

V Š S T L I B E R E C

Nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 08

Strojírenská technologie

Zaměření: Strojírenská metalurgie

STUDIUM STATISTICKÝCH HODNOT MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ
LITINY DANÉ SLÉVÁRNY A PROVEDENÍ MATERIÁLOVÉHO PRŮZKU-
MU TAVEB S EXTRÉMními HODNOTAMI

P s c h e i d t Richard

KMN 058

Vedoucí práce: Doc Ing. Václav Chaloupecký CSc.
(VŠST Liberec)

Konzultant : Ing. Daniela Odehnalová (VŠST Liberec)

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 67

Počet příloh a tabulek: 5

Počet obrázků : 29

Počet výkresů : -

DT

strojn^í a textiln^í
Vysoká škola: v Liberci
Fakulta: strojn^í

materiálů a stroj^írenské
Katedra: metalurgie
Školn^í rok: 1981/82

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Richard P S C H E I D T
obor stroj^írenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebn^ího plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Studium statistických hodnot materiálových vlastností
litiny dané slévárny a provedení materiálového průzkumu
taveb s extrémními hodnotami

Pokyny pro vypracování:

1. Na předaných vzorcích proveďte zkoušky mezi klíny a zkoušky tvrdosti.
2. Opatřete hodnoty statistického rozboru vlastních i předaných výsledků a hledejte vzorky s extrémními hodnotami.
3. Proveďte metalografický rozbor zvolených vzorků
4. Studujte relace mezi výsledky zkoušek a zhodnoťte je.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní nov. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 14. února
1962. Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 17 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 238 / 82 S

KMM / 3.4

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: cca 50 stran

Seznam odborné literatury:

ČSN 42 0341 - Zkouška mezi klíny. Návrh.

ČSN 01 0250 - Statistické metody v průmyslové praxi

Výzkumné zprávy KMM

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Konsultanti: Ing. Daniela Odehnalová

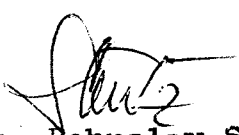
Datum zadání diplomového úkolu: 14.9.1981

Termín odevzdání diplomové práce: 4.6.1982




Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stríž, CSc

Děkan

V Liberci dne 10.9. 81

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

V Liberci dne 30. května 1982

Richard Pscheidt
Richard P s c h e i d t

OBSAH

	str.
Titulní list	1
Zadání	2
Místopřísežné prohlášení	3
Obsah	4
Seznam použitých symbolů	5
1.0. Úvod	6
2.0. Literární rešerše k problematice studia materiálových vlastností šedé litiny	8
2.1. Šedá litina a její rozdělení	8
2.2. Vliv rychlosti ochlazování	9
2.3. Grafitizace v tuhém stavu	11
2.4. Mechanické vlastnosti šedé litiny	12
2.4.1. Vliv základní kovové hmoty litiny na mechanické vlastnosti	12
2.4.2. Vliv grafitu na mechanické vlastnosti litiny	13
2.5. Vliv chemického složení na strukturu litiny	14
2.5.1. Vliv uhlíku a křemíku na strukturu šedé litiny	15
2.5.2. Vliv manganu a síry na strukturu šedé litiny	18
2.5.3. Vliv fosforu	19
2.5.4. Vliv očkování	20
2.5.5. Vliv tepelného zpracování	20
2.6. Vztahy mezi strukturou, složením a vlastnostmi	21
2.7. Mechanické zkoušky šedé litiny	23
2.7.1. Zkouška mezi klíny	24
3.0. Experimentální část	27
3.1. Výběr vzorků pro metalografický rozbor	29
4.0. Tabulky, fotografie vzorků a diagramy	31
5.0. Diskuse	61
6.0. Závěr	66
Seznam použité literatury	67

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

α	-	součinitel přestupu tepla z kovu do formy
γ	-	měrné teplo kovu
δ	-	tažnost
λ	-	měrná tepelná vodivost
σ_{Pk}	-	pevnost mezi klíny
σ_{Pt}	-	pevnost v tahu
$A_{1,1}$	-	překrystalizační teplota
C_{ekv}	-	uhlíkový ekvivalent
D	-	průměr
F_{max}	-	maximální zatížení
HB	-	tvrdost podle Brinella
HM	-	mikrotvrdost
HRC	-	tvrdost podle Rockwella
R	-	poměrná tloušťka odlitku
Ra	-	drsnost povrchu
S_c	-	stupeň eutektičnosti
S_o	-	počáteční průřez zkušebního vzorku
T	-	teplota kovu
T_f	-	teplota formy
v	-	výška

1.0. Ú V O D

Prudký rozvoj národního hospodářství vyžaduje neustálý vývoj nových technologií a jejich realizaci v praxi. Je dán požadavek na využití levnějších materiálů a současně i na snížení jejich spotřeby. Protože naše národní hospodářství přibližně z 90 % dováží rudy pro výrobu oceli a litiny, je jedním z nejdůležitějších úkolů současné doby maximální využití vlastností těchto materiálů a zároveň jejich úspora.

