

strojn^í a textiln^í
Vysoká škola: v Liberci..... Fakulta: strojní.....
Katedra: materiálu a strojírenské..... Školní rok: 1985/86.....
metalurgie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Darina H U D E Č K O V Á

obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Sledování změn chemického složení povrchových vrstev
kovových slévárenských forem

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s výrobou odlitků v kovových slévárenských formách, s podmínkami provozu forem, s jejich namáháním a poškozováním.
2. Určování změn chem. složení v povrchových vrstvách materiálu kovových slévárenských forem při využití metod spektrální analýzy.
3. Vyhodnocování změn chem. složení na vzorcích z sedé litiny a oceli tř. 19. tepelně namáhaných ohřevem taveninou,
4. Formulace dílčích závěrů a zhodnocení získaných výsledků z hlediska vzniku deformací - porušení povrchu zkoušených materiálů.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, BENEŠOVSKÁ 7
PSC 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 • 50 stran

Seznam odborné literatury:

- /1/ VEJNÍK, A.I.: Kokil, Nauka i technika, Minsk 1972.
/2/ KUBA, J.: Spektrální analýza. Orbis, Praha 1953.
/

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jana Kulhánková

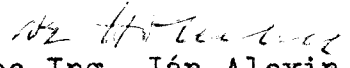
Datum zadání diplomové práce: 9.9.1985

Termín odevzdání diplomové práce: 23.5.1986

L.S.


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

.....
Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

.....
Děkan

V Liberci 3.9. 85
..... dne 19.....

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 9
strojírenská technologie
zaměření
strojírenská metalurgie

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

SLEDOVÁNÍ ZMĚN CHEMICKÉHO SLOŽENÍ
POVRCHOVÝCH VRSTEV KOVOVÝCH SLEVÁRENSKÝCH FORÉM

KMM - 173

Darina HUDEČKOVÁ

Vedoucí DP : RNDr. Jana Kulhánková

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 44
Počet tabulek : 8
Počet obrázků : 20
Počet příloh : 4
Počet výkresů : -

DT

23. května 1986

Místopřísežné prohlášení.

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci, dne 23.5.1986

Janina Hrdáčková

OBSAH :	strana
1. Úvod	4
2. Teoretická část	
2.1. Materiál kokil	5
2.2. Zásady pro konstrukci kokilu	5
2.3. Ohřívání a ochlazení kokil	7
2.4. Odolnost vůči opotřebení	8
2.5. Tepelná rovnováha forem a jejich chlazení	11
2.6. Rozbor činitelů působících na trvanlivost formy	11
2.7. Tepelné namáhání líce formy při lití pod tlakem	13
2.8. Rozbor činitelů ovlivňujících tepelný ráz	17
3. Experimentální část	
3.1. Určování změn chemického složení v povrchových vrstvách materiálu kovových slévárenských forem	21
3.1.1. Klasická chemická analýza	21
3.1.2. Spektrální analýza - spektrometry	22
3.1.3. Rentgenová speciální analýza	27
3.2. Analýza ocelí a litin na přístrojích LECO	28
3.2.1. Šedá litina - krystalizace, složení	32
3.2.2. Příprava vzorků	35
3.2.3. Naměřené hodnoty na přístroji CS-044	37
3.2.4. Naměřené hodnoty klasickou chemickou analýzou	39
4. Diskuze	40
5. Závěr	43
6. Seznam literatury	44

Seznam použitých zkratek a symbolů :

σ	Tlakové napětí
σ_k	Mez kluzu v tahu
σ_{kt}	Mez kluzu v tlaku
m	Poissenová konstanta
E	Modul pružnosti
α	Koeficient roztažnosti
t	Teplota
λ	Vlnová délka
K	Empirická konstanta
v	Vlnočet
R	Rydbergova konstanta
h	Planckova konstanta
c	Rychlost světla

1. ÚVOD

V závěrech 17. sjezdu KSČ jako jeden z mnoha bodů bylo vytýčeno, že rozvoj strojírenství jako nositele vědecko-technického rozvoje ve všech odvětvích národního hospodářství a hlavního exportního odvětví je třeba zaměřit na vytvoření nezbytných podmínek pro podstatné zvýšení technické úrovně výroby na základě realizace nejnovějších výsledků vědecko-technického rozvoje - urychlené zavádění nových výrobních technologií a výrobků a na snížení nákladů výroby. Platí to i v oblasti strojírenské a práškové metalurgie.

Ve slévárenství všech kovů se usiluje v současné době v silné konkurenci s jinými výrobními metodami o snížení pracnosti a výrobních nákladů, o zvýšení rozměrové přesnosti, zvýšení jakosti odlévaného kovu a snížení váhy surového odlitku.

U šedé litiny a v některých případech i u oceli se uplatňuje se stále větším úspěchem kokilové lití, a to pro váhově velmi rozdílné odlitky. Je třeba volit nejvhodnější ochranné nátěry kokily, které u šedé litiny mají i význam jako ochrana před příliš rychlým ochlazením, jež způsobuje, že litina ztuhne bíle. Nedá-li se tomu u tenkostěnných odlitků vůbec zabránit, je třeba zvolit vhodné složení litiny a způsob jejího žíhání. Rovněž volba materiálu na kokily vyžaduje uvážení, ať už se použije šedé litiny nebo tepelně vodivějšího hliníku, u kterého však je třeba zvolit vhodnou ochranu líce formy.

