

V Š S T L I B E R E C

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

Zaměření: strojírenská metalurgie

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

STUDIUM MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ŠEDÉ LITINY

K u b í k Miloš

DP - ST - 1583/80

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

Konzultant : Ing. František Groh (VŠST Liberec)

Rozsah práce a příloh

Počet stran :	63
Počet příloh a tabulek :	30
Počet obrázků :	13
Počet výkresů :	--

23. května 1980

KMM SM

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

Katedra: materiálu a strojírenské
metalurgie

Fakulta: strojn^í

Školní rok: 1979/80

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Miloš KUBÍK

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Studium mechanických vlastností šedé litiny

Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s problematikou zkoušení a studia mechanických vlastností šedé litiny.
2. Zkouška mezi klíny u vybraného souboru taveb zkušebních tyčí neobrobených a obrobených.
3. Rozbor mechanických vlastností u zkušebních tyčí neobrobených a obrobených.
4. Závěr a celkové zhodnocení výsledků.

Autorské právo se řídí směrnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky č. j. 727/62-III/2 ze dne 13. června
1962. Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze
dne 31. 8. 1962 § 19 aut. z. č. 115/53 Sb.

V 39/1980 S

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

Rozsah grafických laboratorních prací: tabulky, diagramy, mikrostruktury

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

Pluhař, Koritta : Strojírenské materiály, SNTL Praha 1977
Jareš : Základní zkoušky kovů a jejich teorie,
ČSAV, Praha 1966
Návrh normy ČSN 42 0341 - Zkouška mezi klíny

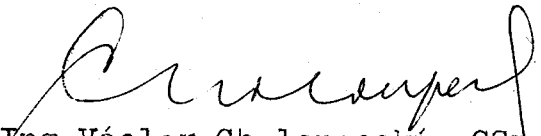
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. V. Chaloupecký, CSc

Konsultanti: Ing. František Groh


Datum zahájení diplomové práce: 8. října 1979

Datum odevzdání diplomové práce: 23. května 1980




Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc

Děkan

v Liberci dne 5.10. 1979

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

V Liberci dne 15. května 1980.

Miloslav Kubík

O B S A H

	str.
Titulní list	1
Zadání	2
Místopřisežné prohlášení	3
Obsah	4
Seznam použitých symbolů	5
1.0 Úvod	6
2.0 Literární rešerše k problematice mechanických vlastností a zkoušení šedé litiny	7
2.1 Mechanické vlastnosti litiny	8
2.1.1 Vliv základní kovové hmoty	8
2.1.2 Vliv chemického složení	9
2.1.3 Vliv tepelného zpracování	12
2.1.4 Vztahy mezi strukturou, složením a vlast- nostmi	12
3.0 Mechanické zkoušky šedé litiny	13
3.1 Jiné metody zkoušení šedé litiny	15
3.2 Zkouška tvrdosti podle Brinella	16
3.3 Zkouška mezi klíny	16
4.0 Experimentální část	19
4.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků	20
4.1.1 Tabulky	23
4.1.2 Grafické vyhodnocení naměřených hodnot	39
4.2 Metalografický rozbor zkušebních vzorků	53
4.3 Diskuse	59
5.0 Závěr	62
Seznam použité literatury	63

Seznam použitých symbolů

HB-	Tvrdość podle Brinella
σ_{pe}	- mez pevnosti v tahu
σ_{pl}	- mez pevnosti v tlaku
σ_{po}	- mez pevnosti v ohybu
σ_{pk}	- mez pevnosti mezi klíny u neobrobených vzorků
σ_{pk}	- mez pevnosti mezi klíny u obrobených vzorků
σ_{qz}	- mez průtažnosti
τ_{ps}	- mez pevnosti ve stříhu
τ_p	- mez pevnosti v krutu
J	- tažnost
Sc	- stupeň eutektičnosti
C _{ekv}	- uhlíkový ekvivalent
F	- síla
S	- plocha, průřez
d	- průměr

1.0 ÚVOD

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 jeho spotřeby. Protože naše národní hospodářství přibližně z 90 % dováží rudy pro výrobu ocelí a litin, je jedním z nejdůležitějších úkolů současné doby, maximální využití vlastností těchto materiálů a zároveň jejich úspora. Tyto požadavky se vztahují také na šedou litinu, která je jedním z nejpoužívanějších materiálů na výrobu odlitků. Vděčí tomu jednak své relativně nižší ceně, jednak snadnému výrobnímu postupu, který nevyžaduje tak nákladné tavicí zařízení. Mechanickými vlastnostmi vyhovuje ve většině případů i náročným konstrukčním požadavkům, nekladou-li tyto důraz na rázovou houževnatost. Šedá litina má ve srovnání s ocelí značně nižší tavicí teplotu a výborné slévárenské vlastnosti, takže lze odlévat komplikované tvary odlitků z relativně nízkých lících teplot.

V současné době se stále zvyšuje výroba šedé litiny a slévárny potřebují rychlou kontrolu svých výrobků na přístrojích, které mohou být snadno instalovány i v prostředích sléváren. Těmto požadavkům vyhovuje zkouška mezi klíny.

Úkolem mé diplomové práce bylo studium mechanických vlastností šedé litiny pomocí zkoušky mezi klíny v souladu s návrhem normy ČSN 42 03 41, která je dosud ve stádiu ověřování.

Ve své práci jsem se zabýval zkušebními vzorky neobrobenými a obrobenými, porovnával jsem mechanické vlastnosti těchto vzorků a zjišťoval jsem vliv povrchové vrstvy odlitků.

2.0 LITERÁRNÍ REŠERŠE K PROBLEMATICE MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ A ZKOUŠENÍ ŠEDÉ LITINY

Šedá litina technická je v podstatě podvojná soustava Fe-C, pomineme-li přítomnost dalších prvků, které jsou v ní obsaženy a mají velký vliv na vlastnosti a strukturu. Základní představu o strukturních poměrech při krystalizaci za rovnovážných stavů nám dává rovnovážný diagram, který bývá z pravidla dvojitý, neboť zachycuje rovnováhu metastabilní (Fe-Fe₃C) i stabilní (Fe-C). Tyto rovnovážné diagramy nám podávají představu jen o složení, nikoliv o tvaru a velikosti vznikajících fází.

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

Struktura základní kovové hmoty tepelně nezpracované šedé litiny může být:

- a/ feritická, je-li chlazení 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 grafitu a jeho tvar je velmi hrubý a obsahuje velký počet lístků.
- b/perlitická je litina tehdy, je-li obsah grafitizačních přísad v souladu s rychlostí chlazení. 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 měkkší,

méně pevná a proto není konstruktéry v širší míře používána. Vzniku tohoto druhu litiny nelze zabránit v silnějších průřezích odlitků. Ferit ve struktuře zmenšuje svou tvárností pnutí a zmenšuje tak nebezpečí praskání.

U h l í k je složkou šedé litiny a objevuje se jako volný - grafit ve tvaru zprohýbaných destiček - lístků nebo zrn - kuliček. Jeho množství a tvar má význačný vliv na vlastnosti litiny. 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 zmenšuje tvrdost, odolnost proti otěru, avšak zhoršuje pevnost a houževnatost.

2.1 Mechanické vlastnosti litiny

Mechanickým vlastnostem je věnována největší pozornost při volbě složení litiny, neboť jsou rozhodujícím činitelem. Výrobky jsou při práci vystaveny různým namáháním : v tahu, tlaku, ohybu, stříhu, kroucení atd. Podle doby zatěžování rozdělujeme namáhání krátkodobá a dlouhodobá. Podle způsobu zatěžování rozlišujeme namáhání statické nebo dynamické. Namáhání působící stále stejně nebo namáhání střídavé. Dále rozlišujeme namáhání normálovými silami (tahem, tlakem) nebo namáhání saskové, většinou probíhají společně. Deformace takto vznikající mohou být pružné, plastické nebo porušující celistvost. Na mechanické vlastnosti litiny má vliv struktura kovu, která je dána podmínkami prvotní a druhotné krystalizace. Množství, tvar a rozložení grafitu a struktura základní kovové hmoty litiny jsou přitom rozhodující činitelé.

2.1.1 Vliv základní kovové hmoty litiny

Na mechanické vlastnosti má vliv struktura kovu, která je určována podmínkami krystalizace. Množství, tvar, rozložení grafitu a struktura základní kovové hmoty litiny jsou přitom rozhodujícím činitelem. Čím je zrno jemnější, tím větší je pevnost litiny. Velikost tohoto zrna má však vliv i na velikost vyloučení grafitu a na průběh překrystalizace a na těchto

činitelích opět závisí pevnost litiny. Zvýšení pevnosti nastává blokováním surných ploch a zvětšením délky hranic zrna. Hrubnutí perlitu snižuje pevnost, ale zároveň poněkud zvyšuje plastičnost a houževnatost litiny.

Vliv grafitu

Grafit je typickou strukturní složkou litiny, určující její specifické vlastnosti:

- 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 nestejnomyernému rozdělení napětí a k prostorové napjatosti. Jeho působení závisí na množství, rozměrech vyloučených částic, na jejich tvaru a rozložení. Nejpriznivěji působí grafit ve formě kuliček.

2.1.2 Vliv chemického složení

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. Předpokládá se, že všechny prvky s plošně centrovanou krychlovou mřížkou (Al, Ni, Cu, Co) podporují grafitizaci a prvky s prostorově centrovanou krychlovou mřížkou (Cr, V, Mo) ji zabraňují. Toto ovšem nevysvětluje vliv síry, křemíku, titanu a ostatních prvků, které nemají krychlovou mřížku a nevysvětluje to ani různou intenzitu vlivu prvků na grafitizaci.

Pro posouzení účinků prvků na strukturu litiny byly vypracovány empirické vzorce, podle nichž se zjišťuje

uhlíkový ekvivalent nebo stupeň eutektičnosti litiny. Ty nám udávají polohu litiny určitého složení vůči složení eutektickému.

Stupeň eutektičnosti podle Hanemanna:

$$Sc = \frac{\% C}{4,23 - 0,312\% Si - 0,275\% P}$$

C - celkový obsah uhlíku v litině

Si, P - obsah křemíku a fosforu v litině

Podle tohoto vztahu platí:

$Sc < 1$ litina podeutektická

$Sc = 1$ litina eutektická

$Sc > 1$ litina nadeutektická

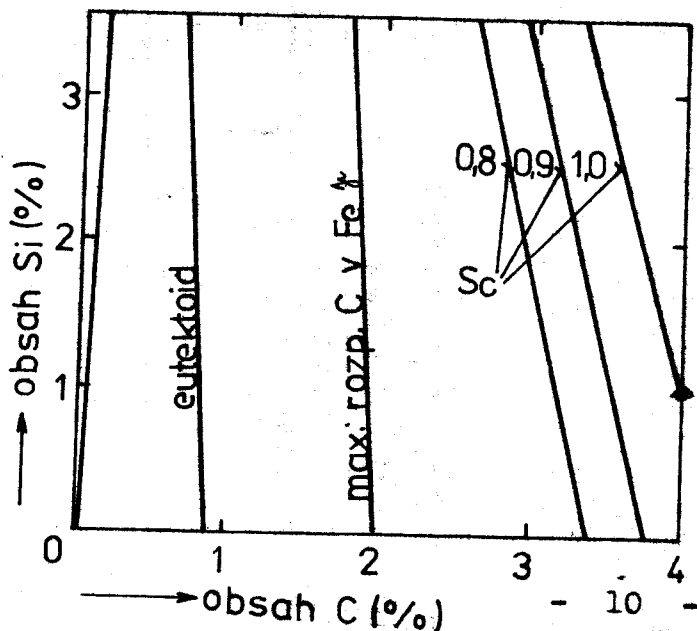
Pro vyjádření uhlíkového ekvivalentu se užívá vztah:

$$C_{ekv} = \%C + 0,312 \%Si + 0,275 \%P$$

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

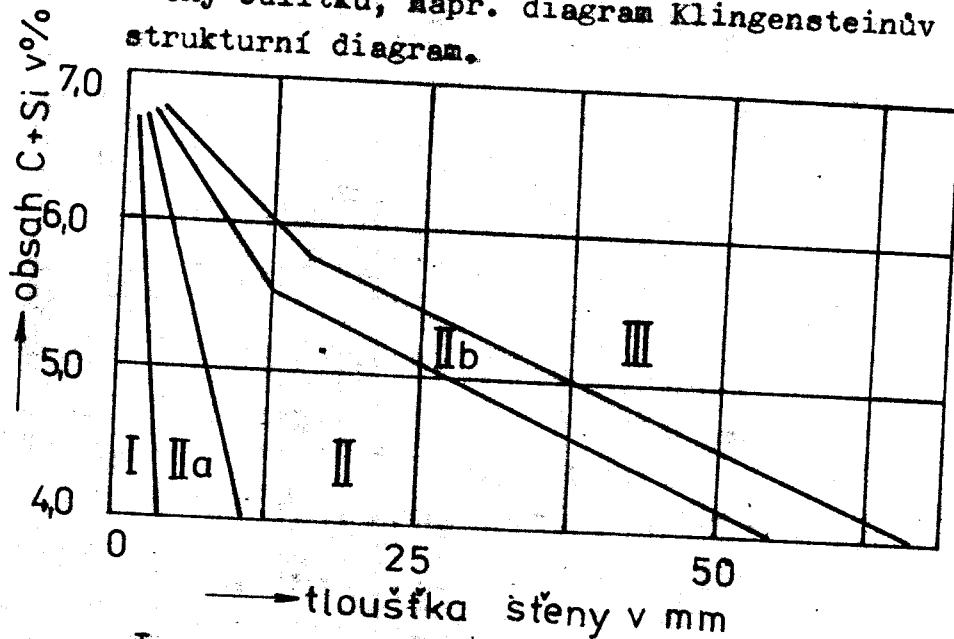
Vliv křemíku a uhlíku

Křemík snižuje teplotu tání litiny a zvyšuje její tekutost. Zároveň zvyšuje sklon k tvoření bublin a pórů. Přítomnost křemíku snižuje koncentraci uhlíku v eutektiku i eutektoidu jak ukazuje obr. 1.



obr. 1. Vliv Si na obsah C v eutektoidu a eutektiku u slitin Fe - C - Si

Křemík podporuje průběh fázových přeměn v souladu se stabilní rovnováhou Fe - C. Byly vypracovány různé diagramy, které umožňují odhad struktury litiny pro dané složení a tloušťku stěny odlitku, např. diagram Klingensteinův obr. 2, Maurerův strukturální diagram.



obr. 2

- I. bílá litina
- II a perliticko-cementická litina šedá
- II perlitická litina šedá
- II b 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 to, že grafitizace neproběhne úplně a litina bude buď bílá nebo naková, což znamená, že bude obsažen vedle grafitu i volný cementit.

Vliv manganu a síry

Tyto prvky mají opačný vliv než křemík. Stabilizují cementit. Zvětšuje te tekutost litiny a zvětšuje homogenitu odlitku. Přítomnost manganu je důležitá pro odsíření litiny, avšak přebytek manganu zvětšuje tvrdost a křehkost. Síra zvětšuje smrštění a zmenšuje homogenitu odlitku. Její nepříznivý vliv může být vyrovnán buď přidávkou manganu, s níž

síra tvoří sulfid manganatý nebo zvětšením obsahu křemíku. Vzhledem k nepříznivému vlivu síry má být její obsah v litině co nejmenší. Obsah a vzájemný poměr manganu a síry má také vliv na tvar grafitu.

Vliv fosforu

Fosfor má na stejnoměrnost mechanických vlastností i na strukturu litiny nepříznivý vliv. Avšak zlepšuje tekutost a zvětšuje interval krystalizace. Fosfor v litině zvětšuje odolnost proti opotřebení, tvrdost a křehkost.

Vliv očkování

Účelem očkování 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 odstraní tvoření paprskovitého lomu. Očkování umožňuje lépe využít činitelů, které zlepšují mechanické vlastnosti litiny.

2.1.3 Vliv tepelného zpracování

Účelem tepelného zpracování u litinových odlitků je:

- 1/ odstranit pnutí
- 2/ zvětšit tvrdost
- 3/ změkčit
- 4/ zlepšit mechanické vlastnosti

Tepelné zpracování působí na litinu, na rozdíl od činitelů určujících stav roztavené litiny, 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.

2.1.4 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 usuzuje 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 množství

grafitu a na nestejnorodosti struktury.

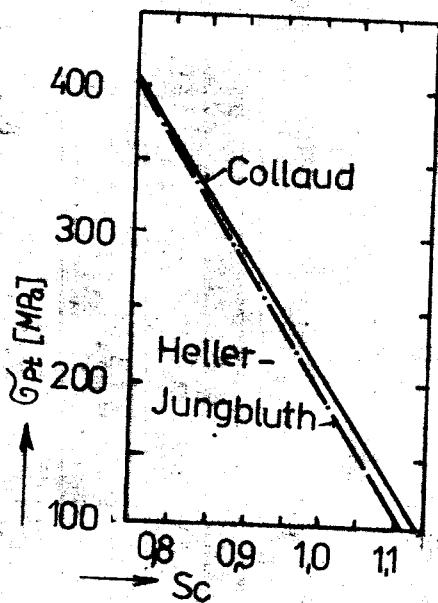
Např. vztah mezi σ_{Pt} , HB a E vyjádřil A. Collaud rovnicí: $\sigma_{Pt} = \alpha \cdot E \cdot HB$

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

Velmi cenné pro posouzení jakosti litiny jsou i závislosti mezi stupněm eutektičnosti a tvrdostí litiny, opět podle Collauda platí: $HB = 465 - 270 Sc$

Vztahy mezi σ_{Pt} a HB lze vyjádřit rovnicí:
 $HB = 125 + 0,034 \sigma_{Pt}$

Obr. 3. Závislost pevnosti v tahu šedé litiny na stupni eutektičnosti podle Collauda a Hellera - Jungblutha.