Toto jasně vyplývá z projevu předneseného členem předsednictva ÚV KSČ a předsedou vlády ČSSR soudruhem Lubomírem Štrougalem na XVI. sjezdu KSČ dne 7. 4. 1981 : Zpráva o hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1981 - 1985, z něhož vybírám několik citátů týkajících se našeho strojírenského oboru. Hutnímu průmyslu bylo uloženo: "Urychleně připravovat a realizovat opatření v projekci, konstrukci, technologii výroby i změny výrobních programů, které umožní dosáhnout progresivní normy potřeby a úspory železných a neželezných kovů stanovené státním cílovým programem. Dalšími opatřeními k významným úsporám neželezných kovů dosáhnout podstatného snížení jejich výrobní spotřeby ve všech odvětvích národního hospodářství, především ve strojírenství a stavebnictví".

"Snížit spotřebu kovů v hutním cyklu včetně snižování předváž a důsledně využívat kovový odpad. Mimořádnou pozornost věnovat sběru, úpravě a plnému využití kovového odpadu včetně spotřebitelského. Ve výrobě surového železa zlepšovat technologie, výkony a snižovat měrnou spotřebu paliva".

Tyto požadavky maximálních úspor surovin a paliv mají vliv na stálé častější využívání litiny v konstruktérské praxi. Šedá litina je nejpoužívanějším materiálem na výrobu odlitků. Vděčí za to jednak své relativně nižší ceně, jednak snadnému výrobnímu postupu, který nevyžaduje tak nákladné

tavící zařízení. Mechanickými vlastnostmi ve většině případů vyhovuje a navíc ve srovnání s ocelí má značně nižší tavící teplotu a výborné slévárenské vlastnosti, takže lze odlévat i velmi složité odlitky.

V současné době se stále zvyšuje výroba šedé litiny a slévárny potřebují rychlou kontrolu i v prostředí svých sléváren. Těmto požadavkům vyhovuje zkouška mezi klíny.

Úkolem mé diplomové práce bylo studium statistických hodnot materiálových vlastností litiny dané slévárny a provedení materiálového průzkumu taveb s extrémními hodnotami.

Ve své práci jsem se zabýval zkušebními vzorky ze dvou taveb. Jedna byla s plynovým a druhá s elektrickým předpécím. Pozoroval jsem mechanické vlastnosti těchto vzorků a zjišťoval vliv chemického složení na tyto vlastnosti.

2.0. LITERÁRNÍ REŠERŠE K PROBLEMATICE STUDIA MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ ŠEDÉ LITINY

2.1. Šedá litina a její rozdělení

Litiny jsou slitiny železa s vysokým obsahem uhlíku (oproti oceli), které vynikají hlavně tím, že obsahují ledeburit nebo grafit (při pomalém ochlazování). Základní představu o strukturních poměrech při krystalizaci za rovnovážných stavů nám dává rovnovážný diagram, který je zpravidla dvojitý a zachycuje rovnováhu metastabilní ($\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$) i stabilní ($\text{Fe}-\text{C}$). Tyto rovnovážné diagramy podávají jen představu o složení, nikoliv o tvaru a velikosti vznikajících fází.

Ve ztuhlé litině lze zjistit řadu strukturních složek, které s výjimkou grafitu a případně některých vměstků nazýváme základní kovovou hmotou.

Struktura základní kovové hmoty tepelně nezpracované šedé litiny může být :

- a) feritická, je-li chladnutí pomalé, nebo je-li dostatečně vysoký obsah grafitizačních přísad. Feritická litina je velmi měkká a málo pevná a neuzívá se jako konstrukční materiál. Uhlík je vyloučen ve formě hrubého grafitu a obsahuje velký počet lístků.
- b) perlitická je litina tehdy, je-li obsah grafitizačních přísad v souladu s rychlostí chladnutí. Je to hodnotný konstrukční materiál a převážná část odlitků se vyrábí z této šedé litiny. Snižováním množství grafitizačních přísad i obsahu uhlíku se zvyšuje pevnost litiny, neboť klesá hrubost a množství grafitu. Avšak příliš málo grafitizačních přísad způsobuje, že grafitizace úplně neproběhne a ve struktuře se objeví volný cementit a litina je potom tvrdá a nedá se dobře obrobit.

c) feriticko perlitická litina vzniká tehdy, jsou-li grafitizační prvky v přebytku vzhledem k dané rychlosti chlazení. Vytvoří se šedá litina, ve které jsou grafitové lístky uloženy ve feritu a zbytek je vyplněn perlitem. Tato litina je na rozdíl od litiny perlitické měkčí, méně pevná a proto není konstruktéry v širší míře používána. Vznik tohoto druhu litiny nelze zabránit v silnějších průřezích odlitků. Ferit ve struktuře zmenšuje svou tvárností pnutí a zmenšuje tak nebezpečí praskání.

UHLÍK je složkou šedé litiny a objevuje se jako volný -
- grafit ve tvaru zprohýbaných destiček - lístků nebo zrn -
- kuliček. Význačný vliv na vlastnosti litiny má jeho tvar, rozložení a velikost, které se vyhodnocují na neleptaném výbrusu podle normy ČSN 420461. Podle složení a rychlosti ochlazování může být část uhlíku vázána jako cementit (Fe_3C - karbid železa), je to intersticiální sloučenina. Je tvrdý a křehký a jeho přítomnost v litině zvyšuje tvrdost a odolnost proti otěru, avšak zhoršuje pevnost a houževnatost.