Ekonomická účelnost kokilových odlitků závisí na trvanlivosti a konstrukci kokil. Kokily musí být jednoduché, musí mít při výrobě velkou trvanlivost a musí být vhodné a bezpečné pro práci.

2. TEORETICKÁ ČÁST.

2.1. Materiál kokil.

Povrch pracovní části kokily /líc/ podléhá působení vysokých teplot při styku s roztaveným kovem. Při odlévání je to rychlý ohřev, po vyjmutí odlitku ochlazení. Proto musí být materiál kokil odolný proti vysoké teplotě, rychlým změnám teplot, i proti objemovému růstu, který je příčinou zborcení. Těmto požadavkům nejlépe vyhovuje šedá litina; oceli se používá méně. Litinové kokily mohou být zhotoveny odlitím s nejmenšími přísádky na opracování.

Kokily se zhotovují různými způsoby. Nejdříve se vyrobí model, který podle druhu budoucího odlitku může mít přísádky na opracování nebo ne. Modely jsou dřevěné, sádrové, nebo kovové. Odlévání do syrových forem je vhodné jen pro jednoduché kokily. Odlévání do sušených forem zabezpečuje čistší povrch a dovoluje větší složitost kokily. Odlévání do jader /buket/ se hodí pro tvarově složitě kokily.

Odlévání do forem tvrzených fenolformaldehydovou pryskyřicí dává dobré výsledky při výrobě kokil. Odlévání kokil na kovovou desku a do kovové formy je vhodné pro formy s velmi jednoduchým tvarem. Odlévání pod tlakem může zabezpečit dobré kokily, je-li měrný tlak na kov vysoký. Zhotovíme-li kokily odléváním odstředivě nebo metodou vytavitelného medelu, doháneme dodržení jejich přesných tvarů.

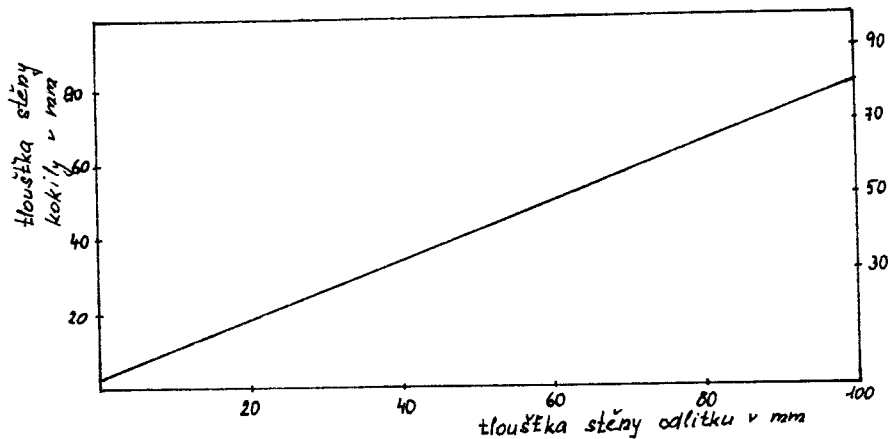
2.2. Zásady pro konstrukci kokily.

1. Podle druhu dělicích rovin je možné rozdělit kokily na : nerozebíratelné /výklopné/, s vodorovnou, svislou a kombinovanou dělicí rovinou.
2. Pro určení tloušťky stěny kokily lze doporučit rovnici

$$\delta_2 = 13 + 0,6 \delta_1 \quad (1)$$

kde δ_2 je tloušťka stěny kokily v mm

δ_1 je tloušťka stěny odlitku v mm



Obr. 1. Závislost tloušťky stěny kokily na tloušťce stěny odlitku.

3. Při volbě rozložení odlitků kokile je nutno zajistit klidný pohyb kovu ve vtokové soustavě i v dutině formy, rovněž tak, i vyvedení plynů a vzduchu z formy. Podle rozměru a tvaru lze umístit v kokile jeden nebo více odlitků.
4. Při odlévání se kokila nepravidelně ohřívá a vzniklé roztahování a smršťování způsobí vnitřní pnutí a borcení kokil. Aby se zabránilo nebo zmenšilo borcení, žíhají se nebo se tepelně zpracovávají a opatřují se žebry, popř. se připevňují ke zvláštním rámcům nebo deskám.
5. Poloviny kokily se upínají k základní desce různým způsobem: bezprostředně čepem nebo svorníkem k deskám nebo prostřednictvím svorníků a zvláštního podstavce.
6. Při zavádění jednotlivých částí, obvykle polovin kokily, se používá čepů a pouzder.
7. Vnitřní dutiny odlitku i složité vnější tvary se vytvářejí suchými nebo syrovými jádry, nebo i kovovými jádry /trny/. V snímatelných částech se používá kovových vložek nebo také nepravých jader. V poslední době se používá skořepinových jader vyrobených z křemenného písku s pojevem z umělé pryskyřice. Surových jader se používá tam, kde se žádá větší poddajnost jader po odlití, popř. větší zhroutivost jader.