A. Collaud:

$$\sigma_{Pt} = (100,6 - 80 Sc)$$

Heller - Jungbluth:

$$\sigma_{Pt} = (102 - 82,5 Sc)$$

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

3.0 MECHANICKÉ ZKOUŠKY ŠEDÉ LITINY

Mechanickým zkoušením kovů rozumíme určování jejich mechanických vlastností, t.j. vlastností, které umožňují mechanické namáhání, ať již při zpracování nebo při

použití hotového výrobku. Pod pojmem mechanických vlastností zahrnujeme v běžném slova smyslu pružnost, pevnost, tvrdost, tvárnost a houževnatost.

Zkouška tahem

Zkoušku provádíme na normalizovaných tyčích, které zatěžujeme osovou silou tak, aby v tyči vznikala jen jednoosá napjatost. Rychlost trhání nesmí být vyšší než rychlost, kterou předepisuje norma (u nás je to 10 MPa za sekundu). U obyčejné šedé litiny se určuje pouze mez pevnosti v tahu, u kujné litiny nebo u litiny s kuličkovým grafitem se určuje ještě mez průtažnosti σ_{02} a tažnost.

Zkouška tlakem

Obvykle se užívá zkušební vzorek ve tvaru válečku. Pevnost litiny v tlaku σ_{pd} je mnohem větší než pevnost v tahu. Uvádí se asi 3 ÷ 5 krát větší.

Zkouška ohybem

Má význam pro zkoušení křehkých kovů, u kterých lze z průhybu tyče určit deformační schopnost materiálu. S výhodou se používá při zkoušení šedé litiny. Při ohybu se vyskytují napětí v tahu i v tlaku. Porušení materiálu při ohybu je způsobeno vlivem namáhání v tahu a neřídí se namáháním v tlaku. Měříme σ_{pe} .

Zkouška mezi klíny

Podrobně rezebráno v kapitole 3.3

Zkouška krutem

Tato zkouška se užívá poměrně málo a u nás není doposud normována. Užívá se při volbě a vyhledávání materiálu vhodného na hřídele, torzní tyče a pro zkoušení drátů. Určujeme pevnost v krutu τ_p a úhel zkroucení. Napětí je v průřezu rozloženo nerovnoměrně a vzrůstá od nuly ve středu k maximu na obvodu. Vztah mezi τ_p / σ_{pt} pro šedou litinu je asi 1,3, pro litinu kujnou asi 1,1.

Zkouška stříhem

Při zkoušce stříhem zjišťujeme, jaký odpor klade materiál tangenciálnímu posunu. Zkoušky stříhem jsou obvykle provázány namáháním v ohybu. Měříme pevnost ve stříhu τ_{Ps} .

Zkouška tvrdosti podle Brinella

Podrobně rezebráno v kapitole 3.2.

3.1 Jiné metody zkoušení šedé litiny

Depesud jsem se zabýval mechanickými zkouškami destrukčními, tzn. že při nich dochází k porušení zkušebního tělíska nebo již hotového výrobku. Toto je z ekonomického hlediska nevýhodné a proto se uvažuje o zavedení takových zkoušek, při kterých by nedocházelo k porušení vzorku. Mezi takovéto zkušební přístroje patří dotyková sonda SMD. Tímto zařízením zjišťujeme strukturně mechanické vlastnosti šedé litiny.

Dalším přístrojem je strukturoometr WMR-1. Užívá se pro kontrolu mechanických vlastností odlitků tyčového tvaru.

Jakost litiny lze zjistit také pomocí křivek ochlazování. Zjišťuje se vztah mezi křivkou ochlazování a pevností v tahu. Křivky ochlazování se získávají z tohoto měřícího zařízení: V ocelové trubce je umístěn termočlánek (NiCr - Ni nebo PtRh - Pt) a na jejím konci je navinuta na cívkách zásoba náhradního termočlánekového drátu. Kompenzační kabel spojuje krabici cívek s vlastním registračním zařízením. Teplý spoj termočláneků chrání lehce vyměnitelná trubička ze žáruvzdorné hmoty. Termočlánek je nutno umístit přesně do tepelné osy zkušebního tělesa.

Pro použití šedé litiny je hlavním předpokladem zjištění požadované minimální pevnosti v pářezu. Mnoho konstruktérů se vyhýbá užití šedé litiny právě z toho důvodu, že nelze dobře zjistit pevnost v požadovaných

místech odlitku. Uváděné metody neberou v úvahu speci-
fičnost tohoto zkoušení, neboť u odlitků nestejně tloušť-
ky stěny a různé umístění stěn ve formě bude postup
tuhnutí následkem rozdílného ochlazování pro každé místo
jiný a bude mít za následek různou pevnost v jednotlivých
částech odlitku. Metoda, která by odstraňovala tyto nedost-
atky zatím ještě neexistuje, takže podle dosud běžně uží-
vaných zkoušek můžeme získat pouze obecné mechanické vlast-
nosti užitého materiálu.

3.2 Zkouška tvrdosti podle Brinella

Zkouška tvrdosti podle Brinella je nejvhodnější
zkouškou pro materiály do tvrdosti 400 HB. Ostatní
zkoušky (Vickers, Rockwell, Shore) jsou přípustné pouze
při jenném grafitu nebo u bílé litiny.

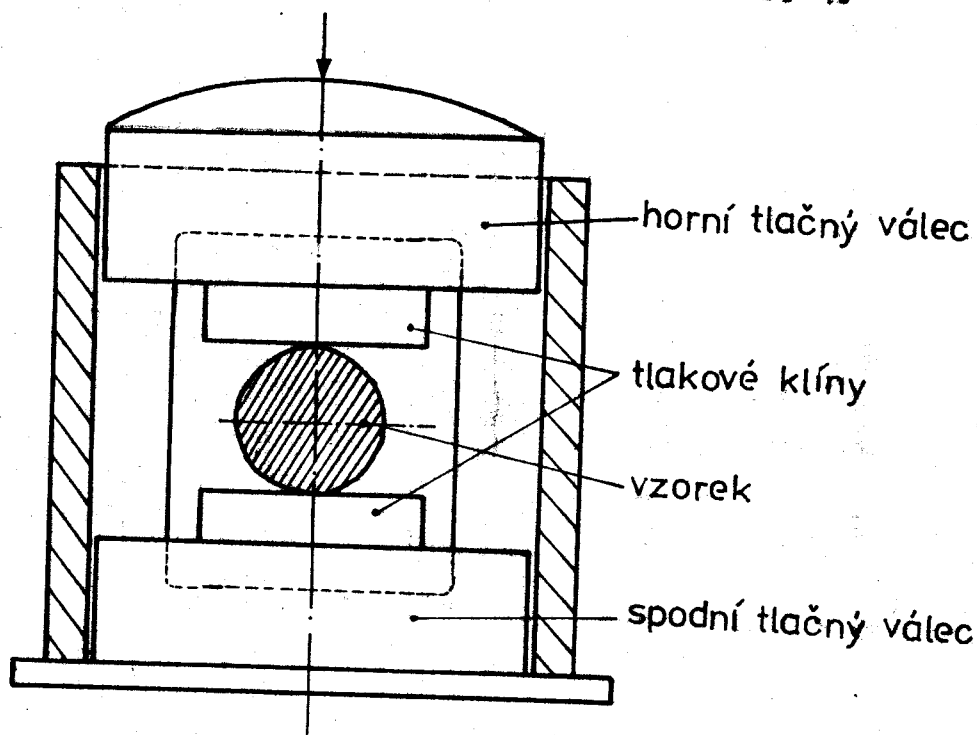
Tvrdot je závislá na velikosti zatížení a proto
jsou normovány podmínky zkoušky. Je dán průměr kuličky
a velikost zatížení, podle průměru vtisku kuličky do ma-
teriálu se z tabulek odečte tvrdost materiálu. Tvrdot
je vlastněpědíř zatížení a kulové plechy vzniklé vtisku.
Při měření je důležité přesné odečtení průměru vtisku.
Měří se s přesností 0,25 % v průměru kuličky. Pro přesné
měření je nutno dodržovat podmínky uvedené v normě
ČSN 42 03 71. Na konečný výsledek má vliv velikost zatí-
žení pro daný průměr kuličky, doba zatížení a velikost
vtisku se zřetelem na rozměry zkoušeného předmětu.

K měření tvrdosti je nutno provést nepřímé cejcho-
vání, t.j. pomocí kontrolních destiček z jakostní oceli
s přesnou hodnotou tvrdosti.

3.3 Zkouška mezi klíny

Zkouška mezi klíny byla navržena již v r. 1934
P. Ludwikem a J. Krystofem. Ve srovnání s klasickými
zkouškami na odlévaných a na obráběných vzorcích je tato
zkouška jednodušší. Zkouška se začíná uplatňovat v řadě
zemí až v současné době a jejím účelem je nahradit náklad-
né zkoušky litiny v tlaku, popř. v ohybu.

Metoda je vhodná pouze pro křehké materiály, hodí se pro litiny s max. tažností $\delta = 1,3\%$ a min. tvrdostí 160 HB. V praxi to znamená, že je omezena v podstatě na zkoušení šedé litiny. Schema zkoušky je uvedeno na obr. 4.



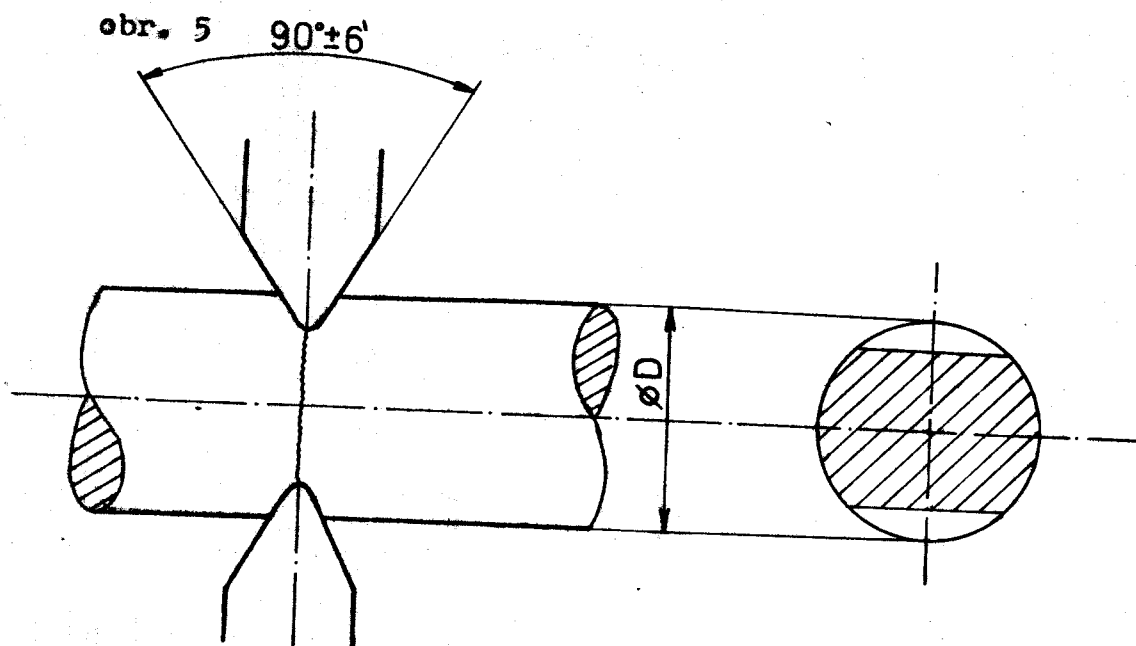
obr. 4 Schema zkoušky mezi klíny

Podstata zkoušky spočívá v tom, že zkušební vzorek ve tvaru kruhové tyče je zatěžován vnikajícími protilehlými klíny až do lomu (obr. 5). Pevnost mezi klíny σ_{PK} je vyjádřena poměrem největšího zatížení (F_{max}) při zkoušení, k počátečnímu průřezu zkušebního vzorku (S_0).

$$\sigma_{PK} = \frac{F_{max}}{S_0} \text{ [MPa]}$$

Klíny jsou vyrobeny z rychlořezné oceli a jsou vybroušeny do úhlu 90° , musí být přesně ustaveny v prismatickém loži tlačných válců tak, aby se úhlopříčka protilehlých klínů kryla se svislou polohou, zaoblení ostří je menší než 2 mm. Pracovní polohy se brousí na $Ra = 0,2$.

Zkušební vzorky se odebírají ze zkušebních těles, odlitých podle normy ČSN 42 12 41. Zkoušený průřez musí být vzdálen od obou konců zkušebního tělesa nejméně 60 mm.



Rozměry a drsnost povrchu normalizovaných zkušebních vzorků jsou uvedeny v tabulce.

Tvar vzorku	Rozměry vzorku v mm		Drsnost povrchu Ra	
	průměr D	výška v	rov.plech	válc.plech
kruhová	$30^{\pm 2}$	\emptyset	\emptyset	25
tyč	$20 \pm 0,1$	\emptyset	\emptyset	3,2

Nenormalizovaných zkušebních vzorků lze ke zkoušce použít po dohodě. Zkouška se provádí při obvyklé teplotě místnosti $20 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Zkoušení za jiné teploty je třeba uvést v zápise o zkoušce.

Počáteční průřez zkušebních vzorků se stanoví výpočtem z rozměrů naměřených před zkouškou v rovině, ve které budou vzorky zatěžovány. Průměr se měří ve dvou na sebe kolmých směrech a pro výpočet počátečního průřezu se bere aritmetický průměr naměřených hodnot. Roviny zatěžování musí být od sebe vzdáleny minimálně 20 mm a zatěžování se zvětšuje nepřetržitě a bez rázů až do lomu vzorku, vzrůst napětí ve zkušebním vzor-

ku nesmí překročit 10 MPa za sekundu.

Převod pevnosti mezi klíny σ_{PK} na pevnost v tahu σ_{Pt} :

Pevnost mezi klíny lze převést na pevnost v tahu podle vztahu: $\sigma_{Pt} = a \sigma_{PK} - b \pm c$

Hodnoty koeficientů a, b, c,

Tvar vzorku	a	b	c
Neobrobená kruh. tyč o \varnothing 30 mm	2,14	57,0	15,0
Obrobená kruh. tyč o \varnothing 20 mm	1,63	16,1	15,0

4.0 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Ze sléváren n.p. LIAZ Liberec, závodu Ostašov a provozovny Stráž n./N. byly dodány na VŠST Liberec zkušební vzorky ve tvaru tyčí o průměru 20 mm. Pro snadnější orientaci uvádím označení jednotlivých souborů taveb:

D3 - Tyče odlité ve slévárně n.p. LIAZ Liberec, závod Ostašov o průměru 20 mm. Rok výroby 1977 a 1978. Použit nový způsob druhování a plynové předpecí.

C3 - Tyče odlité ve slévárně n.p. LIAZ Liberec, závod Ostašov o průměru 20 mm. Rok výroby 1977 a 1978. Použit nový způsob druhování a indukční předpecí.

S3 - Tyče odlité ve slévárně n.p. LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N. o průměru 20 mm. Rok výroby 1977 a 1978.

Z tyčí byly odebrány vzorky k chemickému rozboru a byla na nich vyfrézována ploška ke změření tvrdosti podle Brinella. Tvrdost byla měřena dvakrát a jako výsledná hodnota

nota byl použit aritmetický průměr naměřených hodnot. Zkouška probíhala podle normy ČSN 42 03 71, použita byla kulička o průměru 10 mm, zatěžující síla 29 430 N (3 000kp). Doba zatěžování byla 10 - 15 s. Tvrdost byla měřena na tvrdoměru Brinell, typHPO 3 000, výrobek VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig. Správnost měření byla ověřena ocejchovanou destičkou č. B 73 231. Měření se provádělo na té straně tyče, kde nebyl vtok.

Po tomto měření následovala zkouška mezi klíny. Tato zkouška byla prováděna podle normy ČSN 42 03 41, která je v současné době ve stadiu ověřování. Vlastní zkoušku jsme provedli na universálním trhacím stroji ZDM 50, výrobek VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig, přístroj byl ocejchován v roce 1978. Teplota, při které bylo měření prováděno, byla v souladu s normou ČSN 42 03 41. Na universálním trhacím stroji byl při zkoušce použit rozsah zatížení 0 - 100 kN. Zkušební tyče byly zatěžovány ve své střední části.

Pro zjištění vlivu povrchové vrstvy odlitku byly některé vzorky obrobny na průměry 17 mm, 18 mm, 19 mm, 20 mm a znovu u nich byla provedena zkouška mezi klíny. Tím byly získány dvě hodnoty pevnosti mezi klíny, jedna u vzorku neobrobeného σ_{PK} a druhá u vzorku obrobeného na určitý průměr σ'_{PK} . Tyto hodnoty nám sloužily při zjišťování vlivu povrchové vrstvy odlitku.

4.1 Vyhodnocení zkušebních vzorků

Jednotlivé hodnoty získané pomocí zkoušky tvrdosti podle Brinella a pomocí zkoušky mezi klíny na zkušebních vzorcích byly sestaveny podle čísel taveb, která byla na vzorcích uvedena. První část takto zjištěných hodnot zapsaných do tabulek se týká tyčí neobrobených, je to soubor vyrobený v n.p. LIAZ Liberec, závod Otašov v roce 1977 a 1978. Při výrobě bylo použito pouze plynové předpečí.