2.2. Vliv rychlosti ochlazování

Rychlost ochlazování v intervalu teplot, kdy se tvoří grafit, tj. v mezích od eutektické teploty do teploty poněkud podeutektoidní, je důležitým činitelem, určujícím grafitizaci a strukturu slitiny.

Pro rychlost ochlazování odlitků v tuhém stavu platí vztah č. 2.2.1. : [2]

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_f) = -\frac{\alpha}{R\rho c} \cdot (T - T_f) \quad (2.2.1.)$$

- T_f - teplota formy
- T - teplota kovu
- α - součinitel přestupu tepla z kovu do formy
- R - poměrná tloušťka odlitku
- ρ - měrná hmotnost kovu
- c - měrné teplo daného kovu

Ze vzorce číslo 2.2.1. vyplývá, že doba a rychlost ochlazování odlitků závisí na:

- a) konstrukci nebo poměrné tloušťce odlitku (R)
- b) lící teplotě (T)
- c) fyzikálních konstantách kovů (γ, c, λ) a tedy i na jeho složení
- d) na součiniteli přestupu tepla (d)

ad a) Zvětšuje-li se tloušťka odlitku stoupá množství grafitu a zvětšuje se stupeň grafitizace. Zároveň je možno pozorovat zjemnění grafitu, způsobené zvětšením počtu krystalizačních zárodků. Proto existuje pro každou litinu jakási mezná poměrná tloušťka, při níž se začíná objevovat jemný grafit [2]. Protože se v průřezu odlitků postupně zmenšuje rychlost ochlazování od povrchu do středu, je ve vnějších pásmech každého odlitku vždy jemný grafit, který sahá tím hlouběji, čím je v litině méně uhlíku a křemíku. Zrychluje-li se přitom ochlazování, vzrůstá sklon k tvoření mezidendritického grafitu.

ad b) Snížení lící teploty vede ke zvýšení stupně grafitizace. Zvýšení lící teploty zpomaluje ochlazování odlitku ve formě a tím způsobuje (v malé míře) grafitizaci šedé litiny a hrubnutí grafitu [2].

ad c) Složení litiny může zpomalit nebo zrychlit ochlazování odlitku během grafitizačního pochodu, protože má vliv na teplotní vodivost. Podle Boltonových výzkumů chladne litina se zvýšeným obsahem uhlíku a křemíku pomaleji.

ad d) Zvýšení teplotní vodivosti formy urychluje chladnutí odlitku. Proto lití do syrové formy zvyšuje rychlost ochlazování a poněkud brzdí grafitizaci litiny, třebaže je tento vliv prakticky malý. Stejně působí prodyšnost formy. Čím je forma prodyšnější, tím rychleji odlitky

chladnou. Použití vysušených forem a jader zpomaluje ochlazování a tím napomáhá grafitizaci. V praxi se ovšem vliv formy projevuje hlavně u tenkostěnných odlitků.

2.3. Grafitizace v tuhém stavu

Ke grafitizaci litiny v tuhém stavu dochází při žíhání. Vlastním projevem grafitizace je přeměna karbidu železa Fe_3C na grafit.

Grafitizace cementitu může probíhat v teplotní oblasti rovnovážné existence austenitu a označuje se jako první stupeň grafitizace. Jejím produktem je heterogenní struktura stabilní rovnováhy, tj. směs austenitu a temperového grafitu. Při teplotách podeutektoidních probíhá druhý stupeň grafitizace, kterým vzniká rovnovážná struktura, tvořená směsí grafitu a feritu.

Na rychlost průběhu prvního stupně grafitizace má značný vliv chemické složení litiny. S rostoucím obsahem uhlíku se pochod prodlužuje. Křemík rozpad ledeburitického cementitu výrazně zrychluje, zejména zvětšením rychlosti nukleace grafitu. [5]

Pro strukturně volný cementit, který lze podstatně rychleji rozložit při teplotách nadkritických, má grafitizace ve druhém stupni jen malý význam. Je však významná pro všechny druhy grafitických litin, neboť její rozsah je rozhodující pro druh matrice při normální teplotě a tedy také pro jejich vlastnosti. Vhodnou volbou chemického složení a podmínek ochlazování lze dosáhnout požadované struktury matrice šedé litiny. Mezní požadavky jsou buď feritická nebo perlitická struktura. Pro vznik litiny s feritickou strukturou musí být dostatečně vysoký obsah křemíku při nízkém obsahu manganu. Po dostatečně pomalém ochlazování nebo po izotermické prodlevě při teplotách těsně pod $A_{1,1}$ vznikne litina s feritickou maticí. Pro vznik perlitické litiny je třeba potlačit tvorbu feritu snížením obsahu křemíku, zvýšením obsahu manganu a zvětšením rychlosti ochlazování.

2.4. Mechanické vlastnosti šedé litiny

Při volbě složení litiny musíme mít na zřeteli jaké mechanické vlastnosti na ni vyžadujeme. V praxi jsou výrobky vystaveny různým druhům namáhání: tah, střih, ohyb, tlak, krut. Můžeme vyžadovat různou tvrdost i jiné mechanické vlastnosti.

