

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<sup>í</sup> a textiln<sup>í</sup>  
Vysoká škola: v Liberci  
Fakulta: strojn<sup>í</sup>

materiálů a strojn<sup>í</sup>renské  
Katedra: metalurgie  
Školní rok: 1981/82

# DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Richard P S C H E I D T  
obor strojn<sup>í</sup>renská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního 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 nové 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

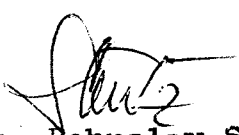
Datum zadání diplomového úkolu: 14.9.1981

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

$\alpha$	-	součinitel přestupu tepla z kovu do formy
$\gamma$	-	měrné teplo kovu
$\delta$	-	tažnost
$\lambda$	-	měrná tepelná vodivost
$\sigma_{Pk}$	-	pevnost mezi klíny
$\sigma_{Pt}$	-	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 předváh 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 stále 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 chladnutí. 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 ( $\text{Fe}_3\text{C}$  - 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
- $\alpha$  - součinitel přestupu tepla z kovu do formy
- $R$  - poměrná tloušťka odlitku
- $\rho$  - 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 ( $\gamma, c, \lambda$ ) 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 matricí. 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 ochlazování 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

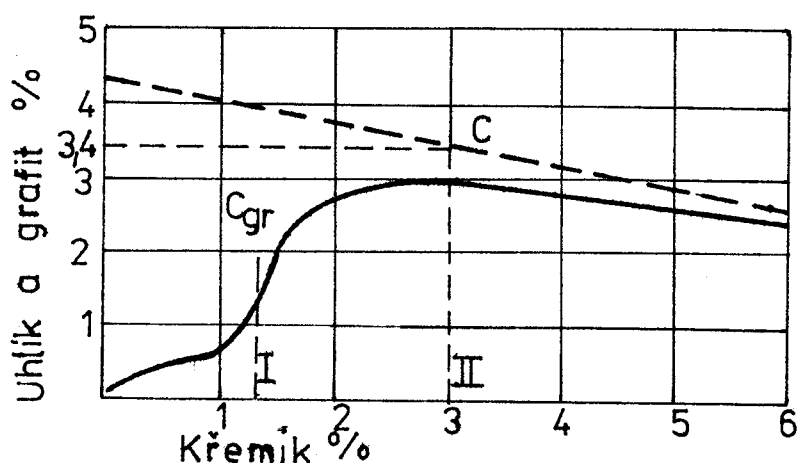
Ze všech prvků, které ovlivňují grafitizaci, má největší význam právě uhlík a křemík. Změníme-li jejich obsah, dosáhneme prakticky různého stupně grafitizace a tím i požadované struktury litiny. Oba prvky působí v tomto směru stejně. Zvětší-li se proto obsah jednoho z nich, musí se pro dosažení stejného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

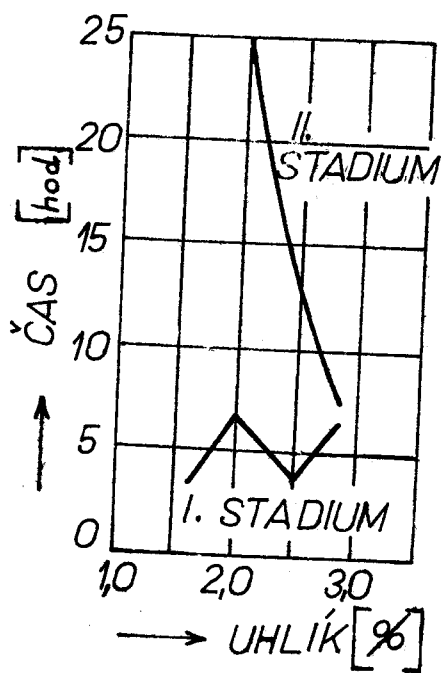
Z obr. 1 jsou vidět dvě kritická množství křemíku. První při 1 - 2 % křemíku - vyznačuje se náhlým zvýšením stupně grafitizace a výraznou změnou lomu; bílá litina se stává šedou. Při tom závisí kritické množství na složení

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).

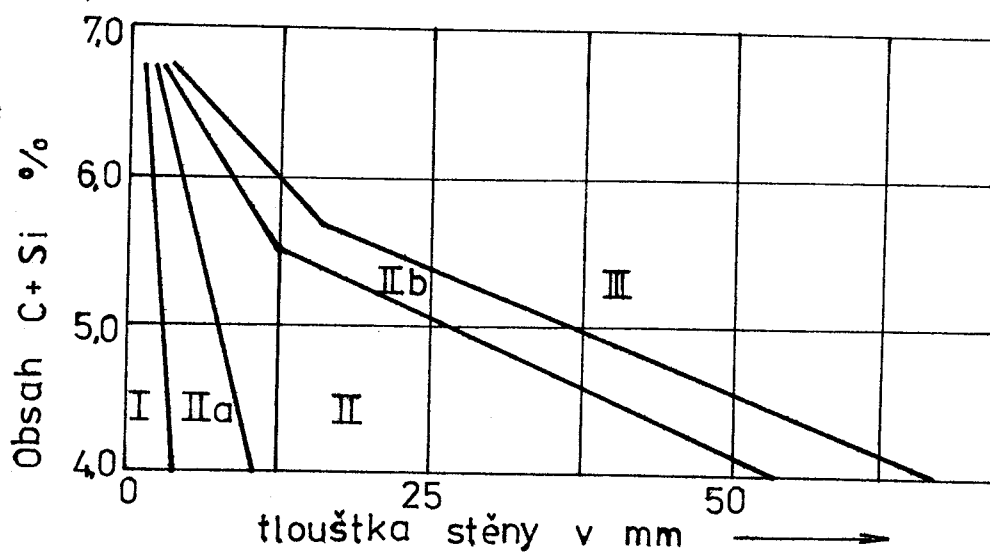
Křemík na rozdíl od uhlíku urychluje obě stadia grafitizace a to druhotné značněji než prvotní.



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:

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

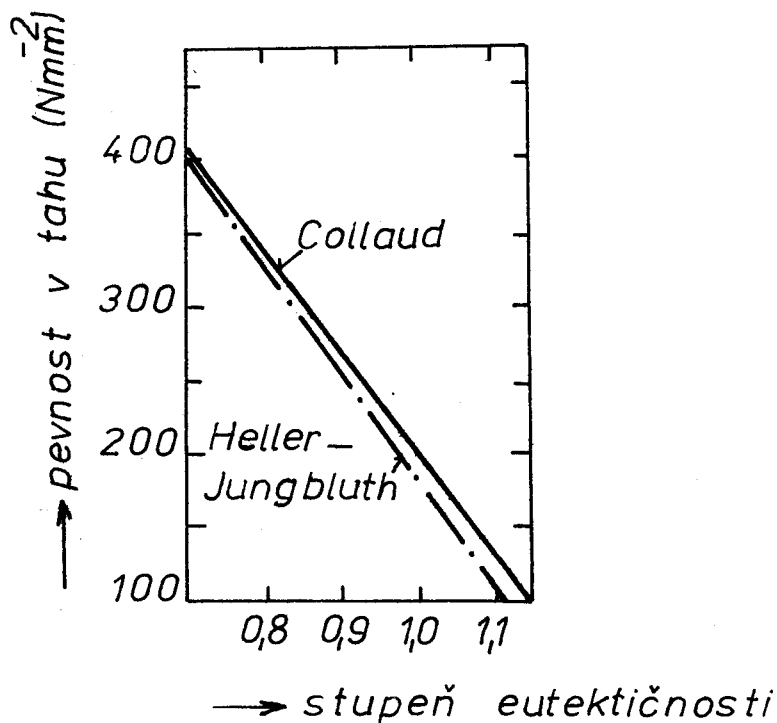
Pevnost v tahu lze vyjádřit pomocí stupně eutektičnosti dle vztahů:

$$A. Collaud \quad (2.6.4.)$$

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

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.

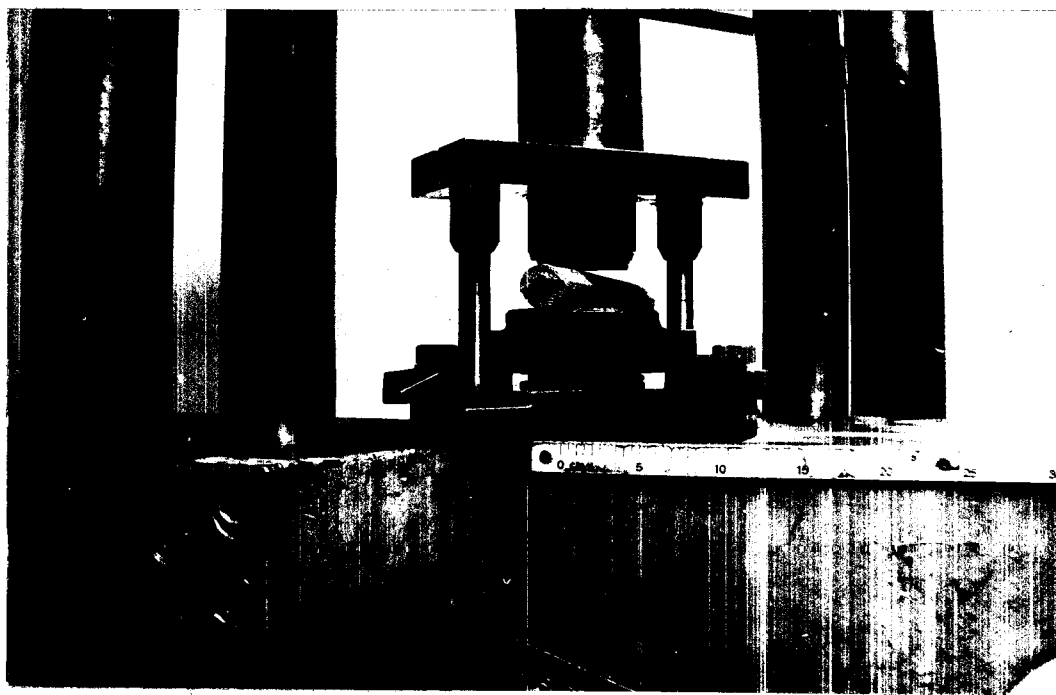
K určování mechanických vlastností šedé litiny používáme zkoušku tahem, zkoušku tlakem ( $\tilde{\sigma}_{Pd}$  je 3 - 4 krát větší než  $\tilde{\sigma}_{Pt}$ ), zkoušku ohybem, zkoušku mezi klíny (viz kapitola 2.7.1.), zkoušku stříhem a k určování tvrdosti zkoušku podle Brinella.



### 2.7.1. Zkouška mezi klíny

Zkouška mezi klíny byla navržena již v roce 1934 P. Ludwikem a J. Krystofem. Ve srovnání s klasickými zkouškami (zkouška litiny v tlaku, popř. v ohybu) na odlévaných a na obráběných vzorcích je tato zkouška jednodušší, rychlá a ekonomická.

