

Vysoká škola: strojní a textilní

Katedra: technologie a nauky o mater.

Fakulta: strojní

Školní rok: 1973/74

## DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Milana P A Ž O U T A

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů.

### Pokyny pro vypracování:

1. Seznámení s možností aplikace strukturní analýzy před a po přetvoření (z hlediska tvaru a rozměru zrn) při analýze procesu tažení plechu.
2. Výběr vhodné metodiky vyhodnocování tvaru zrn metalografickou technikou.
3. Návrh experimentálních zkoušek z hlediska posouzení využitelnosti metalografické techniky při určování stupně přetvoření.
4. Rozbor výsledků a návrh využitelnosti pro praxi.

Autorská práva se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-11/2 ze dne 13. července 1962 a směrnicí MŠK XL, část 20 ze dne 31. 8. 1962 (19) a zákone č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ  
Ús. Pední knihovna  
LIBEREC 1 - STUDENTSKÁ 8

S  
V 141/1974

VŠST Liberec

DP-ST-1100/74

Fakulta strojní

30.5.1974 M. Pažout

D i p l o m n í   p r á c e

Strukturní analýza přetvoření  
hlubokotažných plechů

M i l a n   P a   ž   o u t

<b>VŠST Liberec</b>	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74
<b>Fakulta strojní</b>		30.5.1974   M. Pažout

Jméno diplomanta: Milan Pažout

Zadání: Strukturní analýza přetvoření  
hlubokotažných plechů

Jméno vedoucího D.P.: Doc. Ing. J. Tměj CSc

Místo vypracování: Liberec

Místo obhajoby: Liberec

Stručný výtah: Diplomová práce zahrnuje zpracování doporučené literatury, navržené metodiky vyhodnocování rozměru zrn metalografickou technikou, návrh experimentálních zkoušek a jejich vyhodnocení. V závěru je proveden rozbor výsledků a možnost jejich využití v praxi.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	2
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

O b s a h :

	str.
Společenský význam zadání	4
1 Seznámení s možností aplikace strukturní analýzy před a po přetvoření při analýze procesu tažení plechu	6
1.1 Princip metody strukturní ana- lýzy přetvoření	6
1.2 Studium fyzikálních vlastností materiálu kvantitativní metalo- grafickou analýzou	8
1.3 Metody zjišťování střední délky částic v rovině výbrusu	10
1.32 Stanovení středního rozměru částic podle frekvenčního histo- gramu	10
1.33 Metoda měřící přímky	11
1.4 Hodnocení tvaru zrn	12
1.5 Volba metody vyhodnocování střed- ní délky částic hlubokotažného plechu	13
2 Výběr vhodné metodiky vyhodnoco- vání tvaru zrn metalografickou technikou	15
2.1 Odebírání vzorků	15
2.2 Metalografické zpracování odebra- ných vzorků	16
2.22 Preparování do dentacrylu	17
2.23 Vlastní zhotovení výbrusu	17

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74 3	
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout
			str.
2.24	Leptání mikrostruktury		18
2.25	Fotografování mikrostruktury		18
2.3	Určení střední velikosti zrna		20
3	Návrh experimentálních zkoušek z hlediska posouzení využitel- nosti metalografické techniky při určování stupně přetvoření		21
3.1	Výběr materiálu pro experimen- tální zkoušky		21
3.2	Provedení takové zkoušky		24
3.3	Proměření zkušebních tyčinek a stanovení skutečných hodnot stup- ně přetvoření		25
3.4	Zhotovení výbrusů pro experimen- tální zkoušky		26
3.5	Zhotovení a vyhodnocení fotografií		27
3.6	Stanovení stupně přetvoření		28
3.7	Vyhodnocení zkoušek		30
3.8	Shrnutí výsledků experimentálních zkoušek		42
3.9	Zhodnocení zkoušek		44
4	Rozbor výsledků a návrh využitel- nosti pro praxi		46
4.1	Rozbor výsledků		46
4.2	Využitelnost výsledků práce pro praxi		48
5	Seznam použité literatury		51

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	4
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

### Společenský význam zadání

Směrnice XIV. sjezdu KSČ k 5. pětiletému plánu rozvoje národního hospodářství na léta 1971-1975 uvádějí v kapitole III - Průmysl roz-  
hodující obory, které ovlivňují vzestup prů-  
myslu.

