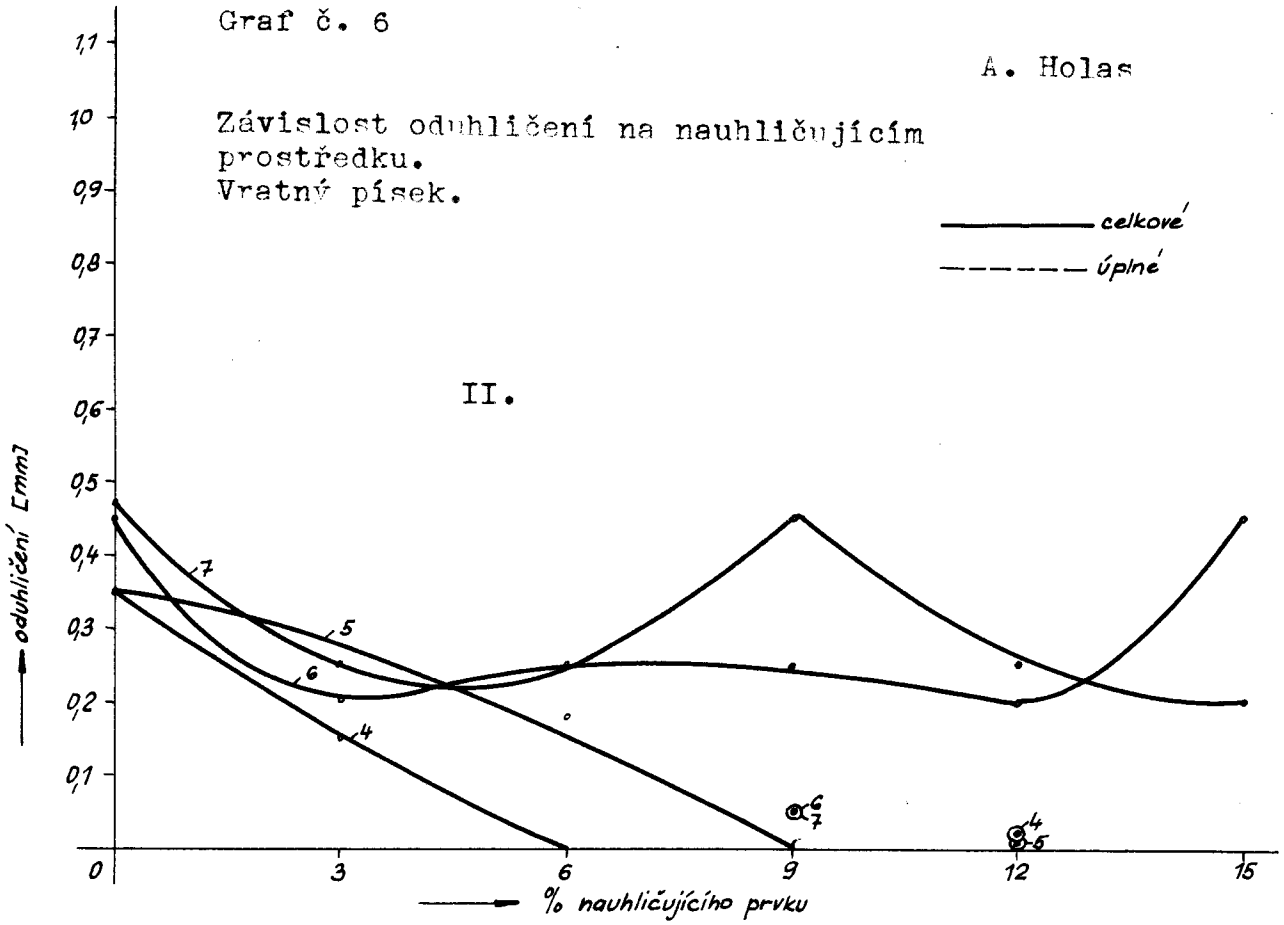


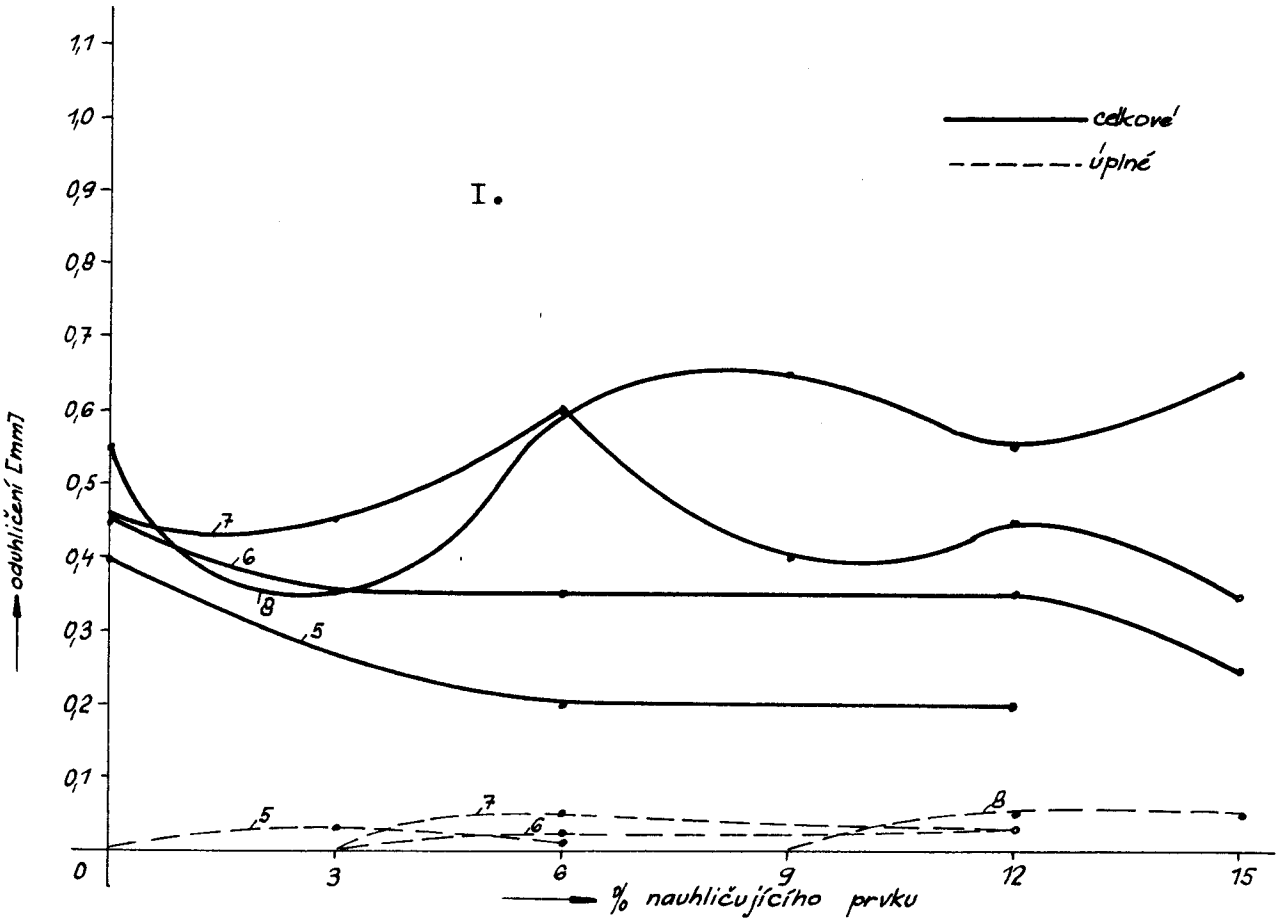


Graf č. 6

A. Holas

Závislost oduhličení na nauhličujícím prostředku.
Vratný písek.