8. Vzduch a plyny z kokil se odvádějí mezerami mezi oddělitelnými částmi kokil /mezi posuvnými částmi, mezi známkami jader a kokilou/ i zvláštními odvodušňovacími kanálky.
9. Pro lehčí vyjímání odlitků z kokily se používá vytlačovacích kolíků, tzv. vyhazovačů.

Doba setrvání odlitku v kokile je velmi důležitá. Odlitek lze vyjmout až po ztuhnutí povrchové vrstvy.

2.3. Ohřívání a ochlazení kokil.

Rychlost ochlazení odlitku v kokile lze řídit těmito způsoby: změnou tloušťky, zvětšením povrchového ochlazení, použitím tepelně izolačních nátěrů, ohřevem oddělejších částí formy, elektrickým ohřevem nebo umělým ochlazením. Ohřev kokily lze v některých případech provést i několikerým odlitím i za cenu, že první odlitky jsou zmetky.

Teplota kokil se měří často povrchovými termočlánky. Pro přibližné určení teploty lze použít mýdlové tužky, která zanechává na povrchu kokily stopu barvy odpovídající určité teplotě.

Při teplotě /°C/	Doba ohřevu v sek.	Barva
250	10	nažloutlá
300	5	žlutá
350	6	skořic. hnědá
350	30	tmavohnědá
400	10	černá

Také je možno použít nátěrů, které mění barvu při změně teploty. /Pb (OH)₂, Cu (OH)₂/. Při odlévání do kokily se používá horního, spodního nebo postranního vtoku.

Nejstarší způsob odlévání kovu do kovových forem je odlévání shora. U kovů, které mají na povrchu kysličníkovou blánu, jak je tomu u hliníkových slitin, bývá tato blána protrhána a zhoršuje jakost kovu. Výhodou horního vtoku je jeho jednoduchost, možnost prodloužení doby odlévání a zajištění usměrněného tuhnutí, protože nejteplejší odlévané místo tuhne naposled.

Působení padajícího kovu na povrchovou blánu nebo pravděpodobnost vytváření přehřátých míst při dopadu kovu na jedno místo se odstraňuje členěním vtoku, použitím šikmého odlévání /skloněním kokily/ a vhodnou volbou velikosti vtokového kanálu.

Spodní vtok zabráňuje rozstříknutí kovu, dovoluje klidné stoupání kovu ve formě a tuhnutí není usměrněné, protože zajištění nejteplejšího kovu v nálitku je nedostatečné. Vtokové kanály jsou provedeny tak, aby zabráňovaly velkému opotřebení kokil a aby brzdily vtokovou rychlost a odstraňovaly roztrhání kovu.

Při odlévání do nálitku kokily u hliníkových slitin se používá s úspěchem kovových sítok, která dovolují urazit nálitok v době, kdy odlitek ještě chladne.

Jakost odlitků závisí značnou měrou na konstrukci všech částí vtokové soustavy: vtokové jamky, vtokového kanálu, odstruskovače a vótoku.

K prodloužení trvanlivosti kokil se používá dvou druhů nátěrů - žáruvzdorných nátěrů a barviv.

Kokily se pokrývají dvakrát až třikrát za směnu žáruvzdorným nátěrem o tloušťce 0,1 až 1 mm i více, zatím co barvivem se pokrývá líc kokily před každým odléváním.

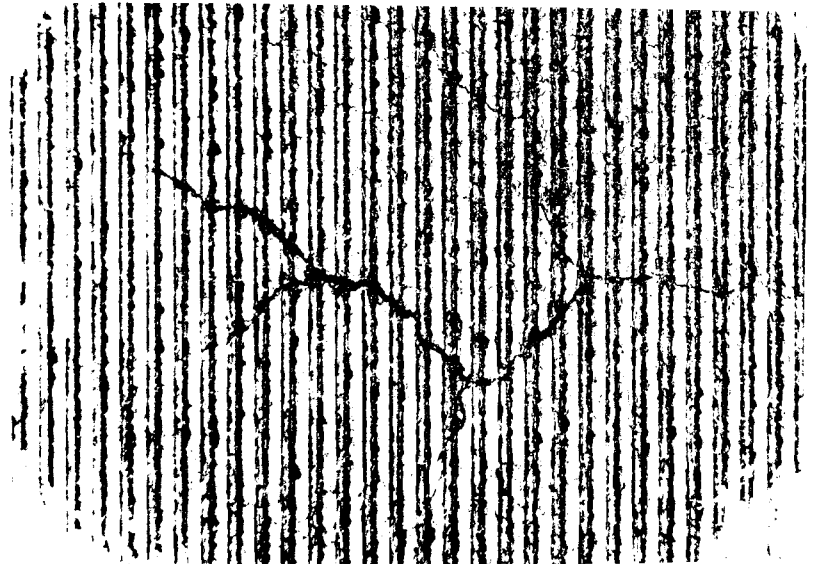
2.4. Odolnost vůči opotřebení.

U všech ocelí je mnohonásobně lepší než u formové litiny. Nejlepší odolnost mají austenitické oceli, pak následují ocele feritické a nelegované. Ještě větší odolnost by měly ocele rychlořezné.

Trhlinky na ocelových formách.

Při zvýšené pracovní teplotě vznikají na povrchu ocelových forem trhlinky. To je podporováno i přítomností vrubů a zářezů ve formě. Vesrovnání s litinovými formami se trhlinek objevuje méně a jen zřídka tvoří typické síťoví.