Na čelném místě je to strojírenství, které zaznamenává v 5. pětiletce vzrůst o 45 %. Aby byl tento vzestup zajištěn, roste i výroba tvá-  
řecích strojů, stoupá produkce materiálů, na těchto strojích dále zpracovávaných. Na příklad výroba plechů, pásů a ploché oceli, která se podílela 38 % na ročním objemu výroby 10 mil. tun válcovaného materiálu, se zvyšuje na 49 %.

Rozvoj VSŽ Košice zajišťuje vzestup výroby válcované oceli, z čehož velký objem zaujímají hlubokotažné plechy. Produkce našich hlubokotaž-  
ných plechů již téměř plně nahradila dovoz z ka-  
pitalistických států.

Růst výroby hlubokotažných plechů klade vy-  
soké nároky na technologické procesy, týkající se

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	5
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

jejich zpracování. Značně rozšířeným procesem je dnes tažení.

Jedním z hlavních úkolů při procesu tažení plechu je stanovení stupně přetvoření, hlavně u výtažků členitých. Zkušenosti s dosud užívanou "metodou sítí" nejsou příznivé. "Metoda sítí" spočívá ve vyhodnocování rozměru obrazců, nanesených na tažený plech, před a po přetvoření. Tyto obrazce, nejčastěji kružnice, se na plech nanášejí různými technikami, většinou dost pracně, a taktéž obtížně se vyhodnocují. Metoda je navíc velmi nevýhodná v tom, že nelze určit stupeň přetvoření uvnitř obrazce. Hledají se proto nové metody, které by tyto nevýhody odstranily. Jednou z nich je metoda strukturní analýzy přetvoření.

Předložená diplomová práce posuzuje možnost stanovení stupně přetvoření metalografickou technikou a využitelnost metody strukturní analýzy přetvoření pro praxi.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	6
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

1. Seznámení s možností aplikace strukturní analýzy před a po přetvoření /z hlediska tvaru a rozměru zrn/ při analýze procesu tažení plechu

1.1 Princip metody strukturní analýzy přetvoření

Metoda strukturní analýzy zjišťuje stupeň přetvoření materiálu, v našem případě hlubokotažného plechu, na základě změny tvaru a rozměru zrn vlivem deformace.

Princip této metody lze charakterizovat takto:

- a/ odebrání vzorku z plechu,
- b/ preparování vzorku do dentacrylu a zhotovení metalografického výbrusu,
- c/ naleptání mikrostruktury, její vyfotografování a vyvolání negativů,
- d/ zhotovení fotokopíí.

Tento postup se provede pro deformovaný i nedeformovaný materiál a v obou případech se stanoví vhodnou metodou střední délka zrna ve směru zjišťovaného stupně přetvoření. Na základě změny



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	7
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

délky zrna vlivem deformace se vypočítá stupeň přetvoření.

Poznámka: stupeň přetvoření se ve strojírenské praxi velmi často vyjadřuje poměrným prodloužením  $\underline{\epsilon}$ , které se při tahové zkoušce určí podle vzorce:

$$\underline{\epsilon} = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%],$$

kde  $l$  značí původní délku zkušební tyčky,  $l_0$  je délka tyčky po přetržení. Obdobným způsobem se poměrné prodloužení  $\underline{\epsilon}$  určuje i u ostatních strojních součástí a i v této práci je hodnota  $\underline{\epsilon}$  použita jako veličina, sloužící k vyjádření stupně přetvoření.

*Stupeň přetvoření se vyjadřuje poměrným prodloužením.*

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	8
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

1.2 Studium fyzikálních vlastností materiálu  
kvantitativní metalografickou analýzou

Jednou z vlastností, kterou je určen každý kov, je jeho struktura. Charakteristika struktury pomocí kvantitativní metalografie je nezbytnou součástí popisu studovaných vzorků při sledování libovolných fyzikálních veličin. Úplnou kvantitativní charakteristikou struktury kovů a slitin se rozumí stanovení těchto údajů:

I. V rovině výbrusu soustavy:

- a/ Statistické rozdělení částic podle velikosti.
- b/ Střední rozměr částic.
- c/ Počet částic na jednotkové ploše.
- d/ Relativní podíl složek soustavy.
- e/ Délka hranic částic jednotlivých složek soustavy na jednotkové ploše.

II. V objemu soustavy:

- a/ Statistické rozdělení částic podle velikosti.