Ve druhé části tabulek jsou vzorky u nichž byly zjištěny hodnoty pevnosti mezi klíny jak ve stavu neobrobeném, tak ve stavu obrobeném na určitý průměr, v našem případě na průměr 17 mm, 18 mm, 19 mm a 20 mm. Při obrobení na průměr 20 mm se jednalo pouze o odebrání tenké povrchové vrstvy, neboť

všechny vzorky byly vedeny pod označením průměr 20 mm, avšak ze sléváren byly dodány většinou o průměru nepatrně větším. Tyto vzorky byly vyrobeny ve slévárnách v Ostašově a ve Stráži n./N. v roce 1978 a u vzorků z Ostašova je použito hlavně plynové předpečí a v menší míře také předpečí indukční.

Při vyhodnocování byl brán zřetel jednak na místo výroby, jednak na tloušťku odebrané povrchové vrstvy a na použité předpečí.

U vzorků neobrobených byl vyhodnocován vztah mezi pevností v tahu σ_{Pt} a pevností mezi klíny. Byl sestrojen diagram pro korelaci σ_{Pt} a σ_{PK} . U vzorků vyrobených v roce 1977 - diagram č. 1, u vzorků vyrobených v roce 1978 - diagram č. 2. Na svislé ose je vynesena pevnost v tahu σ_{Pt} a na vodorovné ose je vynesena pevnost mezi klíny σ_{PK} s hodnotami pro jednotlivé vzorky. Plocha mezi dvěma úsečkami na těchto diagramech nám udává největší výskyt hodnot pevností u jednotlivých vzorků zkušebních tyček. Ideální případ by nastal, kdyby se tato plocha změnila v přímku, v našem případě pozorujeme určitý rozptyl mezi jednotlivými hodnotami pevností.

U vzorků zkušebních tyčí obrobených byly porovnávány hodnoty pevností σ_{Pt} a σ_{PK} před obrobením a σ_{PK}' po obrobení. Na vodorovné ose jsou vynesena čísla jednotlivých zkušebních tyčí a na svislé ose hodnoty σ_{Pt} , σ_{PK} a σ_{PK}' . Na diagramech č. 3 - 6 jsou vzorky obrobené na průměr 20 mm, 19 mm, 18 mm, 17 mm vyrobené ve slévárně n.p. LIAZ Liberec, závod Ostašov, u nichž bylo použito plynového předpečí. Na diagramech č. 7 - 10 jsou vzorky obrobené na uvedené hodnoty, vyrobené ve stejném závodě, avšak s použitím indukčního předpečí. Na zbývajících diagramech č. 11 - 14 jsou vzorky ze slévárny v provozovně Stráž n./N.

Diagramy č. 1 a 2 byly zpracovány podle tabulek č. 1 a 2. Diagramy č. 3 - 6 podle tabulek č. 3, 5, 7, 9. Diagramy č. 7 - 10 podle tabulek č. 4, 6, 8, 10 a diagramy č. 11 - 14 podle tabulek č. 11 - 14.

Hodnoty měření u vzorků, u nichž byla po provedení zkoušky objevena vada v průřezu, byly zaznamenány do tabulek, avšak nebyly použity do grafického zhodnocení a k vyvození celkových závěrů.

4.1.1 Tabulky

Tabulka č. 1

Vzorky - ϕ 20 mm, rok výroby 1977.Nový způsob druhování, použito plynového předpecí
- série D3 (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
193	21,3	224	92,8	148*	291
193 x	21,1	233	64,8	185	261
194	21,1	229	59,6	170	291
194 x	21,3	219	55,0	154	251
195	20,9	232	55,1	161	251
195 x	21,2	243	55,9	158	261
197	20,9	239	61,3	178	242
200 x	21,3	230	54,6	153	182
201	21,5	222	54,0	149	185
203	21,1	227	53,9	154	276
203 x	21,2	225	57,2	162	285
204	21,1	237	56,0	160	300
204 x	21,2	219	54,2	153	308
206	21,2	231	66,1	187	276
207	21,4	218	54,5	151	264
207 x	21,2	228	60,8	172	295
210	21,4	238	60,7	169	291
210 x	21,3	232	51,6	145	306
211	21,3	224	57,3	161	287
212	21,1	228	60,8	174	306
212 x	21,1	228	57,0	163	291
213	21,2	237	60,7	171	283
215	21,2	233	60,6	172	189
215 x	21,2	228	60,6	172	185
216	20,9	229	51,8	151	279
216 x	21,3	242	58,0	163	291
218	20,9	215	50,0	146*	249
218 x	20,9	226	51,3	149	242

*vada v průřezu

č.v.	Ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
219	21,2	233	49,1	139	249
219 x	21,3	219	51,9	146	236
221	19,9	233	55,8	178	264
221 x	19,9	228	55,0	175	263
222	19,8	225	58,3	185	272
222 x	21,1	247	62,7	179	264
223	21,4	212	54,5	151	237
224	21,7	247	57,7	156	239
225	20,8	229	54,6	161	236
225 x	20,7	217	54,3	161	226
226	21,0	221	51,8	149	233
226 x	21,2	229	56,4	159	233
227	21,1	223	57,1	163	239
228	20,8	241	51,8	152	265
228 x	21,0	223	56,0	162	265
229	21,3	236	51,5	145	255
230	21,2	217	51,3	145	239
230 x	20,8	218	52,5	155	236
231	21,0	215	54,0	156	225
231 x	20,9	207	51,3	149	197
232	20,6	208	50,7	152	236
232 x	20,9	208	50,2	146	225
233	21,0	212	53,8	155	223
233 x	20,8	214	50,2	148	236
234 x	21,0	210	46,0	133*	261
235	21,3	215	54,0	152	217

*vada v průřezu

Tabulka č. 2

Vzorky - ϕ 20 mm, rok výroby 1978.
 Nový způsob druhování, použito plynového předpečí
 - série D3 (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
13	21,1	229	57,7	165	181
13 x	20,9	243	48,7	142	249
14	21,3	238	60,3	169	214
14 x	21,3	225	56,0	157	246
15	20,5	228	57,2	117	259
16	21,3	236	57,8	162	220
16 x	21,6	222	56,0	153	246
17	21,0	236	55,1	159	255
17 x	21,3	225	57,2	166	226
18	21,6	224	56,4	154	246
18 x	21,5	217	54,6	153	242
19	21,1	227	54,6	156	251
19 x	21,0	215	51,6	149	236
20	20,8	236	57,0	153	265
20 x	21,2	236	52,4	148	233
21	22,1	223	51,7	135	206
21 x	21,4	215	55,8	159	272
22	21,3	221	51,9	146	239
22 x	20,9	225	51,9	151	274
23	21,2	226	32,7	93	242
24	21,0	246	54,0	156	278
24 x	21,2	234	65,2	186	261
25	21,1	216	58,9	168	220
25 x	20,8	233	45,5	134*	263
26	21,0	229	55,2	159	239
26 x	20,8	234	58,9	173	239
27	21,0	238	54,6	158	249
28	21,2	222	54,2	153	249

* vada v průřezu

č.v.	Ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
28 x	21,0	215	57,8	167	259
30	20,7	237	57,9	172	259
31	21,1	224	55,7	162	255
31 x	20,5	243	58,1	176	254
32	21,1	216	50,4	144	249
33	21,0	240	60,4	175	272
33 x	20,6	222	55,1	165	270
34	20,6	235	57,9	174	249
35	21,3	241	56,3	158	265
35 x	21,3	230	54,2	152	270
36	20,9	240	57,1	166	259
36 x	21,4	239	55,8	155	237
37	20,9	226	52,6	153	237
37 x	21,0	228	52,9	153	216
38	20,7	228	48,9	145	201
38 x	20,9	233	53,1	154	233
39	20,8	215	55,1	162	258
39 x	21,2	221	57,9	164	251
40	21,1	223	50,6	145	259
40 x	21,3	219	61,0	171	239
41	21,0	235	56,3	163	251
43	21,1	228	58,1	166	268
43 x	20,9	236	56,7	165	239
44	21,0	235	57,7	166	233
44 x	21,3	227	57,7	162	242
45	20,4	229	57,5	176	242
46	21,3	221	56,6	159	239
46 x	21,5	212	52,9	146	249
47	21,4	226	59,9	166	287
47 x	21,3	229	56,8	159	246
48 x	21,8	232	55,2	148	264
49	21,0	245	57,8	167	258
50	21,0	231	54,9	158	229
53	21,6	238	58,1	158	239
53 x	21,1	242	55,6	159	259

č.v.	ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
54	21,5	230	60,2	166	216
54 x	20,6	214	53,8	161	189
56	21,0	217	56,7	164	226
59	20,0	227	54,9	175	239
59 x	21,0	206	49,3	142	239
60	20,7	226	60,7	167	253
60 x	21,2	206	52,9	150	214
100	21,2	218	55,2	156	233
100 x	21,8	215	54,2	145	220
101 x	20,7	240	64,8	193	255
101	21,8	239	53,0	142	277
102	21,5	216	60,4	166	276
102 x	21,0	238	54,4	157	291
104	21,6	226	54,1	148	269
104 x	21,1	224	59,6	174	272
105	21,2	228	56,4	160	236
106	21,8	230	36,3	97	270
106 x	21,8	231	56,2	151	276
107	21,4	226	56,0	166	251
107 x	21,4	220	51,8	144	242
110	20,9	231	53,9	157	264
111	21,3	233	57,3	161	287
111 x	21,2	234	58,3	165	273
112	21,1	235	58,8	168	243
112 x	20,6	233	53,7	161	233
113	22,5	237	55,8	143	279
113 x	21,7	230	55,6	150	260
114	20,8	231	57,8	170	299
114 x	21,6	211	44,8	122*	293
115	21,1	229	59,6	170	236
116	20,8	212	52,3	157	279
116 x	21,5	223	55,6	153	283
117	21,4	226	57,4	160	265
117 x	21,5	216	53,1	146	274
118	21,3	229	49,6	139	208
119	21,0	241	55,4	160	268

* vada v průřezu

č.v.	ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
119 x	21,0	220	57,7	167	258
120	21,2	225	53,8	153	272
120 x	20,7	227	57,7	170	280
121	20,9	218	57,9	159	242
121 x	21,4	232	51,6	143	255
124	21,7	229	55,6	150	208
124 x	21,1	230	53,5	153	217
125	21,4	227	57,6	160	226
125 x	21,3	229	56,4	158	261
126	21,3	223	50,6	142	255
130	21,3	233	58,4	164	251
131	21,4	225	57,4	164	255
133	21,0	238	55,1	159	253
133 x	21,3	248	60,2	169	263
135	22,3	214	52,3	134	252
135 x	21,3	224	56,1	157	261
136	21,6	213	50,2	137	255
136,x	22,5	213	59,0	148	249
138	21,6	224	47,5	129	273
138 x	21,2	218	60,8	172	260
140	21,7	213	56,5	153	248
140 x	21,8	222	52,4	140	211
141	21,2	222	58,4	165	263
141 x	21,1	221	52,2	149	273
145	20,4	220	48,9	150	229
145 x	21,3	230	61,9	174	258
147	21,1	215	57,2	164	236
148	20,9	217	57,0	166	274
148 x	20,7	217	52,9	157	254
149	21,1	215	55,3	158	268
149 x	20,6	222	55,3	166	270
181	21,0	213	51,2	148	268
181 x	21,4	222	49,0	136	243
182	21,2	220	58,2	165	264
186	21,2	222	57,1	162	268
186 x	21,2	219	57,8	164	273

č.v.	ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
187	21,5	230	58,6	161	252
187 x	21,5	224	57,8	159	255
188	21,7	230	54,9	148	245
188 x	21,6	227	56,5	154	280
189	21,3	227	59,0	165	265
189 x	21,3	223	56,4	158	248
190	21,3	227	51,6	140	274
190 x	22,1	220	51,1	133	274
191	21,1	235	53,8	154	265
191 x	21,4	217	52,3	145	278
192	21,1	224	56,8	163	280
192 x	21,3	219	57,2	161	278
193	21,4	241	59,3	165	272
196	21,2	223	55,6	158	278
196 x	21,3	223	54,8	154	277
197 x	21,4	220	55,7	159	261
198 x	21,8	222	59,3	159	259
199	21,7	221	55,8	151	236
199 x	21,3	218	57,8	161	268
200	21,3	219	52,8	148	251
200 x	20,7	212	53,6	159	264
201 x	21,4	213	50,3	145*	236
202	21,1	233	53,0	151	264
202 x	21,2	217	57,2	162	258
203	21,2	246	61,4	174	267
203 x	21,0	218	57,9	167	251
204	21,0	202	52,6	152	279
204 x	21,2	228	53,7	152	289
205	21,3	221	52,4	147	242
205 x	20,8	229	58,0	171	251
208	20,9	222	56,2	164	259
208 x	21,1	220	56,3	161	277
209	21,1	221	53,5	153	236
209 x	21,1	216	53,2	152	233
210	21,0	206	57,6	166	261

* vada v průřezu

č.v.	ø d [mm]	HB	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	σ_{pt} [MPa]
210 x	21,1	213	58,4	167	236
211	21,5	214	57,2	158	268
211 x	21,2	203	58,7	166	217
212 x	21,4	220	48,7	135*	217

*vada v průřezu

Tabulka č. 3

Vzorky - obrobené na ϕ 20 mm, rok výroby 1978.
 Použito plynového předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt}^t [MPa]
24 x	20,2	59,2	188	234	186	261
40	20,2	49,6	158	223	145	259
43 x	20,2	50,8	162*	236	165	239
47 x	20,2	53,1	169*	229	159	246
60	20,2	53,1	169	226	167	253
120	20,2	53,8	171	225	154	272
141	20,1	54,4	173	222	165	263
141 x	20,2	56,8	181	221	149	273
148	20,2	53,2	169	217	166	274
149 x	20,2	52,7	168	222	166	270
200	20,2	51,2	163	219	148	251
203	20,2	56,2	179	246	174	265
209 x	20,2	50,0	159	216	152	233

Tabulka č. 4

Vzorky - obrobené na ϕ 20 mm, rok výroby 1978.
 Použito indukční předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt}^t [MPa]
92	20,2	53,5	170	224	160	229
94 x	20,1	54,0	172	225	164	236
155	20,2	38,2	122*	210	148	260
155 x	20,2	56,2	179*	214	129	277
159 x	20,1	50,1	159	205	156	239
161 x	20,1	51,3	163	219	149	265
162 x	20,2	54,8	174	222	164	226
177	20,2	46,3	147*	217	161	236

*vada v průřezu

Tabulka č. 5

Vzorky - obrobené na ϕ 19 mm, rok výroby 1978.
 Použito plynového předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
15	19,2	49,8	176	228	117	259
16 x	19,1	50,0	169	222	153	246
28	19,2	43,0	152*	222	154	249
34	19,1	50,7	178	235	174	249
39 x	19,1	49,5	175	221	164	251
44	19,2	48,2	170	235	166	233
104 x	19,2	50,6	178	224	174	272
106 x	19,1	49,7	175	231	151	276
187	19,1	52,7	186	230	161	252
198 x	19,2	47,3	167	222	159	259
202 x	19,2	51,3	181	217	162	258
208, x	19,1	50,8	179	220	161	277
211 x	19,1	47,5	167	203	166	217
212 x	19,1	44,5	157*	220	135	214

Tabulka č. 6

Vzorky - obrobené na ϕ 19 mm, rok výroby 1978.
 Použito indukční předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
71	19,2	52,7	186	230	166	311
76	19,2	45,8	162	214	144	239
93	19,1	45,0	159	199	152	245
96 x	19,2	45,0	158	206	151	223
97	19,2	47,1	166	234	159	260
158	19,1	54,0	190	230	166	236
173	19,2	50,8	179	227	166	280

* vada v průřezu

Tabulka č. 7

Vzorky - obrobené na ϕ 18 mm, rok výroby 1978.
 Použito plynového předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
21 x	18,2	46,8	184	215	159	272
45	18,2	45,7	179	229	176	242
49	18,1	46,9	184	245	167	258
104	17,9	42,8	168	226	148	269
106	18,0	45,3	178	230	97	270
115	18,1	45,0	177	229	170	236
135 x	18,1	38,4	151*	224	157	261
140 x	18,1	44,3	174	222	140	211
145 x	18,1	43,8	172	230	174	258
147	18,2	44,3	174	215	164	236
191 x	18,0	45,0	177	217	145	278
199	18,1	41,0	161	221	151	236
199 x	18,1	42,0	165	218	161	268
204	18,1	42,9	168	202	152	279
208	18,0	46,8	184	222	164	259

Tabulka č. 8

Vzorky - obrobené na ϕ 18 mm, rok výroby 1978.
 Použito indukční předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
63 x	18,2	44,0	173	224	168	242
71 x	18,1	46,2	182	204	148	261
91 x	18,1	41,2	162	217	150	203
152 x	18,1	43,3	170	204	164	242

* vada v průřezu

Tabulka č. 9

Vzorky - obrobené na ϕ 17 mm, rok výroby 1978.
 Použito plynového předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}' [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
13 x	17,3	41,9	185	243	142	249
36 x	17,3	41,3	182	222	165	270
37	17,0	38,3	169	226	153	237
40 x	17,0	41,8	184	223	145	256
46	17,1	38,2	168	221	159	239
48 x	17,1	34,0	149	232	148	264
54	17,1	41,2	157	230	166	216
102	17,1	42,5	187	216	166	276
138 x	17,0	40,0	176	218	172	260
145	17,1	41,0	181	220	149	229
181	17,0	35,0	154	213	148	268
182	17,0	43,0	189	220	165	264
192	17,1	38,0	167	224	163	280
196 x	17,1	39,3	173	223	154	277
204 x	17,1	36,2	159	228	152	289

Tabulka č. 10

Vzorky - obrobené na ϕ 17 mm, rok výroby 1978.
 Použito indukční předpecí (LIAZ Liberec, závod Ostašov)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}' [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
77	17,1	35,6	157	218	138	236
79	17,1	35,6	157	218	157	255
158 x	17,1	37,6	166	226	174	220
180	17,1	41,0	181	227	158	259

Tabulka č. 11

Vzorky - obrobené na ϕ 20 mm, rok výroby 1978.
(LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N.)