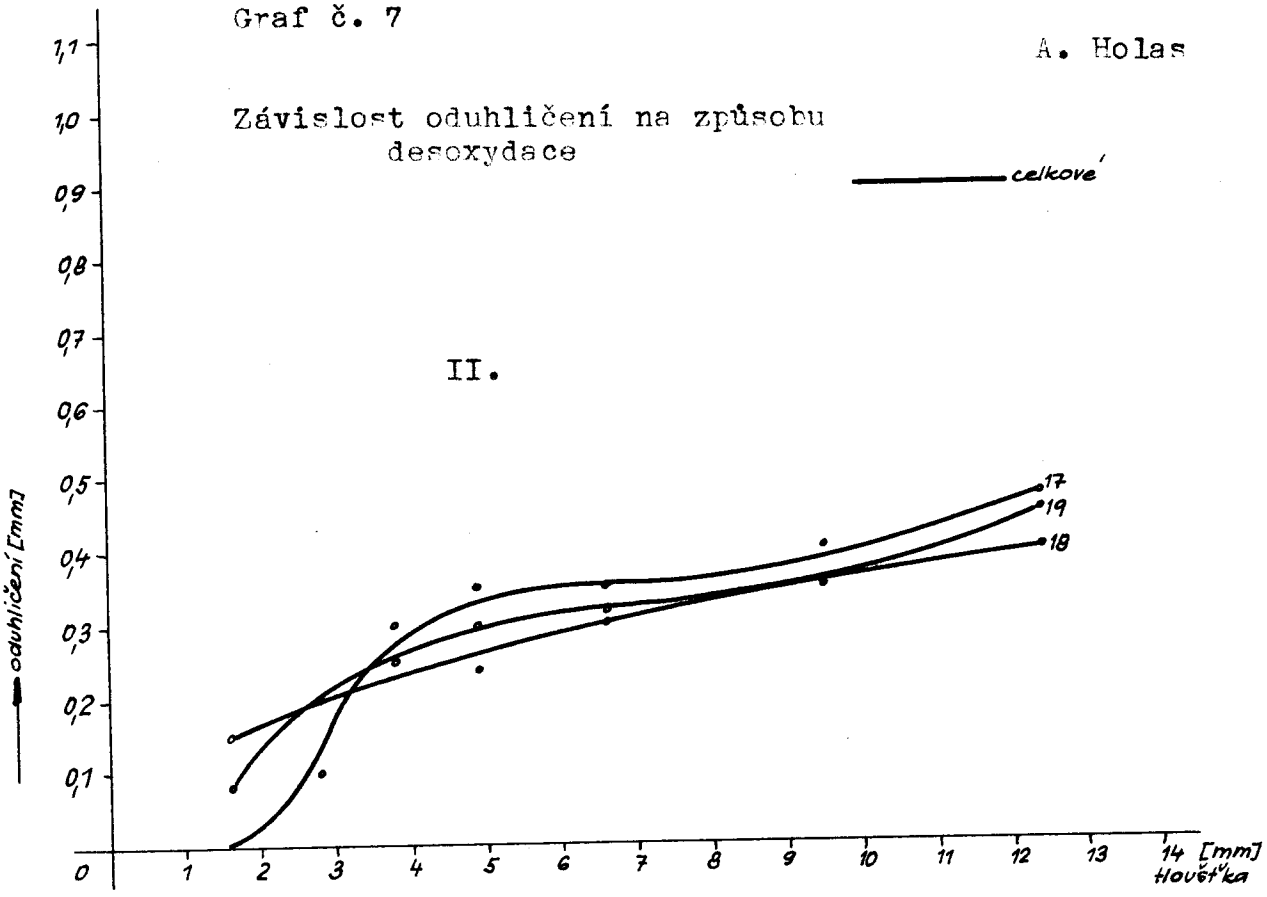


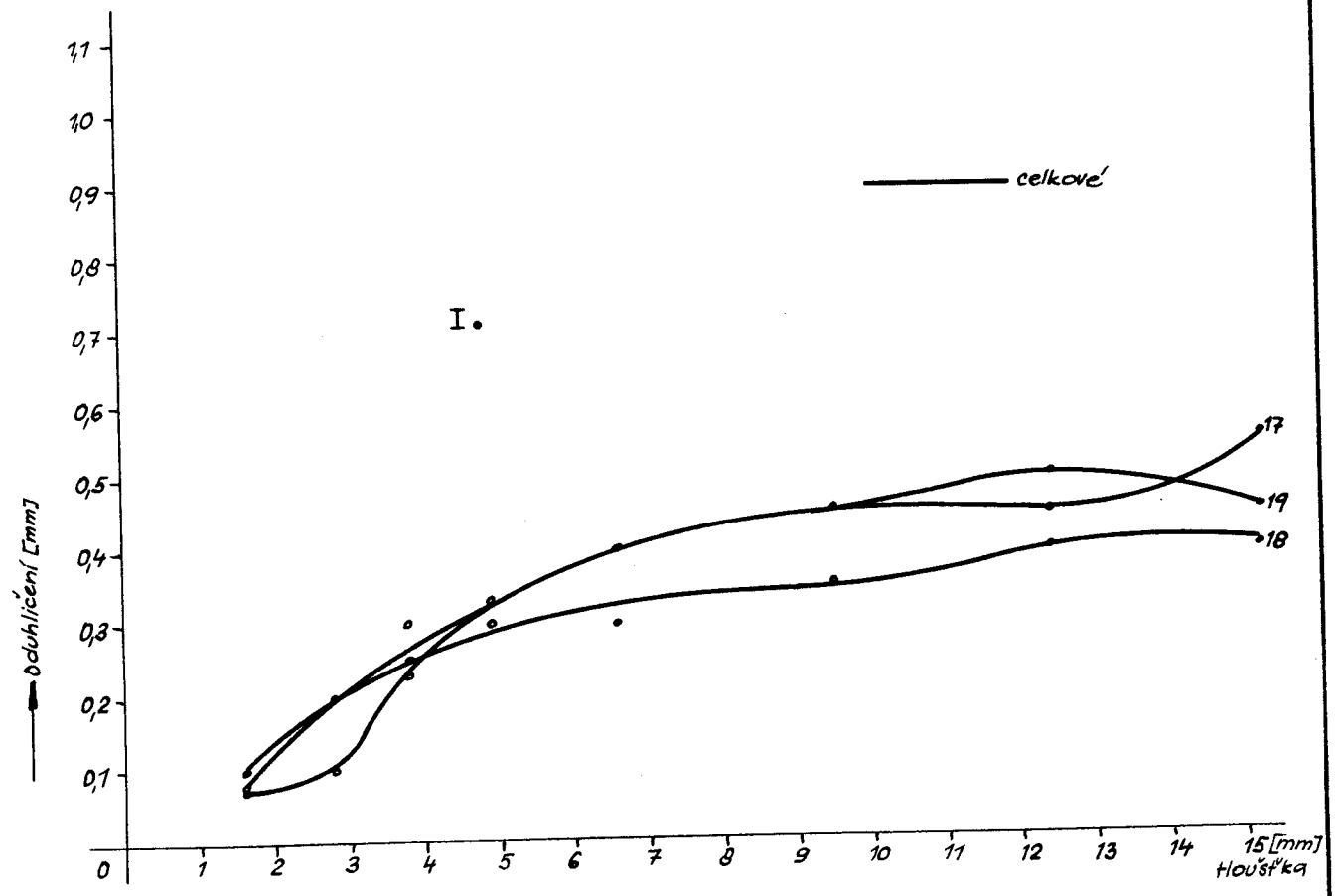


Graf č. 7

A. Holas

Závislost oduhličení na způsobu desoxydace

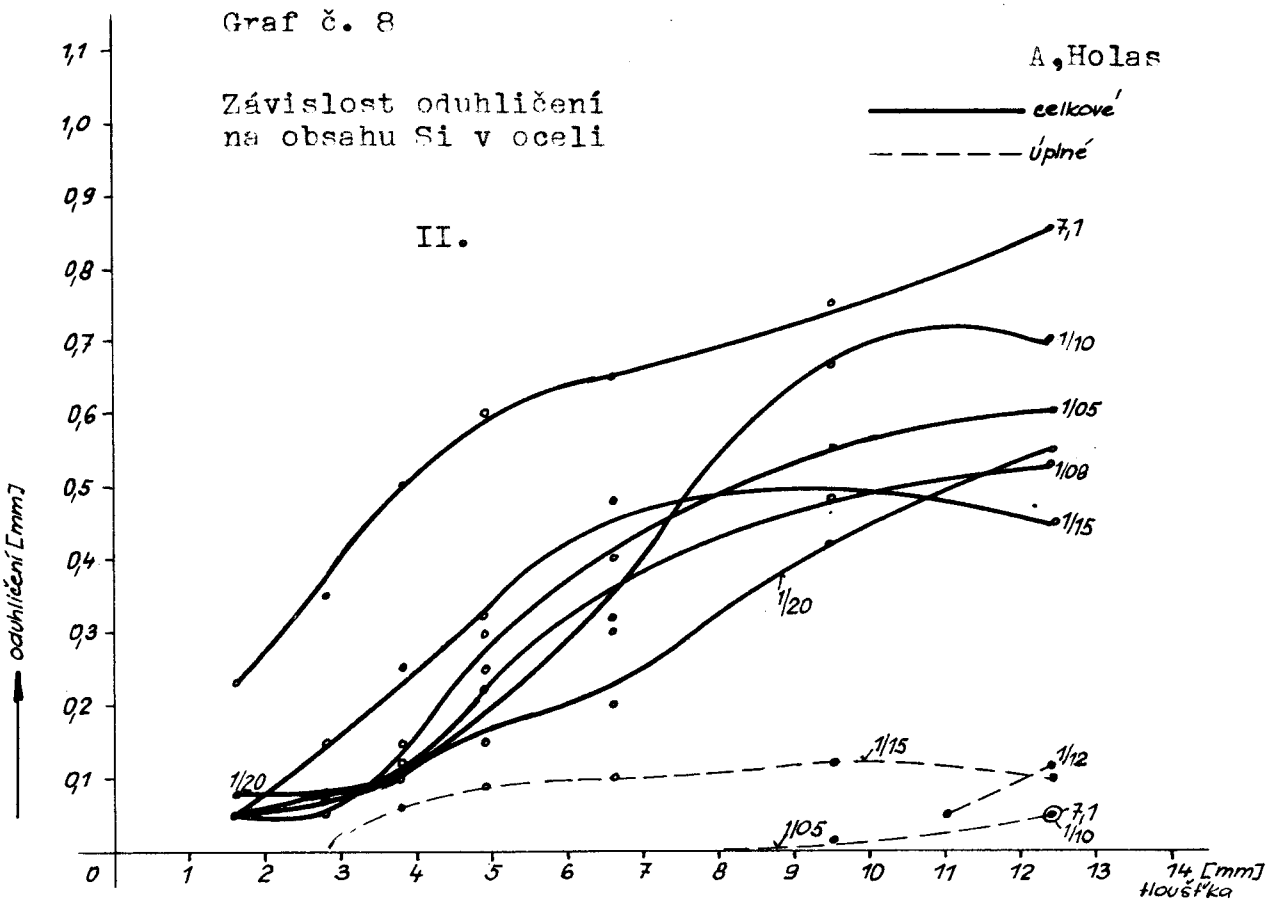


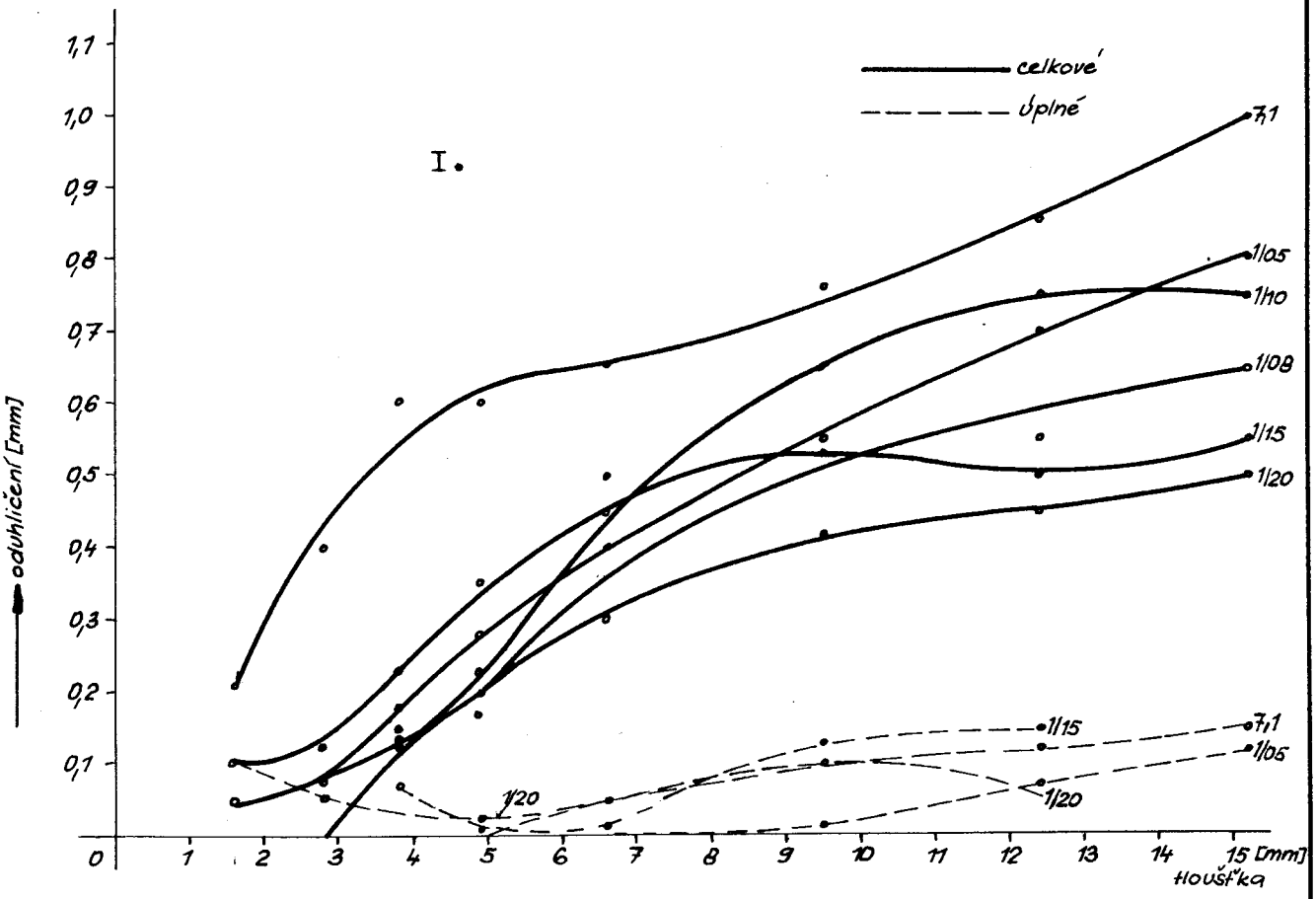


Graf č. 8