Tato metoda je vhodná pouze pro křehké materiály, hodí se pro litiny s maximální tažností  $\delta = 1,3 \%$  a minimální tvrdostí 160 HB. Z toho vyplývá, že je zkouška omezená prakticky na zkoušení šedé litiny. Schema zkoušky je uvedeno na obr. 5.

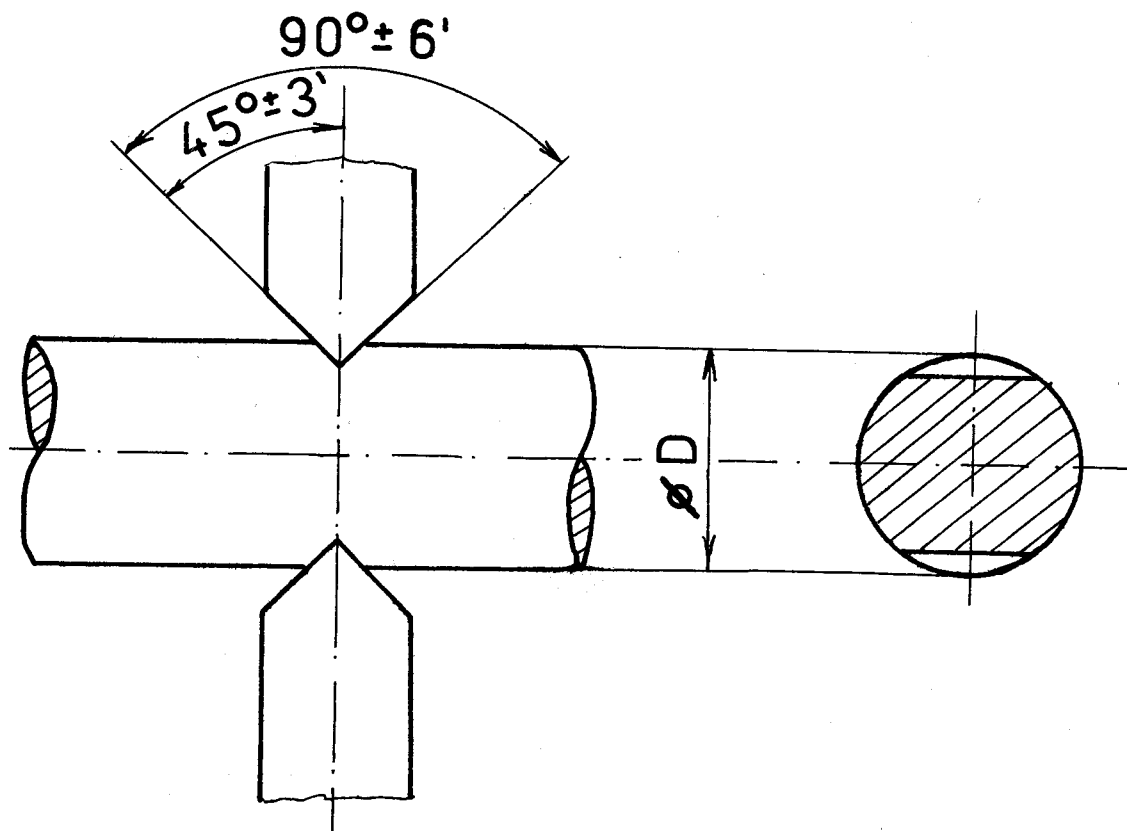


Obr. 5 Zkouška mezi klíny

Podstatou zkoušky je, že zkušební vzorek ve tvaru kruhové tyče je zatěžován vnikajícími protilehlými klíny až do lomu viz obr. 6. Pevnost mezi klíny  $\sigma_{Pk}$  se vyjadřuje poměrem nejvyššího zatížení  $F_{max}$  při zkoušení k počátečnímu

průřezu zkušebního vzorku  $S_0$ .

$$\sigma_{Pk} = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (2.7.1.)$$



Obr. 6 Vnikání protilehlých klínů do kruhového vzorku

Zkušební klíny jsou vyrobené z rychlořezné oceli a jsou umístěny protilehle v prismatickém loži tlačných válců, tak, aby vnikající hrany ležely v rovině zatěžující síly a byly rovnoběžné. Úhel vnikací hrany klínu je  $90^\circ \pm 6'$ , zaoblení ostří je menší než 2 mm. Pracovní plochy klínů se brousí na  $Ra = 0,2$ , tvrdost břitů zkušebních klínů musí být v rozsahu  $62 \pm 4$  HRC.

Zkušební vzorky se odebírají ze zkušebních těles, odlišných podle normy ČSN 421241. Zkoušený průřez musí být vzdálen od obou konců zkušebního tělesa nejméně 60 mm.

Rozměry a drsnost povrchu zkušebních vzorků dle ČSN 420341

Tvar vzorku	Rozměry vzorku v mm		Drsnost povrchu Ra	
	průměr D	výška v	rovinných ploch	válcových ploch
kruhová tyč	30 ± 2	0	0	25

Nenormalizovaných zkušebních vzorků lze ke zkoušce použít po dohodě. Zkouška se provádí při teplotě 20 ± 10 °C. Zkouší-li se při jiné teplotě, je třeba uvést tuto teplotu v zápisu o zkoušce.

Počáteční průřez zkušebních vzorků se stanoví výpočtem z rozměrů, naměřených před zkouškou v rovině, ve které budou vzorky zatěžovány. Průměr vzorku se měří ve dvou na sebe kolmých směrech, pro výpočet počátečního průměru se bere aritmetický průměr naměřených hodnot. Tyče se zatěžují kolmo na osu tyče, roviny zatěžování musí být od sebe vzdálené minimálně 20 mm, zatížení se zvětšuje nepřetržitě a bez rázů až do lomu zkušebního vzorku, rychlost zatěžování musí být taková, aby vzrůst napětí ve zkušebním vzorku nepřekročil 10 MPa za sekundu. Způsob zatěžování nenormalizovaných tyčí musí být dohodnut. [4] [9]

Převod pevnosti mezi klíny na pevnost v tahu

Výsledky zkoušky pevnosti mezi klíny  $\sigma_{Pk}$  lze převést na pevnost v tahu  $\sigma_{Pt}$  podle vzorce (2.7.2.):

$$\sigma_{Pt} = a \cdot \sigma_{Pk} - b \pm c \quad (2.7.2.)$$

Informativní hodnoty koeficientů a, b, c

Tvar vzorku	a	b	c
neobrobená zkušební tyč o Ø 30 mm	1,92	32,0	32,0

### 3.0. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Ze slévárny n.p. LIAZ, závodu Ostašov nám byly dodány na VŠST Liberec zkušební vzorky ze šedé litiny. Tyto vzorky byly ze dvou taveb, které vznikly v dvou různých předpecích. Jedno předpecí bylo plynové a druhé elektrické indukční. Soubor vzorků vznikl v rozmezí 2. 1. 1980 - 29. 12. 1980 ve slévárně n.p. LIAZ Ostašov 040. Odlité zkušební vzorky měly tvar tyčí o průměru 30 mm a délce 250 mm. Vzorky se nacházely v neobrobeném stavu a u každého vzorku bylo udáno jeho chemické složení a pevnost v tahu  $\sigma_{Pt}$ .

Přibližné chemické složení vzorků bylo: 3,1 - 3,5 % C; 0,55 - 0,95 % Mn; 1,7 - 2,3 Si; 0,1 - 0,23 P; 0,08 - 0,12 S.

Nejprve byla prováděna zkouška mezi klíny. Tato zkouška se prováděla podle normy ČSN 420341. Vlastní zkoušku jsme prováděli na univerzálním zkušebním stroji ZDM 50, výrobek WEB Werkstoffprüfmaschinen Liebig. Měření bylo prováděno při teplotě 17 - 21 °C, což odpovídá normě ČSN 420341, u níž se uvádí teplota 20 ± 10 °C. Na univerzálním zkušebním stroji byl při zkoušce použit rozsah zařížení 0 - 250 kN, což odpovídá rozsahu B. U zkušebních vzorků byl před započítáním zkoušky měřen v rovině zatěžování dvakrát průměr vždy ve dvou kolmých směrech a z těchto dvou hodnot vypočítán aritmetický průměr. Tyče byly zatěžovány v jedné třetině a ve dvou třetinách původní délky zkušební tyče. Z odečtené síly potřebné k porušení vzorku a z průměru tyče D byla vypočtena mez pevnosti mezi klíny. Vypočtené hodnoty jsou uvedené v tabulce 1 a v tabulce 2.

Po zkoušce mezi klíny následovalo měření tvrdosti podle Brinella. Byla vybrána vždy prostřední část zkušební tyče, na které se nejprve vybrousila ploška, na níž se měřila tvrdost. Jako výsledná hodnota tvrdosti podle Brinella byl brán aritmetický průměr.

Zkouška se prováděla podle normy ČSN 420371 na tvrdoměru Brinell, vyrobeném WEB Werkstoffprüfmaschinen Liebig, typ HPO 3 000. Při zkoušce byla použita kulička o průměru 10 mm,

zatěžovací síla 29 430 N. Správnost měření byla ověřena cejchovní destičkou číslo B 73231. Měření se provádělo za teploty 17 - 21 °C, což opět je v souladu s normou ČSN 420371, podle které se má měřit při teplotě  $20 \pm 15$  °C. Doba zatěžování byla 10 - 15 s, poté byl změřen průměr vtisku ve dvou kolmých směrech, vypočten aritmetický průměr těchto hodnot a z tabulek byla odečtena odpovídající tvrdost. Výsledné průměrné tvrdosti podle Brinella byly opět zaznamenány v tabulce č. 1 a v tabulce č. 2.

Zpracováním výsledků zkoušky mezi klíny a zkoušky tvrdosti podle Brinella jsme získali dva soubory vzorků.

Jelikož samotné tabulky nedávají ucelený obraz o vlastnostech vzorků, byly sestaveny grafy lineárních korelací závislosti pevnosti mezi klíny a pevnosti v tahu (viz obr. 23) a závislosti tvrdosti podle Brinella a pevnosti v tahu na stupni eutektičnosti (viz obr. 24 a obr. 25), které jsem převzal z diplomové práce V. Šprince, [10] který se zabýval statistickým vyhodnocením téhož souboru vzorků.

#### Soubor C 4

Soubor C 4 tvoří vzorky zhotovené v elektrickém předpecí. Vzorky z tohoto předpecí nabývaly většinou průměrných hodnot pevnosti mezi klíny, ale vykazovaly poněkud menší tvrdost.

#### Soubor D 4

Soubor D 4 tvoří vzorky z plynového předpecí. U tohoto souboru byla zjištěna jak maximální, tak minimální pevnost mezi klíny, maximální i minimální tvrdost. U tohoto souboru také nejvíce kolísaly procentuelní obsahy uhlíku, křemíku a síry.