č.v.	ϕ d [mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{pt} [MPa]
S 12	20,2	41,7	133*	189	118	191
S 16	20,2	41,3	131*	210	118	147
S 23	20,1	44,0	140	176	113	158
S 25	20,2	41,5	132	174	118	147
S 39	20,2	43,1	137	181	132	158
S 81	20,2	39,1	124	199	125	185
S 83	20,3	45,3	144	215	129	210
S 90	20,1	40,0	127	192	126	151
S 92	20,0	37,6	119	185	110	191
S 101	20,2	46,7	148*	220	127	220
S 135	20,0	42,6	136	208	126	189
S 145	20,1	42,6	136	190	119	178
S 154	20,2	50,8	162	226	143	198
S 175	20,1	38,4	122	183	110	151
S 182	20,1	29,3	93*	177	95	151
S 181	20,1	33,2	106*	207	124	176
S 183	20,2	40,7	129*	156	102	145
S 197	20,1	44,7	142	197	122	201

*vada v průřezu

Tabulka č. 12

Vzorky - obroběné na ϕ 19 mm, rok výroby 1978.
(LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N.)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK} [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
S 9	19,1	45,8	162	215	136	178
S 110	19,2	41,0	145	191	121	121
S 20	19,1	39,0	138	239	153	134
S 23	19,1	36,0	127	176	113	158
S 24	19,1	41,0	145*	205	122	184
S 46	19,1	46,0	162	202	135	181
S 49	19,2	44,0	155	212	139	177
S 71	19,1	42,5	149	203	131	157
S 76	19,1	35,0	123	167	103	110
S 82	19,1	51,2	180	198	118	159
S 95	19,1	43,0	152	214	136	217
S 102	19,2	31,2	110	174	109	157
S 141	19,2	37,5	132	209	126	176
S 160	19,1	44,0	155	228	140	178
S 161	19,1	33,4	118	244	140	214
S 163	19,2	40,5	143	211	133	189
S 193	19,1	44,0	155	215	128	214

* vada v průřezu

Tabulka č. 13

Vzorky - obrobené na ϕ 18 mm, rok výroby 1978.
(LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N.)

č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}' [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
S 22	18,1	32,3	127 *	178	119	162
S 29	18,2	35,0	138	183	123	162
S 35	18,1	25,0	98 *	184	103	140
S 40	18,1	32,0	126	196	115	128
S 57	18,0	38,2	150	212	132	153
S 77	18,1	32,0	126	173	107	176
S 82	18,1	35,0	137	198	118	159
S 88	18,0	36,0	141	212	125	185
S 89	18,1	31,3	123	168	111	163
S 115	18,1	37,6	148	198	126	200
S 117	18,1	33,3	131	203	125	128
S 142	18,1	36,1	142	206	131	186
S 144	18,0	34,0	134	192	111	163
S 153	18,2	37,3	146	212	146	185
S 156	18,1	32,0	126	191	131	182
S 163	18,1	35,6	139	211	133	189
S 164	18,1	43,0	169	234	149	204
S 169	18,1	32,1	126	178	118	171
S 172	18,1	36,5	143	211	132	194
S 192	18,1	41,0	161	223	146	267

*vada v průřezu

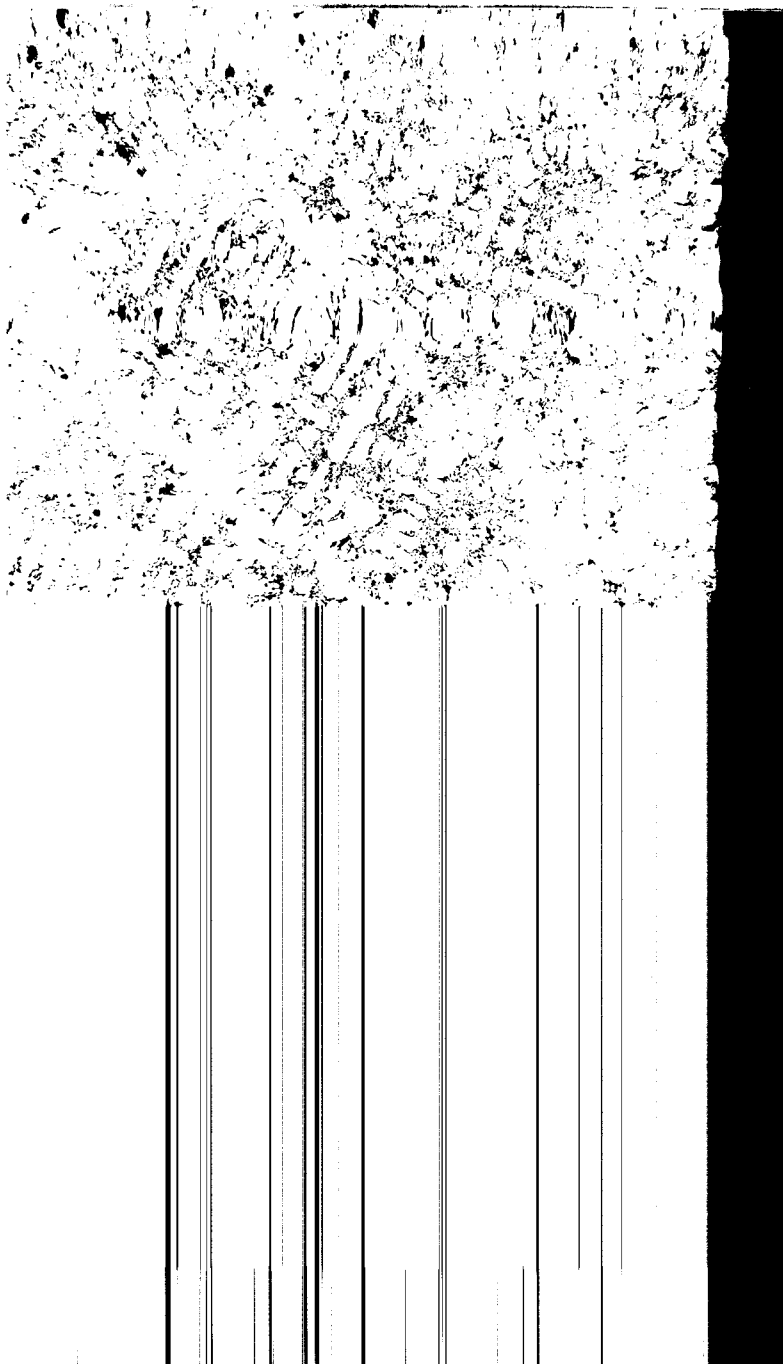
Tabulka č. 14

Vzorky - obrobené na ϕ 17 mm, rok. výroby 1978
(LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N.)

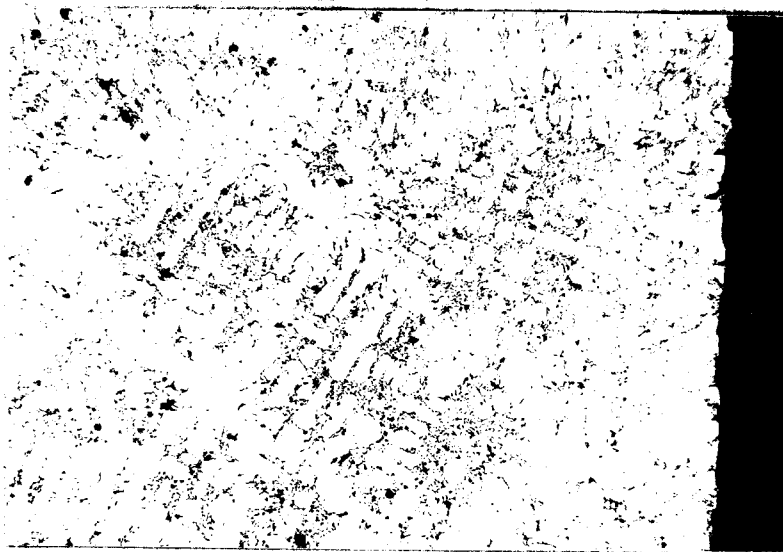
č.v.	ϕ d[mm]	F [kN]	σ_{PK}^1 [MPa]	HB	σ_{PK} [MPa]	σ_{Pt} [MPa]
S 11	17,1	39,3	173	196	129	163
S 17	17,1	31,0	136*	219	134	185
S 18	17,2	32,8	145	187	118	189
S 21	17,2	32,3	142	194	107	90
S 41	17,1	36,2	168	208	130	203
S 62	17,1	34,2	151	213	119	153
S 78	17,1	33,5	148*	201	144	207
S 87	17,1	34,7	153	213	136	196
S 91	17,1	32,3	142	198	132	189
S 98	17,1	28,0	123	173	104	166
S 136	17,1	30,5	134	214	125	170
S 137	17,1	38,0	167	205	126	189
S 146	17,1	32,5	143	208	130	198
S 150	17,1	29,5	130	196	116	149
S 151	17,2	33,6	148*	225	117	229
S 152	17,1	28,6	126	194	115	157
S 174	17,1	28,4	125*	182	109	155
S 186	17,1	25,5	113	203	111	157