A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Si v oceli

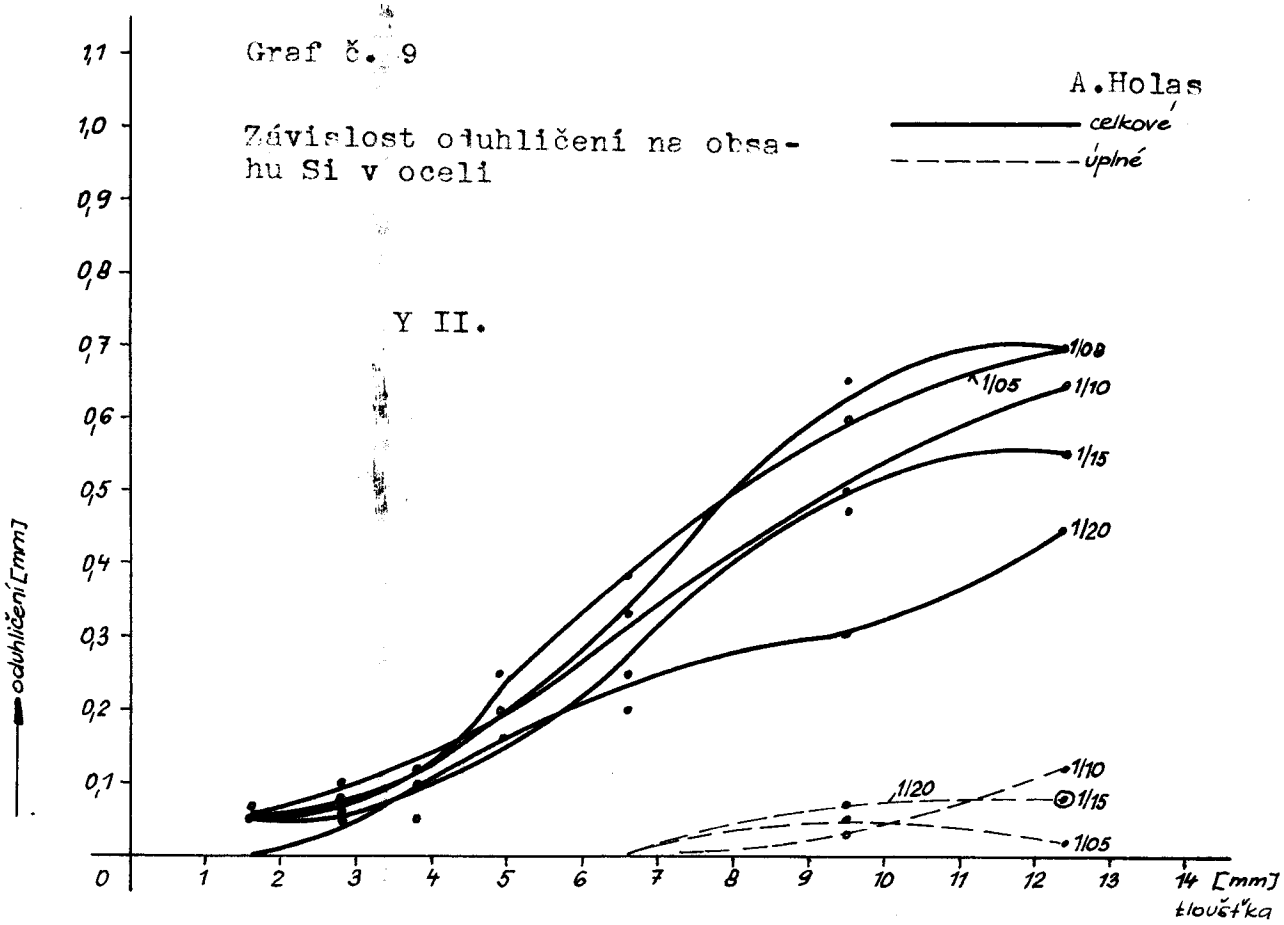


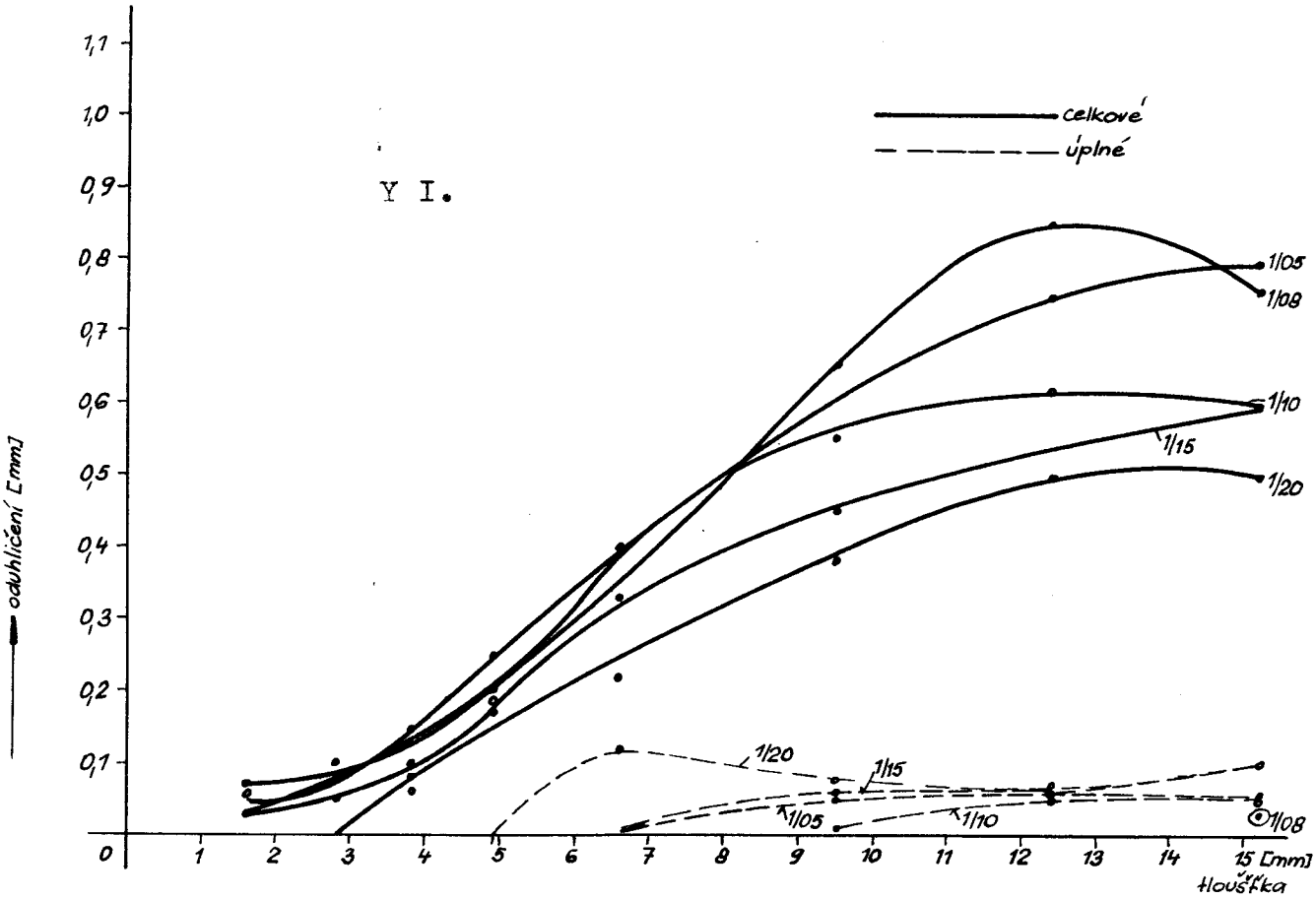


Graf č. 9

A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Si v oceli