Průměrnou hodnotu pevnosti mezi klíny, tvrdosti a též průměrný obsah jednotlivých prvků byly zaznamenány do tabulky č. 3. Do této tabulky byly zaznamenány též maximální a minimální hodnoty pevnosti mezi klíny a tvrdosti. Z této tabulky je národně vidět, jak u souboru D 4 (plynové předpecí) je velký

rozdíl mezi maximálními a minimálními hodnotami obsahu uhlíku, manganu a fosforu ale i síry. Z tohoto důvodu jsou zřejmě také tak veliké rozdíly mezi maximální a minimální pevností mezi klíny a tvrdostí.

### 3.1. Výběr vzorků pro metalografický rozbor

Pro vyhodnocení vlivu chemického složení na pevnost mezi klíny byly vybrány vzorky s největšími a nejmenšími pevnostmi mezi klíny a tvrdostmi. Tento soubor vzorků byl označen A. (Viz tabulka č. 4).

Po provedení zkoušky mezi klíny byly ze zkušebních tyček odebrány vzorky pomocí strojní pily, zality do dentakrylu a zhotoveny metalografické výbrusy.

Nejprve se sledoval na nenaleptaných vzorcích tvar grafitu, který byl porovnáván dle ČSN 420461 s etalonovou řadou č. 1, rozložení lupínkového grafitu podle etalonové řady č. 2 a velikost grafitu podle etalonové řady č. 3, vše při stonásobném zvětšení. Každý vzorek byl hodnocen na povrchu i ve středu vzorku. Tyto údaje byly vyhodnoceny podle normy ČSN 420461 do tabulky č. 5. Charakteristická místa byla u vzorků s extrémní pevností mezi klíny a extrémní tvrdostí doložena fotografiemi.

Po vyhodnocení grafitu bylo všech deset vzorků naleptáno tříprocentním roztokem Nitalu. U takto naleptaných vzorků bylo pozorováno při zvětšení 250 - 500 krát rozložení feritu, perlitu a případně steaditu. Pozorování u vzorků s maximální a minimální pevností mezi klíny a tvrdostí jsou doložena fotografiemi, které byly zhotoveny při 500 násobném zvětšení.

U jednotlivých vzorků byl velký rozdíl mezi množstvím feritu. Největší obsah feritu měl vzorek č. 56, zejména v kraji vzorku je velký výskyt feritových shluků (obr. 13). Oproti tomu vzorek s nejmenším výskytem feritu je vzorek č. 141 (obr. 21 a obr. 22) a dále vzorek č. 20x, který má rovněž jako vzorek č. 141 velmi dobré mechanické vlastnosti. U některých vzorků

byl pozorován daleko větší výskyt feritu v povrchové vrstvě než v oblasti středu vzorku. To je např. patrné u vzorku č. 56 a č. 104. V povrchové vrstvě u těchto vzorků je patrný výskyt feritových shluků (viz obr. 13 a obr. 17) a v oblasti středu je zejména u vzorku č. 56 výskyt feritu o hodně menší. (Viz obr. 14).

#### 4.0. TABULKY, FOTOGRAFIE VZORKŮ A DIAGRAMY

Tabulka č. 1 - vzorky z elektrického předpecí - série C4

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\tilde{\sigma}_{Pk}$ [MPa]	$\tilde{\sigma}_{Pt}$ [MPa]	HB
057	116,0	106,0	156	242	221
058	115,5	104,5	150	229	223
059x	118,0	118,5	169	243	216
060x	120,0	110,0	167	245	227
063x	108,75	105,0	155	233	219
065	110,5	110,5	153	264	221
065x	105,5	107,5	149	232	212
068	110,0	109,0	156	226	215
069	111,0	108,0	155	226	205
069x	108,8	107,5	155	219	196
070	107,5	91,0	139	198	198
070x	106,3	109,0	154	231	219
071x	108,5	108,0	155	213	209
072	108,0	108,0	149	213	202
074	109,5	107,5	149	213	204
074x	106,5	104,5	150	197	213
076	117,0	106,0	149	217	201
077	98,5	107,0	145	201	196
077x	104,3	96,5	138	213	207
078x	106,0	106,0	147	201	196
149x	120,0	109,5	151	235	220
150x	104,0	101,5	138	229	203
151x	107,5	99,5	151	246	211
152	109,0	109,5	156	255	217
152x	105,5	94,0	136	246	212
153	110,0	109,5	159	243	214
153x	105,0	95,0	141	243	222
154	105,0	105,0	147	233	214
154x	110,0	112,5	158	261	227



číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
155	110,0	110,0	156	247	220
155x	109,0	94,8	145	221	221
156	111,0	101,0	144	237	205
156x	96,8	99,0	138	226	215
157x	112,5	110,5	158	246	216
158	110,5	116,0	160	249	221
158x	107,5	100,0	141	244	206
159	103,5	107,5	149	242	208
159x	112,5	109,3	158	239	214
160x	119,0	117,5	168	268	222
161	95,5	99,0	138	213	207
161x	102,5	93,0	135	192	203
162x	133,8	106,8	169	227	213
163	103,5	107,5	146	239	204
164	103,5	105,5	147	223	201
165	107,5	96,5	144	218	207
165x	105,0	104,3	145	221	213
166	84,5	99,0	129	221	214
166x	102,0	98,8	140	210	193
167	111,0	107,5	154	255	216
167x	99,0	98,0	136	207	198
168	102,5	98,5	139	213	206
168x	104,5	105,0	148	229	211
169	98,3	94,5	133	214	197
169x	96,25	102,0	141	219	198
170x	103,5	101,5	146	235	215
171	103,0	106,0	148	225	211
171x	105,0	102,5	141	244	218
172	212,5	103,0	151	219	203
172x	112,5	109,0	157	251	212
173	104,3	91,5	139	217	206

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
173x	99,5	96,5	140	217	187
174	105,0	103,0	145	217	203
174x	111,0	110,0	158	240	211
175	98,0	96,0	137	222	200
175x	115,5	109,0	155	244	205
176	105,0	101,0	145	229	203
176x	84,0	99,0	126	223	203
177	106,5	106,0	151	238	207
177x	97,5	103,0	141	219	196
178	117,0	110,3	146	255	205
178x	98,3	101,5	141	219	189
179	106,5	105,8	152	229	200
179x	110,0	111,5	158	254	210
180	107,3	104,3	144	251	214
180x	102,0	106,0	146	236	205
180xx	115,5	116,5	159	246	209
181x	100,0	106,0	147	233	202
182	110,5	114,0	161	256	212
182x	111,0	113,0	156	247	203
183	106,0	105,0	151	245	206
183x	111,0	113,0	159	245	206
184	113,5	108,0	147	248	211
184x	114,0	113,5	157	252	213
185	108,0	105,0	149	220	201
186x	106,0	92,0	139	239	204
187	100,0	104,0	144	233	213
187x	111,5	110,0	158	250	210
188	104,5	111,0	153	243	208
188x	103,5	99,0	145	219	205
189	105,0	108,5	152	248	204
190	106,0	110,0	155	246	204

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
190x	104,0	107,0	148	237	216
191	103,3	99,3	140	223	209
192	94,5	101,5	143	235	210
192x	105,5	100,0	145	224	215
193x	78,5	104,8	158	259	215
194	111,0	110,3	159	245	208
195	107,5	107,5	155	231	212
196	100,5	99,5	142	228	202
197	101,8	107,0	150	244	204
197x	100,0	101,0	144	220	200
198	95,8	118,5	150	261	215
198x	114,0	116,5	133	239	217

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\tilde{\sigma}_{Pk}$ [MPa]	$\tilde{\sigma}_{Pt}$ [MPa]	HB
226	104,5	107,5	149	236	205
226x	107,5	108,5	154	245	216
227	109,3	99,5	150	244	219
227x	105,5	97,5	138	238	205
228	104,5	105,0	147	227	197
228x	106,5	103,0	152	211	196
229	111,0	107,5	156	231	216
229x	104,3	99,8	144	242	213
230	93,0	102,5	140	231	198
231	114,0	112,0	160	264	225
231x	100,0	93,0	131	217	202
233x	90,5	85,8	122	231	204
234x	107,8	98,5	144	233	216
235	108,0	107,5	150	231	213
235x	112,0	115,0	158	242	229
237	96,5	109,0	143	236	217
237x	101,3	98,5	139	226	209
238	103,0	110,8	146	261	205
238x	118,5	118,5	169	255	222
239	112,5	113,0	146	275	205
239x	104,0	103,8	150	235	211
240	116,5	110,0	161	268	216
240x	112,0	110,0	156	240	216
242	118,5	104,5	151	256	211
244	113,5	110,5	158	255	206
247	108,0	98,0	148	240	218
247x	108,5	91,0	142	252	219

Tabulka č. 2 - vzorky z plynového předpecí - série D4

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
001	120,8	94,5	150	247	224
001x	130,5	102,0	161	231	203
002	104,0	98,5	141	235	210
002x	108,5	108,0	153	244	213
003x	118,8	99,5	145	228	215
004x	98,0	106,0	145	238	204
005	83,5	101,5	130	244	213
005x	99,5	102,0	140	278	211
006x	116,0	116,3	161	281	225
007	100,0	106,0	146	253	227
007x	105,3	106,0	151	238	215
008	106,0	107,8	153	244	202
008x	121,5	118,0	163	287	230
009	106,5	106,0	151	207	216
009x	106,3	109,0	154	235	218
010x	111,0	113,8	157	250	206
011x	105,0	106,0	146	239	207
012	91,5	81,0	118	191	198
013	101,0	99,5	136	222	199
013x	108,8	97,5	149	203	207
014	110,5	99,0	142	228	202
015	113,5	90,5	139	250	216
015x	111,5	100,8	148	227	215
016x	98,8	98,0	128	209	192
017	98,0	99,5	141	228	213
018	100,5	103,3	143	234	221
018x	104,0	100,8	142	219	210
019	104,0	101,5	146	212	201
020x	113,0	114,0	165	247	232
021	102,5	101,5	143	212	214

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
021x	112,5	110,0	160	253	218
022x	108,0	105,0	150	225	202
023	115,5	107,5	160	228	191
023x	124,0	106,0	164	241	223
024	108,0	116,5	159	241	222
024x	100,3	109,0	150	236	222
025	111,0	112,0	158	268	209
025x	118,0	118,5	170	245	209
026x	98,0	104,0	145	223	225
027	112,5	98,5	152	229	224
027x	112,0	108,0	156	245	223
028	109,5	110,5	154	255	229
028x	104,0	109,0	153	242	211
029	104,5	99,5	147	233	227
029x	112,0	110,0	159	231	224
030	103,5	112,5	149	240	212
032	100,5	115,0	151	249	216
032x	116,5	111,0	158	239	213
033x	104,5	109,5	150	240	218
034	114,0	109,0	156	240	218
034x	108,0	109,5	149	227	216
036x	105,5	106,5	148	204	213
038	103,0	92,0	132	194	202
040x	106,0	101,5	147	229	210
041x	102,5	101,0	143	210	210
042x	116,0	109,0	158	226	213
039	111,0	111,0	155	232	216
043	103,0	101,5	143	236	199
044	109,0	104,0	150	204	199
045	109,5	108,0	154	217	208