* vada v průřezu

obr. 6



obr. 6

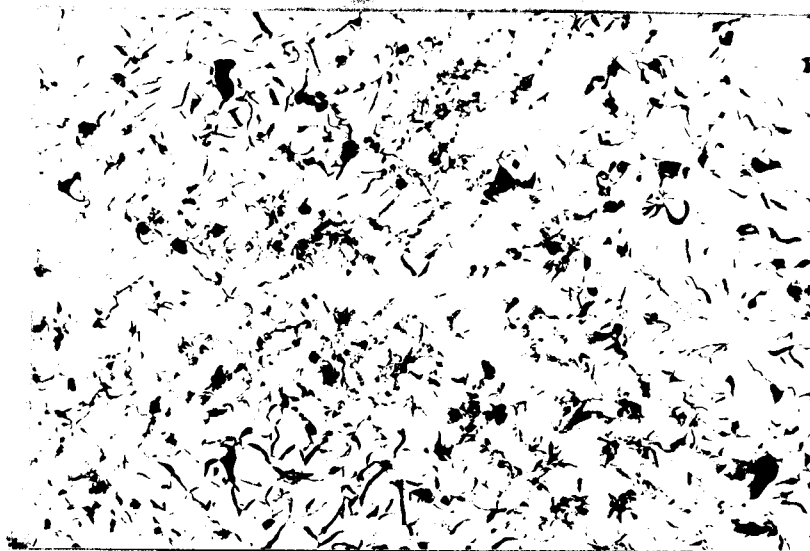


0

100 x

Vzorek č. 40 - oblast povrchové vrstvy

obr. č. 7

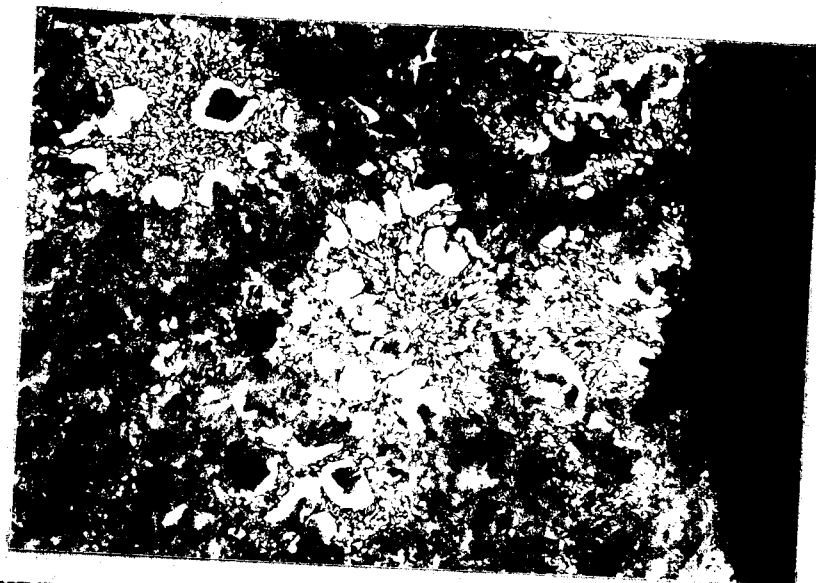


0

100 x

Vzorek č. 40 - oblast středu vzorku

obr. č. 8

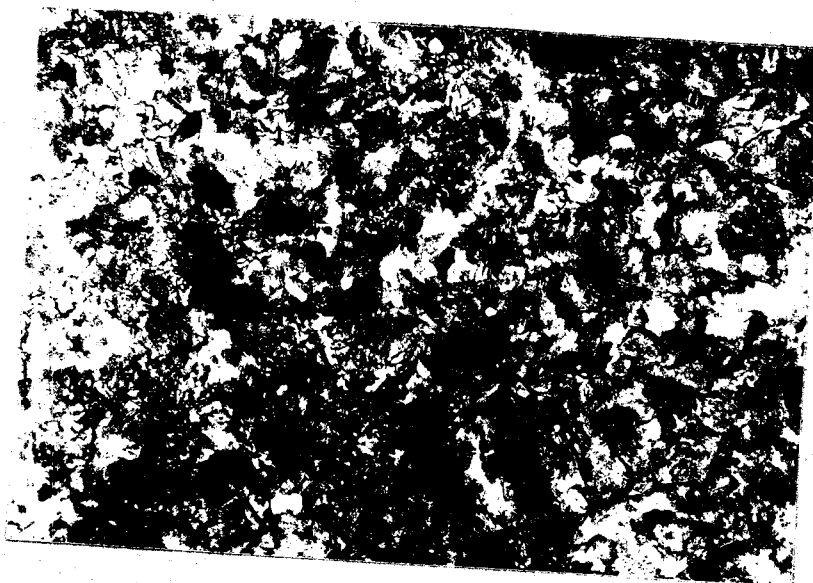


NITAL

200 x

Vzorek č. 40 - oblast povrchové vrstvy

obr. č. 9

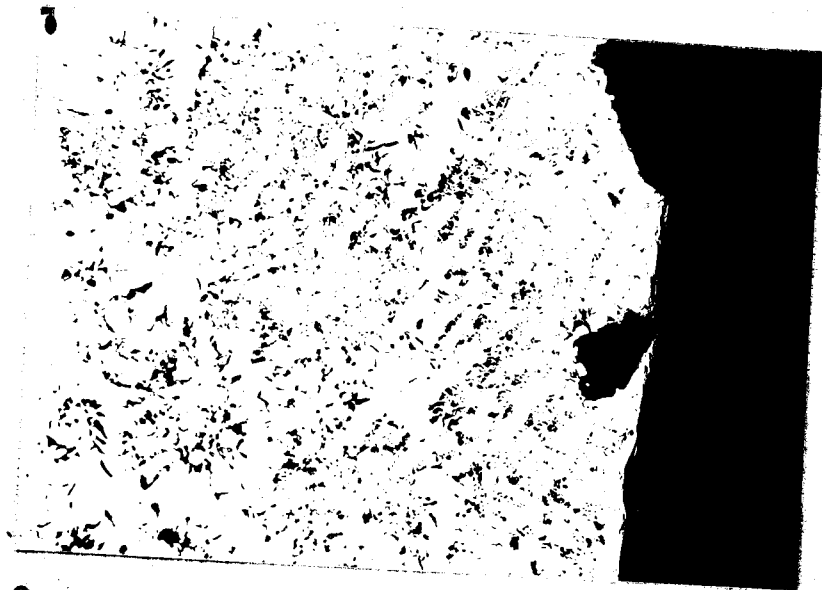


NITAL

200 x

Vzorek č. 40 - oblast středu vzorku

obr. č. 10

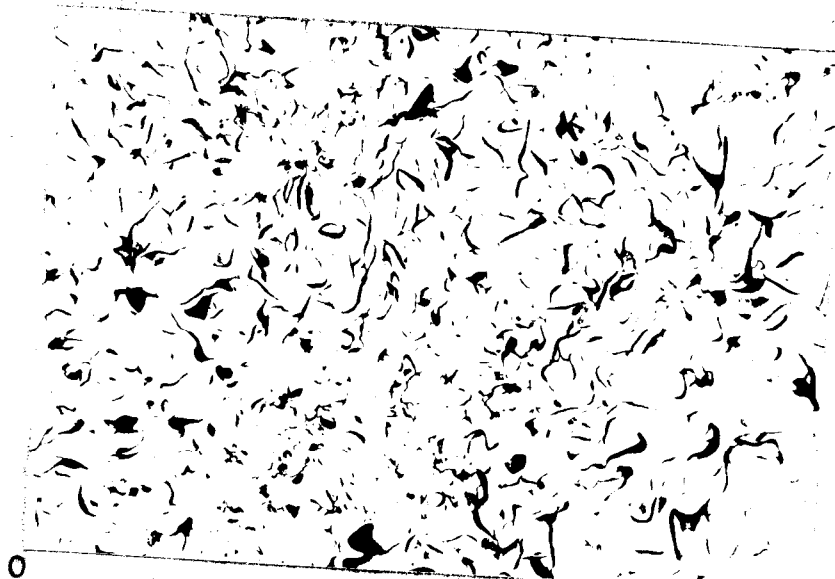


0

100 x

Vzorek č. 33 x - oblast povrchové vrstvy

obr. č. 11

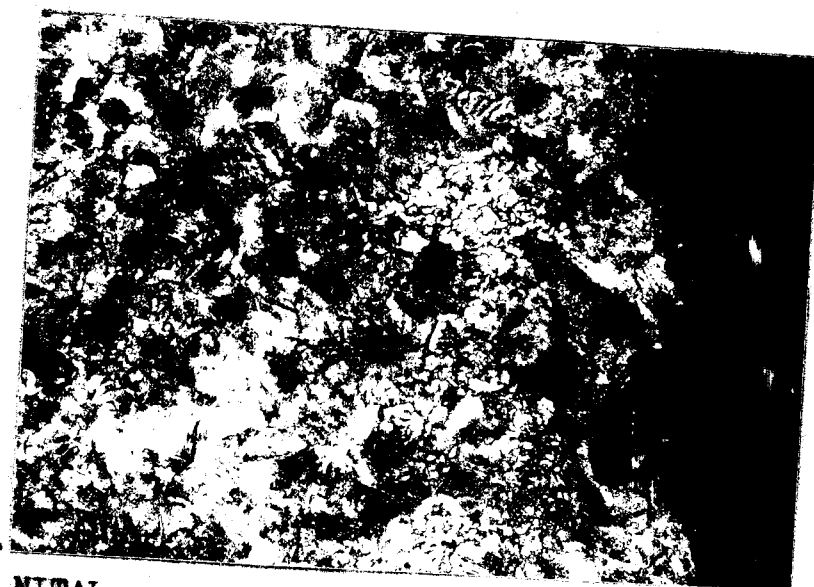


0

100 x

Vzorek č. 33 x - oblast středu vzorku

obr. č. 12

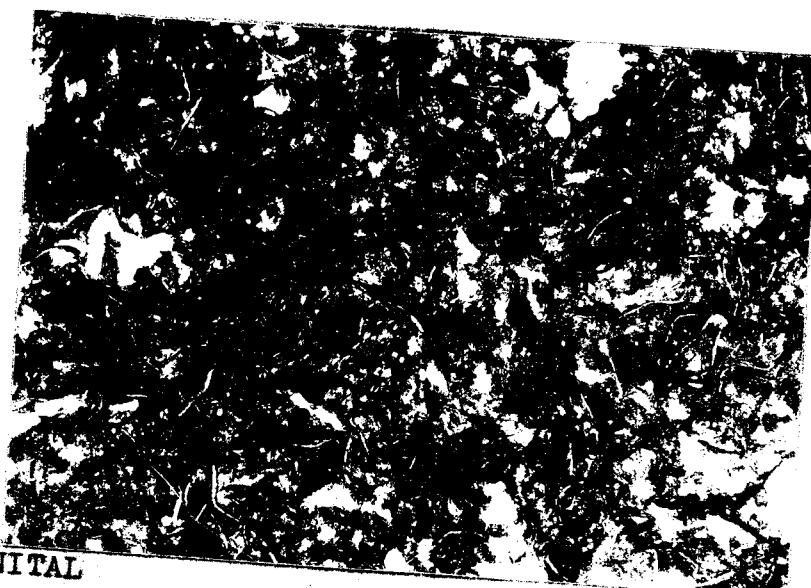


NITAL

200 x

Vzorek č. 33 x - oblast povrchové vrstvy

obr. č. 13



NITAL

200 x

Vzorek č. 33 x - oblast středu vzorku

Vyhodnocení strukturních složek bylo provedeno na základě normy ČSN 42 04 61.

Strukturní složky odlitků ze šedé, tvárné a temperované litiny se hodnotí podle :

a/ grafitu

b/ základní kovové hmoty

Hodnocení se provádí porovnáním struktury na výbrusu s nejvíce podobnou strukturou na etalonu v příloze normy.

Hodnocení grafitu

Grafit se hodnotí podle tvaru, rozložení a velikosti. Toto hodnocení je obsaženo v následující tabulce:

označení vzorku	tvar grafitu	rozložení grafitu	velikost grafitu
vzorek č. 40 povrch	I. lupínkový heterogenní	heterogenní mezidendr. neusměrněné	do 15 μm
vzorek č. 40 střed	III. červíkovitý	smíšené	250-500 μm
vzorek č. 33 x povrch	III. červíkovitý	částečně mezidendr.	60-120 μm
vzorek č. 33 x střed	III. červíkovitý	smíšené	250-500 μm

Hodnocení bylo provedeno podle normy před leptáním a se stonásobným zvětšením.

Hodnocení perlitu a feritu

Obsah perlitu nebo feritu se stanoví při stonásobném zvětšení jako průměr hodnot, zjištěných na třech místech výbrusu podle etalonové řady. Hustota perlitu se stanoví při tisícínásobném zvětšení jako průměr hodnot zjištěných na třech místech výbrusu pomocí etalonové řady.

Na vzorcích č. 40 a č. 33 x, jejichž struktura je na obrázcích č. 8, 9, 12, 13, je patrné rozložení feritu. Zatím co na povrchu (obr. 8, 12) je výskyt feritových shluků, je na obr. 9, 13, které znázorňují střed zkušebních vzorků,

ferit zastoupen v menším množství. Porovnáním obrázků č. 8 (č.v. 40 - nižší hodnoty pevností mezi klíny) a č. 12 (č.v. 33 x - vyšší hodnoty pevností mezi klíny) je možno říci, že na vzorku č. 40 (obr. č. 8) je ferit ve větších shlucích a jeho množství je také poměrně větší než u vzorku č. 33 x (obr. č. 12).

4.3 Diskuse

Pro porovnání naměřených výsledků je sestaven přehled vzájemných vztahů mezi pevnostmi v tahu σ_{Pt} a pevnostmi mezi klíny σ_{PK} a σ_{PK}' .

n.p. LIAZ Liberec, závod Ostašov

plynové předpecí

∅ 17 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	100 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	16 MPa
∅ 18 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	100 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	19 MPa
∅ 19 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	95 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	16 MPa
∅ 20 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	100 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	10 MPa

indukční předpecí

∅ 17 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	85 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	13 MPa
∅ 18 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	80 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	14 MPa
∅ 19 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	90 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	13 MPa
∅ 20 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	80 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	9 MPa

n.p. LIAZ Liberec, provozovna Stráž n./N.

∅ 17 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	48 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	22 MPa
∅ 18 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	30 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	14 MPa
∅ 19 /	σ_{Pt}	-	σ_{PK}	=	44 MPa
	σ_{PK}'	-	σ_{PK}	=	15 MPa

$$\begin{aligned} \sigma_{20} / \sigma_{Pt} - \sigma_{PK} &= 34 \text{ MPa} \\ \sigma_{PK}' - \sigma_{PK} &= 12 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Provedením zkoušky mezi klíny u zkušebních vzorků neobrobených a obrobených byly získány určité hodnoty pevnosti mezi klíny. V porovnání s pevností v tahu jsou hodnoty pevnosti mezi klíny u tyčí neobrobených v průměru o 99 MPa (38 %) nižší v případě použití plynového předpecí. Při použití indukčního předpecí klesne rozdíl obou pevností asi na 83 MPa (34 %). U výrobků ze slévárny ve Stráži n./N. není tento rozdíl tak markantní, pevnost mezi klíny je asi o 40 MPa (23 %) nižší než pevnost v tahu a podle grafického zhodnocení (diagram č. 11, 12, 13, 14) je patrný značný rozptyl naměřených hodnot. Ve slévárně Stráž n./N. jsou vyráběny litinové odlitky k jinému použití a jsou u nich jiné požadavky na mechanické vlastnosti, tomu je podřízeno chemické složení.

Po získání hodnot pevnosti mezi klíny u vzorků obrobených byl patrný vzrůst hodnot σ_{PK}' . U zkušebních vzorků, u nichž bylo použito indukčního předpecí činí vzrůst pevnosti mezi klíny přibližně 12 MPa (8 %), u vzorků vyrobených použitím plynového předpecí činí vzrůst σ_{PK}' přibližně 15 MPa (10 %). U zkušebních vzorků vyrobených ve slévárně ve Stráži n./N. je vzrůst pevnosti mezi klíny 16 MPa (13 %). Při porovnání změny pevnosti mezi klíny u vzorků různě obrobených došlo, u vzorků vyrobených a použitím plynového předpecí, k závěru, z kterého plyne, že nejméně se zvýšila pevnost mezi klíny u tyček obrobených na průměr 20 mm a to přibližně o 10 MPa (6 %). U těchto tyček byla v podstatě odebrána pouze nejslabší povrchová vrstva. U vzorků obrobených na průměr 18 mm činí vzrůst σ_{PK}' 19 MPa (12 %), t.j. téměř dvojnásobně. U vzorků s průměrem 17 mm činí vzrůst σ_{PK}' 16 MPa (10 %).

U zkušebních tyčí, vyrobených s použitím indukčního předpecí, jsou výsledky obdobné. U tyčí o průměru 20 mm stoupla hodnota σ_{PK}' pouze o 9 MPa (6 %), nejvíce vzrostla pevnost mezi klíny u tyčí o průměru 18 mm a to o 14 MPa (9 %).

Avšak zkušebních vzorků této série bylo vyrobeno a dodáno malé množství, takže závěry byly vyvozeny z několika výsledků.

U zkušebních tyčí vyrobených ve slévárně ve Stráži n./N. výsledky jenom potvrdily to, že u tyčí s méně odebranou povrchovou vrstvou vzroste hodnota σ_{PK}' méně než u vzorku více obrobených, konkrétně u tyček o průměru 20 mm činí rozdíl $\sigma_{PK}' - \sigma_{PK} = 12 \text{ MPa}$ (10 %) a u tyček o průměru 17 mm je rozdíl pevností mezi klíny 22 MPa (18 %).

Pro zjištění příčiny vzrůstu pevnosti mezi klíny u zkušebních vzorků obrobených byla hodnocena metalografická struktura vzorku u něhož byly zjištěny jedny z nejmenších hodnot pevnosti v tahu i mezi klíny. Jedná se o vzorek č. 40, který je obroben na průměr 20 mm, takže byla odebrána pouze tenká povrchová vrstva. Na obr. č. 8 jsou patrné při povrchu zkušební tyčky shluky feritu, které zhoršují mechanické vlastnosti. Postupným ubíráním povrchové vrstvy dosáhneme toho, že tyto shluky jsou odstraňovány a tím dochází ke zlepšení mechanických vlastností, resp. pevnosti mezi klíny. K porovnání slouží vzorek č. 33 x (obr. č. 12), kde je odebrána povrchová vrstva až na průměr vzorku 17 mm. Tento vzorek má vyšší hodnoty pevností mezi klíny σ_{PK} a σ_{PK}' a při pohledu na obr. č. 12 je vidět menší obsah feritu a menší feritové shluky.

Porovnáním mechanických vlastností u zkušebních vzorků neobrobených a obrobených byl přesněji zjištěn vliv povrchové vrstvy na mechanické vlastnosti. Odebíráním různě silné vrstvy byla pozorována změna se pevnost mezi klíny. Z měření lze usuzovat, že povrchová vrstva odlitků, z pohledu pevnosti mezi klíny, zhoršuje vlastnosti odlitků a jejím odebíráním je možno dosáhnout vyšších mechanických vlastností. Pro přesnější zjištění vlivu povrchové vrstvy na pevnost mezi klíny by bylo vhodné provést ještě rozsáhlejší mechanické zkoušky vzorků obrobených a neobrobených, abychom dostali přesnější přehled o chování šedé litiny při jiném způsobu namáhání, např. zkouška v ohybu.

Realizací těchto závěrů je možno dosáhnout většího uplatnění šedé litiny jako konstrukčního materiálu, neméně důležitá je i ta okolnost, že se u odlitků ze šedé litiny zmenší celková hmotnost, toto hraje důležitou roli např. v automobilovém průmyslu, kde se snížením hmotnosti dosáhne i úspory paliva, což není zanedbatelná skutečnost.

5.0 Z Á V Ě R

Při porovnání výsledků zkoušky mezi klíny u zkušebních vzorků se došlo k závěrům, že:

- 1/ Zkouška pevnosti mezi klíny plně vyhovuje při posuzování mechanických vlastností šedé litiny u zkušebních vzorků neobrobených a obrobených.
- 2/ Rozptyl hodnot naměřených při zkoušce mezi klíny není způsoben zkouškou samotnou, ale vlastními mechanickými vlastnostmi zkušebních vzorků.
- 3/ Porovnáním hodnot pevností mezi klíny u vzorků neobrobených a obrobených bylo zjištěno, že pevnost mezi klíny se zvyšuje s tloušťkou odebírané povrchové vrstvy, to znamená, že povrchová vrstva odlitků trvale zhoršuje, z hlediska pevnosti mezi klíny, mechanické vlastnosti odlitků.

Seznam použité literatury

- / 1/ Pluhař, J. - Koritta, J.: Strojírenské materiály,
SNTL Praha 1977
- / 2/ Jareš, V.: Základní zkoušky kovů a jejich teorie,
ACADEMIA Praha 1966
- + / 3/ Beneš, A.: Nauka o kovech, SNTL Praha 1974
- / 4/ Píšek, F. - Jeníček, L. - Ryš, P.: Nauka o materiálu I,
ACADEMIA Praha 1968
- / 5/ Giršovič, N. G.: Šedá litina, SNTL Praha 1955
- / 6/ Puškár, A.: Konstrukční materiály v dopravě a spojích,
ALFA 1979, 2. vydání
- / 7/ ČSN 42 04 61
- / 8/ Návrh normy ČSN 42 03 41

Na závěr bych chtěl poděkovat vedoucímu práce
s. Doc. Ing. V. Chaloupeckému, CSc a svému konzultantu
s. Ing. Františku Grohovi za pomoc a rady, které mi během
vypracování diplomového úkolu ochotně poskytovali. /

Miloslav Pálek

P r o h l á s e n í

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla podle směrnice uveřejněné v Pokynech a informacích č. 1/1975, se kterou jsem byl seznámen, zapůjčena nebo odprodána za účelem využívání jejího obsahu. Jsem si vědom, že práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám disponovat.

Souhlasím, aby po pěti letech byla diplomová práce vrácena na uvedenou adresu, nebo v případě nedoručitelnosti skartována.

podpis

Jméno a příjmení K u b í k M i l o š

Adresa stálého bydliště Velké Valy 1852, Nymburk

Adresa podniku, ve kterém budete pracovat (pokud víte)

ÚVAR ŽPO Nymburk

σ_{Pt}
[MPa]

DIAGRAM Č. 2 - KORELACE NAPĚTÍ σ_{Pt} a σ_{Pk} V VZORKU Ø 20 mm, 1978,
soužito plynové předpěčí (LIAZ LIBEREC, závod OSTRAVOV)

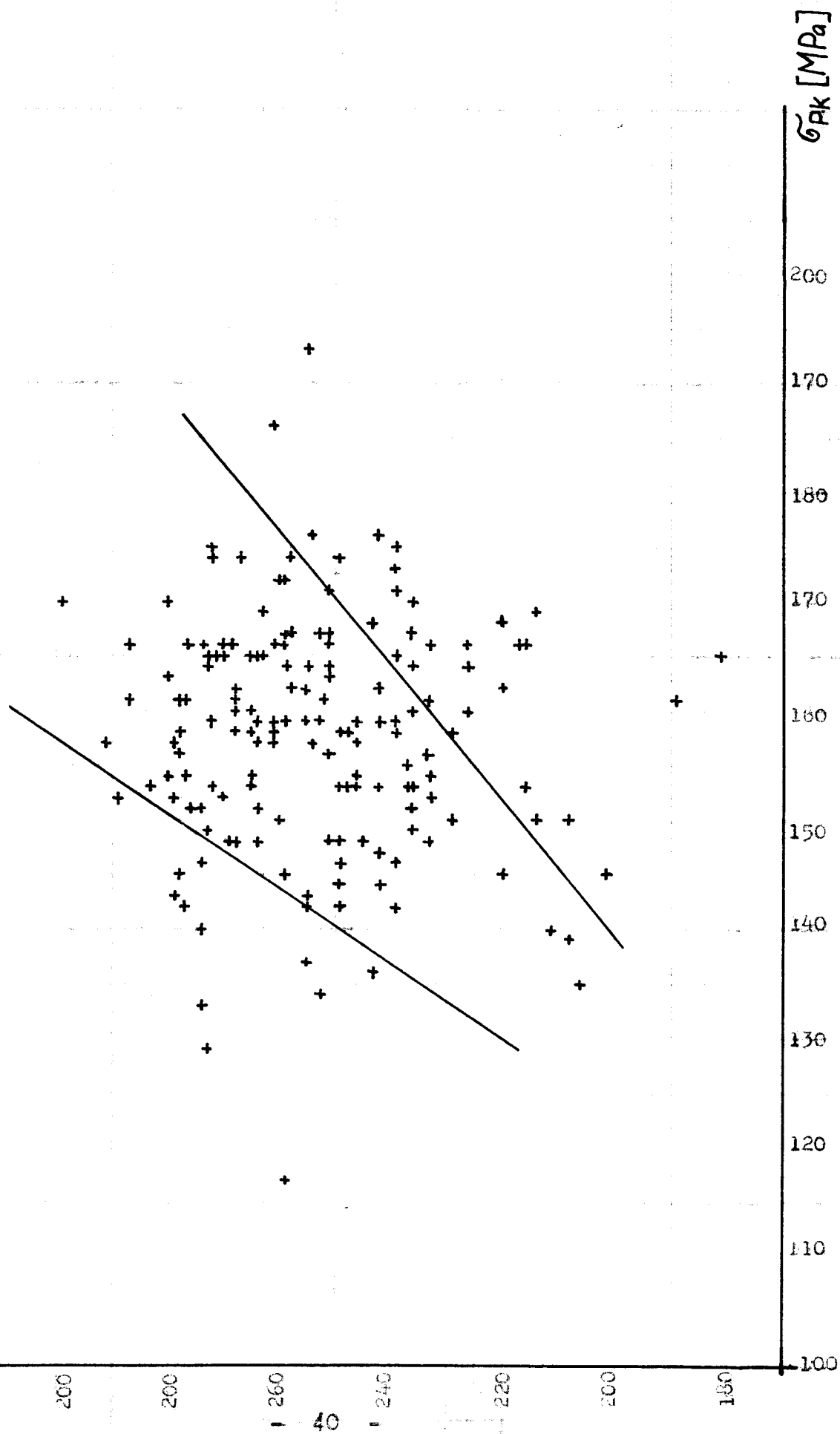


DIAGRAM Č. 1 - KORELACE NAPĚTÍ σ_{Pl} a σ_{Pk} u VZORKŮ Ø 20 mm - 1977,
použito plynové předpeči (LIAZ. LIBEREC, závod OSTASOV)