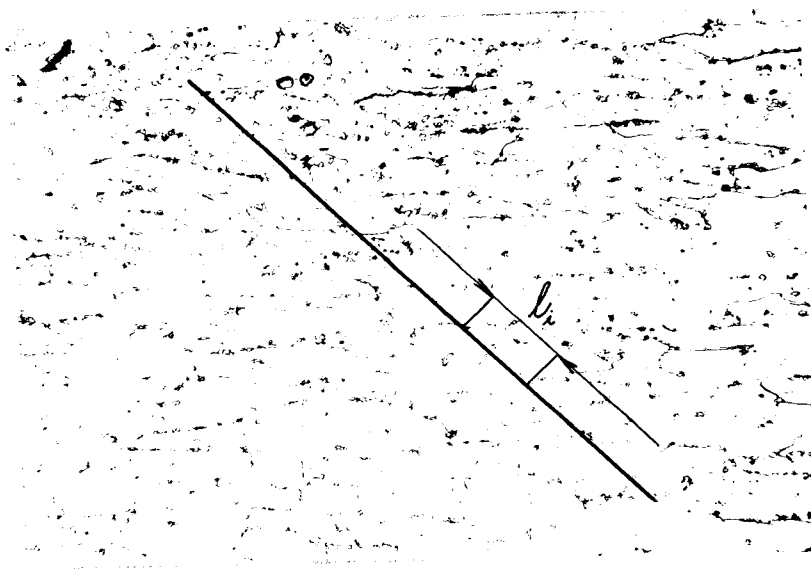
VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	9
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout
<p>b/ Střední rozměr částic.</p> <p>c/ Počet částic v jednotkovém objemu.</p> <p>d/ Relativní podíl složek soustavy.</p> <p>e/ Plocha hranic částic jednotlivých složek soustavy v jednotkovém objemu.</p> <p>f/ Parametry spojitosti fází.</p> <p>Uvedené úkoly je nutno zjišťovat v náhodném místě struktury, které neobsahuje žádné anomálie.</p>			

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	10
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

Pro metodu strukturní analýzy přetvoření je třeba znát střední délku zrna ve směru zjišťované velikosti deformace. Přitom je třeba vycházet z charakteru struktury v ploše výbrusu. Zjišťování středního rozměru částic v rovině výbrusu je tedy nejdůležitějším úsekem kvantitativní metalografie, který se uplatní při určování stupně přetvoření. Metody zjišťování středního rozměru částic jsou uvedeny v kapitole 1.3.

### 1.3 Metody zjišťování střední délky částic v rovině výbrusu

#### 1.32 Stanovení středního rozměru částic podle frekvenčního histogramu



Obr. 1

Strukturou se vede libovolná měřicí přímka, která vytíná v jednotlivých zrnech úsečky délky  $l_i$  /obr. 1/. Úsečky, v nichž jsou částice protínány, rozdělíme do několika rozměrových tříd. Na snímku výbrusu se proloží tolik měřících přímek, aby celkový počet průsečíků měřicí přímky s hranicemi zrn byl větší než 250. Frekvenční histogram je závislost četností řezů  $N$  na rozměrových třídách  $d$ . Je-li znám frekvenční histogram, lze střední délku částic  $D$  určit podle vzorce:

$$D = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i},$$

kde  $x_i$  je hodnota průměru částice v  $i$ -té rozměrové třídě a  $m_i$  označuje četnost  $i$ -té třídy.

### 1.33 Metoda měřících přímek

Při této metodě se vede strukturou soustava měřících přímek. Střední velikost částic  $\underline{l}$  se určí ze vztahu:

$$\underline{l} = \frac{L}{n_L},$$

kde  $L$  je součet délek všech měřících přímek a  $n_L$  je počet průsečíků hranic zrn s měřícími přímkami.

Jednou z metod určování střední délky částic je i metoda porovnávání nejčastěji se vyskytujících částic se standardními obrázky.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	12
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

#### 1.4 Hodnocení tvaru zrn

Mikročástice lze dle jejich tvaru rozdělit do tří základních skupin:

- 1/ Rovnoosé mikročástice, jejichž rozměry jsou ve všech směrech přibližně stejně dlouhé.
- 2/ Destičkovité mikročástice, u kterých rozměr v jednom směru je podstatně menší, než ve dvou zbývajících směrech.
- 3/ Tyčinkovité mikročástice, které mají rozměr v jednom směru daleko větší, než ve druhých směrech.

Mikročástice, uvedené ve druhé a třetí skupině, mohou být prostorově libovolně zprohýbány.