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
046	117,0	118,5	165	261	234
046x	109,0	110,0	158	268	227
047x	118,0	117,0	155	236	232
048x	115,0	108,0	155	236	217
050x	108,0	96,8	143	224	226
051	111,5	112,0	154	236	202
052	104,8	106,5	150	245	227
053	128,0	127,8	183	248	237
053x	122,5	125,0	174	245	242
054x	127,5	113,5	167	248	232
055	135,5	120,5	179	261	232
056	138,0	108,0	170	227	186
082x	99,0	103,5	142	208	206
083	102,0	103,0	141	217	218
084	113,0	111,0	160	218	218
085x	104,5	110,3	151	237	201
086	106,0	105,0	149	239	215
087x	102,0	105,0	147	237	227
090	109,0	102,5	147	218	220
090x	96,5	100,5	140	191	225
091	110,3	91,5	144	227	222
091x	120,0	111,0	163	240	219
092	103,0	105,0	149	205	215
094	111,5	108,8	159	206	218
094x	109,0	103,0	139	198	198
095x	113,0	103,3	152	218	206
096	96,0	108,5	145	193	204
096x	114,5	115,0	164	201	218
097	101,0	101,3	145	188	200
098	102,5	90,0	136	175	200

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
098x	101,0	97,5	141	185	202
099	95,0	85,0	129	172	191
100	100,0	97,5	141	178	196
100x	110,5	112,0	159	210	214
101	106,0	110,5	154	219	210
101x	95,5	110,5	150	229	218
102	110,5	104,0	153	202	202
102x	118,5	112,0	161	217	215
103x	101,0	96,5	141	175	198
104	82,8	82,5	118	138	187
104x	90,0	93,0	128	169	193
105	87,5	87,5	119	164	186
106	107,5	109,0	154	200	208
106x	109,5	98,5	151	243	205
107	91,0	89,0	125	198	194
107x	102,0	98,0	145	218	189
108	113,0	103,5	153	234	190
108x	110,0	105,0	148	228	201
109	102,5	103,5	142	234	199
109x	101,3	81,3	126	223	196
110x	101,3	91,0	136	220	199
111	106,3	102,5	149	231	197
111x	105,0	103,8	147	226	197
112	102,8	108,0	151	236	208
112x	115,0	116,0	164	270	215
113	120,5	116,0	165	253	217
113x	100,5	96,5	141	208	194
114	106,5	110,5	149	235	210
114x	114,5	106,5	154	242	202
115	105,5	110,0	153	240	193
115x	109,0	115,0	161	253	214



číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
116	108,8	105,5	153	228	192
117	108,0	88,0	139	252	204
117x	115,0	106,0	154	252	201
118	90,0	102,5	134	232	198
118x	108,3	105,0	150	240	203
119	103,0	102,0	148	265	204
119x	105,5	106,5	146	242	213
120x	111,0	106,5	149	236	206
121	127,0	119,5	169	272	213
122	101,5	102,5	142	223	204
122x	120,0	119,5	171	268	209
123	90,5	89,0	128	187	212
123x	103,5	104,0	142	253	203
124x	103,0	103,0	143	274	196
125	104,0	101,3	146	240	204
126x	103,0	108,8	143	242	200
127	103,5	112,0	142	250	213
127x	108,0	108,0	153	278	203
128	110,0	102,5	148	252	208
129	102,5	102,0	144	242	204
129x	92,5	90,3	131	212	202
130	114,0	116,0	160	269	201
131	118,0	120,5	167	268	213
131x	105,5	106,0	148	229	201
132	119,0	108,0	161	242	207
133	109,0	113,5	155	252	211
133x	111,3	113,0	154	258	216
134	132,5	105,5	163	258	212
134x	105,0	106,0	146	242	202
135	108,0	102,0	146	237	213
136	109,5	102,0	148	251	197

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	HB
136x	145,5	100,5	170	248	220
137	133,0	117,5	167	274	229
138	113,5	106,0	151	233	211
139	109,5	111,0	150	242	223
140	126,3	110,3	166	246	226
141	138,5	121,8	186	278	226
142	111,0	92,8	142	217	216
146x	107,5	105,0	156	221	201
147x	110,5	108,0	154	236	205
148	124,0	120,0	171	242	214
148x	111,0	107,5	155	208	197
204	107,8	100,5	147	246	214
204x	108,5	110,3	153	260	209
205x	97,5	104,0	145	231	221
206	114,0	113,0	161	253	210
107	104,0	97,5	145	225	200
209	102,8	92,8	140	207	207
210	111,5	112,0	158	248	218
210x	75,0	102,5	123	223	192
211	103,5	107,0	149	245	210
211x	127,5	110,5	168	236	218
212x	104,0	103,0	143	238	202
213	99,0	91,0	132	253	219
213x	116,0	109,7	138	218	196
212	94,5	96,8	132	221	200
215	95,0	95,0	153	242	213
215x	112,0	102,0	138	241	211
216	90,0	102,0	131	225	200
216x	98,0	101,0	137	241	210
217x	107,0	102,5	148	228	199
218	116,0	109,8	157	249	204

číslo vzorku	$F_1$ max [kN]	$F_2$ max [kN]	$\tilde{\sigma}_{Pk}$ [MPa]	$\tilde{\sigma}_{Pt}$ [MPa]	HB
219x	115,5	106,0	155	246	197
220x	129,5	102,5	159	242	204
221	111,5	110,3	155	249	217
222	102,5	106,0	148	237	208
222x	113,5	103,3	152	240	208
223	112,0	106,0	155	237	212

129 měření		el. indukční předpeči						soubor C4			
	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	HB	S <sub>c</sub>	C <sub>ekv</sub>	
průměrná hodnota	3,352	0,677	1,983	0,150	0,098	234,4	148,5	209,4	0,929	3,922	
maximální hodnota	3,480	0,900	2,260	0,216	0,126	275,0	170,0	229,0	0,965	4,048	
minimální hodnota	3,240	0,480	1,560	0,100	0,074	192,0	122,0	187,0	0,883	3,754	
	188 měření						plynové předpeči			soubor D 4	
průměrná hodnota	3,339	0,697	2,001	0,142	0,101	232,3	149,8	209,9	0,926	3,91	
maximální hodnota	3,980	0,970	2,540	0,232	0,134	287,0	186,0	242,0	1,088	4,496	
minimální hodnota	3,150	0,500	1,580	0,078	0,067	138,0	118,0	186,0	0,871	3,704	

Tabulka č. 3

Průměrné a extrémní hodnoty souborů C 4 a D 4

Číslo vzorku	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	$\sigma_{Pt}$ [MPa]	$\sigma_{Pk}$ [MPa]	HB	C/Si	C <sub>ekv</sub>	Sc	Mn/S
8x	3,20	0,78	1,91	0,162	0,118	287	163,4	230,0	1,68	3,84	0,869	6,61
20x	3,28	0,79	1,72	0,105	0,101	247	165,2	232,0	1,91	3,85	0,895	7,82
46	3,18	0,83	2,22	0,178	0,105	261	164,7	234,0	1,43	3,92	0,912	8,3
53	3,22	0,70	2,18	0,232	0,115	248	183,4	237,0	1,48	3,96	0,924	6,08
55	3,23	0,65	1,90	0,197	0,112	261	179,1	232,0	1,70	3,88	0,902	5,80
56	3,38	0,80	2,30	0,167	0,102	227	170,3	185,5	1,47	4,14	0,975	7,84
104	3,49	0,97	2,17	0,094	0,076	138	118,1	187,0	1,61	4,19	0,989	12,76
105	3,37	0,73	2,40	0,180	0,076	164	118,9	186,0	1,40	4,17	0,982	9,61
122x	3,22	0,72	2,13	0,119	0,118	268	171,1	208,5	1,51	3,92	0,911	6,10
141	3,21	0,56	2,25	0,204	0,111	278	185,5	225,5	1,43	3,97	0,925	5,05

Tabulka č. 4

Soubor A

č. vzorku	kraj	střed
8x	III 6	70 % II 4 + 30 % I C 5
20x	I D 7	I C 4
46	60 % I C 8 + 40 % III 7	I C 6
53	50 % I C 8 + 50 % III 7	80 % I C 6 + 20 % III 6
55	III 6	I D 5
56	I D 8	50 % I E 5 + 50 % I E 6
104	90 % I D 7 + 10 % III 6	50 % I B 4 + 50 % I A 5
105	I B 5	I B 4
122	III 6	I B 4
141	II 5	I B 3

Tabulka č. 5 Hodnocení grafitu podle ČSN 420461

Tvar grafitu:

- I ..... lupínkový
- II ..... pavoučkovitý
- III ..... červíkovitý

Rozložení grafitu:

- A ..... rovnoměrné
- B ..... růžicové
- C ..... smíšené
- D ..... mezidendritické, neusměrněné
- E ..... mezidendritické, usměrněné

Velikost grafitu v  $\mu\text{m}$ :

- 3 ..... 250 - 500
- 4 ..... 120 - 250
- 5 ..... 60 - 120
- 6 ..... 30 - 60
- 7 ..... 15 - 30
- 8 ..... 15



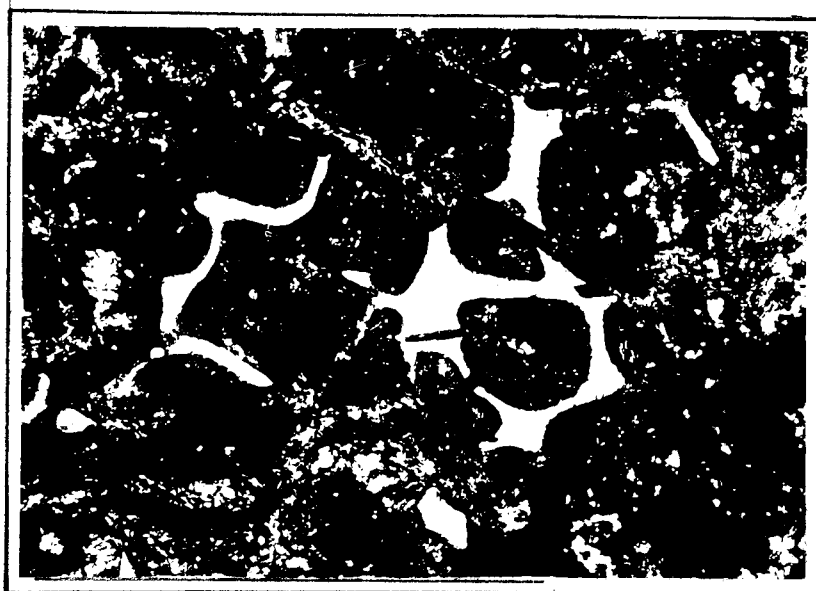
0 100x  
obr. č. 7  
vzorek č. 53 oblast podpovrchové vrstvy