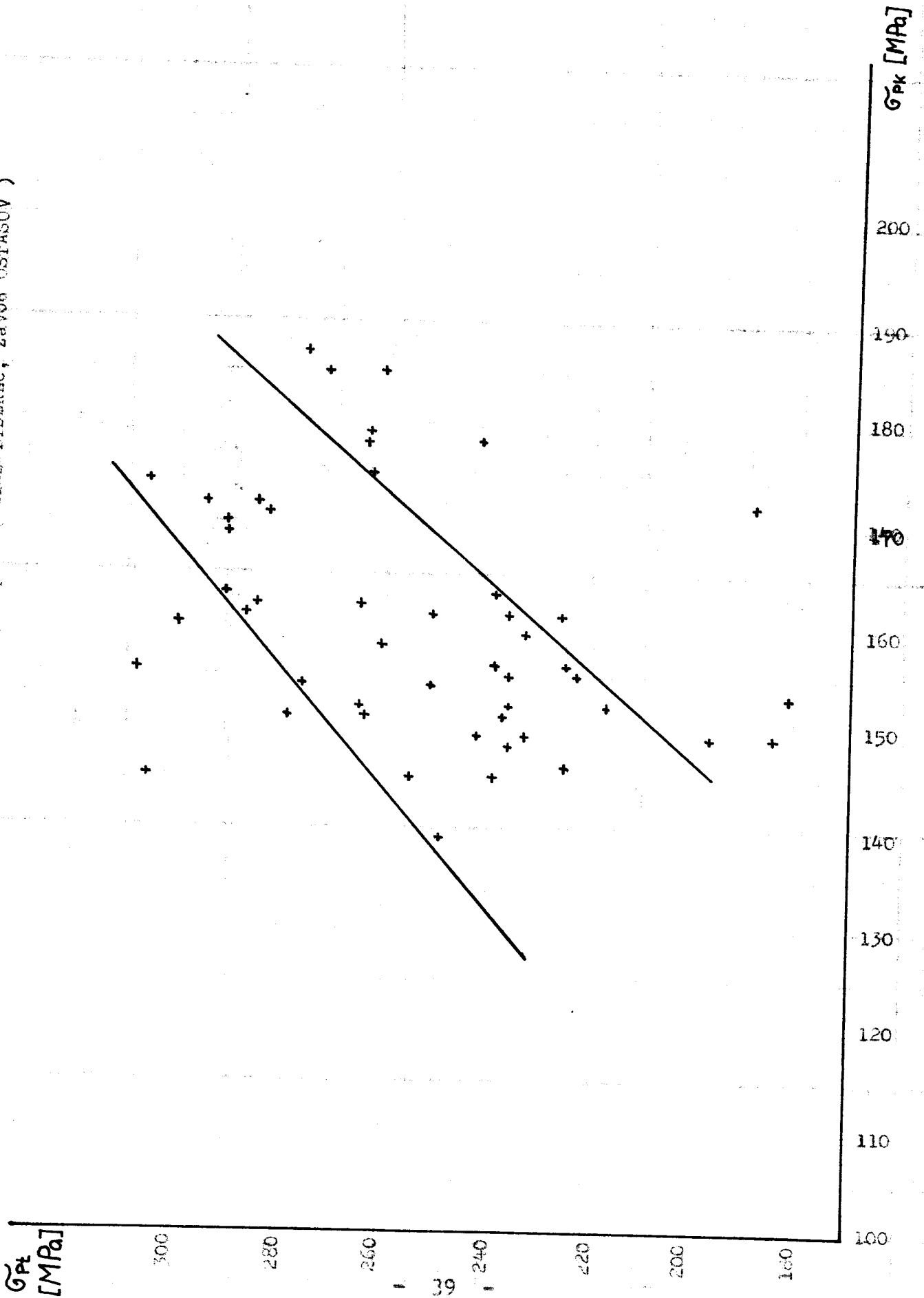


DIAGRAM č. 3 - VZORKY OBRČENÉ NA Ø 20 mm, 1978,
 plynové předpeči (LIJAZ LIBEREC, závod OSTASOV)

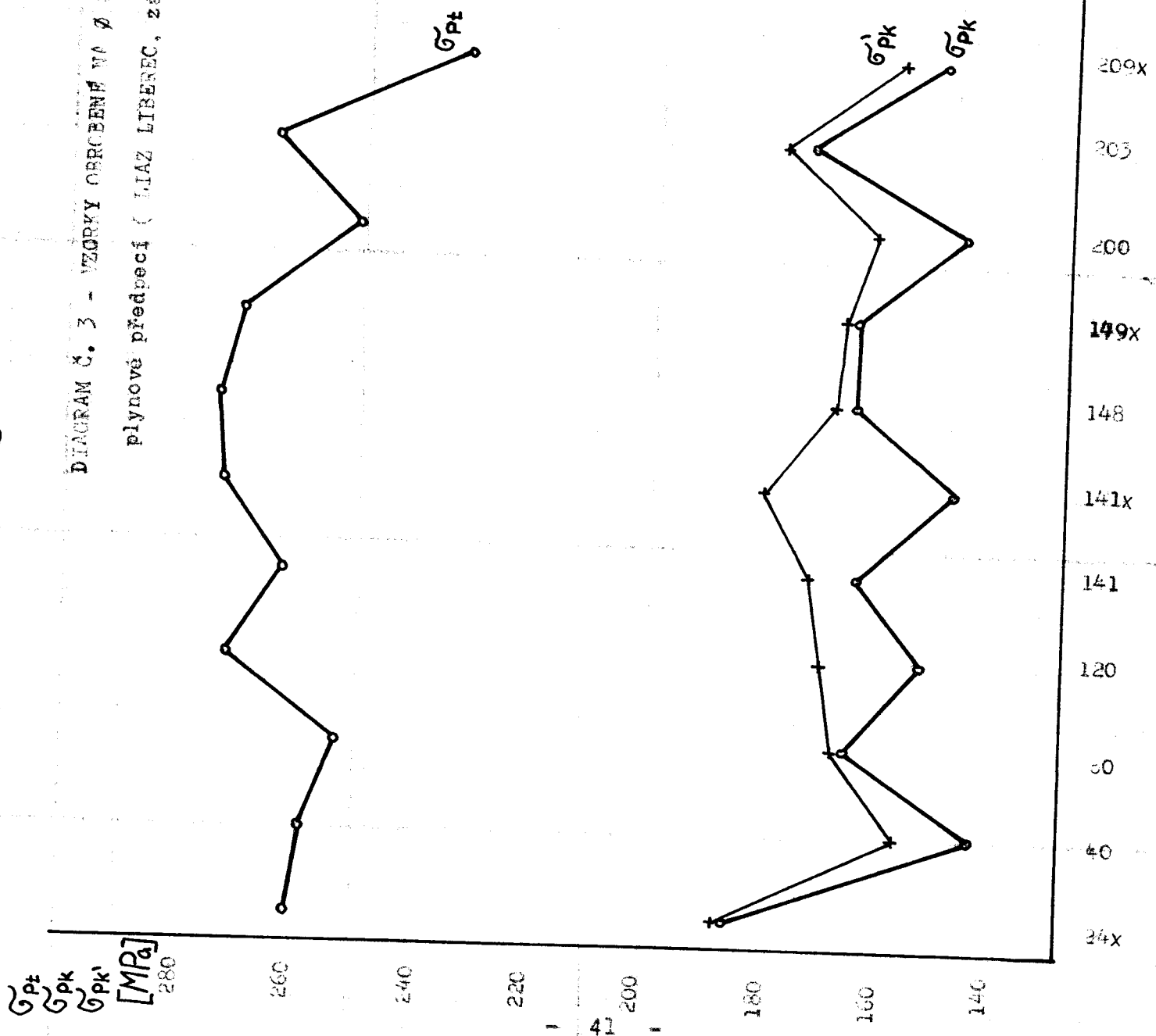


DIAGRAM Č. 4 - VZORKY Ø 20 mm OBROBENÉ NA Ø 19 mm, 1978,

plynové předpětí (LIAZ LIBEREC, závod OSTRAVA)

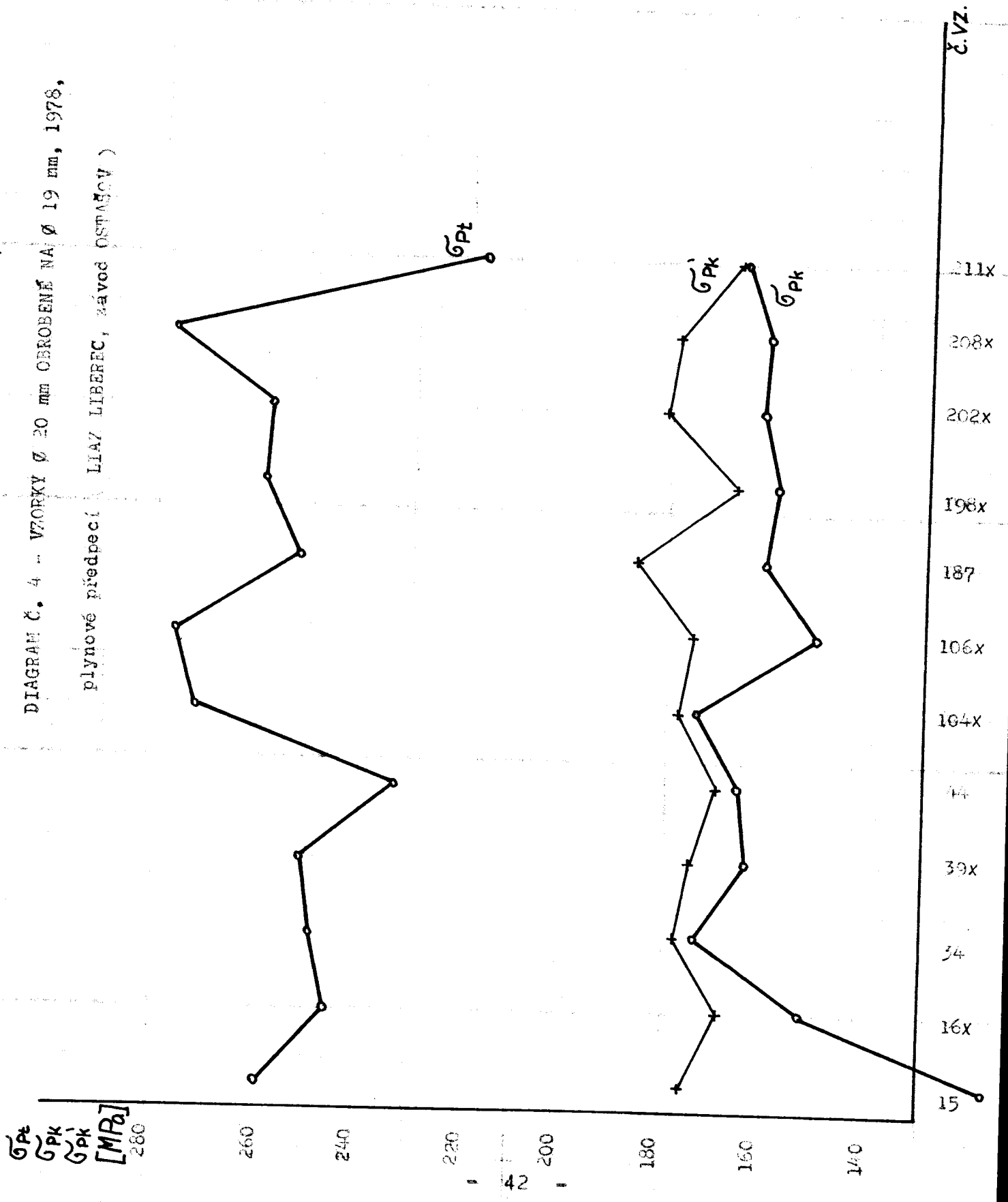
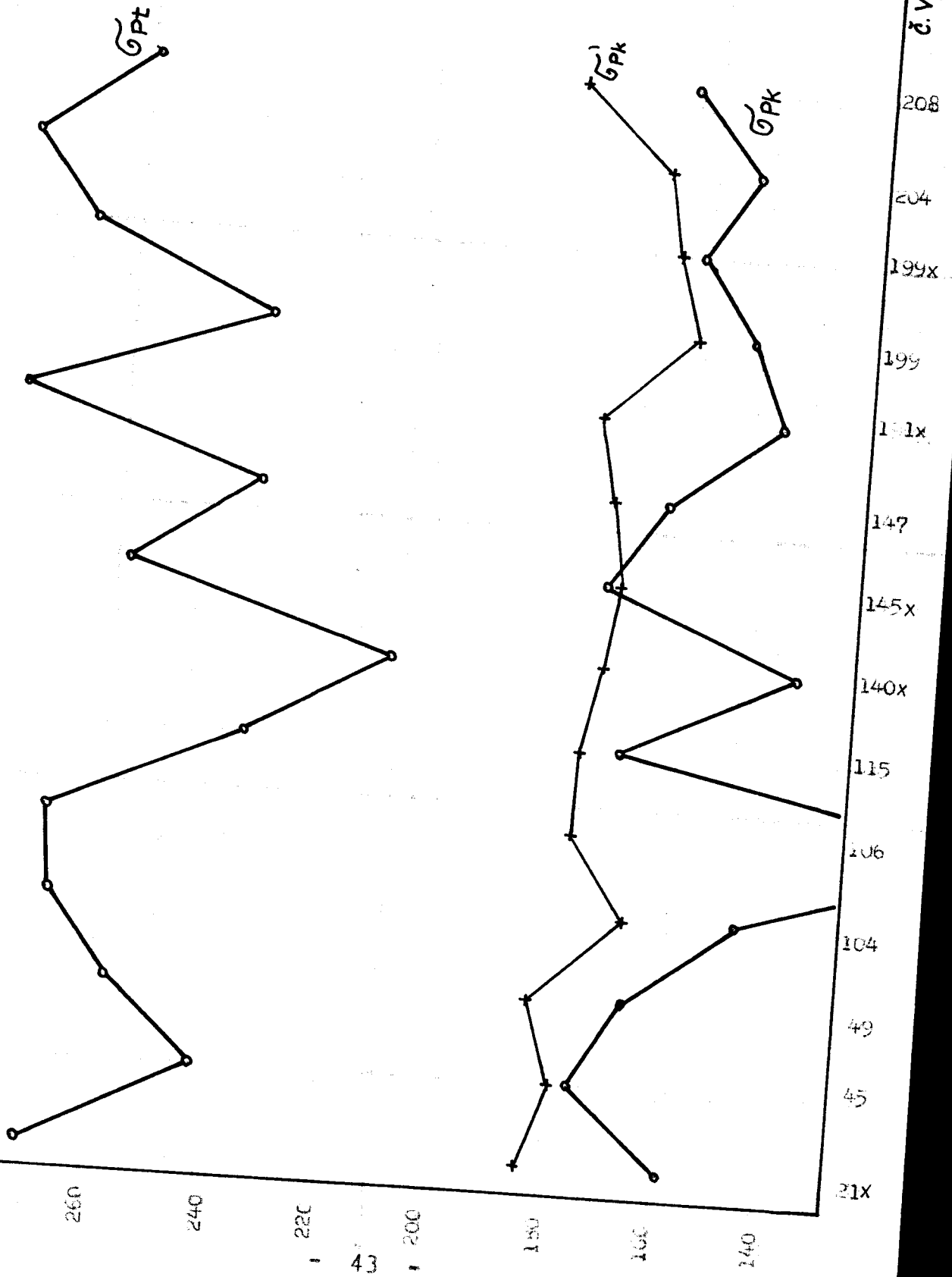


DIAGRAM č. 5 - VZORKY Ø 20 mm OBROBENÉ NA 7 16 mm, 1970,
 plynové předpeči (JIAZ LIBEREC, závod OSTAŠOV)

σ_{Pt}
 σ_{PK}
 σ_{PK}^1
 [MPa]
 280



280
 260
 240
 220
 200
 180
 160
 140

208
 204
 199x
 199
 191x
 147
 145x
 140x
 115
 106
 104
 49
 45
 21x

č. VZ.