Na výbruse hlubokotažného plechu je možno vidět nerovnoosé mikročástice, jejichž tvar se v kvantitativní metalografii nejčastěji vyjadřuje poměrem nejmenšího rozměru řezu k největšímu a naopak. Otázka popisu tvaru mikročástic je podrobně rozebrána v literatuře [3]. Protože se však při určování stupně přetvoření metodou strukturální analýzy problematika popisu tvaru zrna neuplatní,

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	13
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

není v této práci dále rozebírána.

### 1.5 Volba metody vyhodnocování střední délky částic hlubokotažného plechu

Při stanovení stupně přetvoření je hlavním úkolem zjistit střední délku zrna v tom směru, ve kterém se velikost deformace zjišťuje. K tomuto účelu je vhodná metoda, popsána v kap. 1.33.

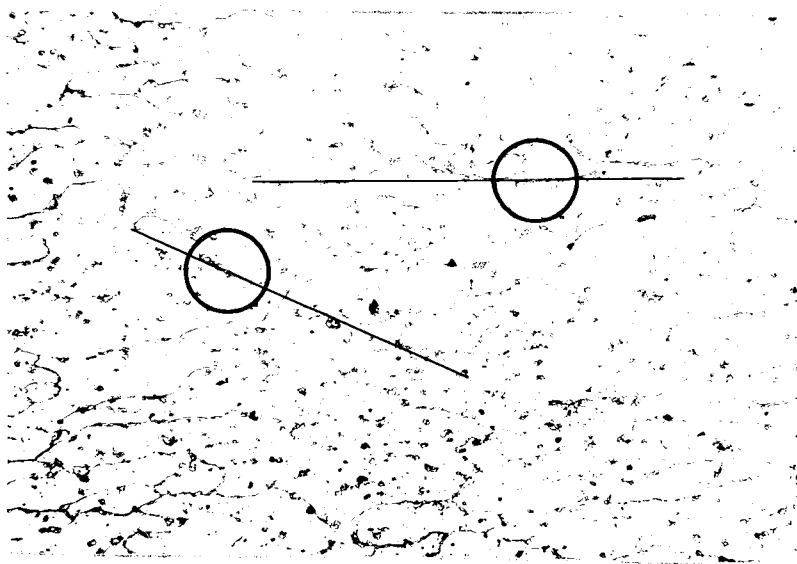
Při vyhodnocování střední délky zrna se mikrofotografií struktury vede soustava rovnoběžných měřících přímek tak, aby jejich orientace byla totožná se směrem vyšetřovaného přetvoření a počítá se počet průsečíků  $n_L$  měřících přímek s hranicemi zrn. Soustavu měřících přímek je vhodné narýsovat na průsvitný papír. Střední délka zrna  $\underline{l}$  se určí ze vztahu:

$$\underline{l} = \frac{L}{n_L} ,$$

kde  $\underline{L}$  vyjadřuje součet délek všech měřících přímek.

Při vyhodnocování mikrofotografií se do hodnoty  $n_L$  zahrnují pouze ty případy, kdy měřící přímka hranici zrna skutečně protíná. Sporné případy

a body dotyku se při vyhodnocování neuvažují  
/obr. 2/.



Obr. 2 Sporné případy při vyhodnocování mikrofotografií.



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	15
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

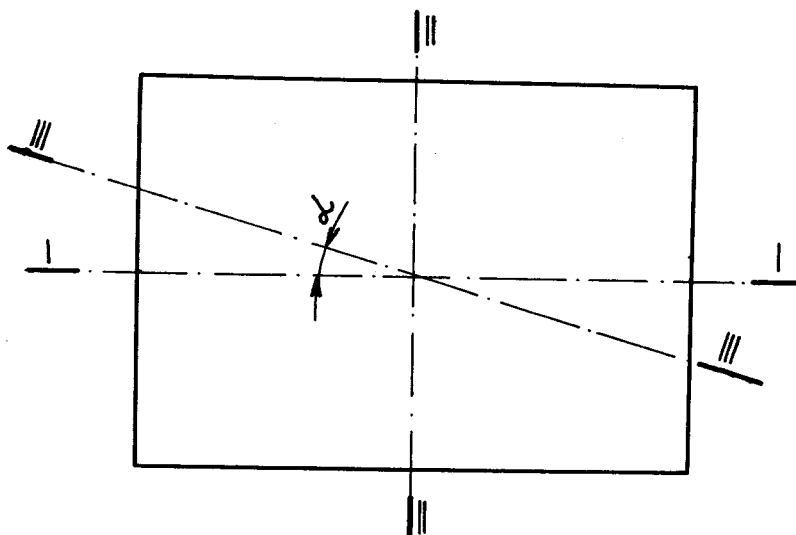
## 2. Výběr vhodné metodiky vyhodnocování tvaru zrna metalografickou technikou