Tvrdost litiny je určována hlavně strukturou kovové složky a závisí na množství vázaného uhlíku. Pevnost tahu závisí nejen na množství grafitových vyloučenin, nýbrž i na jejich tvaru a rozložení. Tvárné vlastnosti litiny se určují podle pevnosti v ohybu nebo podle velikosti průhybu, neboť tažnost a příčné zúžení se u litiny po přetržení zkušební tyče téměř nebo úplně rovnají nule. Odolnost litiny proti vlivu dynamického namáhání se určuje zkouškou vrubové houževnatosti. Velikost vrubové houževnatosti závisí především na tvaru grafitových vyloučenin, které působí podobně jako vruby a to tím silněji, čím jsou ostřejší. Zvláště význačnou vlastností šedé litiny je vysoká dynamická houževnatost, která snižuje špičková napětí a také její odolnost proti opotřebení, která je tím větší, čím větší je tvrdost litiny. [3]

Na tyto mechanické vlastnosti má vliv struktura kovu, která je dána podmínkami krystalizace. Množství, tvar a rozložení grafitu a struktura základní kovové hmoty litiny jsou přitom rozhodující činitelé.

2.4.1. Vliv základní kovové hmoty litiny na mechanické vlastnosti

Na mechanické vlastnosti má vliv struktura kovu, která je určována podmínkami krystalizace. Většinou se snažíme, aby základní kovová hmota - matrice byla pro většinu účelů perlitická. Přítomnost volného cementitu je nežádoucí, neboť zvětšuje tvrdost a zhoršuje obrobitelnost. Také ferit je

nežádoucí, neboť zmenšuje tvrdost a pevnostní charakteristiky litiny jednak proto, že jeho pevnost je malá, jednak proto, že při jeho výskytu klesá podíl chemicky vázaného uhlíku a vzrůstá podíl grafitu. Při vyšším obsahu uhlíku a křemíku a ve středu silnějších průřezů však nelze čistě perlitické struktury bez očkování stabilizačními přísadami dosáhnout.

Velký vliv na mechanické vlastnosti základní kovové hmoty má i velikost zrna. Čím je zrno jemnější, tím větší je pevnost litiny. Velikost tohoto zrna má však vliv i na velikost vyloučenin grafitu a na průběh překrytalizace. Na těchto činitelích opět závisí pevnost litiny. Zvýšení pevnosti nastává blokováním surných ploch a zvětšením délky hranic zrn. Hrubnutí perlitu snižuje pevnost, ale zároveň poněkud zvyšuje plastičnost a houževnatost litiny.[2]

2.4.2. Vliv grafitu na mechanické vlastnosti litiny

Grafit je typickou složkou litiny, určující její specifické vlastnosti vzhledem k oceli: [2]

- 1) Zmenšení modulu pružnosti
- 2) Snížení meze pružnosti a úměrnosti
- 3) Snížení plastických vlastností
- 4) Zmenšení charakteristik pevnosti
- 5) Zvýšení dynamické houževnatosti
- 6) Snížení citlivosti k vrubům

Grafit jednak zmenšuje čistý průřez základní kovové hmoty litiny, čímž se skutečné napětí zvyšuje a jednak tvoří vruby, což vede k nestejnornému rozdělení napětí a k prostorové napjatosti. Jeho působení závisí na množství a rozměrech vyloučených částic, na jejich tvaru a rozložení. Nejpriznivěji působí grafit ve formě kuliček, nejnepřiznivěji působí vyloučením lístkového, nebo dendritického tvaru, tvořící síťoví.

2.5. Vliv chemického složení na strukturu litiny

Chemické složení má na krystalizaci velký vliv. Měníme-li složení litiny, můžeme za jinak stejných podmínek dosáhnout toho, že odlitky budou mít různou strukturu.

Sledujeme-li vliv prvků na krystalizaci litiny, zajímá nás nejvíce jejich vliv na grafitizaci. Srovnáme-li prvky podle toho, zda podporují nebo zabraňují grafitizaci, dostaneme tuto řadu:

+ ←—————|—————→

Al, C, Si, Ni, Cu, P, Co, Zr, Nb, W, Mn, Mo, S, Cr, V, Mg, B

prvky ležící uprostřed jsou neutrální, vlevo od nich jsou prvky, které grafitizaci podporují, vpravo prvky, které jí zabraňují.