DIAGRAM Č. 6 - VZORKY Ø 20 mm ČEROBENÉ NA Ø 17 mm, 1978,

plynové předpeči (HIAZ LIBEREC, závod OSTAŠOV)

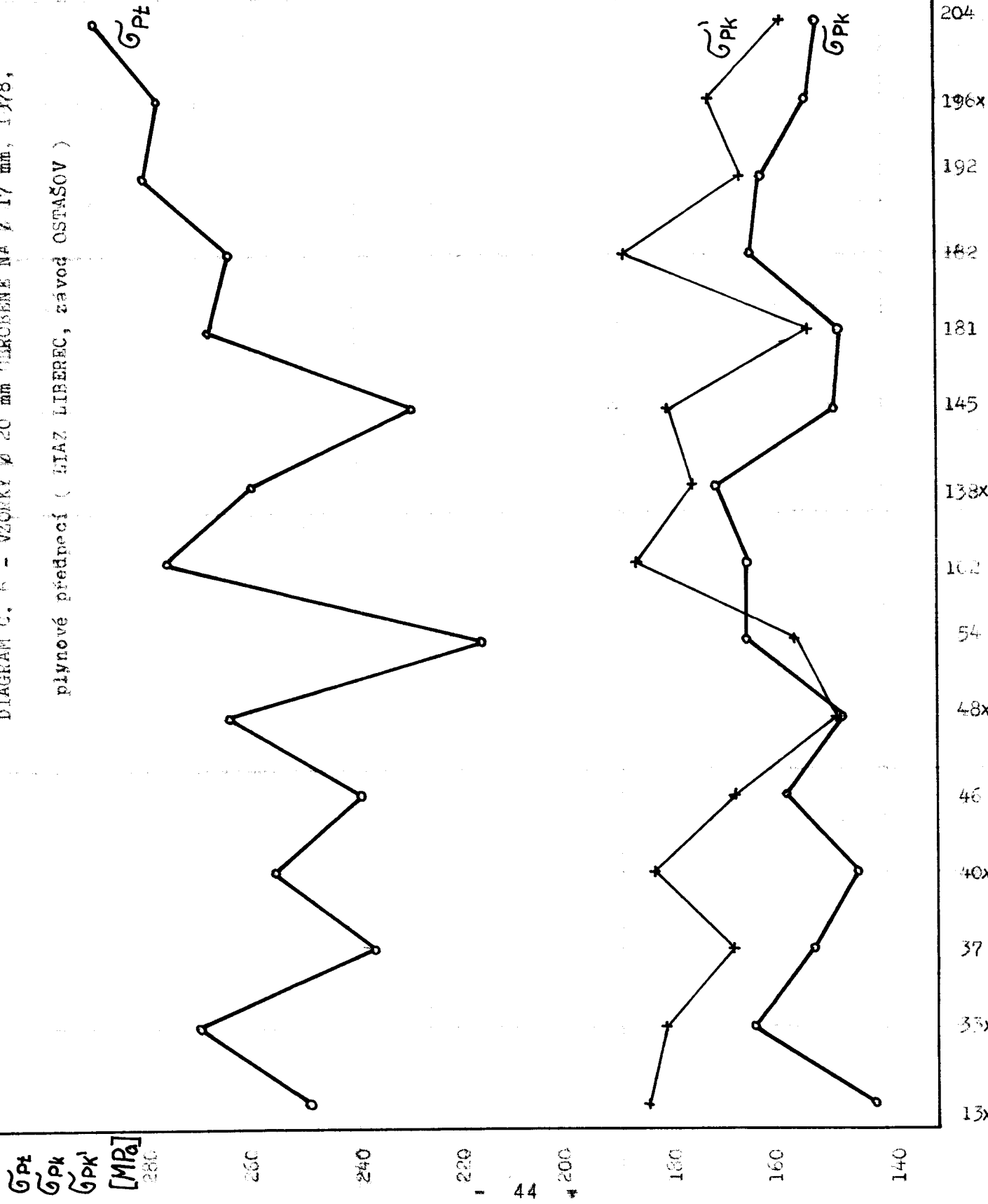


DIAGRAM Č. 7 - VZORKY OPEVNĚNÉ NA Ø 20 mm, 1978,

indukční měření (LIA7 LIPBEC, měřící přístroj)

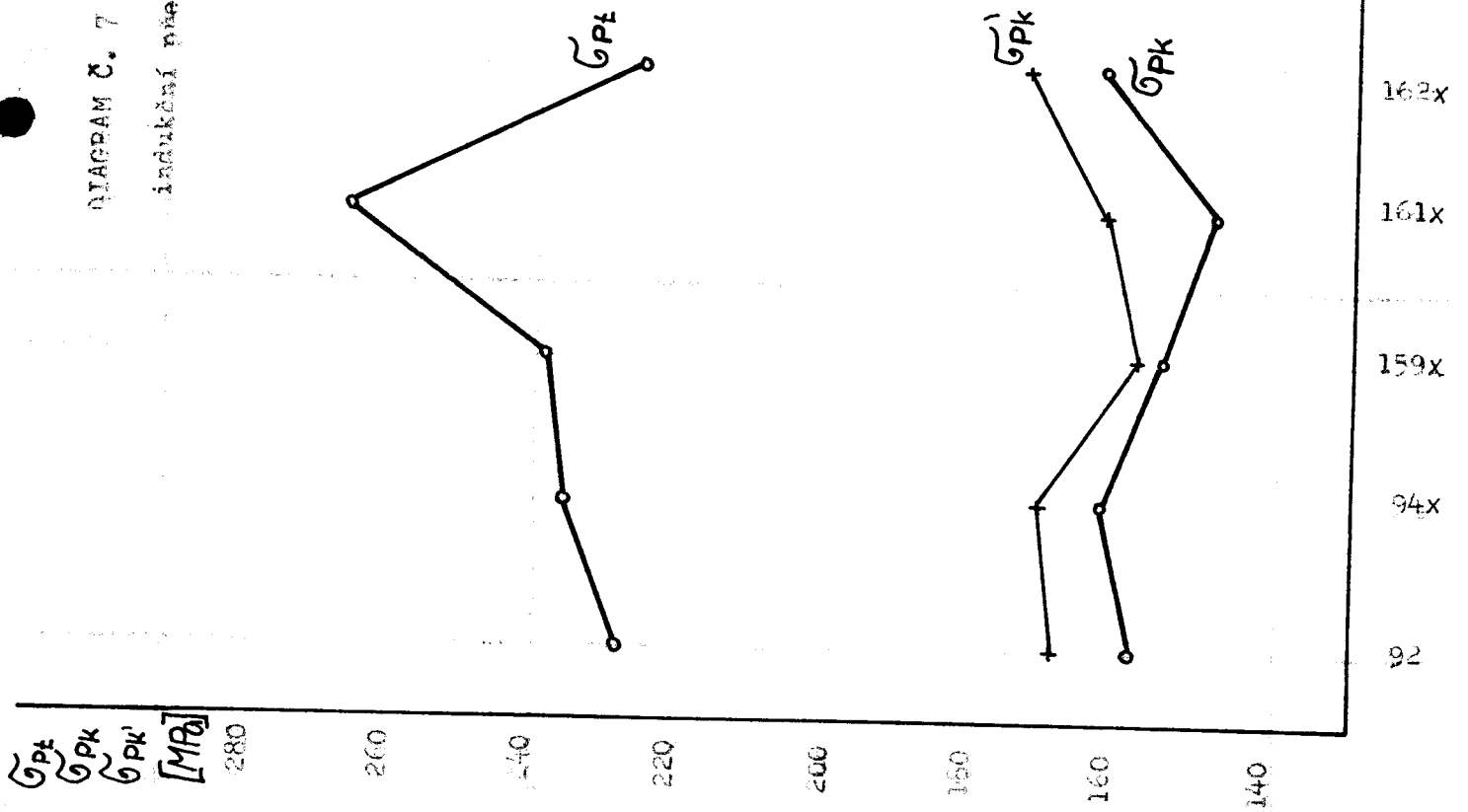


DIAGRAM 3. 9 - VĚTOVY Ø 20 mm OBROBNĚNĚ NA Ø 19 mm, 1978,

indukční předpětí (MAS LIBEREC, závod (NSTA X JV.))

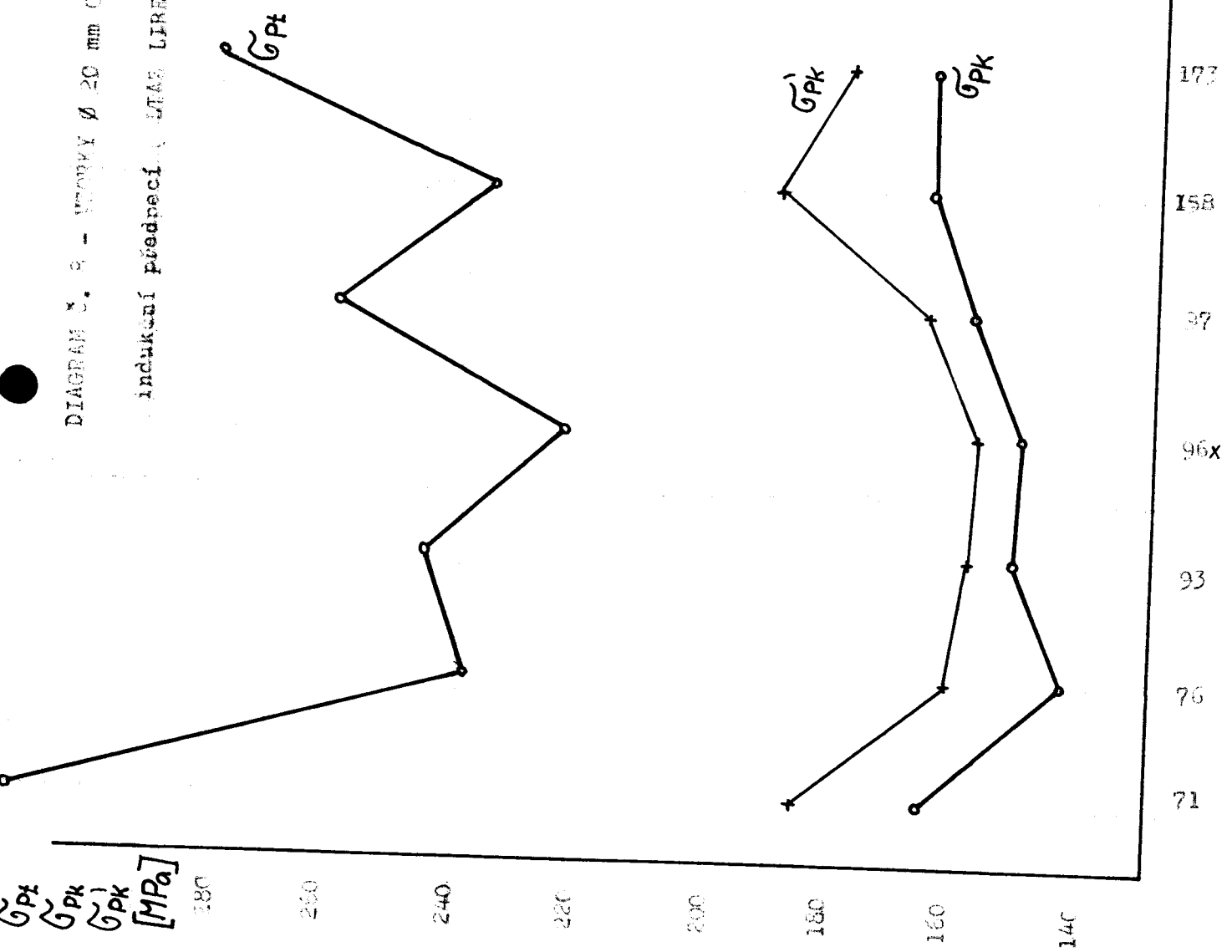


DIAGRAM Č. 2 - VZORKY Ø 20 mm OBRÁBĚNÉ NA Ø 16 mm, 1978,
 indukční předpětí (LIAZ LIBEREC, závod OSTAŠOV)

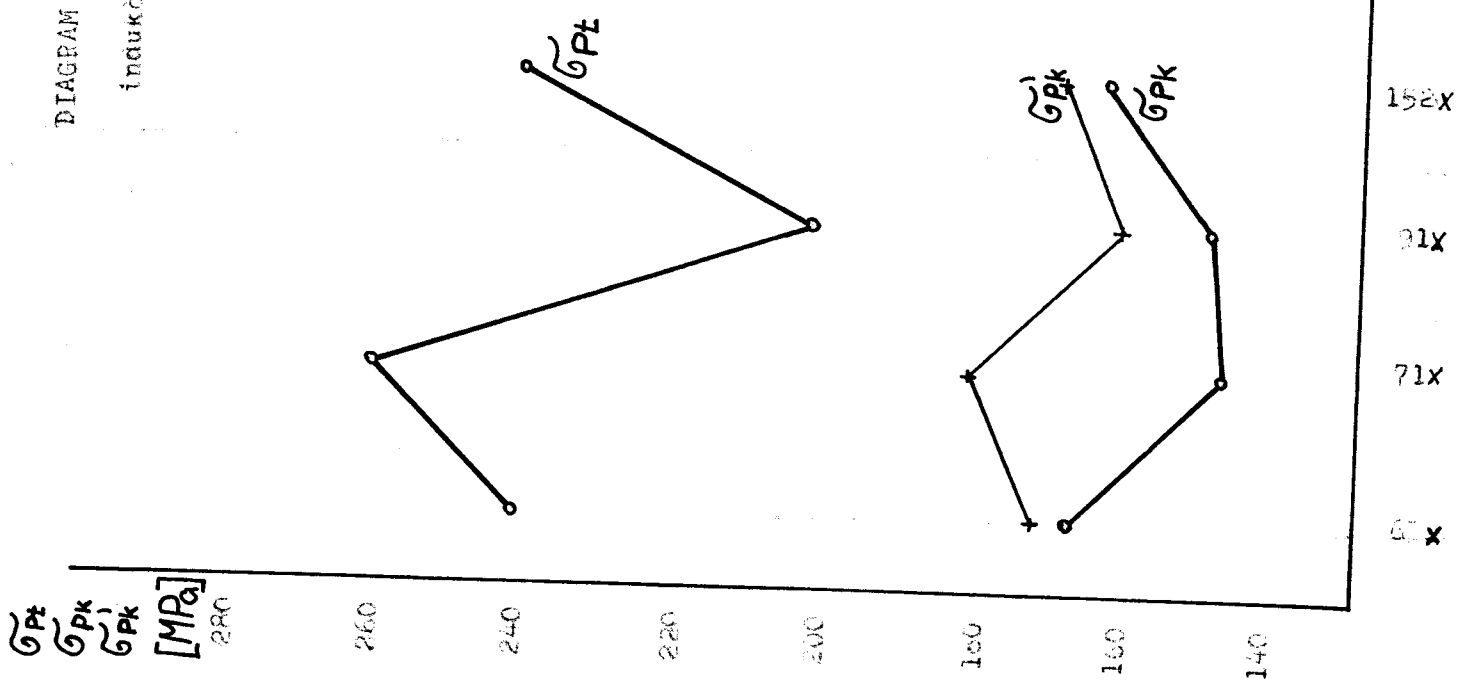
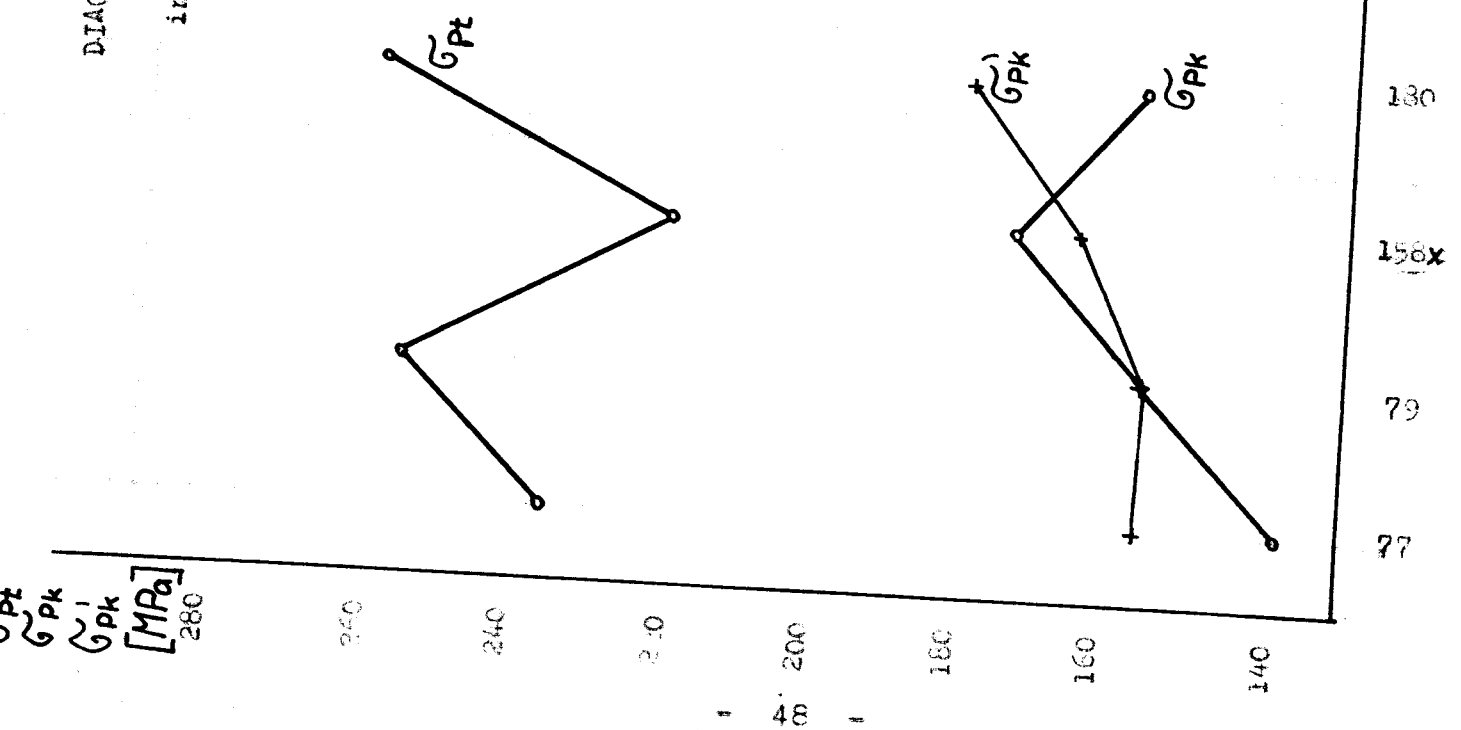


DIAGRAM Č. 10 - VZORKY Ø 20 mm OBROBEŇE NA Ø 17 mm, 1978
 indukční přehřevčí (LIAZ TIRIDŮC, závod OSRAŽOV)



č.VZ.