0 100x  
obr. č. 8  
vzorek č. 53 oblast středu vzorku

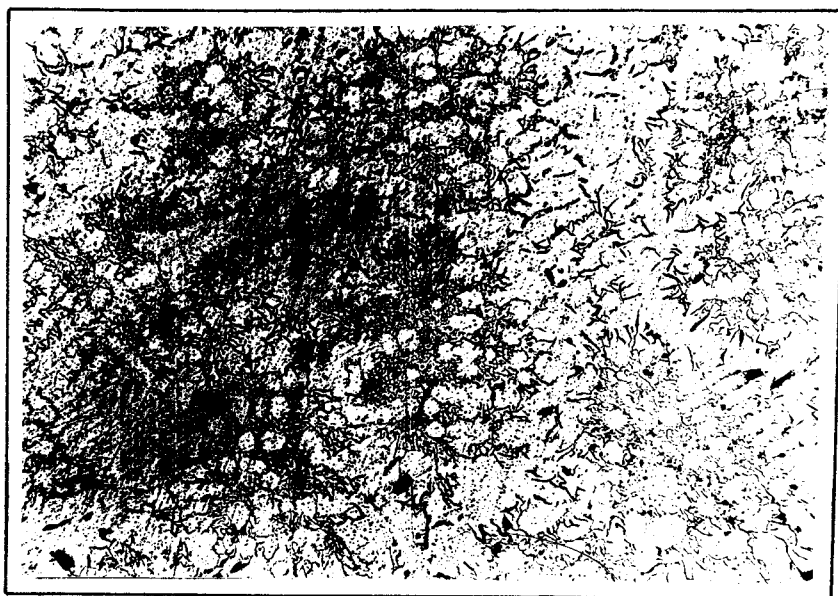


NITAL 500x  
obr. č. 9  
vzorek č. 53 oblast podpvrchové vrstvy



NITAL 500x  
obr. č. 10  
vzorek č. 53 oblast středu vzorku





0 100x  
obr. č. 11  
vzorek č. 56 oblast podpovrchové vrstvy



0 100x  
obr. č. 12  
vzorek č. 56 oblast středu vzorku



NITAL

500x

obr. č. 13

vzorek č. 56

oblast podpovrchové vrstvy



NITAL

500x

obr. č. 14

vzorek č. 56

oblast středu vzorku



0 100x  
obr. č. 15  
vzorek č. 104 oblast podpovrchové vrstvy



0 100x  
obr. č. 16  
vzorek č. 104 oblast středu vzorku



NITAL

500x

obr. č. 17

vzorek č. 104

oblast podpovrchové vrstvy



NITAL

500x

obr. č. 18

vzorek č. 104

oblast středu vzorku



0 100x  
obr. č. 19  
vzorek č. 141 oblast podpovrchové vrstvy



0 100x  
obr. č. 20  
vzorek č. 141 oblast středu vzorku



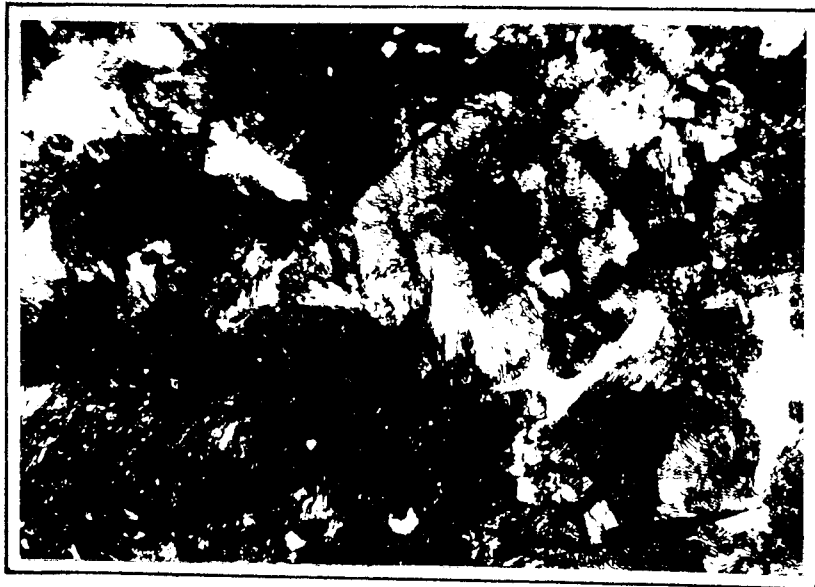
NITAL

500x

obr. č. 21

vzorek č. 141

oblast podpovrchové vrstvy



NITAL

500x

obr. č. 22

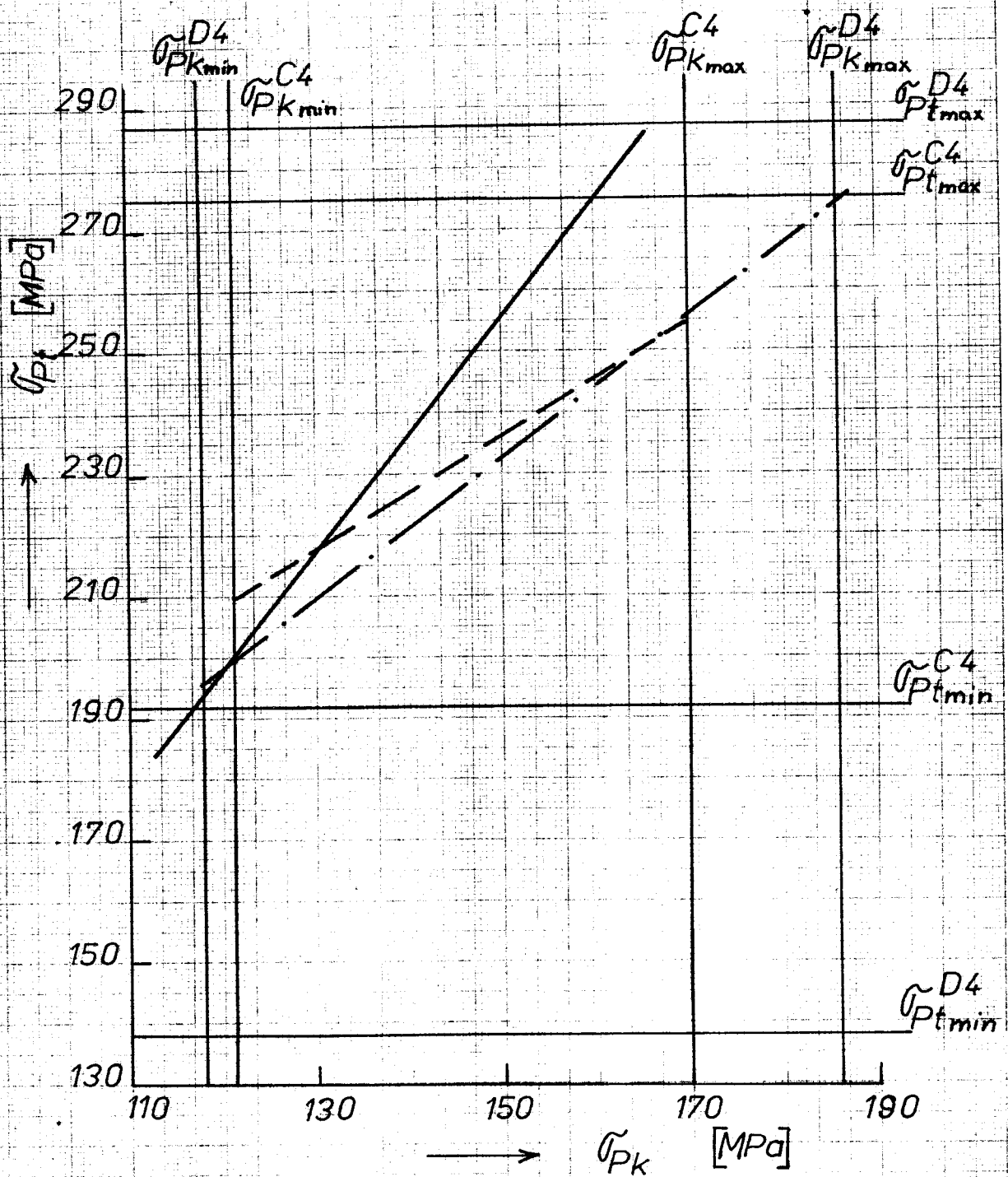
vzorek č. 141

oblast středu vzorku

ČSN 420341 viz vztah 2.7.2.

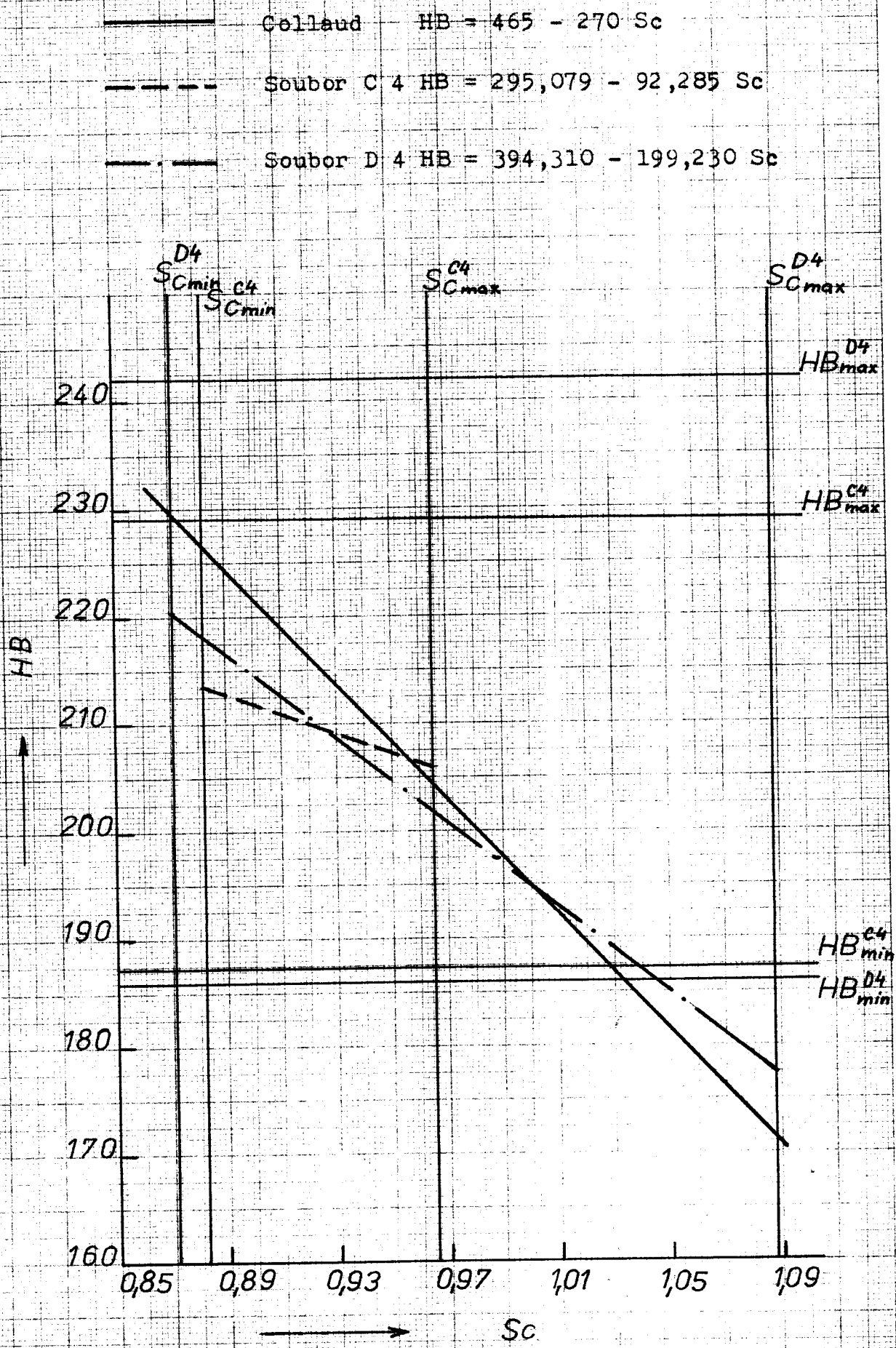
Soubor C 4  $\sigma_{Pt} = 96,182 + 0,931 \sigma_{Pk}$