Rozborem několika vyřazených ocelových lisových forem bylo zjištěno, že trhlinky sahají do hloubky 1 - 5 mm. Hladké formy jsou vůči vzniku trhlinek odolnější. V některých případech jsou trhliny mělké, klínovité, vyplněné šedou hmotou, jindy jsou dlouhé, tenké a pravděpodobně prázdné. Ve své začáteční části procházejí přes zrna, nakonci zpravidla po hranicích zrn. Na chromových feritických i kalitelných ocelí se vyskytují jen zřídka.



Obr.2. Trhlina



Obr.3. Trhlina - makro
zvětšeno 50x

Trhlinky na povrchu ocelových forem vznikají převážně působením tepelné únavy materiálu. Vznik trhlinky je podporován vruby i drobnými nerovnostmi na povrchu formy, které působí jako koncentrátoři napětí. Podobný účinek mají vměstky v oceli. Pronikání trhlinky je usnadňováno karbidy a nečistotami, jež se vylučují na hranicích zrn. Trhlinky na ocelových formách lze opravovat zavařením. Vzniku trhlinek lze čelit dále uvedenými způsoby:

- výběr vhodného materiálu.
protože austenitické ocele jsou k vzniku trhlin nejvíce náchylné zdá se výhodnější použití ocelí chromových, martenzitických či feritických. Vznik trhlin souvisí s přítomností karbidů a s jemností struktury. Proto se dává podle možnosti přednost ocelím tvářenými /výkovky nebo vývalky/ před oceli litými. Požaduje se co nejnížší obsah uhlíku /max. 0,1 % C / a doporučuje se i stabilizace karbidů. Hranice zrn a vměstky jsou nejslabšími místy ocele, proto nechybějí zprávy o použití forem z ocelí s extrémně nízkými obsahy fosforu a síry s velkou metalografickou čistotou.
- Nejlépe lze vzniku trhlin čelit vhodným provozním režimem, který udržuje pokud možno rovnoměrnou teplotu na pracovním povrchu formy.
- K zabránění vzniku trhlin přispívá i vhodná konstrukce formy - bez ostrých zářezů a náhlých přechodů - a dobré vyleštění povrchu.
- Vzniku trhlin lze zabránit i tlakovým předpětím v povrchové vrstvě /sklon k trhlinám u slévárenských forem z ocele Cr 13 lze podstatně snížit nitridací. Tím vznikne v povrchové vrstvě silné tlakové napětí, které zabraňuje vzniku špiček tahového namáhání/.
- Renovace struktury a odstranění napětí ve formě oddaluje vznik trhlin /žiháním/.

Teplota forem se dosud měří především na vnitřním povrchu popř. vnějším povrchu. Měření je dosti obtížné : je třeba měřit v daném místě formy /pracovní povrch/ , měřicí přístroj musí velmi rychle reagovat, měření nesmí narušit ani teplotní pole ve formě, ani výrobu, musí být velmi přesné a prakticky snadno realizovatelné.

2.5. Tepelná rovnováha forem a jejich chlazení.

Tepelná rovnováha formy má vliv na jakost odlitku, na všeobecné snížení zmetkovitosti a na prodloužení životnosti formy.

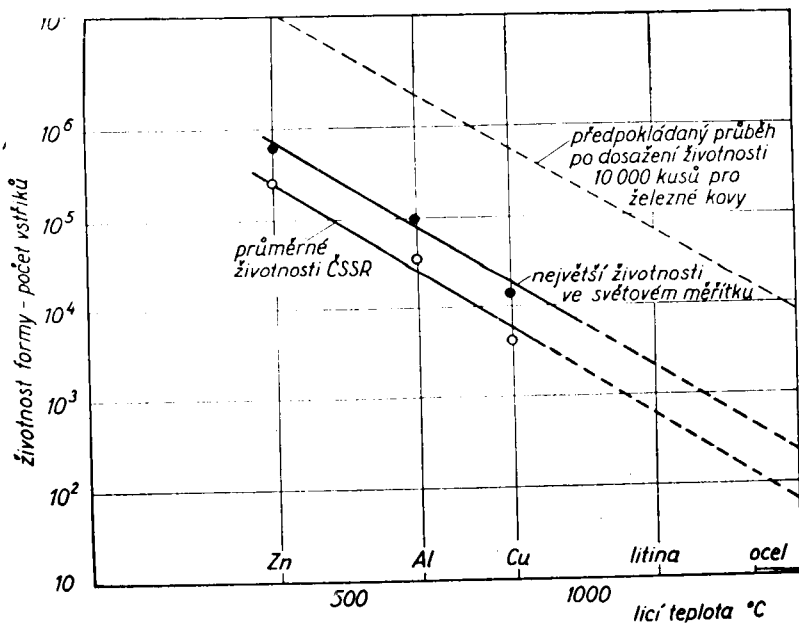
Rozložení teploty v různých místech vnitřního povrchu formy i v hloubce materiálu formy se obtížně ovládá. To má nepříznivý vliv na životnost formy.

Nestejná změna teploty na různých místech pracovní dutiny má značný vliv na technologický pochod při lití, z čehož pramení zvýšená zmetkovitost.