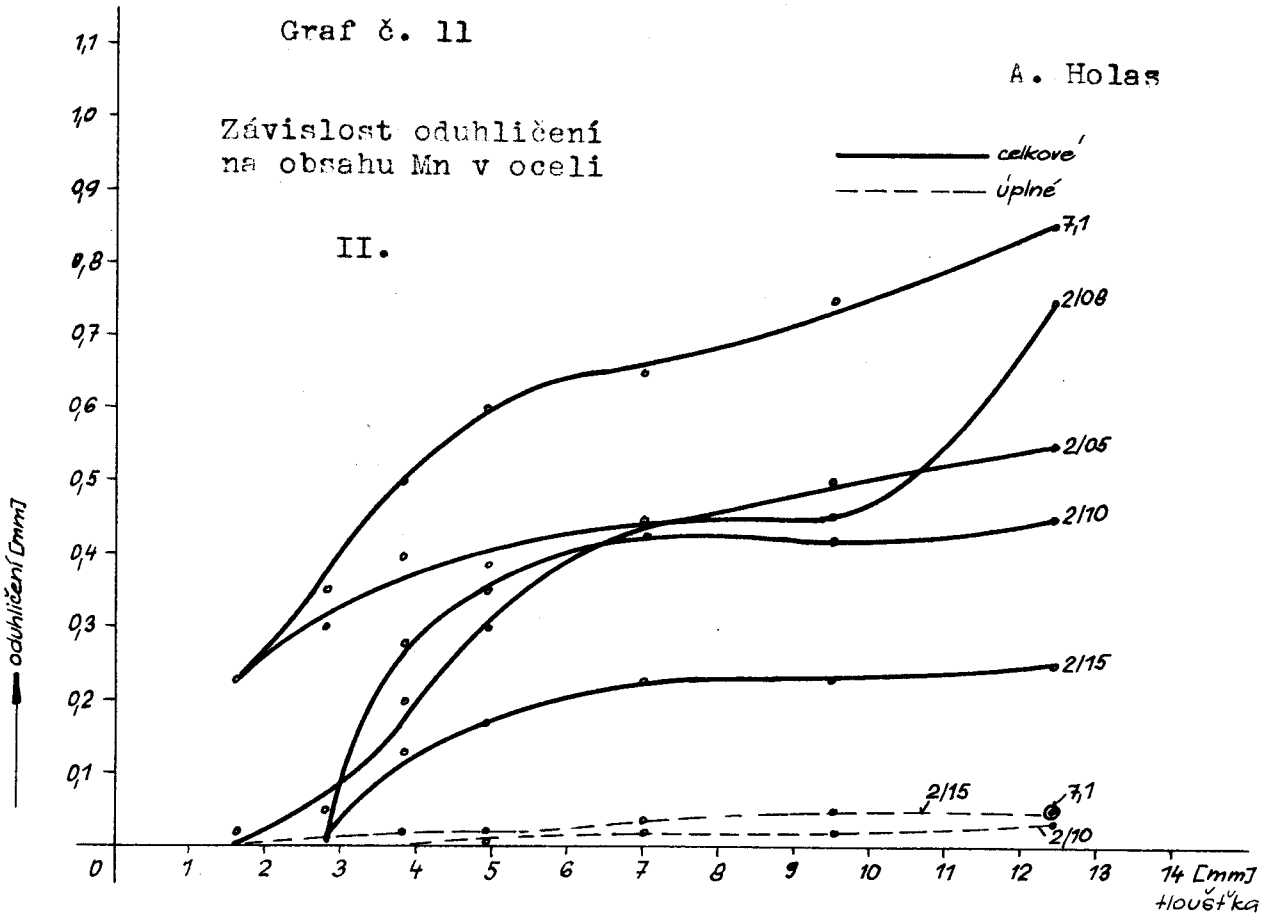


Graf č. 11

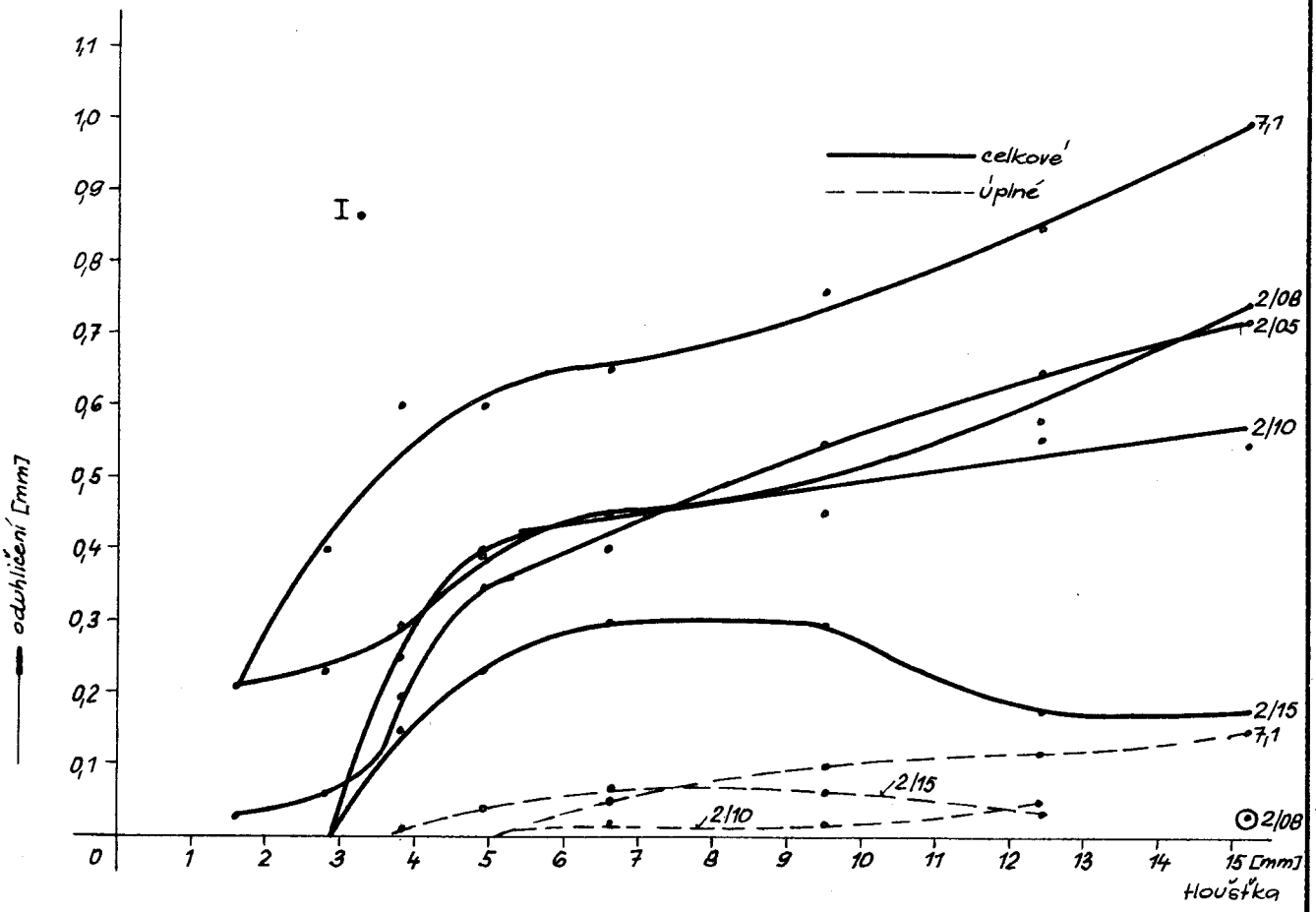
A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Mn v oceli

II.

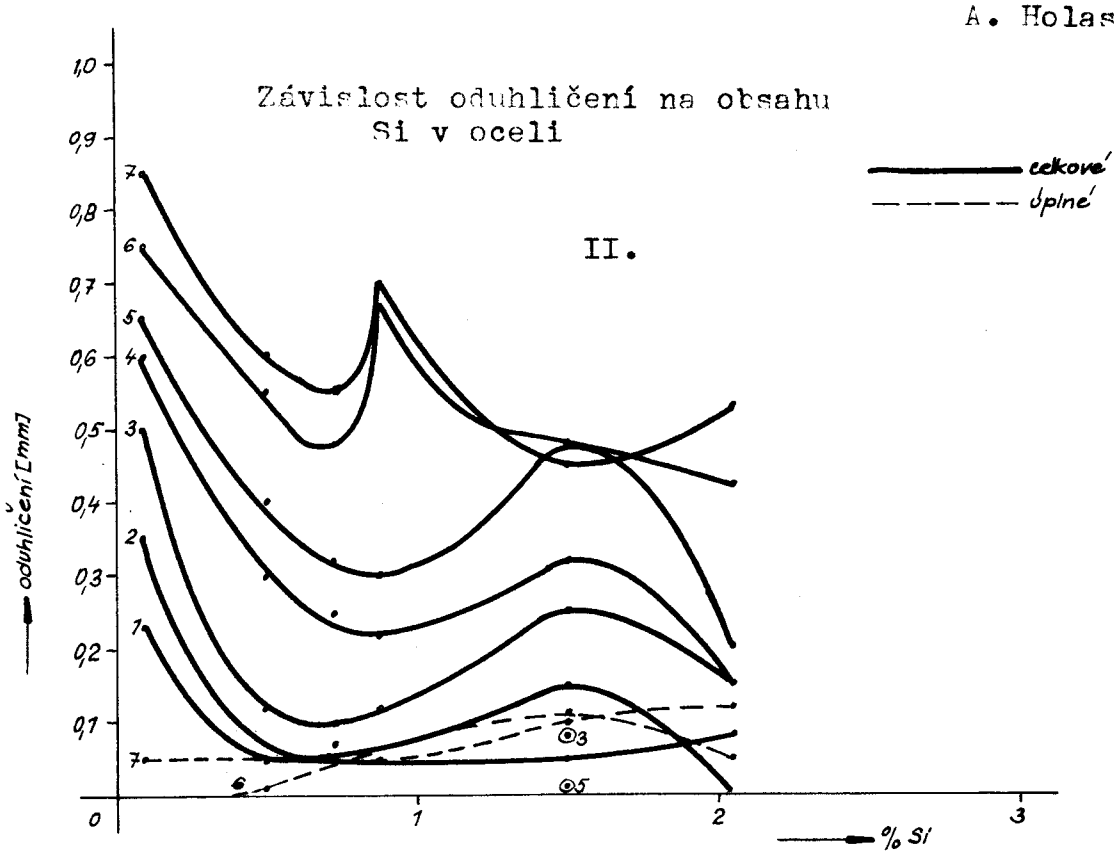


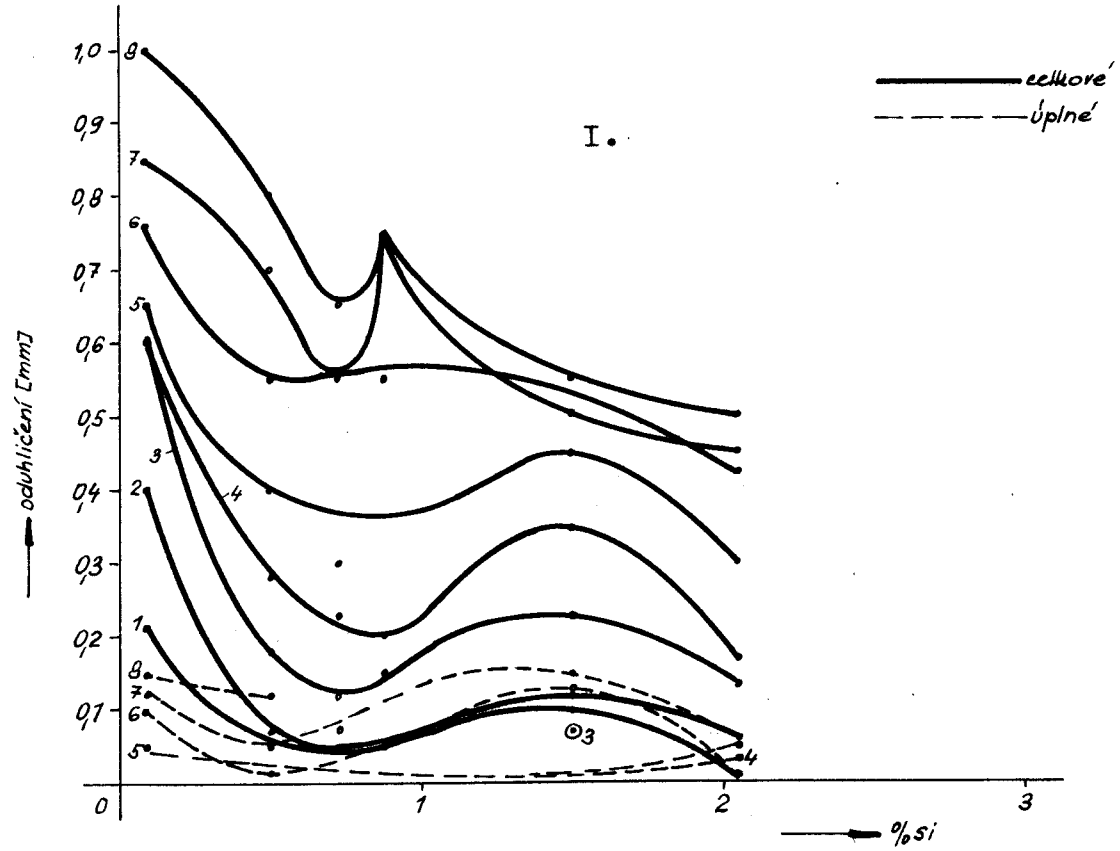
I.