### 2.1 Odebírání vzorků

Při určování stupně přetvoření metalografickou technikou je nutno odebrat vzorek z deformovaného i nedeformovaného plechu. V obou případech se postupuje velmi opatrně, aby se např. nešetrným upnutím nebo jiným způsobem plech nedeformoval a výsledky měření tak nepříznivě neovlivnili.

Vzorky se odebírají klasickými způsoby, jako je řezání, pilování, odvrtání a podobně. Autogenní řezání a jiné metody, při kterých hrozí nebezpečí přeměny původního zrna, se v žádném případě používat nesmějí [1].

Stupeň přetvoření se jen výjimečně stanovuje ve směru válcování nebo ve směru kolmém. Při procesu tažení, hlavně členitých výtažků, je třeba stanovit stupeň přetvoření ve zcela obecném směru /obr. 3/.



Obr. 3 Shematické znázornění tabule  
plechu.

Na tabuli plechu rozeznáváme tyto směry /obr.3/:

- I - I - směr válcování
- II - II - směr, kolmý na směr válcování
- III - III - obecný směr.

Stanovuje-li se stupeň přetvoření ve směru III - III, který odpovídá úhlu  $\alpha$ , pak je třeba odebrat vzorky deformovaného i nedeformovaného plechu tak, aby rovina budoucího metalografického výbrusu byla tvořena přímkou, totožnou se směrem III - III a normálou k tabuli plechu.

## 2.2 Metalografické zpracování odebraných vzorků

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	17
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

## 2.22 Preparování do dentacrylu

Při preparování vzorků nepoužíváme běžných formiček z PVC, které jsou při malé ploše výbrusu náchylné ke kulatosti broušené plochy, nýbrž se vyrábějí z hliníkových tenkostěnných trubek o průměru asi 20 mm.

Doporučuje se zalévat do jedné formičky vzorky z deformovaného i nedeformovaného plechu současně. Sníží se tak pracnost broušení, protože oba se vybrousí prakticky v jediném výbrusu. V tom případě je nutno výbrus vhodně označit, aby bylo možno oba vzorky od sebe odlišit.

Při přípravě dentacrylu se použije více kapalných složky. Získá se tak řídká hmota, která se sice při tuhnutí více smršťuje, výsledkem je však minimální bublinatost. Při broušení se do prohlubní, kde byly původně bubliny, dostávají zbytky brusiva, které se časem mohou uvolnit a výsledkem je pak poškrábaný povrch výbrusu. Proto se vzniku bublin bráníme.

## 2.23 Vlastní zhotovení výbrusu

Při zhotovení vlastního výbrusu se postupuje

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	18
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

běžným způsobem [1] , který lze stručně popsat:

- Rovinu výbrusu zarovnat na brusce na plocho.
- Brousit na běžných metalografických papírech v pořadí 0 až 6.
- Do konečného stavu povrch vyleštit na leštičce.

#### 2.24 Leptání mikrostruktury

Vyvolání mikrostruktury se provádí leptadlem nital, koncentrace 4 %. Doba leptání není pro každý materiál stejná. Místa s vyšší volnou entalpií se naleptají nejdříve. Proto se vzorek z deformovaného plechu teoreticky naleptá rychleji, než z nedeformovaného, protože tvářením se volná entalpie zvětšuje. Je proto třeba vhodnou dobu leptání odzkoušet střídavým krátkodobým leptáním /asi 3 vteřiny/ a pozorováním stavu struktury v mikroskopu.

#### 2.25 Fotografování mikrostruktury

K přesnému stanovení stupně přetvoření je potřeba kvalitních fotokopií, které lze získat pouze z kvalitních negativů. Negativ se dostane

vyfotografováním zvětšené mikrostruktury pozorova-  
ného plechu.