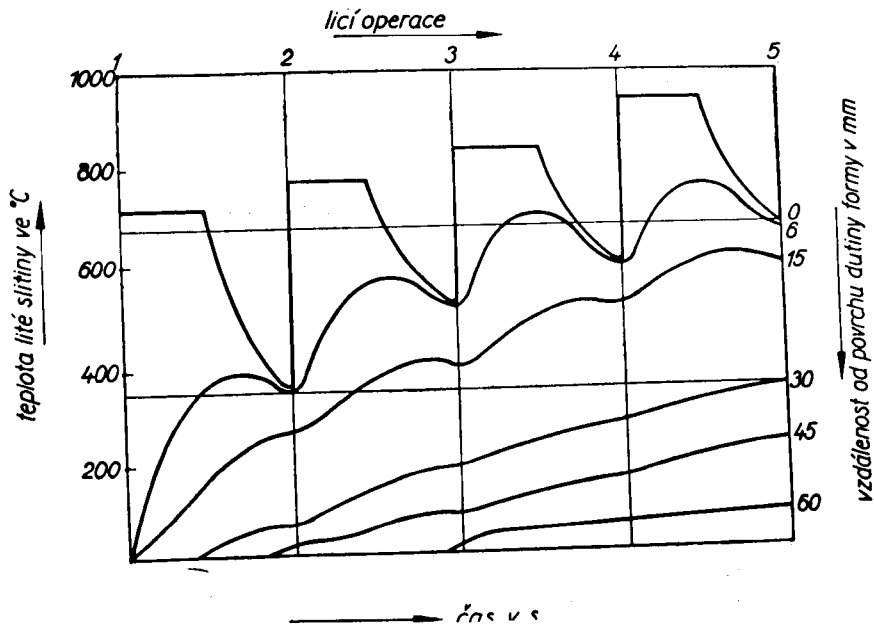
2.6. Rozbor činitelů působících na trvanlivost formy.

Kritéria trvanlivosti:

- a) hlavním kritériem pro trvanlivost formy je dokonalost jejího líce. Formu je třeba vyřadit, jakmile se na ní vytváří síť trhlinek. Naproti tomu velké trhliny po menším počtu operací nejsou pro trvanlivost formy typické a jejich příčinu je třeba hledat ve vadě materiálu, v nevhodném tepelném zušlechťení nebo ve špatném ošetření při práci. Příčinou vzniku sítě trhlinek je střídavé tepelné namáhání líce formy při provozu.
- b) dalším kritériem je opotřebení za vyšších teplot, které se vyskytuje jen na některých místech formy a lze mu zabránit vyvločkováním. Nelze je vždy oddělit od chemického působení roztavené slitiny na materiálu formy.



Obr. 4. Závislost životnosti formy na lící teplotě.

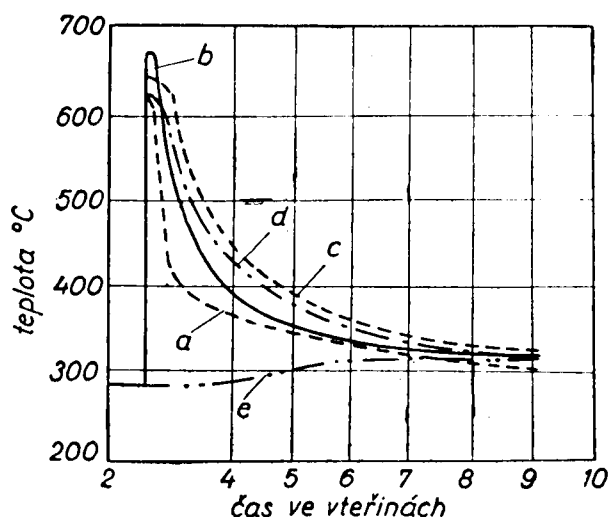


Obr. 5. Závislost teploty lité slitiny na čase

2.7. Tepelné namáhání líce formy při lití pod tlakem.

Při náhlém vstupu roztaveného kovu do formy vzniká tepelný náraz, který co do intenzity záleží na rozdílu lící teploty a teploty líce formy v okamžiku dotyku kovu. Dochází k rychlému předávání tepla do povrchu formy z kovu, který chladne a tuhne, zatím co povrch formy se ohřívá, při čemž teplo prostupuje stěnou formy. Vstříkovaný kov se může ohřívát třením o stěny formy, takže teplota stěny formy může stoupnout nad lící teplotu.

O tom, že tepelné rázy postihují především líc formy, existují četné pokusy.



OBr. 6. Průběh teploty v lici pokusné formy při lití hliníkové slitiny v místech a, b, c, d, e, kde byly vestavěny termočlánky.