DIAGRAM Č. 11 - VZOREK ORBOBENÉ NA Ø 20 mm, 1978
 (LIAZ LIBEREC, PROVOZOVNA STRAŽ n/N.)

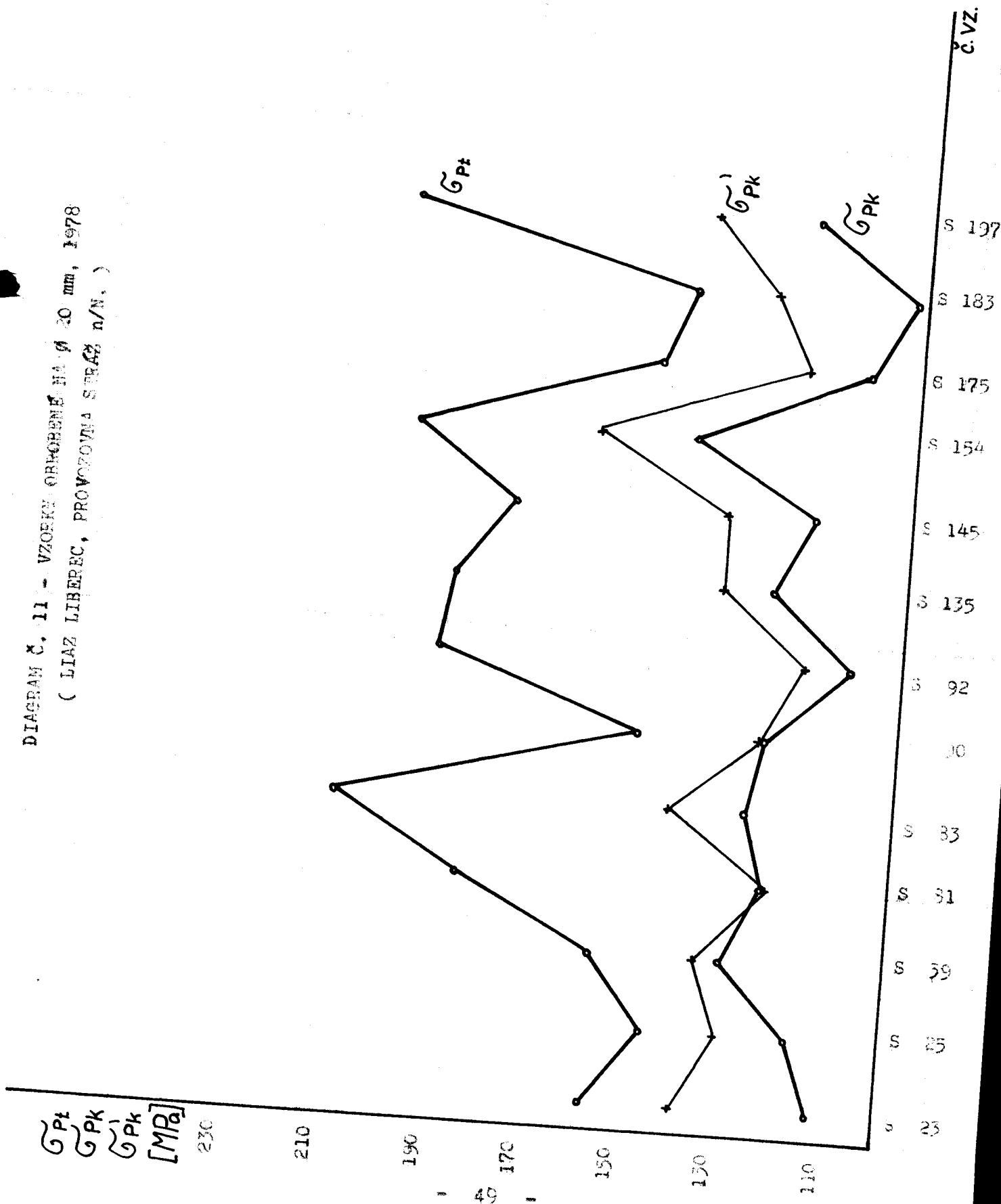


DIAGRAM Č. 12 - VZORKY Ø 20 mm OPROBENÉ NA 19 mm, 1978

(LIAZ LIBEREC, PROVOZOVNA STUPEŇ A/N. 2)

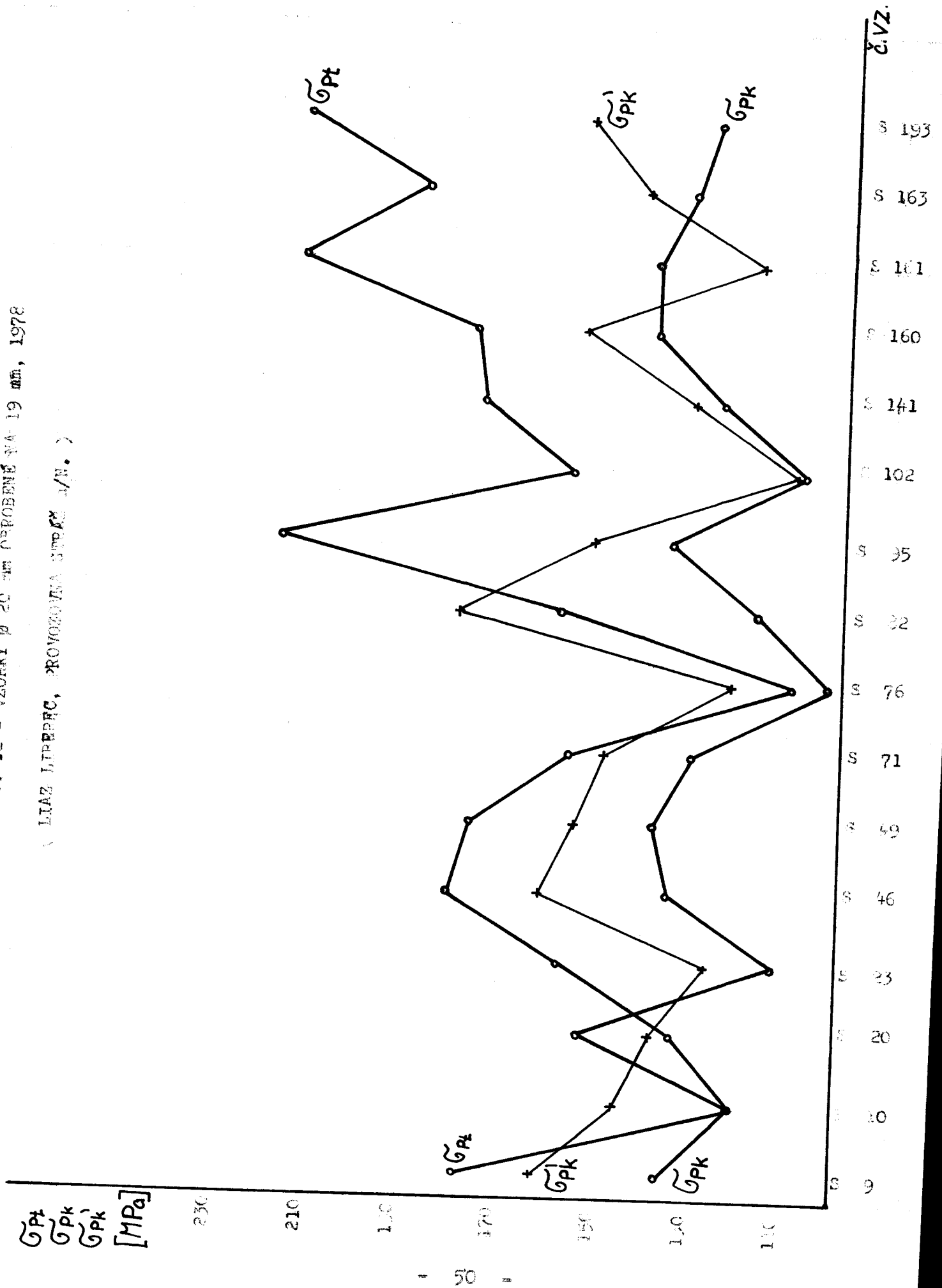


DIAGRAM Č. 15 - VZORKY Ø 20 mm OBROBENÉ NA V 18 mm, 1976
 (LIBEŘEC, DOVOŇOVNA STRAŽ a. s.)

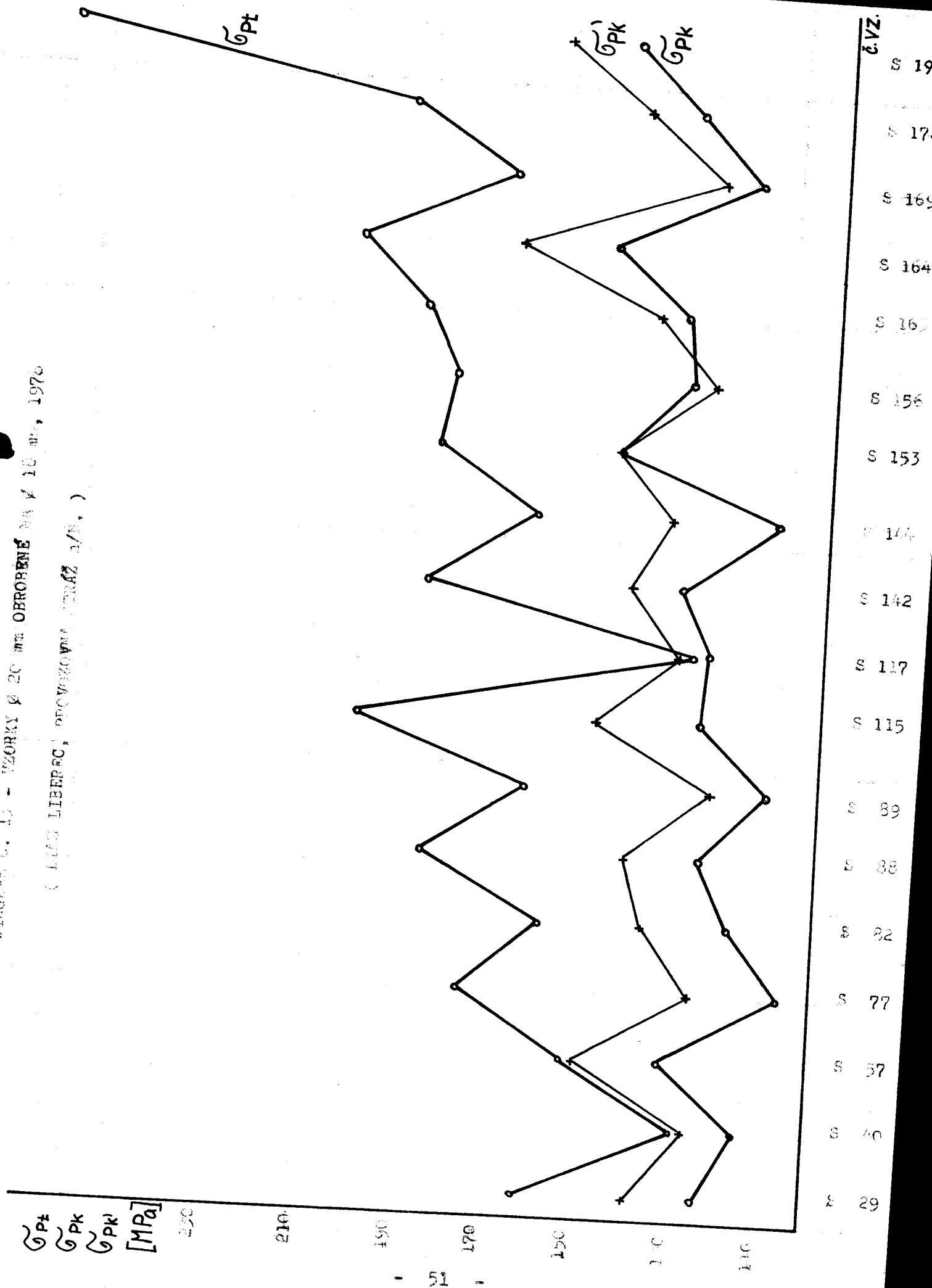
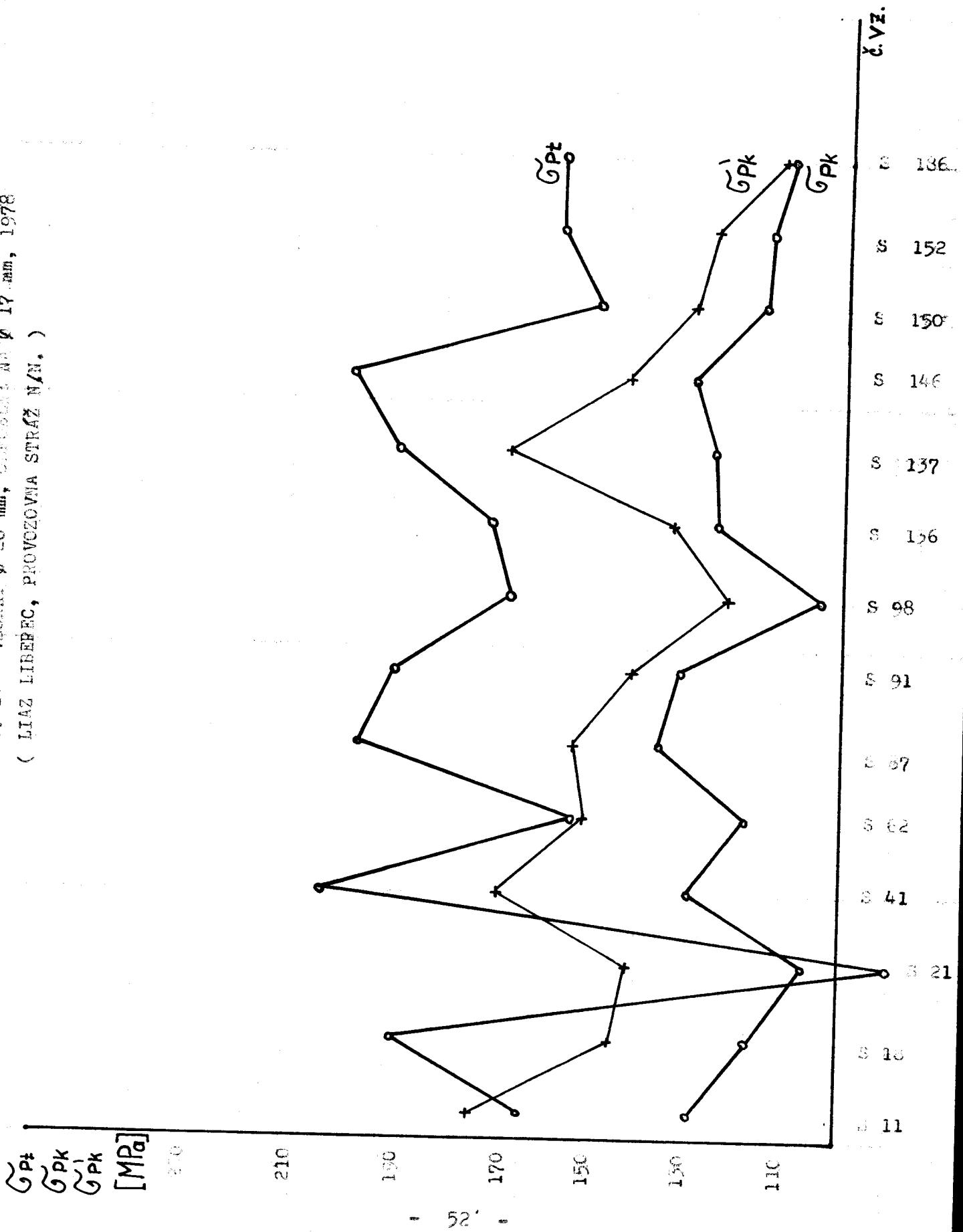


Diagram č. 14 - VZORKA Ø 20 mm, SROVNÁNÍ NA Ø 17 mm, 1978
 (LIAZ LIBEČEC, PROVOZOVNA STRAŽ N/N.)



4.2 Metalografický rozbor zkušebních vzorků

Pro metalografický rozbor byly vybrány dva vzorky vyrobené ve slévárně v závodě Ostašov, při jejichž výrobě bylo použito plynového předpecí. Vzorek č. 40 patří mezi vzorky s nejnižšími hodnotami pevností mezi klíny i pevností v tahu a byl obroben na průměr 20 mm. Vzorek č. 33 x naopak náleží k vzorkům s nejvyššími hodnotami naměřených pevností mezi klíny a pevností v tahu a byl obroben na průměr 17 mm.

Vzorky byly odebrány ze zkušebních tyček s pomocí strojní pily, zality do dentacrylu a metalograficky vybroušeny a vyleštěny.

Po vyhodnocení grafitu byly oba vzorky naleptány 3 % roztokem nitalu a byla na nich pozorována struktura. Na každém vzorku byla posuzována povrchová celost ve stavu nenaleptaném a ve stavu naleptaném. Totéž pozorování bylo provedeno i ve středu vzorků. Všechna pozorování jsou doložena fotografiemi při stonásobném a dvěstěnásobném zvětšení.

$$\begin{aligned} \text{Vzorky: č. 40: } \overline{\sigma}_{PK}^I &= 158 \text{ MPa} \\ \overline{\sigma}_{PK} &= 145 \text{ MPa} \\ \overline{\sigma}_{Pt} &= 250 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Vzorek obroben na průměr 20 mm, použito plynové předpecí.

$$\begin{aligned} \text{č. 33x: } \overline{\sigma}_{PK}^I &= 182 \text{ MPa} \\ \overline{\sigma}_{PK} &= 165 \text{ MPa} \\ \overline{\sigma}_{Pt} &= 270 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Vzorek obroben na průměr 17 mm, použito plynové předpecí.