Grafitizační působení prvků se také spojuje s jejich vlivem na polohu bodů C, E, S v rovnovážném diagramu. Za jinak stejných podmínek má každé zvýšení překrystalizační teploty a posunutí těchto bodů doleva, tj. směrem ke zvýšené teplotě a zmenšení obsahu uhlíku, obyčejně příznivý vliv na grafitizaci. Vysvětlujeme to tím, že grafitizace probíhá tím rychleji, čím vyšší je teplota a čím více uhlíku se vylučuje z roztoku. [2] Podle množství uhlíku, který zůstává vázán, může být sloh litiny perlitický, feriticko perlitický nebo feritický. Mikrostruktura šedé litiny je stejná jako mikrostruktura pod-eutekto-oidní nebo eutekto-oidní oceli, až na to, že obsahuje určité množství strukturně volného grafitu. Změny a zlepšení vlastností litin lze dosáhnout působením jak na kovovou, tak i na nekovovou složku litiny. Změny mikrostruktury kovové složky v litině, způsobené fázovými přeměnami při ochlazení ztuhlé litiny, lze dosáhnout obvyklými způsoby tepelného zpracování. Změny vzájemného poměru množství kovové a nekovové složky litiny, jejich rozdělení a způsobu vylučování nekovové složky lze dosáhnout změnou chemického složení litiny, legováním litiny speciálními prvky, tj. způsobem, jehož se nejčastěji používá pro zlepšení vlastností ocelí.

Pro posouzení účinku prvku na strukturu litiny byly vypracovány empirické vzorce, podle nichž se zjišťuje uhlíkový ekvivalent nebo stupeň eutektičnosti litiny. Udávají nám polohu litiny určitého složení vůči složení eutektickému.

Stupeň eutektičnosti podle Hellera a Jungblutha [1] (2.5.1.)

$$S_c = \frac{\% C}{4,23 - 0,312 \% Si - 0,275 \% P} \quad (2.5.1.)$$

C - celkový obsah uhlíku v litině

Si, P - obsah křemíku a fosforu v litině

Podle vztahu 2.5.1. platí:

$S_c < 1$ litina podeutektická

$S_c = 1$ litina eutektická

$S_c > 1$ litina nadeutektická

Pro vyjádření uhlíkového ekvivalentu se užívá např. vztah: [1]

$$C_{ekv} = \% C + 0,312 \% Si + 0,275 \% P \quad (2.5.2.)$$

Pro posouzení polohy litiny vůči stavu eutektickému nám slouží hodnota $C_{ekv} = 4,3$.

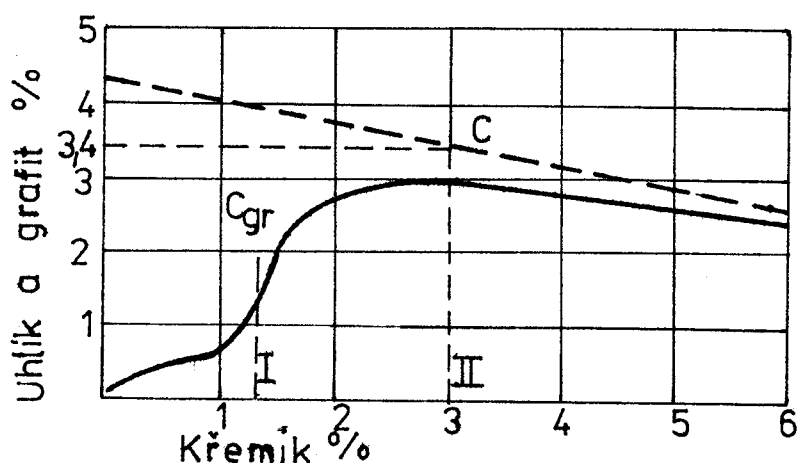
2.5.1. Vliv uhlíku a křemíku na strukturu šedé litiny

Ze všech prvků, které ovlivňují grafitizaci, má největší význam právě uhlík a křemík. Změníme-li jejich obsah, dosáhneme prakticky různého stupně grafitizace a tím i požadované struktury litiny. Oba prvky působí v tomto směru stejně. Zvětší-li se proto obsah jednoho z nich, musí se pro dosažení stejného stupně grafitizace zmenšit množství druhého.

Křemík zvyšuje eutektickou i eutektoidní teplotu a posunuje eutektický a eutektoidní bod doleva, tj. směrem k vyšším teplotám a menší koncentraci uhlíku. Zmenšuje tím rozpustnost uhlíku v tuhém i tekutém stavu a způsobuje grafitizaci. K tomu přispívá i ta okolnost, že křemík působí ve stabilní soustavě účinněji než v soustavě metastabilní.

Zvýšení eutektické a eutektoidní teploty rovněž podporuje grafitizaci. Přitom se zároveň se zvyšováním eutektické teploty snižují teploty likvidu. Zvýšený obsah křemíku tedy zmenšuje interval tuhnutí, což je velmi důležité z hlediska slévatelnosti litiny.

Se zvyšujícím se obsahem uhlíku i křemíku se zvětšuje množství grafitu a zároveň stoupá i stupeň grafitizace, viz obr. 1.