Nejjednodušeji, ale také nejméně přesně si lze poměry ve formě představit tak, že se vstříkem ohřátá vrstva líce formy považuje za celek, ve kterém se neuvažuje spád teploty. Známe-li lineární koeficient tepelné roztažnosti a uvažujeme-li, že nejvyšší teplota v průřezu

celé povrchové vrstvy je t_2 a teplota pod tenkou vrstvou t_1 /což je také teplota vrstvy před vstříknutím kovu /, bylo by poměrné protažení volné vrstvy

$$\delta = \alpha (t_2 - t_1) \quad (2)$$

Protože se však vrstva roztahovat nemůže vzniká v ní tlakové napětí

$$\sigma = \frac{\delta m E}{m - 1} \quad (3)$$

kde m je Poissenova konstanta

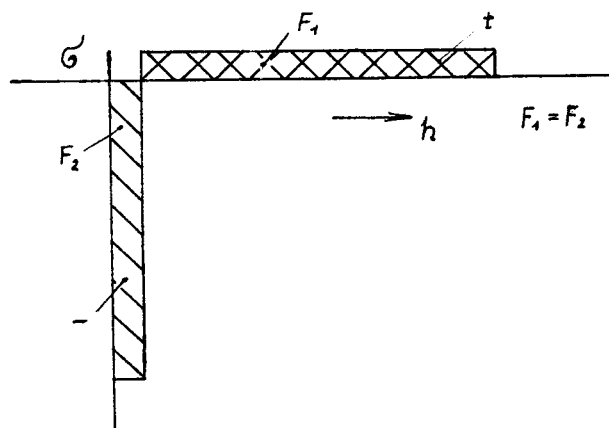
E - modul pružnosti

Dosazením (2) do (3) dostáváme

$$\sigma = \frac{\alpha (t_2 - t_1) m E}{m - 1} \quad (4)$$

Tato tlaková pnutí vyvolávají v ostatním průřezu pnutí tahová, se kterými jsou v rovnováze.

Protože jde o velmi rychlé změny, neuplatňuje se tečení, ale je třeba uvážit, že jakmile je při vyšší teplotě překročena mez stlačivosti /mez kluzu v tlaku/, uplatní se plastické deformace a tlakové napětí nedosáhne vypočtené výše, neboť se částečně odbourá plastickou deformací.



Obr. 7. Rozložení napětí v závislosti na vzdálenosti h od líce formy při tepelném rázu podle zjednodušené představy.

Ovšem pak po vyjmutí odlitku, při chladnutí povrchové vrstvy, před tím tlakově plasticky deformované, vzniknou v ní tahová napětí.

Existují přesnější rozборы stavu napjatosti kovových kokilách, které ke spádu teploty přihlížejí. Tyto rozборы vedou k závěru, že současně se vznikem tlakových pnutí na povrchu vznikají pod povrchem dosti velká tahová pnutí. Oboje napětí budou tím větší, čím vyšší bude teplota líce formy a čím strměji bude klesat.

Dochází tedy ke střídavému namáhání, při čemž nelze nechat bez povšimnutí, že při povrchu je teplota značně vyšší, než teplota zotavení, popř. rekrytalizace. Vzniká tedy větší množství zotavení než v určité hloubce pod povrchem, kde se s roustoucím počtem cyklů rychleji vyčerpávají možnosti kluzů a vznikají zárodky trhlin, jež nakonec vytvoří síťoví.

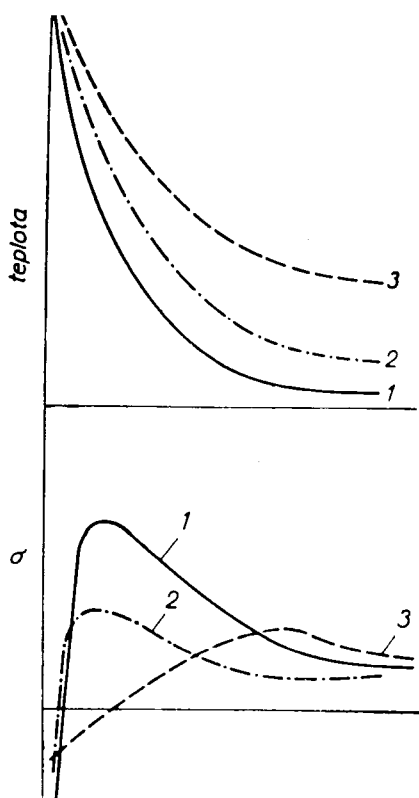
Jestliže forma bude pracovat při nižší lici teplotě, bude větší nebezpečí vzniku trhlinek na povrchu, neboť namáhání pod povrchem bude malé, a to ovšem až po velmi velkém počtu cyklů. Nelze zanedbat možný vliv oblastí křehkosti některých ocelí.

Tento celý, tak složitý jev nelze postihnout jednotlivými zkouškami ocelí, i když víme, že o něm rozhodují :

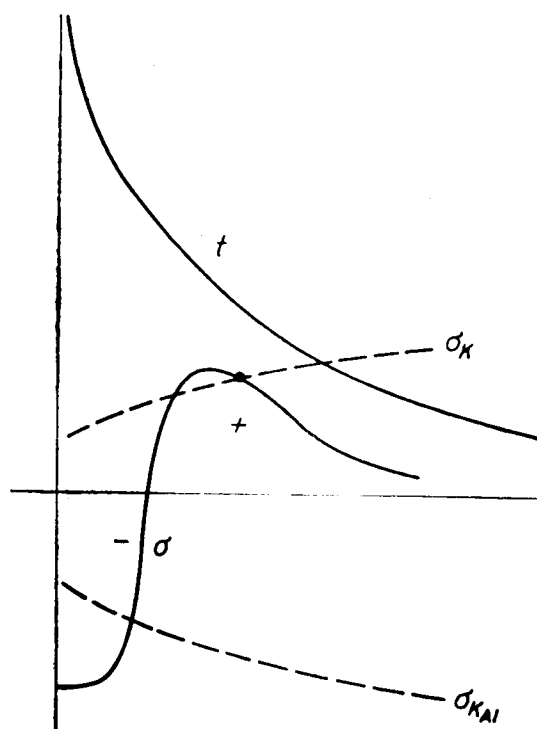
- mechanické vlastnosti /zejména meze kluzu v tlaku a v tahu, pevnost v tahu , schopnost plastické deformace a stupeň zpevnění ve značném rozmezí teplot/
- poloha teploty zotavení a rekrytalizace
- tepelná roztažnost
- tepelná vodivost.