Graf č. 10

A. Holas

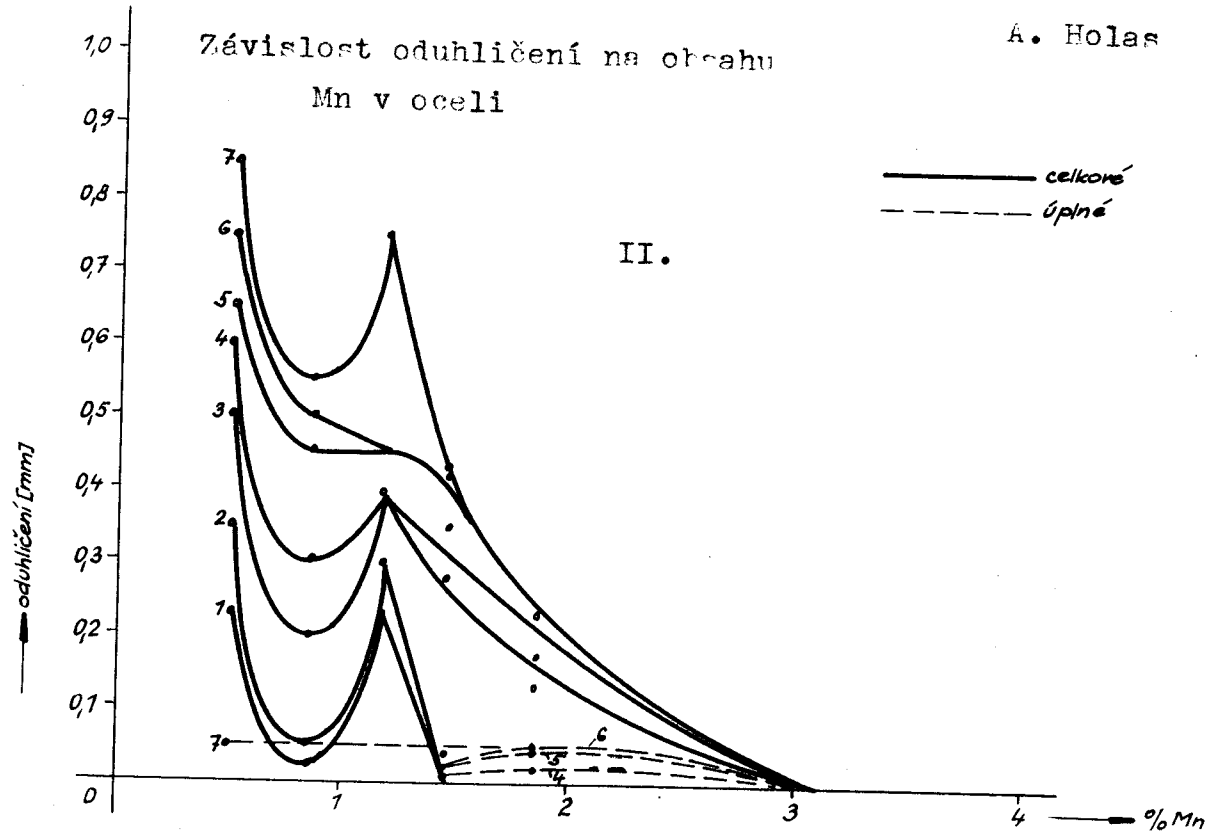


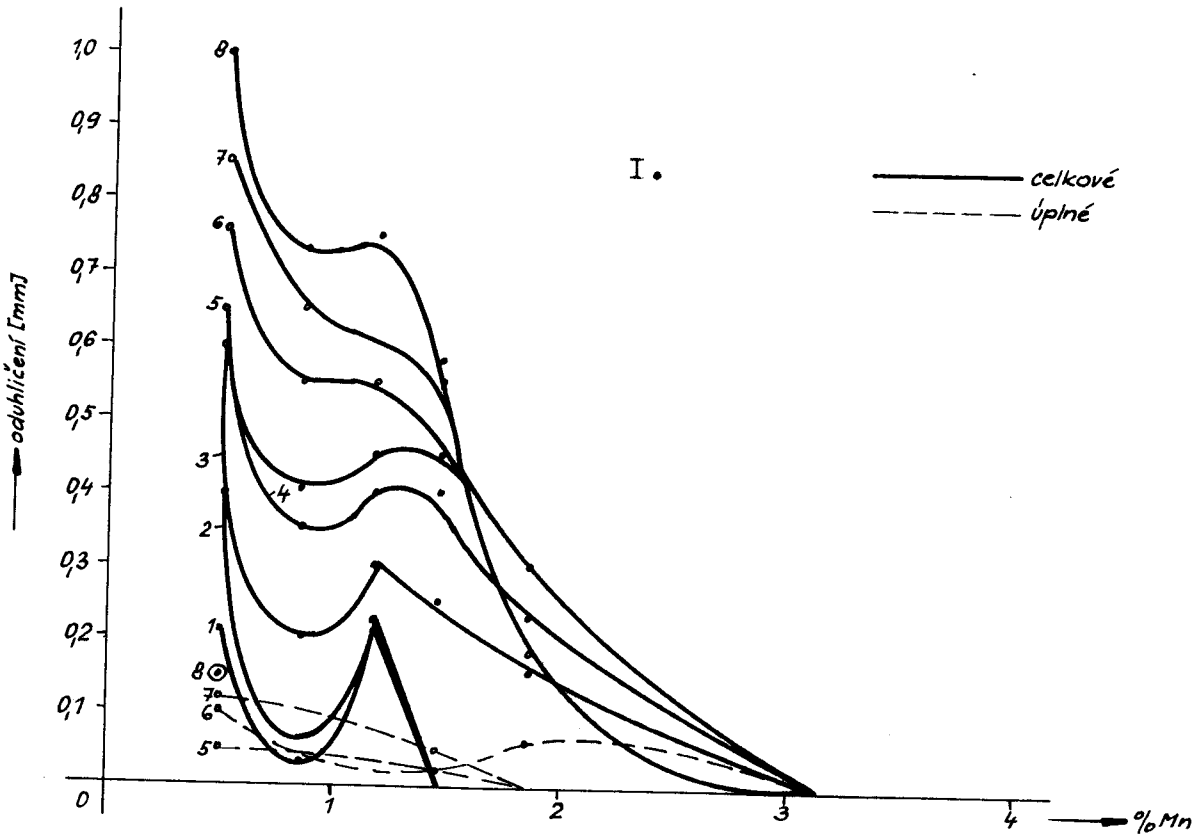


Graf č. 12

A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Mn v oceli



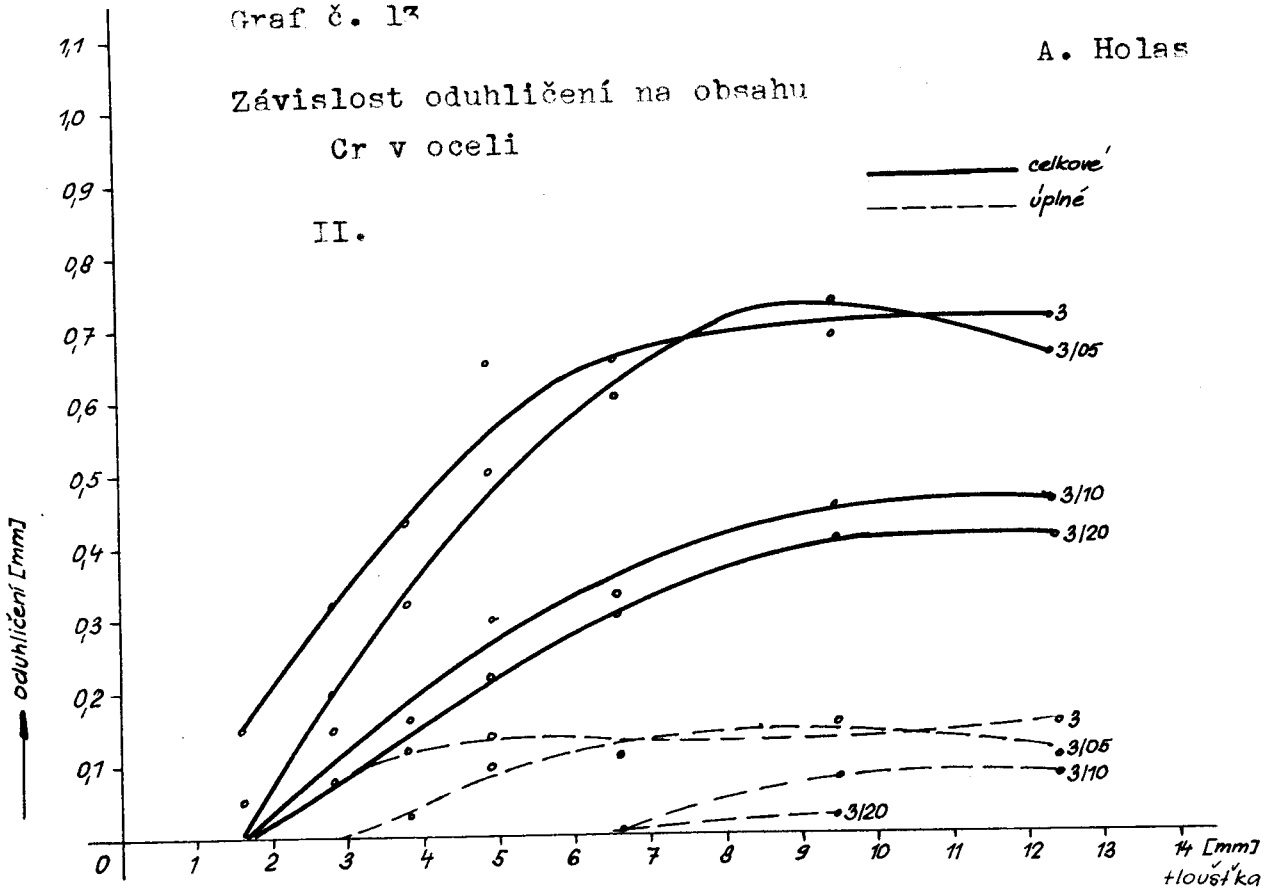


Graf č. 13

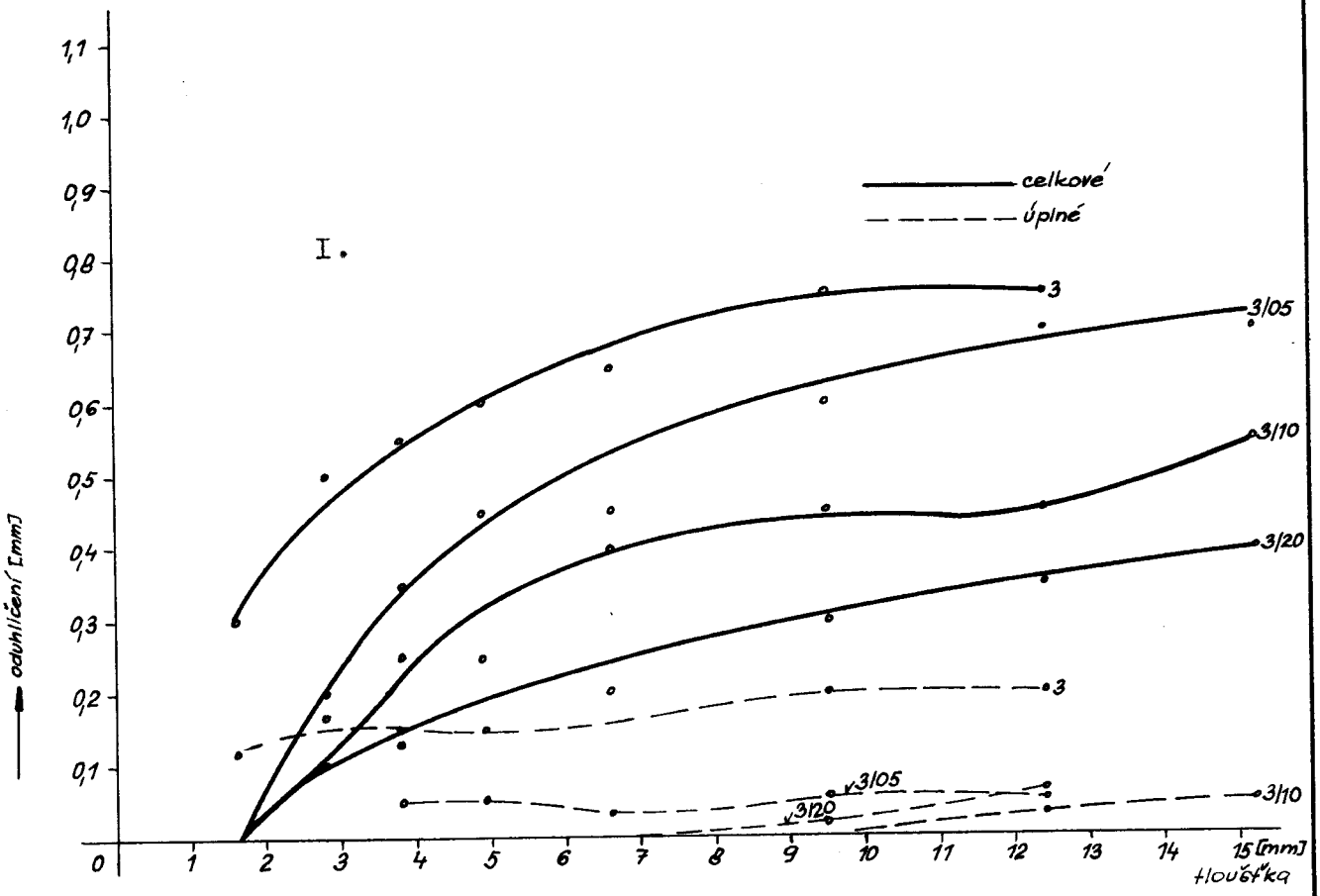
A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Cr v oceli

II.