Soubor D 4  $\sigma_{Pt} = 60,170 + 1,149 \sigma_{Pk}$



Obrázek č. 23

Lineární korelace závislosti pevnosti v tahu na pevnosti mezi klíny

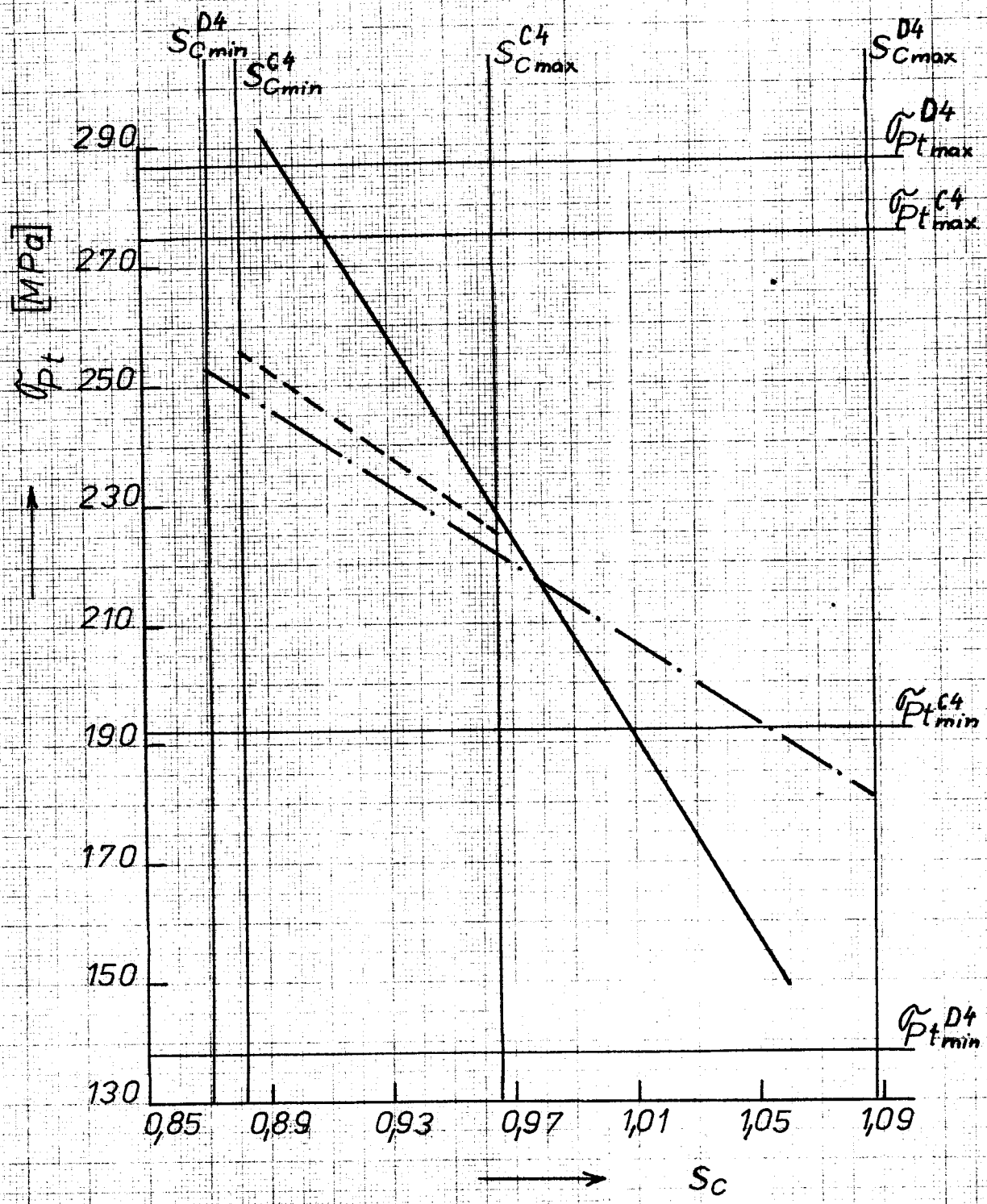


Obrázek č. 24

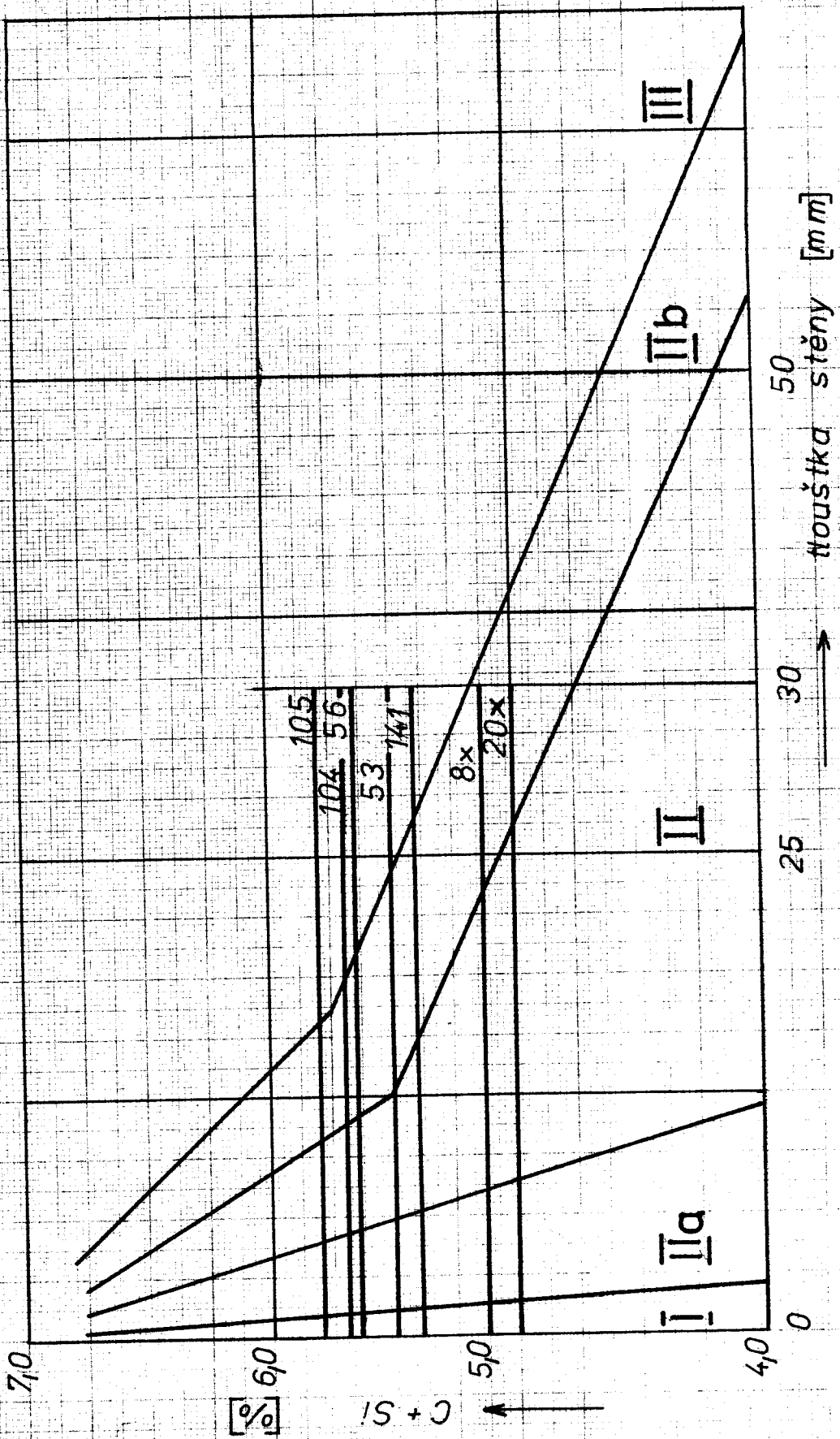
Lineární korelace závislosti tvrdosti na stupni eutektičnosti



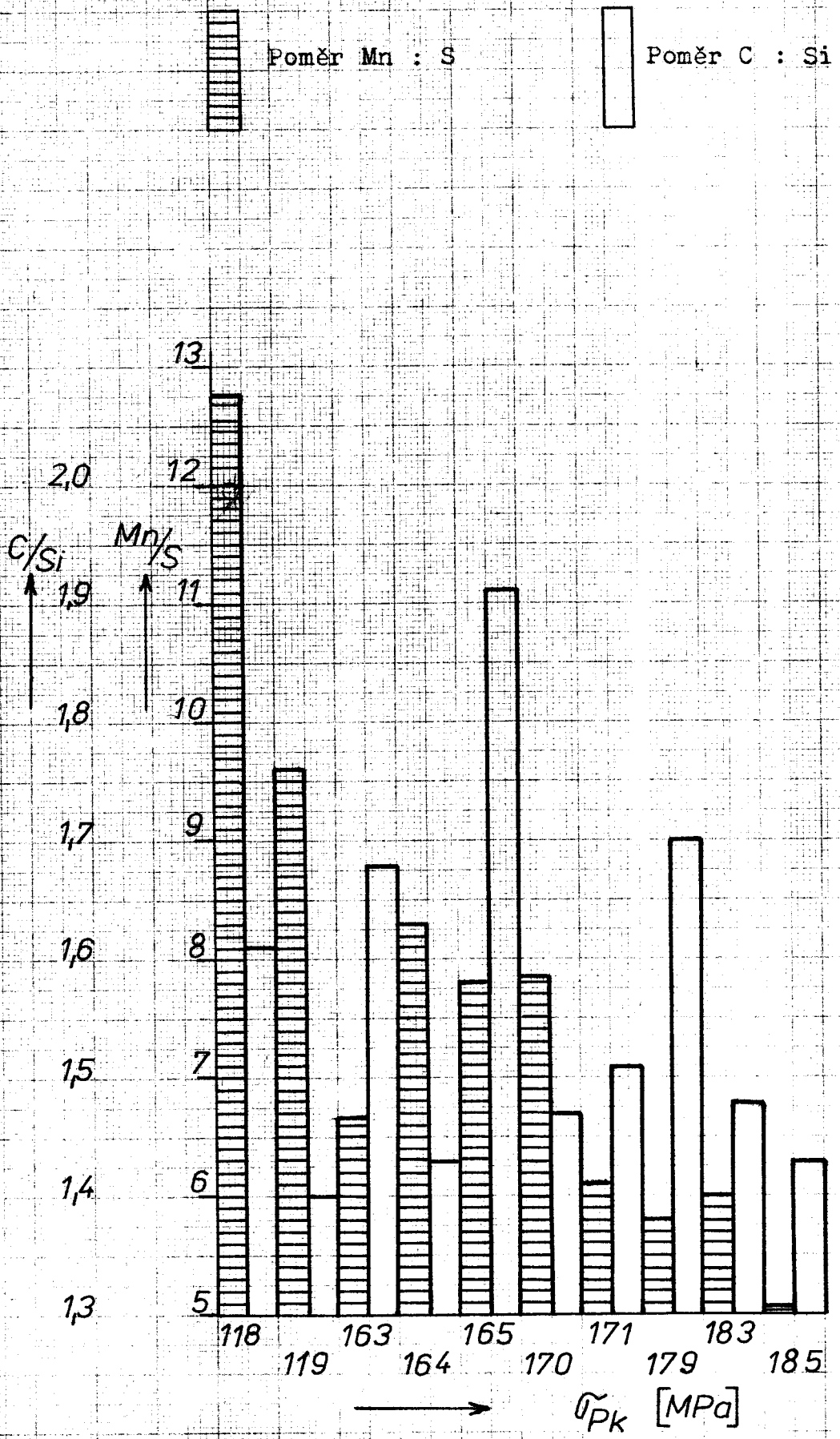
———— Soubor C 4  $\sigma_{Pt} = 540,099 - 329,108 S_c$   
 ———— Soubor D 4  $\sigma_{Pt} = 556,850 - 350,553 S_c$   
 ———— Jungbluth  $\sigma_{Pt} = 102 - 82,5 S_c$