U ocelí nelze zapomenout ani na teplotu přeměny A_c , jakmile je nebezpečí, že jí bude dosaženo v povrchové vrstvě, neboť pak se v ní vytvoří austenitická vrstvička, jejíž vznik je spojen se značnou kontrakcí, a tedy tahovým namáháním.

Naopak při rychlejší ochlazení na teplotu pod M_s by vznikl z tohoto austenitu martenzit, doprovázený tlakovými pnutími při povrchu a nebezpečnými tahovými pnutími pod povrchem.



Obr. 8. Rozložení napětí při tepelném rázu za předpokladu, pružných deformací při teplotním spádu.
1 - menším, 2 - větším, 3 - větší tepelné vodivosti



Obr. 9. Rozložení napětí při tepelném rázu, je-li překročena mez kluzu v tahu σ_K i tlaku σ_{KA1}

2.8. Rozbor hlavních činitelů ovlivňujících tepelný ráz.

Výše tepelného rázu závisí především na rozdílu teplot líce formy během pracovního cyklu. Tento teplotní rozdíl nemůžeme snižovat tím, že bychom při konstantní teplotě lití zvyšovali pracovní teplotu formy. Tím bychom zhoršovali odvod tepla, který závisí za jinak stejných podmínek právě na rozdílu teploty tuhajícího kovu a teploty formy. O optimální teplotě formy rozhoduje ovšem především základní požadavek dosáhnout zdravého odlitku. Tento požadavek bývá splněn jen tehdy, je-li forma ohřáta na určitou min. teplotu, a to tím vyšší, čím vyšší je lící teplota.

Tepelná vodivost.

Čím vyšší bude tepelná vodivost, tím rychleji bude teplo odváděno z líce formy, a tím nižší bude při každé operaci teplotní špička na líci formy. Tepelná vodivost není zdaleka jediný činitel, který rozhoduje o prostupu tepla stěnou formy. Je to však jediný materiálový činitel, který je velmi významný a v praxi se vyplatí přihlížet k němu při úsilí o vyšší trvanlivost formy.

Tepelná vodivost je největší u čistých kovů, u nichž je také největší koeficient tepelné vodivosti, který je záporný. Stejně jako elektrická vodivost i tepelná vodivost s teplotou klesá.

Podobně jako u elektrické vodivosti platí i o tepelné vodivosti, že každá přísada, která tvoří se základním kovem tuhý roztok, ji zhoršuje, a že toto zhoršení je nejvýraznější při nejmenších koncentracích přísady. Platí tedy, že teplotní koeficient slitin je záporný, to je že tepelná vodivost s teplotou klesá, ale z tohoto pravidla jsou výjimky /zejména u složitých slitin tepelně zpracovaných/. Příkladem jsou oceli na formy, u kterých se setkáváme i se vzrůstem tepelné vodivosti v teplotní oblasti, ve které formy pracují.

Tepelná roztažnost a modul pružnosti.

Účinek tepelného rázu bude tím menší, čím menší bude tepelná roztažnost a modul pružnosti, neboť tím menší bude výše vzniklých napětí. Uvažujeme-li podle vztahu (4), pak stejné napětí v oblasti deformací pružných při stejném rozdílu teplot dostaneme při $E = \text{konst.}$

Modul pružnosti se při legování mění jen málo a záleží hlavně na modulu pružnosti základního kovu. S teplotou se snižuje, ale podstatněji až při vyšších teplotách a tento pokles se dá posunout ještě k vyšším teplotám legování.

Tepelná roztažnost prakticky vždy s teplotou roste a legováním se téměř nedá ovlivnit, pokud se ovšem legováním nedosáhne jiné alotropické modifikace, jako je tomu např. u austenitických ocelí, které však mají koeficient tepelné roztažnosti podstatně vyšší. Jsou výjimky, jako např. invar /slitina železa se 36% niklu/, u kterého se dosahuje velkou přísadou niklu snížením koeficientu tepelné roztažnosti téměř na nulu, ale jen v úzkém teplotním intervalu v oblasti normální teploty a při vyšších teplotách je naopak tepelná roztažnost této slitiny velmi značná. Nelze tedy počítat s tím, že by se legováním mohla snížit tepelná roztažnost základního kovu slitiny na formy.

Mechanické vlastnosti.

Mechanické vlastnosti lze měnit v širokých mezích legováním a tepelným zpracováním. Vždy platí, že slitina je pevnější než čistý kov a legováním lze také podstatně zlepšit mechanické vlastnosti za tepla. U ocelí se rozhodujícím způsobem uplatňuje tepelné zpracování, při kterém lze popuštěním po zakalení velmi výrazně měnit mechanické vlastnosti.