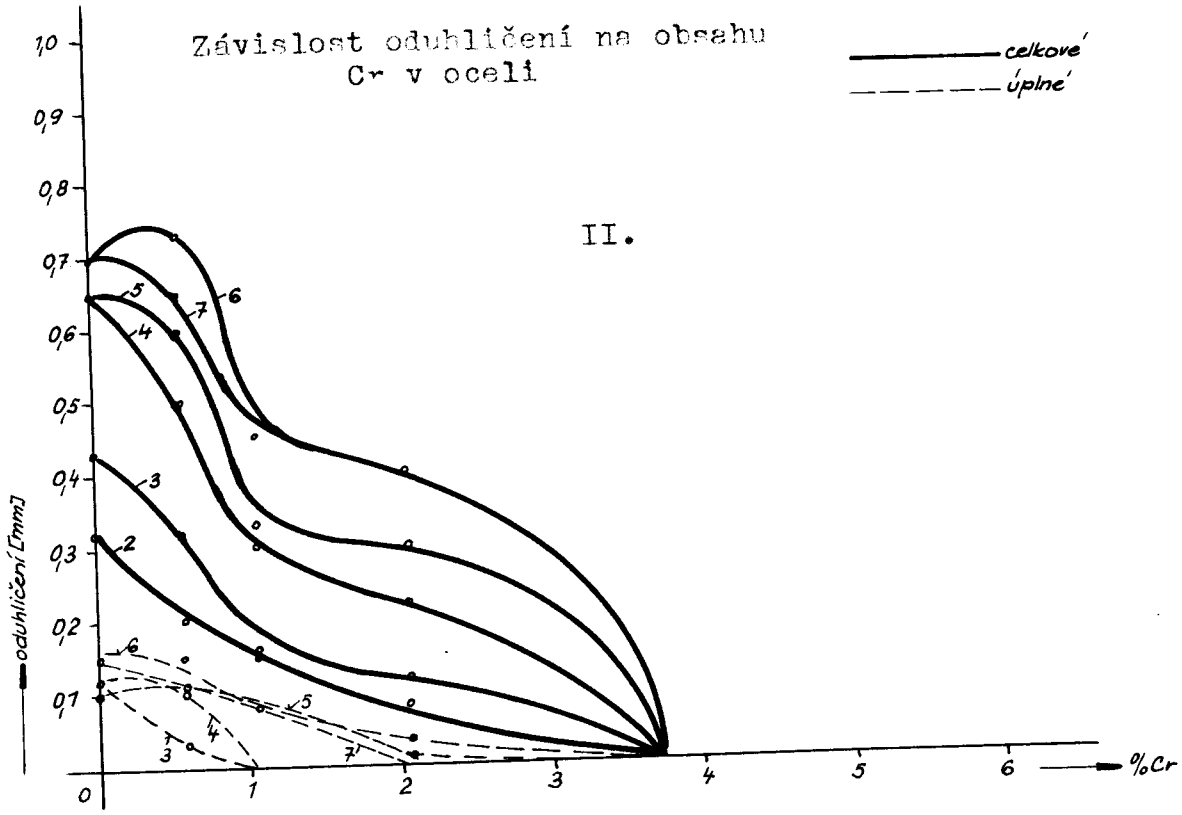
I.