Zařízením, velmi vhodným k získání kvalitní-  
ho negativu, je přístroj Neophot 2 /obr. 4/. Tento  
přístroj je vybaven bohatým příslušenstvím, z če-  
hož nejdůležitější je sada vyměnitelných objekti-  
vů, které umožňují nastavit zvětšení ve velmi ši-  
rokém rozsahu. Při fotografování se dobře uplatní  
osvitová automatika, zaručující přesné dodržení na-  
stavené doby expozice. Na přístroji lze nastavit  
zvětšení v rozsahu 50 - 2000.



Obr. 4 Přístroj Neophot 2.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	20
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

Při negativním procesu výroby fotografií mikrostruktury se pracuje s deskami, protože práce s filmem nezaručí dostatečnou velikost fotokopíí. Pro vyhodnocování tvaru a rozměru zrn plechu metalografickou technikou jsou nejvhodnější zvětšení 200 a 500 z normalizované řady, pro kterou je minimální použitelný formát fotografie 74x105. Z tohoto důvodu je práce s fotografickým filmem vyloučena.

K vlastní práci s přístrojem slouží návod k použití, dodávaný jeho výrobcem. Nejvhodnější clonu a dobu expozice je třeba vyzkoušet.

Při vyvolávání negativů i pozitivů se pracuje obvyklými metodami. Jako nejvhodnější materiál pro pozitivní proces je tvrdý papír, který zvýrazní hranice zrn.

### 2.3 Určení střední velikosti zrna

K určení střední velikosti zrna slouží metoda, popsaná v kapitole 1.5.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	21
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

### 3. Návrh experimentálních zkoušek z hlediska posouzení využitelnosti metalografické techniky při určování stupně přetvoření

Po prostudování doporučené literatury byl stanoven tento postup při experimentálních zkouškách:

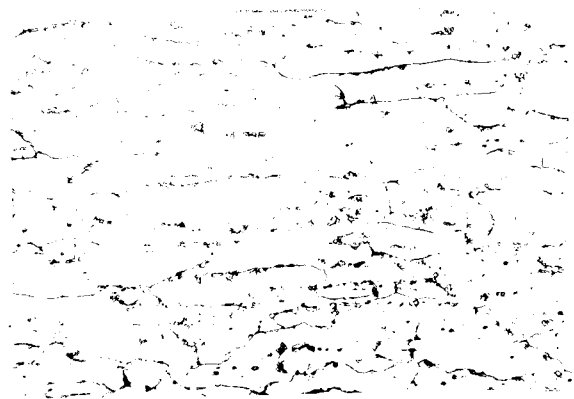
- Výběr vhodného materiálu, výroba zkušebních tyčinek, přetržení tyčinek na trhačce.
- Proměření přetržených tyčinek a stanovení skutečných hodnot stupně přetvoření pro jednotlivé tyčky.
- Odebrání vzorků, výroba metalografických výbrusů, vyfotografování struktur a zhotovení fotografií.
- Vyhodnocení fotografií a stanovení stupně přetvoření metodou strukturní analýzy, porovnání výsledků se skutečnými hodnotami přetvoření.

#### 3.1 Výběr materiálu pro experimentální zkoušky

Otázka výběru vhodného materiálu pro zkoušky byla velmi pečlivě zvážena. Protože ČSSR, díky mo-

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	22
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

hutnému rozvoji VSŽ Košice, neustále zvyšuje výrobu hlubokotažných plechů, které patrně v blízké budoucnosti téměř úplně nahradí plechy dovážené, bylo rozhodnuto použít plech KOHAL 20 ČSN 11 305.21. Tento materiál je charakterizován strukturou, orientovanou ve směru válcování /obr. 5, 6/ a co do tvaru velmi nepravidelným zrnem, zdánlivě nevhodným pro vyhodnocování stupně přetvoření metalografickou technikou. Metody vyhodnocování tvaru a rozměru zrn, uvedené v kapitole 1, jsou však popsány pro úplně obecné struktury a měly by tedy vyhovovat i pro nepravidelnou strukturu plechu KOHAL 20.



Obr. 5 Podélný výbrus plechu KOHAL 20.  
Zvětšeno 500x, leptáno nitalem  
po dobu 9 sec.



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	23
Fakulta strojní		30. 5. 1974	M. Pažout



Obr. 6 Příčný výbrus plechu KOHAL 20.  
Zvětšeno 500x, leptáno nitalem  
po dobu 9 sec.