Bylo by výhodné, aby meze kluzu tlaku i v tahu za tepla byly pokud možno nejvyšší, aby deformace byly pokud možno v pružné oblasti. Při vyšších teplotách lití je forma vystavena vyšší teplotě, při které se již u oceli snižuje mez kluzu, takže deformace nebudou z cela elastické. Je třeba si položit otázku, zda je v takovém případě výhodnější, aby plastický podíl byl co nejmenší, to je, aby forma byla popuštěna na co nejvyšší pevnost, jež dává i představu o pevnosti za vyšších teplot, anebo aby forma byla popuštěna na nižší pevnost, čímž se sníží mez kluzu při pracovní teplotě, a podíl plastických deformací bude větší.

Dříve převládala snaha v praxi popuštět na vyšší pevnost, již také se zřetelem na odolnost proti opotřebení a na odolnost proti chemického působení roztavené slitiny, jež bývá menší, když je trvdost vyšší. Ukázalo se však, že při vyšší trvdosti/a tedy také při vyšší mezi kluzu/se rychleji vyčerpají možné plastické deformace, takže se ocel rychleji zpevní a dosáhne křeké pevnosti, což se projeví výskytem trhlinek.

Dnes, kdy je možno zvyšovat trvdost líce formy povrchovou úpravou, jako je nitridace, zaslouží si otázka opitimální pevnosti ocelových tepelně zušlechtěných forem zvláštní pozornosti. Proto je třeba sledovat i otázku laboratorních zkoušek různých mechnických vlastností za vyšších teplot a zejména studovat laboratorními metodami tepelnou únavu.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Určování změn chemického složení v povrchových vrstvách materiálu.

Znalost chemického složení oceli patří mezi základní podklady pro vyhodnocení výsledků dalších zkoušek. Kontrola chemického složení lázně během tavebního pochodu umožňuje získat údaje o průběhu jednotlivých fyzikálněchemických reakcí a o intenzitě a úplnosti rafinačních reakcí v lázni nebo mezi struzkou a lázní.

Ke stanovení chemického složení oceli a litiny se nejčastěji používají dvě základní analytické metody :

- klasická chemická "mokrá" analýza ,
- spektrální analýza

Použití ostatních analytických metod založených na chemických, fyzikálních i fyzikálněchemických principech není v metalurgické oblasti tak časté, ať již jde o spektroskopii, polarografii, fotometrii, spektrofotometrii nebo jiné postupy, používané obvykle jen ve speciálních případech.

Analýza chemického složení umožňuje především kontrolu :

- průběh tavebního pochodu /od-uhličení, odfosfoření, odsíření, stupeň dezoxidace/,
- dodržení předepsaného rozmezí jednotlivých prvků podle požadavků příslušných norem vyráběné značky oceli nebo litiny /záměna materiálu, nehomogenita lázně/.

3.1.1. Klasická chemická analýza.

Klasická chemická analýza umožňuje stanovit obsah všech základních doprovodných prvků, které se v ocelích a litinách vyskytují. Analytické hodnoty rozboru lze považovat za směrodatné jen tehdy, jestliže byl vzorek odebrán a připraven v souladu s ČSN 42 1210. Vzorkem se rozumí část celkově přejímaného množství oceli nebo slitiny, které vzhledem k nehomogenitě materiálu představuje co možná průměrné složení tavy.

Vzorkování je odběr vzorku, jímž se získá hrubý vzorek, který se dále zpracovává na vzorek jemný analytický, který musí odpovídat všem požadavkům analytické chemie. Jemný analytický vzorek se z hrubého vzorku připravuje obvykle frézováním, hoblováním, soustružením, vrtáním nebo drcením materiálu, pokud možno bez použití vrtacího oleje nebo jiných tekutin. Tam, kde se nelze použít vrtacího oleje vyhnout, je nutno získané třísky pečlivě odmastit organickými rozpouštědly.

Roztoky určené k dalšímu zpracování vzorků během chemické analýzy musí být připraveny podle ČSN 68 4061 a ČSN 68 4062.

Rozhodčí rozbor musí být provedeny nejméně 3x a dosažené výsledky musí být v mezích přesnosti a shodnosti podle příslušných údajů v tabulkách. Hlavní nevýhodou plastické chemické analýzy je značná pracnost a poměrně velké nároky na čas. Stanovení uhlíku vyžaduje v průměru 5 - 6 minut, stanovení manganu a fosforu, prováděné společně, 12 - 15 minut.

3.1.2. Spektrální analýza.

Uvedené nevýhody odstraňuje moderní spektrální analýza využívající fyzikálních metod založených na principu elektrického vyhodnocení intenzity spektrální čáry analyzovaného prvku.

Spektrální analýza v kovoprůmyslu.

Spektrální analýza se provádí tak, že se látka uvede do podmínek, ve kterých z ní vychází světlo, buď tím, že se prozařuje světlem z cizího zdroje, nebo, že se sama přivede ke svícení. Světlo, které vychází z látky se pak podrobí rozkladu ve své jednotlivé složky, -spektrum, a z něho se usuzuje na složení látky, ze které světlo vyšlo nebo kterou prošlo.

Dělení spekter: a) čárová
pásová
spojitá

b) emisní
absorpční