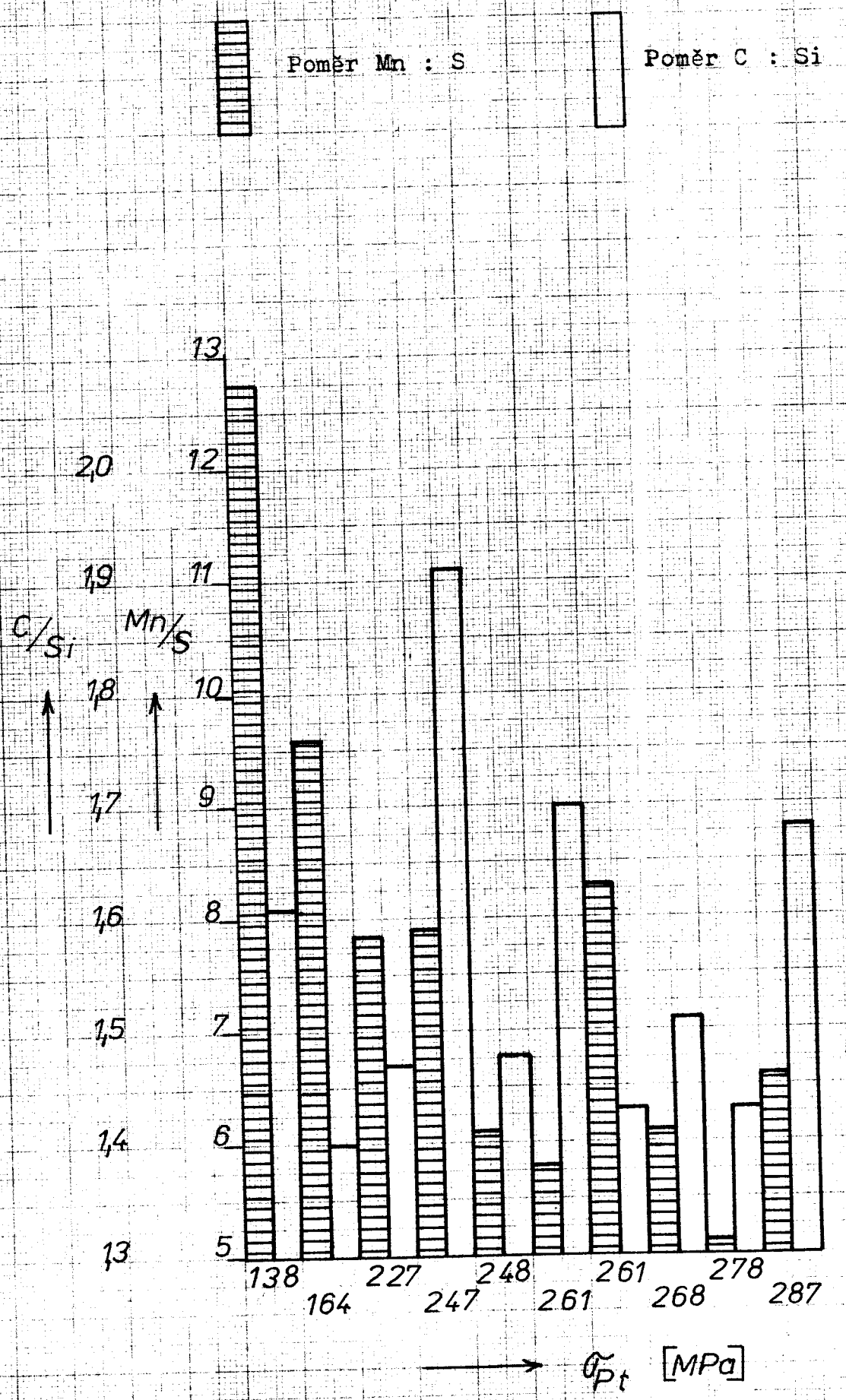
Obrázek č. 25  
 Lineární korelace závislosti pevnosti v tahu  
 na stupni eutektičnosti



Obrázek č. 26  
Klingensteinův diagram

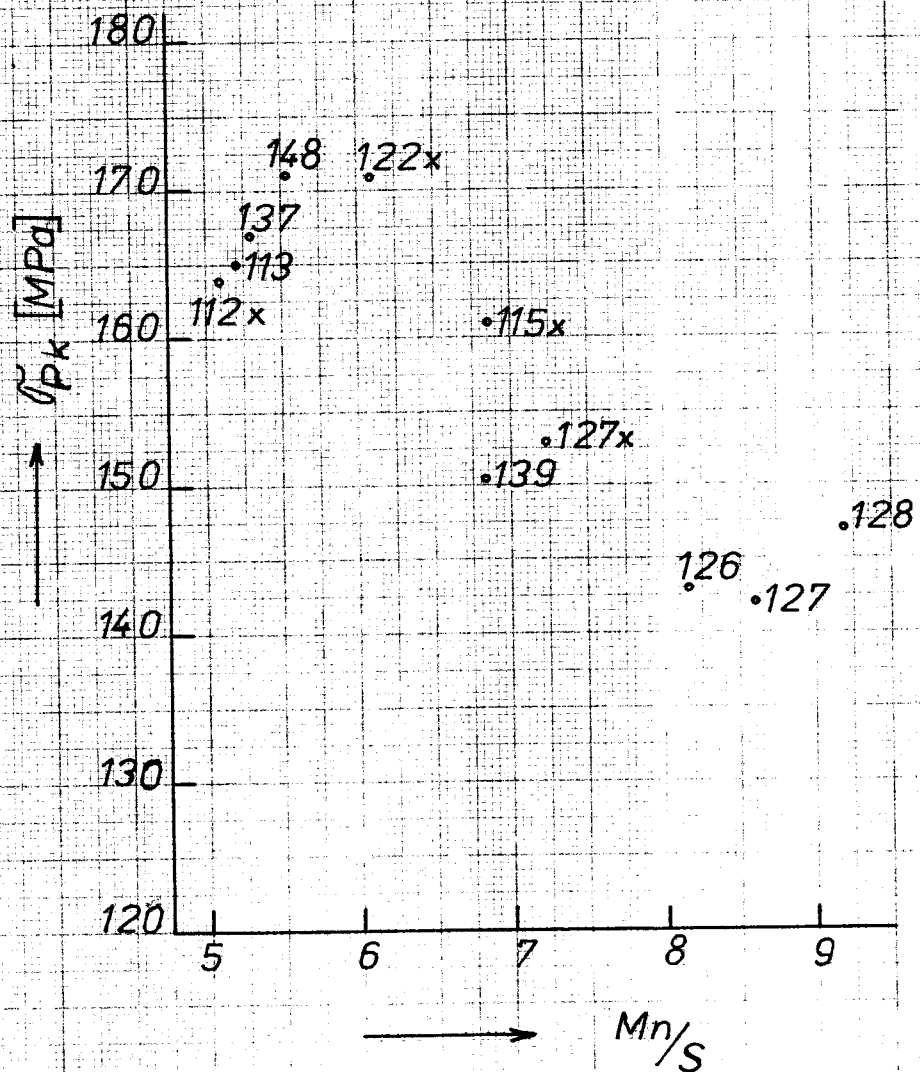


Obrázek č. 27  
 Sloupcový diagram závislosti pevnosti mezi klíny  
 na poměrech Mn : S a C : Si



Obrázek č. 28

Sloupcový diagram závislosti pevnosti v tahu na poměrech Mn : S a C : Si



Obrázek č. 29

Závislost pevnosti mezi klíny na poměru

Mn : S při daném stupni eutektičnosti

Sc = 0,900 - 0,909

## 5.0. DISKUSE

Porovnáme-li z tabulky č. 3 průměrnou pevnost v tahu, průměrnou pevnost mezi klíny a průměrnou tvrdost u vzorků z elektrického předpecí s týmiž hodnotami u vzorků z plynového předpecí vidíme, že rozdíly jsou minimální:

$$\tilde{\sigma}_{Pt_{el}} - \tilde{\sigma}_{Pt_{pl}} = 1,1 \text{ MPa}$$

$$\tilde{\sigma}_{Pk_{pl}} - \tilde{\sigma}_{Pk_{el}} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$HB_{pl} - HB_{el} = 0,9 \text{ HB}$$

Také průměrné procentuelní obsahy jednotlivých prvků u daných vzorků jsou téměř shodné jak u plynového, tak i elektrického předpecí.

U souboru D 4, který vznikl v plynovém předpecí je však poněkud větší rozptyl obou pevností (mezi klíny a v tahu) i tvrdostí, což se domnívám, že je způsobeno i větším rozptylem procentuelního obsahu jednotlivých prvků, čemuž odpovídá i větší rozptyl stupně eutektičnosti a uhlíkového ekvivalentu, než je tomu u souboru C 4, který je zhotoven v elektrickém předpecí. Je zřejmé, že druh předpecí nemá na mechanické vlastnosti šedé litiny vliv, ale že rozhodující je chemické složení.