Obr. 1 Vliv křemíku na množství grafitu v litině

- C_{gr} - označuje množství grafitu
 C - označuje celkové množství uhlíku

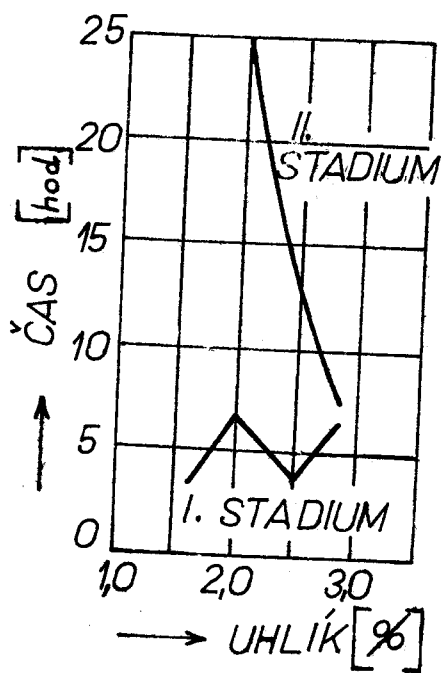
Z obr. 1 jsou vidět dvě kritická množství křemíku. První při 1 - 2 % křemíku - vyznačuje se náhlým zvýšením stupně grafitizace a výraznou změnou lomu; bílá litina se stává šedou. Při tom závisí kritické množství na složení

litiny, na podmínkách ochlazování a na přítomnosti krystalizačních zárodků.

Hodnoty 3 - 3,5 % křemíku znamenají druhé kritické množství; začíná klesat množství grafitu. Toto druhé kritické množství křemíku, odpovídající největšímu obsahu grafitu, vzniká proto, že se celkové množství uhlíku se stoupajícím obsahem křemíku zmenšuje. Zároveň se změnou stupně grafitizace mají slitinové prvky také vliv na tvar a velikost vyloučeného grafitu. [2] Všeobecně lze uvést, že grafitizační prvky většinou způsobují zhrubnutí vyloučeného grafitu. Působí tak zejména křemík a zvláště uhlík. Zmenšuje-li se obsah uhlíku v šedé litině, vyloučený grafit se postupně zjemňuje a nakonec dostává mezidendritický tvar. Čím vyšší je obsah uhlíku, tím rychlejší musí být ochlazovací odlitku, aby došlo k této krystalizaci.

Uhlík působí hlavně na druhotnou grafitizaci. Na prvotní grafitizaci téměř nemá vliv (obr. 2).

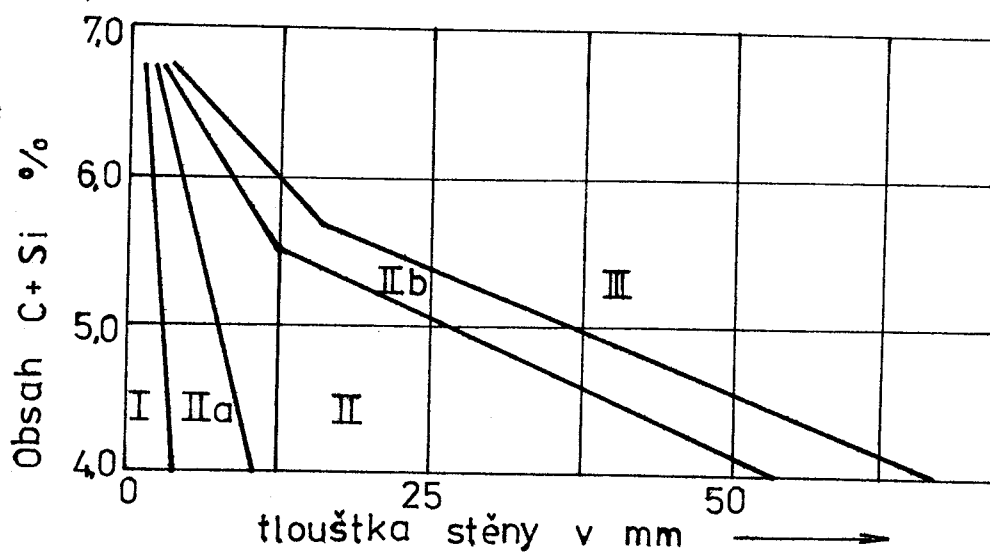
Křemík na rozdíl od uhlíku urychluje obě stadia grafitizace a to druhotné značněji než prvotní.



Obr. 2 Vliv uhlíku na grafitizaci kužné litiny 2

Při volbě složení litiny se zřetelem na její strukturu seřídíme strukturními diagramy. Byly vypracovány různé

diagramy, které umožňují odhad struktury litiny pro dané složení a tloušťku stěny odlitku, např. Klingensteinův (obr. 3), Maurerův strukturální diagram atd.



Obr. 3 Klingensteinův strukturální diagram

- I bílá litina
- IIa..... perliticko cementitická litina šedá
- II perlitická litina šedá
- IIb..... perliticko feritická litina šedá
- III feritická litina šedá

Příliš vysoký obsah křemíku způsobuje vznik hrubého grafitu a může vyvolat i grafitizaci perlitického cementitu. Důsledek toho je vznik feritických polí a tudíž zvětšení množství grafitu. Malý obsah křemíku může způsobit, že grafitizace neproběhne úplně a litina bude buď bílá nebo maková, což znamená, že bude obsažen vedle grafitu i volný cementit.

2.5.2. Vliv manganu a síry na strukturu šedé litiny

Mangan a síra na rozdíl od uhlíku a křemíku grafitizaci zabraňují. V oněch množstvích, s nimiž se obvykle v litině setkáváme, jsou tyto prvky úplně rozpustné v tekutém stavu. Přitom mangan zvětšuje a síra zmenšuje rozpustnost uhlíku.