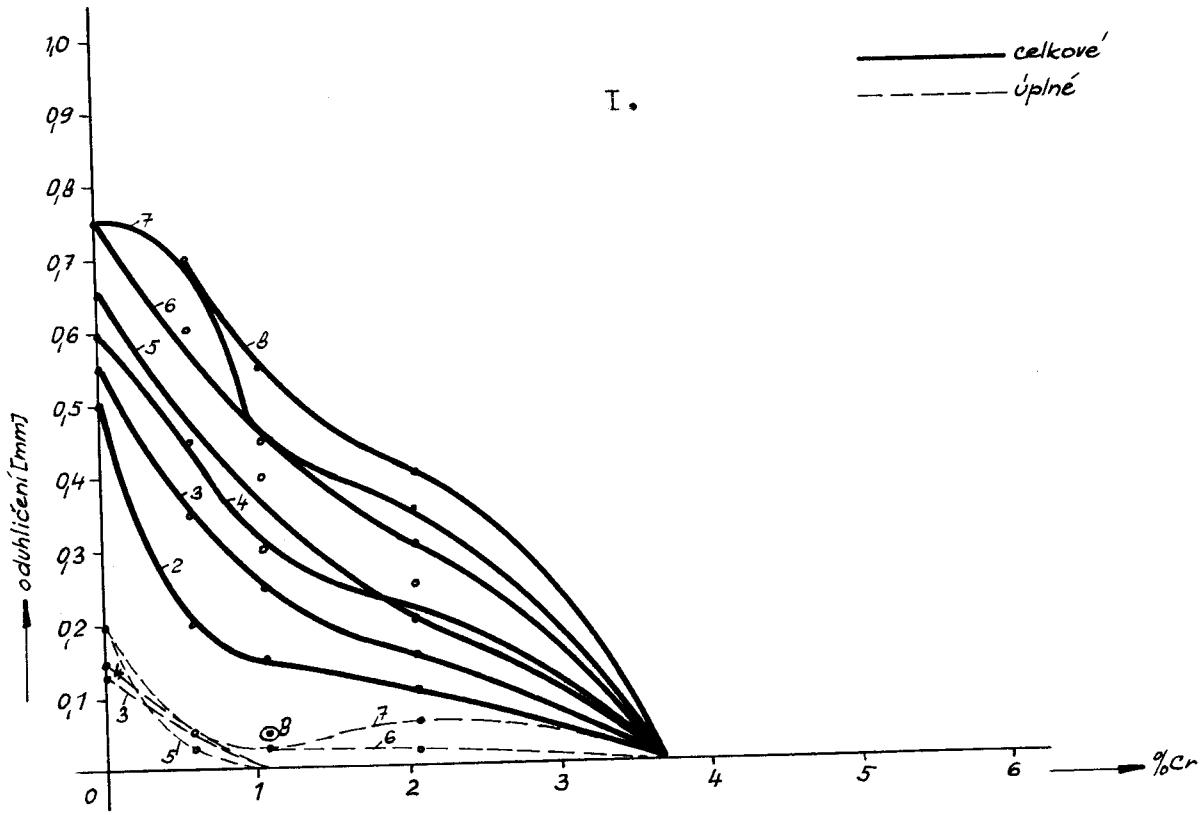


Graf č. 14

A. Holas

Závislost oduhličení na obsahu Cr v oceli

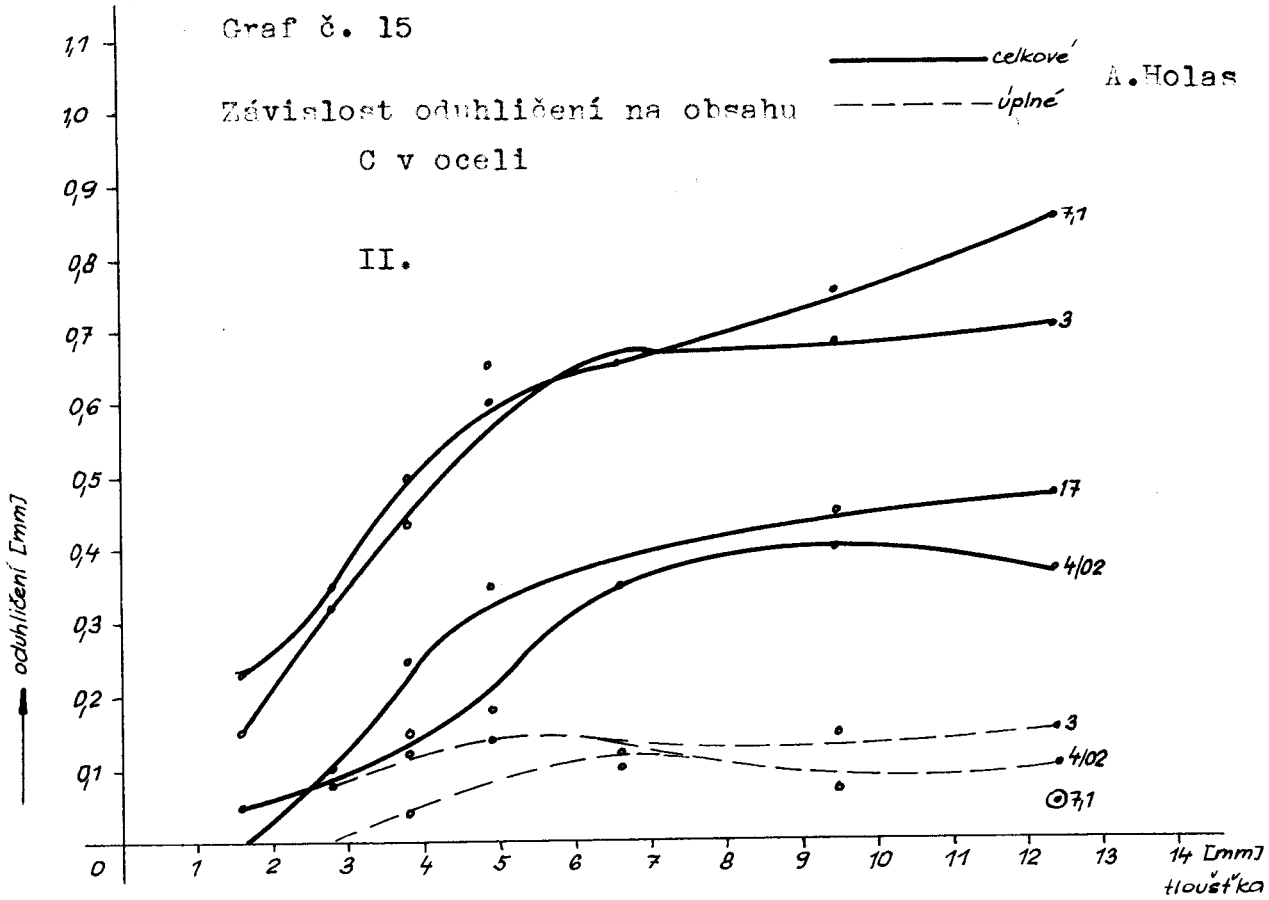


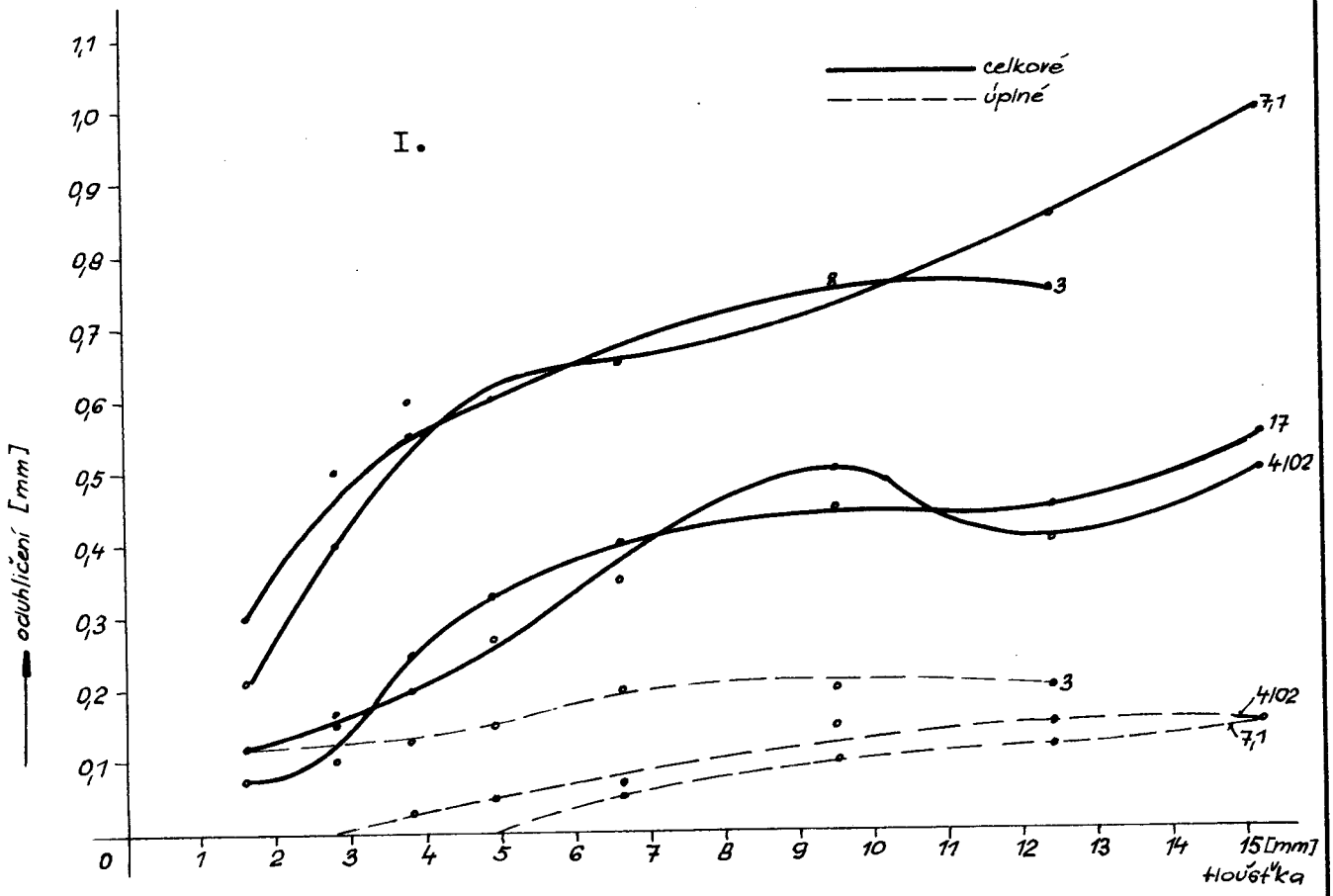


Graf č. 15

Závislost oduhličení na obsahu C v oceli

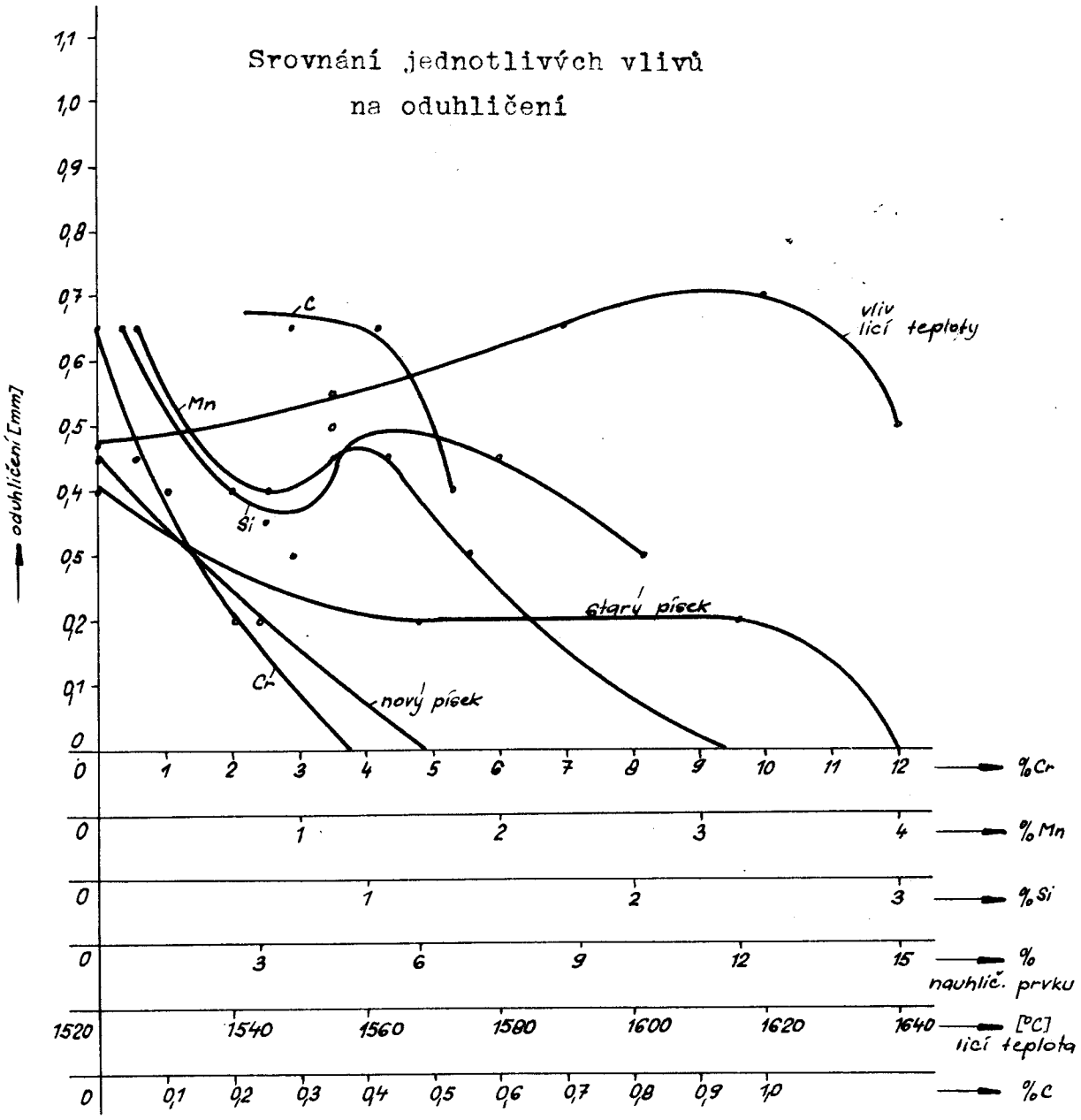
A. Holas





A. Holas

Graf č. 16



4. 6 Vyhodnocení zkoušek

Z průběhů hodnot oduhličení v grafech číslo 1-15, zobrazujících působení jednotlivých vlivů, je možno říci:

1. Postupcí teplota lití zvětšuje oduhličení. Při vyšších teplotách však v silnějších částech vzorku 1 a 2, které jsou blíže povrchu formy, dochází k poklesu oduhličení. Na těchto vzorcích však bylo pozorováno proti jiným větší okysličení. Je tedy pravděpodobné, že okysličená vrstva zmenšuje pozorovanou vrstvu oduhličení.

2. Z průběhů oduhličení na jednotlivých vzorcích je zřejmé, že oduhličení závisí rovněž na rychlosti chladnutí. Je to pozorovatelné u vzorků svisle a vodorovně / Y / zaformovaných. Vzorky Y , které rychleji chládnou, mají ve stejných průřezech menší oduhličení. Podobně je to u silných a slabých průřezů, jak je dobře vidět na vzorcích č. 110, zobrazených v příloze na obr. č.1.

3. Není rozdílu mezi vzorky desoxydovanými Al, Si a Mn.

4. Cr a Mn v množství přibližně od 3 % úplně odstraňují oduhličení. Zatím co u Cr oduhličení klesá s rostoucím obsahem pravidelně, u Mn se po počátečním poklesu, v rozmezí 0,8 - 1,5 % Mn oduhličení nemění. Teprve při větších obsazích rychle klesá a při 3 % Mn je rovno nule. Průběh hodnot je ručen vzorkem číslo 2 / 08 s obsahem 1,16 % Mn. Tento byl při úklidu slévárny nolit a správně by neměl být vyhodnocován.

5. Si v zkoušeném rozsahu oduhličení nijak podstatně neovlivňuje. Růst úplného oduhličení s rostoucím obsahem Si svědčí o tom, že zřejmě oduhličení probíhá intensivně i za nižších teplot, kdy rychlost

difuze je menší. Je to dobře vidět na vzorku 1/20, kde v jeho nejtenčí části je celkové oduhličení rovno úplnému, s ostrým přechodem mezi oduhličenou a neoduhličenou částí. Fotografie jednotlivých charakteristických struktur vzorků jsou na str. 73-75.

6. Vliv uhlíku není možné vyhodnotit. Byly použity vzorky z různých taveb o značně rozdílném složení, zvlášť velký rozdíl je v obsahu Mn. Z názorů vyplývá, že dva vzorky, které mají téměř shodný obsah uhlíku , by měly mít i stejné oduhličení. U dvou vzorků se značně rozdílným obsahem uhlíku, ale s téměř shodným obsahem Mn a Si, je oduhličení stejné. Z toho plyne, že vliv obsahu C ,v poměru k jiným prvkům, není velký.

7. Dobré výsledky dává skořepina odlitá v zásypu obsahujícím nauhličující prostředek. Při jeho obsahu 6-9 %, podle druhu použitého písku se již nevyskytlo žádné oduhličení. Nevýhodné u tohoto způsobu, je vyhořívání nauhličujícího prostředku, při vypalování skořepin. Vzorky v místech, kde k vyhoření došlo, mají oduhličenou vrstvu. Při použití nauhličování v běžné výrobě, jestliže se nezabrání vyhořívání, hrozí nebezpečí zvýšené zmetkovitosti.

Pro zvýšení přehlednosti jsou jednotlivé vlivy společně zobrazeny v grafu č.16.

Ze získaných výsledků vyplývá, že je možné odstranit oduhličení v běžné výrobě bez nákladných investic použitím legovaných materiálů nebo nápravným nauhličením. Za předpokladu, že 7,75 % Cr odstraní oduhličení, zvýší se cena 1 kg odlitků přibližně o 0,44 Kčs. Uvažuji použití 65 % FeCr v ceně 7,17 Kčs/kg při 6,5 % propalu.

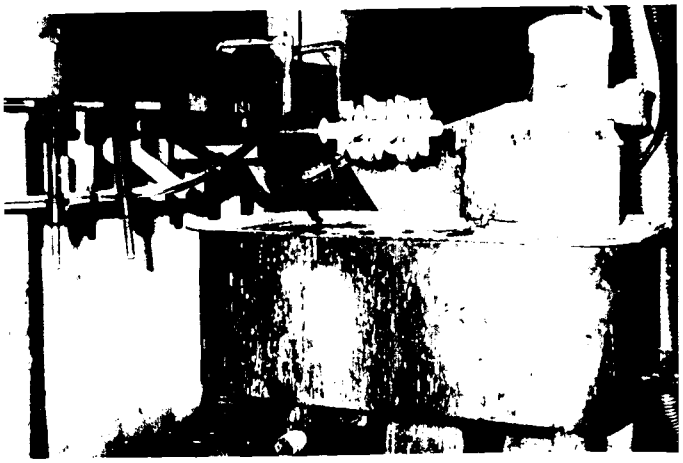
Při použití Mn za předpokladu, že při 7 % nedojde k oduhličení, zvýší se cena o 0,48 Kčs/kg.

Uvažuji použití 75 % FeMn v ceně 12 Kčs/kg, při 20 % propalu.

Náklady vznikají cimi při použití nauhličujícího prostředku v zásypu, neuvažuji-li zvýšení nákladů vznikajících přípravou směsi a beru-li v úvahu jen ztráty propalem, zvýší se cena odlitku o 0,05-0,10 Kčs/kg, podle druhu použitého nauhličujícího prostředku.