Z tohoto důvodu bych pro výrobu šedé litiny navrhoval používat elektrické indukční předpecí. V tomto předpecí můžeme vlivem vířivých proudů taveninu rozhýbat, čímž dosáhneme její větší homogenitu. To je patrné i z tabulky č. 3, kde procentuelní rozptyly jednotlivých prvků jsou u vzorků z elektrického indukčního předpecí menší.

Dále jsem se zabýval vzorky s extrémními hodnotami pevností mezi klíny a extrémními tvrdostmi. Některé hodnoty jsem

zakreslil do Klingensteinova diagramu (viz obr. 26). Při stejné rychlosti ochlazování a daném chemickém složení těchto vzorků je zřejmé, že špatné mechanické vlastnosti budou mít vzorky č. 56 a č. 104. Naopak vzorky č. 8x a č. 20x budou mít lepší mechanické vlastnosti, jelikož obsahují méně feritu.

Tento předpoklad se potvrdil při pozorování naleptaných metalografických výbrusů. U vzorků č. 56 a č. 104, jakož i u vzorků č. 20x, 55 a 8x. U vzorku č. 20x bylo nejméně feritu. Naopak u vzorků č. 105 a č. 104 (obr. 17 a obr. 18) bylo nejvíc feritu, což odpovídá Klingensteinovu diagramu, jelikož tyto vzorky svým chemickým složením zasahují nejhlouběji do feritické oblasti.

Nejmenší pevnost mezi klíny ze souboru A vykazoval vzorek č. 104. Tento vzorek vykazuje i velmi malou tvrdost a zároveň i nejmenší pevnost v tahu. To, že vzorek nebude mít dobré mechanické vlastnosti vidíme již z poměrně vysokého obsahu uhlíku (4,9), velmi vysokého stupně eutektičnosti (0,989) i vysokého uhlíkového ekvivalentu. U tohoto vzorku je nápadný i velmi vysoký poměr manganu k síře (12,76). Špatné mechanické vlastnosti jsou způsobeny velkým výskytem měkkého a málo pevného feritu. Zvláště těsně pod povrchovou vrstvou lze vidět velký výskyt feritových shluků (viz obr. 17), ale i ve středu vzorku jsou velká feritová zrna (viz obr. 18).

Těsně u povrchu se vyskytuje tvrdá povrchová vrstva, pod níž je vrstva s velkou strukturní heterogenitou. V této vrstvě se právě objevují již zmíněné feritové shluky. Ferit se objevuje podél grafitu, což je způsobeno tím, že grafit odebírá svému okolí uhlík a z toho vyplývá, že v okolí grafitu může vzniknout velké množství feritu. Velké množství feritu může být způsobeno i poměrně vysokým obsahem křemíku, protože křemík je feritotvorný prvek.

Snížení obsahu feritu by se dalo dosáhnout zvýšením rychlosti ochlazování, čímž by se ale ještě zvýšila heterogenita

v podpovrchové vrstvě, nebo se dají feritové shluky odstranit difusním žíháním, čímž se vyrovnají koncentrační rozdíly v podpovrchové vrstvě a získáme vzorek o větší homogenitě. Délka žíhání a žíhací teplota je závislá na velikosti feritových shluků.

Velké množství feritu i jeho heterogenita výrazně zhoršuje pevnostní vlastnosti. Tento vzorek (č. 104) vykazuje i velmi nízkou tvrdost, kterou způsobuje velké množství feritových shluků pod povrchem zkušební tyče, kde byla tvrdost měřena.

Velké množství feritu bylo zaznamenáno rovněž u vzorku č. 56, který je z daných souborů C 4 a D 4 nejméně tvrdý. Zvláště v podpovrchové vrstvě je opět velký výskyt feritových shluků (viz obr. 13), které zřejmě způsobily jeho malou tvrdost, jelikož zde byla tvrdost měřena. Vzorek má však kromě malé tvrdosti celkem dobré mechanické vlastnosti ( $\sigma_{Pk} = 170,3$  MPa;  $\sigma_{Pt} = 227$  MPa). Lze usuzovat, že těmto dobrým pevnostním vlastnostem vděčí vzorek kvalitní perlitické struktuře a velmi malému výskytu feritu ve středu vzorku (viz obr. 14). Dá se předpokládat, že kdybychom obrobili povrchovou vrstvu, která obsahuje velké množství feritu, získali bychom kvalitnější šedou litinu, hlavně co se týká její tvrdosti.

Největší tvrdost a velmi vysoká pevnost mezi klíny (183,4 MPa) i velmi dobrá pevnost v tahu byla zjištěna u vzorku č. 53. Jeho dobré mechanické hodnoty lze předpokládat i z menších hodnot uhlíkového ekvivalentu, stupně eutektičnosti i menšího obsahu uhlíku. Ve struktuře tohoto vzorku je možno sledovat perlit, ferit i steadit. Jelikož byly pochybnosti, zda se skutečně jedná o steadit nebo zda jde o ferit, byla u tohoto vzorku měřena mikrotvrdost. U steaditu byla naměřena mikrotvrdost okolo 430 HM. U sousedního perlitu byla naměřena mikrotvrdost přibližně 150 HM. Z těchto mikrotvrdostí je zřejmé, že se skutečně jednalo o steadit. Relativně malým množstvím



feritu a také přítomností steaditu - fosfidového eutektika (jde o vzorek s největším obsahem fosforu % P = 0,232) se dá vysvětlit největší tvrdost tohoto vzorku.

Největší pevnost mezi klíny i velmi dobré mechanické vlastnosti byly zjištěny u vzorku č. 141. Výskyt feritu je jak v povrchové vrstvě (obr. 21), tak i uprostřed vzorku malý. Dobré pevnostní vlastnosti tohoto vzorku jsou způsobeny poměrně příznivou velikostí uhlíkového ekvivalentu a stupně eutektičnosti, jako i malým obsahem uhlíku. Ze souboru A má tento vzorek i nejmenší hodnotu poměru manganu k síře.

U souboru s extrémními hodnotami (soubor A viz tab. č. 4) byla pozorována možná závislost poměru manganu k síře na pevnosti mezi klíny. Z přiloženého sloupcového diagramu (obr. 27), kde na vodorovnou osu byla nanášena pevnost mezi klíny a na svislou poměr manganu k síře a uhlíku ke křemíku, je zřejmé, že s rostoucím poměrem manganu k síře pevnost mezi klíny klesá.

U vzorku č. 104 je poměr manganu k síře 12,76 (z daného souboru A největší) a jeho pevnost mezi klíny je 118,9 MPa, což je minimální hodnota pevnosti mezi klíny u souboru C 4 a D 4 a i pevnost v tahu je nejnižší (138 MPa). Tyto nízké pevnostní hodnoty jsou nepochybně způsobeny velmi vysokým stupněm eutektičnosti i vysokou hodnotou uhlíkového ekvivalentu.

Naopak vzorek č. 141 má ze souboru A nejmenší poměr manganu k síře (5,05) a jeho hodnota pevnosti mezi klíny je ze souboru C 4 a D 4 maximální (185,5 MPa) a pevnost v tahu dosahuje rovněž téměř maximální hodnoty, což je opět zejména způsobeno příznivými hodnotami uhlíkového ekvivalentu a stupně eutektičnosti.

Podobně jako u obr. č. 27 byla sestrojena závislost pevnosti v tahu a poměrů manganu k síře a uhlíku ke křemíku (viz obr. č. 28). U tohoto diagramu již není tak zřejmá závislost poměru manganu k síře na pevnosti v tahu.

Jelikož u těchto diagramů není sledován vliv velikosti stupně eutektičnosti, byl sestaven diagram (obr. č. 29) pro stupeň eutektičnosti  $Sc = 0,900 - 0,909$ . Vzorky s tímto stupněm eutektičnosti byly náhodně vybrané ze vzorků 104 až 122. I zde je vidět jistá klesající tendence pevnosti mezi klíny se vzrůstajícím poměrem manganu k síře.

Protože tyto domněnky vycházejí pouze z pozorování malého počtu vzorků, navrhol bych, aby v příští diplomové práci, která se bude týkat zkoušky mezi klíny byla zaprogramována závislost poměru manganu k síře na pevnost mezi klíny u celého souboru vzorků pro dané stupně eutektičnosti.

## 6.0. ZÁVĚR

- 1) Byla provedena zkouška mezi klíny a zkouška tvrdosti podle Brinella na neobrobených zkušebních tyčích dodaných z n.p. LIAZ Jablonec, slévárna Ostašov. Zkušební tyče byly zhotoveny v plynovém nebo elektrickém předpecí.
- 2) Byly vybrány vzorky s maximální a minimální pevností mezi klíny a maximální a minimální tvrdostí. U těchto vzorků byl proveden metalografický rozbor.
- 3) Mechanické vlastnosti šedé litiny nezávisí na druhu předpecí, ale především na chemickém složení a rychlosti ochlazení odlitku. Proto navrhuji používat elektrické indukční předpecí k získání větší homogenity odlitků.
- 4) Nejhorší mechanické vlastnosti byly zjištěny u vzorků s největší hodnotou stupně eutektičnosti a uhlíkového ekvivalentu.
- 5) Dobré mechanické vlastnosti byly zjištěny u vzorků s hodnotou stupně eutektičnosti 0,87 - 0,92.
- 6) V podpovrchové vrstvě byla sledována u některých vzorků velká nehomogenita zkušebních tyčí, která se dá zřejmě odstranit difusním žíháním.
- 7) Všechny vzorky ze souboru A vykazovaly relativně vysoký obsah křemíku.
- 8) U souboru A byla shledána možná závislost poměru manganu k síře na pevnost mezi klíny.

Bylo by vhodné zaprogramovat závislost poměru manganu k síře na pevnosti mezi klíny pro určité stupně eutektičnosti pro celý soubor vzorků. Naše měření potvrdila, že s klesající hodnotou stupně eutektičnosti a uhlíkového ekvivalentu stoupá pevnost mezi klíny, pevnost v tahu i tvrdost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Pluhař J. - Koritta J. : Strojírenské materiály  
SNTL Praha 1977
- [2] Giršovič N.G. : Šedá litina SNTL Praha 1955
- [3] Kontorovič I.E. : Tepelné zpracování oceli a litiny  
Kniha I.  
Průmyslové vydavatelství  
Praha 1952
- [4] David V. : Základní a přímé metody kontroly jakosti  
šedé litiny. Slévárenský  
kalendář 1973, s. 73-82, BRNO
- [5] Ryš P. - Cenek M. - Mazanec K. : Nauka o materiálu I  
4. svazek  
ACADEMIA Praha 1975
- [6] Jareš V. : Základní zkoušky kovů a jejich teorie  
ACADEMIA Praha 1966
- [7] Puškár A. : Konštrukčné materiály v doprave a spojoch  
ALFA 1979
- [8] ČSN 420461
- [9] Návrh normy ČSN 420341
- [10] Šprinc V.: Diplomová práce Liberec 1982

Na závěr bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce s. Doc. Ing. Václavu Chaloupeckému i konzultantce s. Ing. Daniele Odehnalové za rady i připomínky, kterými mi mně pomohli při vypracování této diplomové práce.

*Michal Štěpán*