Mangan tvoří roztoky s feritem a cementitem, posiluje několikanásobně meziatomové vazby železa s uhlíkem a do jisté míry zabraňuje grafitizaci.

Síra na rozdíl od manganu je velmi málo rozpustná ve feritu i v cementitu, takže při obsahu asi 0,02 % tvoří samostatnou fázi - siričky. Jejich složení a tvar závisí na obsahu manganu a ostatních prvků v litině. [2]

V litině s nízkým obsahem manganu je síra obsažena převážně ve formě eutektika nebo siričky, bohatých na železo (Fe, Mn)S a v litině s vysokým obsahem manganu ve formě tuhých roztoků bohatých manganem (Mn, Fe)S. Obvykle je poměr mezi manganem a sírou v litině takový, že se bezpečně tvoří tuhé roztoky bohaté manganem a pouze zřídka vznikne eutektikum. Jejich poměr bývá $Mn : S = 3 - 5$.

Vliv síry na grafitizaci závisí na složení a tvaru sulfidů v litině. Síra grafitizaci velmi brzdí, je-li přítomna ve formě eutektika nebo roztoku bohatého železem.

Vliv manganu není intenzivní a je zřejmý pouze při vysokém obsahu (nad 1,5 - 2 %). Přitom do 0,3 - 0,5 % manganu grafitizaci podporuje. [2]

Pro dobré vlastnosti litiny je nejdůležitější zachovat vždy přesnou rovnováhu mezi manganem a sírou. Při grafitizaci šedé litiny se neudává absolutní množství manganu a síry, nýbrž jejich vzájemný poměr. Tato hodnota pro litinu z kuplovný má být asi 3,3. Přitom je třeba zdůraznit, že nedostatek manganu je mnohem nebezpečnější než jeho nadbytek.

2.5.3. Vliv fosforu

Podobně jako křemík tvoří i fosfor homogenní roztok s roztavenou litinou, snižuje v něm rozpustnost uhlíku a posunuje autektický bod doleva. Zároveň však, na rozdíl od křemíku, snižuje fosfor eutektickou teplotu. Fosfor zlepšuje zabíhavost litiny. Jeho vliv na grafitizaci není výrazný. [3]

Fosfor v litině zvětšuje její odolnost proti opotřebení, tvrdost a křehkost a zhoršuje odolnost proti dynamickému namáhání.

2.5.4. Vliv očkovaní

Účelem očkovaní je působit na tvar grafitu. Má se získat lístkový grafit a tím se zvýší stupeň grafitizace litiny s malým obsahem uhlíku a křemíku a tím se i odstraní tvoření paprskovitého lomu. Očkovaní umožňuje lépe využít činitelů, které zlepšují mechanické vlastnosti litiny. [5]

2.5.5. Vliv tepelného zpracování

Tepelné zpracování na rozdíl od činitelů určujících stav roztavené litiny působí na litinu v tuhém stavu a mění hlavně její základní kovovou hmotu. Podoba grafitu zůstává prakticky nezměněna a jenom jeho množství se může tepelným zpracováním poněkud zvětšit nebo zmenšit.

Účelem tepelného zpracování litinových odlitků je:

- 1) odstranit vnitřní pnutí
- 2) změkčit odlitky
- 3) zlepšit mechanické vlastnosti
- 4) Zvýšit tvrdost

ad 1) Vnitřní pnutí odstraňujeme žíháním pro odstranění pnutí. Jeho účel vyplývá z názvu a provádí se za teplot 500 - 600 °C. Zvýšením žíhací teploty se sice lépe odstraní pnutí, ale zároveň se jím může snížit pevnost litiny. Snížení pevnosti při takovém žíhání lze vysvětlit grafitizací a sbalováním perlitu. Ale přes snížení mechanických vlastností kovu se pevnost odlitku jako celku zvýší, protože se zmenší vnitřní pnutí.

ad 2) Změkčit - měkké žíhání. Měkkým žíháním se obvykle zlepšuje obrobiteľnosť ; dosáhne se toho rozpadem nebo sbalením karbidů. Změkčení se provádí různými žíhacími

postupy podle složení a struktury litiny. Při měkkém žíhání se pevnost litiny sníží. Pouze při žíhání bílé nebo makové litiny se mechanické vlastnosti zvyšují.

ad 3) Zlepšení mechanických vlastností. Pevnost litiny při tepelném zpracování se nejlépe zvyšuje kalením a popouštěním, jímž se dosáhne přiměřené jemnosti základní matrice a odstraní se vnitřní pnutí. Nejvyšší mechanické vlastnosti dostáváme při nejpříznivějším, tj. kulíčkovém tvaru grafitu ve spojení s tepelným zpracováním, které zajišťuje optimální strukturu základní kovové hmoty.