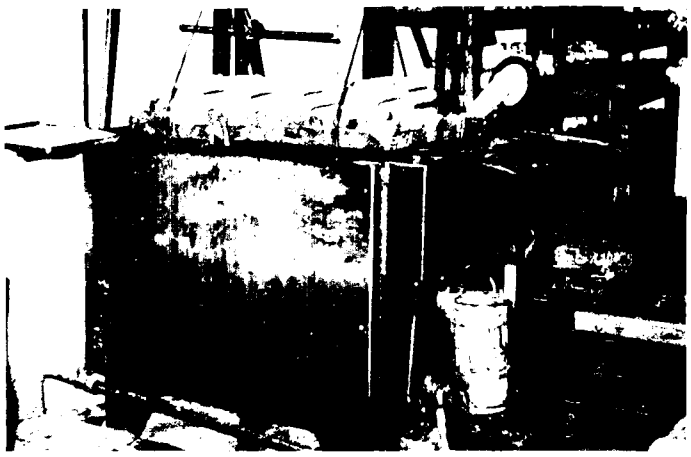
Srovnají-li se tyto hodnoty s náklady na cementaci /nepodařilo se mi získat podklady pro nápravné nauhličení/, které podle tloušťky cementované vrstvy kolísají v rozmezí 0,15-0,20 Kčs/kg, je vidět, že pouze při nauhličování v zásypu jsou náklady nižší.

4.7. Dokumentární fotografie.

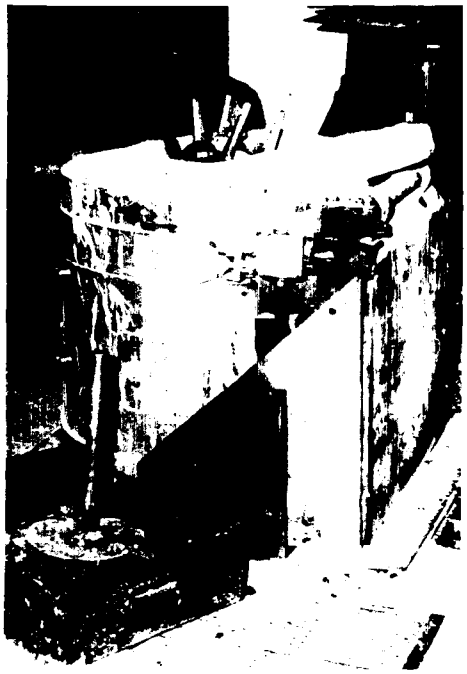


Obr. č. 3: Linka na obalování voskových stromečků

Obr.č.4 : Vozík na přepravu a sušení obalů



Obr.č.5: Vyvařovací vana



Obr.č.6: Indukční pec

Obr.č.7: Chladící dráha

Obr.č.8: vzorek č.8 /zvětšeno 100x/,
6% nauhličujícího prostředku v zásypu.

Obr.č. 9: vzorek č. 1/08 /zvětšeno 100x/
0,72 % Si

Obr.č. 10: vzorek č. 1/20 /zv. 100x/

Obr.č.11: vzorek č.1/20 /zv.100x/
2,05 % Si, struktura nejtenčího průřezu

Obr.č.12: vzorek č. 2/08 /zv.100x/
1,16 % Mn

Obr.č.13:

Vzorek č.2/20
/zv.100x/
7,10 % Mn

Obr.č.14: vzorek č. 3/20 /zv.100x/
2,05 % Cr

Obr.č.15: vzorek č. 3/40
/zv.100x/
3,75 % Cr

Obr.č.16:
vzorek č.3/80
/zv.100x/
7,50 % Cr

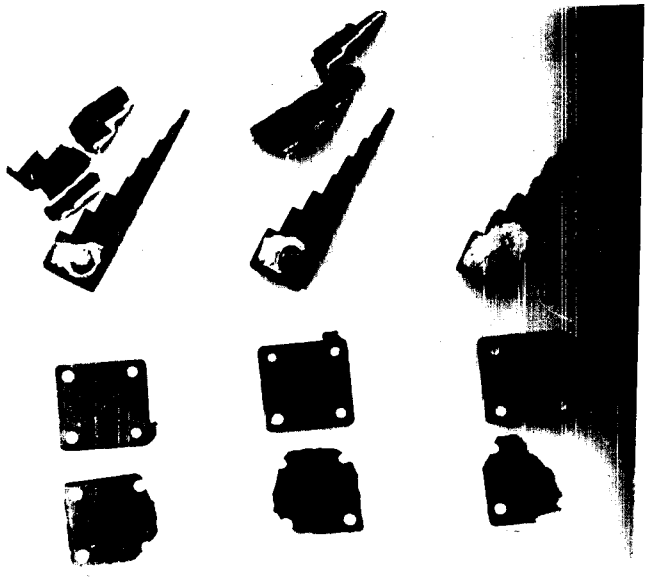
Obr.č.17: Vzhled skořepiny odlité v zásypu obsahujícím 6 % cementačního prášku /vratný písek/

Obr.č.18: Vzhled skořepiny odlité v zásypu obsahujícím 3 % cementačního prášku /nový písek/

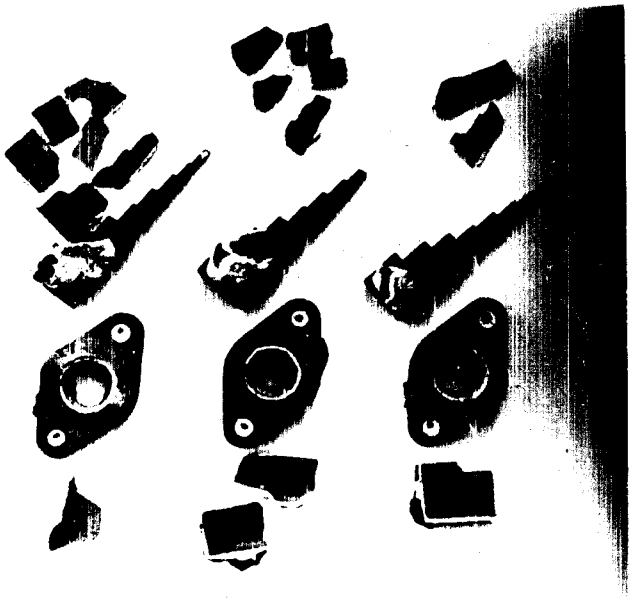
Obr.č.19: Vzhled skořepiny odlité v zásypu obsahujícím 6 % cementačního prášku

Obr.č.20: Vzhled skořepiny odlité v zásypu obsahujícím 9 % cementačního prášku

Obr.č.21: Vzhled skořepiny a odlitku č.09



Obr.č.22: Vzhled vzorků a skořepin umístěných na stromečku v dolní /1/, střední /2/ a horní /3/ části stromečku



Obr.č.23: Vzhled povrchu vzorků umístěných v dolní /1/, střední /2/ a horní/7/ části stromečku

Obr.č.24: Vzhled vypálené a nevypálené skořepiny

5. Závěr.

Zkoušky byly prováděny v ZPS uherský Brod v podmínkách normálního provozu. Není tedy možné za těchto okolností vytvořit pro jednotlivé zkoušky podmínky dosahované při laboratorních měřeních. Proto by bylo dobré v laboratorních podmínkách ověřit vliv obsahu uhlíku na oduhličení a provézt znovu zkoušky s nauhličujícím prostředkem za podmínek, při kterých by bylo zamezeno vypalování nauhličujících prostředků ze zásypu.

Ostatní zkoušky s dostatečnou přesností ověřily působení různých vlivů na oduhličení. Byl bych rád, kdyby výsledky této diplomové práce přispěly ke konečnému vyřešení daného problému.

V Liberci, 9.10.1965.

Seznam použité literatury

/ 1 / Inž. Dr. J. Dočkář - V.Krumpolc
Novodobé způsoby lití kovů, SNTL 1955

/ 2 / Inž. Dr. J. Dočkář a kolektiv
Přesné lití do keramických forem

/ 3 / V. N. Ivanov, A. V. Baranov
Okalinoobrazovanie i obezugleroživanie otlivok,izgotovlenych litiem po vyplavljaemym modeljam,
Litějnoe proizvodstvo č.7. 1961, str.19-21

/ 4 / Fritz Keiper
Randentkohlung bei Feinguss,
Giesserei, 7.Mai 1962

/ 5 / Miloš Matyáš
Povrchová oxydace kovů a slitin v plynném prostředí, ČSAV 1958

/ 6 / B. A. Čečulin, B. V. Carevskij
Termodynamičeskij analyz gazovych reakcij v litějnoj forme, 1962

/ 7 / Broad
Carbon restoration in Investinent Castings.
Precision Met.molding. 1961, str. 86-87

/ 8 / P. V. Černogorov
Polučenie otlivok s čistoj poverchnostju

/ 9 / ČSN 420496

VŠST LIBEREC	Studium okysličování a oduhličování přesných ocelových odlitků.	DP — STR. 82 9. ŘÍJNA 1965 Antonín Holas

O B S A H :

	strana
1.ÚVOD.	1
2.TECHNOLOGIE VÝROBY PŘESNÝCH OCEL. ODLITKU	3
2.1.Princip výroby vytavitelného modelu.	3
2.2.Příprava výroby a výrobní dokumentace.	4
2.2.1.Návrh výrobního postupu.	4
2.2.2.Výrobní dokumentace.	5
2.3.Formy a materiály na vytavitelné a spalitelné modely.	5
2.3.1.Konstrukce a výroba forem.	5
2.3.2.Modelové hmoty.	6
2.3.3.Posuzování vosků.	6
2.4.Výroba vytavitelných modelů.	7
2.4.1.Sestavování modelů.	7
2.5.Úprava povrchu formy při výrobě voskových modelů.	8
2.6.Výroba keramických forem.	9
2.6.1.Formovací hmoty pro výrobu keramických forem.	9
2.6.2.Příprava obalovací směsi.	12
2.6.3.Způsoby výroby keramických forem.	12
2.6.4.Obalování stromečků.	14
2.6.5.Vytavování vosku.	14
2.6.6.Vypalování skořepin.	15
2.7.Odlévání skořepin.	15
2.7.1.Chladnutí skořepin.	15
2.7.2.Konečná úprava odlitků.	16
2.8.Kontrola výroby, přejímací podmínky.	16
2.9.Tavení kovu a slitin.	17
2.9.1.Desoxydace oceli.	18
2.9.2.Plyny v roztavených kovech.	19
3.OXYDACE A ODUHLIČENÍ ODLITKŮ	20
3.1.Reakce mezi formou a odlévaným kovem.	20
3.2.Oxydace kovů.	22
3.2.1.Oxydace železa.	23
3.3.Oduhličení povrchové vrstvy odlitků.	25

3.3.1.Výklad oduhličení. 25
3.3.2.Způsoby zmenšení nebo odstranění oduhličené a okysličené vrstvy 26
4.VLASTNÍ ZKOUŠKY. 29
4.1.Cíl provedených zkoušek. 29
4.2.Výroba skořepin. 29
4.3.Tavení materiálu,způsob odlévání a chlazení skořepin. 31
4.3.1.Postupy provedení jednotlivých taveb. 32
4.4.Příprava vzorků pro vyhodnocování. 39
4.4.1.Číslování vzorků. 40
4.5.Způsoby vyhodnocování vzorků. 40
4.5.1.Vnější vzhled skořepin a odlitků. 41
4.5.2.Naměřené hodnoty oduhličení. 43
4.6.Vyhodnocení zkoušek. 68
4.7.Dokumentární fotografie. 71
5/ZÁVĚR. 80
6.SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY. 81