ad 4) Zvýšení tvrdosti. Zvýšení tvrdosti litinových odlitků může mít samostatný účel. (Zvětšit odolnost proti opotřebení). Přitom se nebere zřetel na jiné mechanické vlastnosti. Tvrdost se zvyšuje kalením nebo normalizací. Přitom zvýšení kalící teploty a rychlosti ochlazování se tvrdost zvětšuje jen do určité meze. Teplota a délka ohřevu při kalení mají být tím větší, čím hrubší jsou grafitové vyloučeniny. Velmi důležitá je též prokalitelnost litiny, charakterizující rozložení tvrdosti průřezu odlitku. Bylo zjištěno, že velký vliv mají přísadové prvky. Prokalitelnost litiny se značně zvyšuje přísadou molybdenu, chromu a niklu. Stejně jako u oceli je důležitá velikost zrna, s jehož zvětšením prokalitelnost stoupá. [2]

2.6. Vztahy mezi strukturou, složením a vlastnostmi

Mechanické vlastnosti litiny jsou značně závislé na struktuře. V praxi se omezujeme na nejjednodušší zkoušky, např. ohybem a tahem a podle výsledků těchto zkoušek se usuze o jiných pevnostních vlastnostech. Vzájemný vztah mezi různými vlastnostmi litiny je složitý, protože vlastnosti

závisí různou měrou na základní kovové hmotě litiny, na tvaru a na množství grafitu a na nestejnorodosti struktury.

Např. vztah mezi $\tilde{\sigma}_{Pt}$, HB a E vyjádřil A. Collaud rovnicí:

$$\tilde{\sigma}_{Pt} = d \cdot E \cdot HB \quad (2.6.1.)$$

d - koeficient, který má hodnotu kolem $1,03 \cdot 10^{-5}$, je závislý na jakosti litiny a stoupá s pevností. [1]

Velmi cenné pro posouzení jakosti litiny jsou i závislosti mezi stupněm eutektičnosti a tvrdostí litiny, opět podle Collauda platí:

$$HB = 465 - 270 S_c \quad (2.6.2.)$$

Vztahy mezi $\tilde{\sigma}_{Pt}$ a HB lze vyjádřit rovnicí:

$$HB = 125 + 0,034 \tilde{\sigma}_{Pt} \quad (2.6.3.)$$

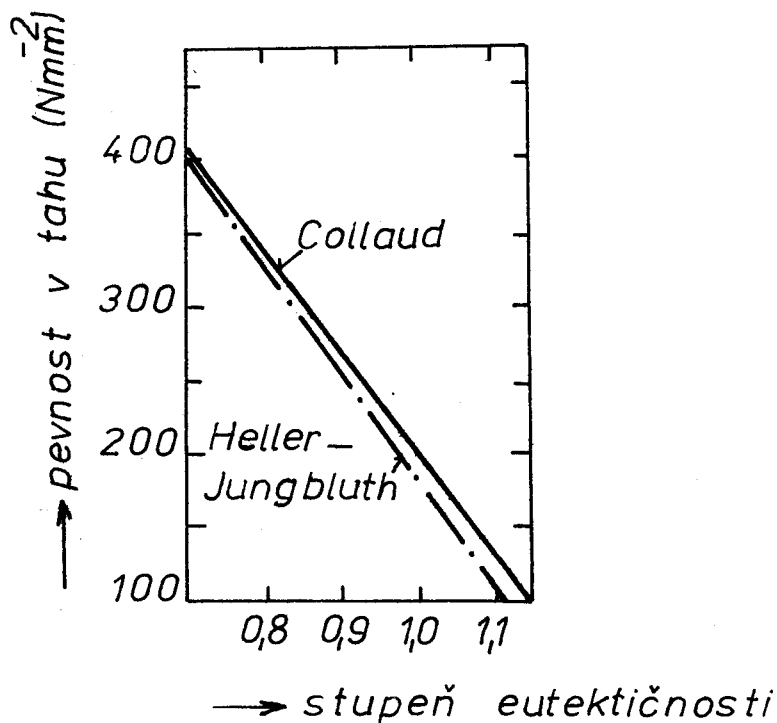
Pevnost v tahu lze vyjádřit pomocí stupně eutektičnosti dle vztahů:

$$\text{A. Collaud} \quad (2.6.4.)$$

$$\tilde{\sigma}_{Pt} = (100,6 - 80 S_c)$$

Heller - Jungbluth

$$\tilde{\sigma}_{Pt} = (102 - 82,5 S_c) \quad (2.6.5.)$$



Obr. 4 Závislost pevnosti v tahu šedé litiny na stupni eutektičnosti podle Collauda a Hellera - Jungblutha

Tyto vztahy mezi strukturou, složením a vlastnostmi jsou důležité pro snadné a nepřilíš nákladné posouzení odlitků.

2.7. Mechanické zkoušky šedé litiny

Mechanickým zkoušením kovů rozumíme určování jejich mechanických vlastností, tj. vlastností, které umožňují mechanické namáhání, ať již při zpracování nebo při použití hotového výrobku. Pojem mechanických vlastností zahrnuje v běžném slova smyslu pružnost, pevnost, tvrdost, tvárnost a houževnatost materiálu.

K určování mechanických vlastností šedé litiny používáme zkoušku tahem, zkoušku tlakem ($\tilde{\sigma}_{Pd}$ je 3 - 4 krát větší než $\tilde{\sigma}_{Pt}$), zkoušku ohybem, zkoušku mezi klíny (viz kapitola 2.7.1.), zkoušku stříhem a k určování tvrdosti zkoušku podle Brinella.