Plech KOHAL 20 se vyznačuje tímto chemickým  
složením:

C - max. 0,07 %  
Mn - max. 0,40 %  
Al - min. 0,025 %  
P - , max. 0,025 %  
S - max. 0,025 %

Mechanické vlastnosti plechu KOHAL 20:

$$\sigma_{02} - 22 \text{ kp/mm}^2$$

$$\sigma_{Pt} - 28 \div 34 \text{ kp/mm}^2$$

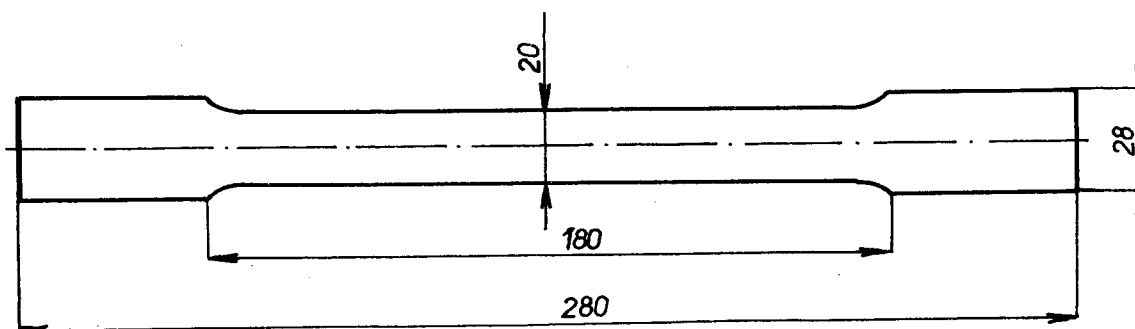
VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	24
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

$$\sigma_{10} - 45 \%$$

Pro experimentální zkoušky byla zvolena tloušťka plechu 0,7 mm.

### 3.2 Provedení takové zkoušky

Pro takovou zkoušku byly vyrobeny zkušební tyče dle obr. 7.



Obr. 7 Zkušební tyč pro zkoušku tahem.

Zkušební tyče byly z tabule plechu odebrány tak, aby jejich osa:

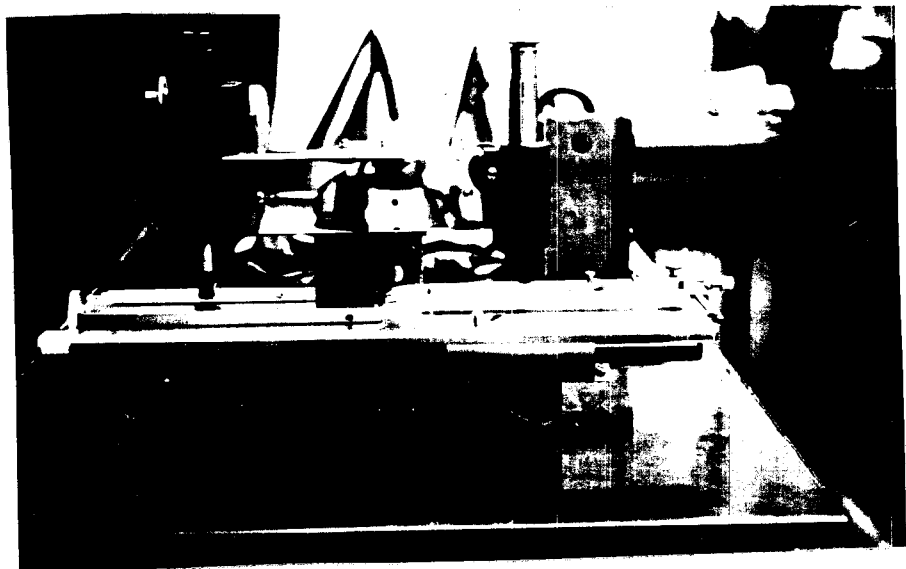
VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	25
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

- a/ souhlasila se směrem válcování,
- b/ byla na směr válcování kolmá.

Před vlastní takovou zkouškou byly tyče orýsovány tím způsobem, aby byla jejich délka rozdělena na 10 dílků po 10 mm.

### 3.3 Proměření přetržených tyčinek a stanovení skutečných hodnot stupně přetvoření

Protože velikost poměrného prodloužení se po délce přetržené tyče mění, je třeba tyč proměřit po celé délce postupně. Velmi přesně lze proměřovat tyče optickou metodou. K této práci je velmi vhodný Abbého universální délkoměr /obr. 8/.



Obr. 8 Abbého universální délkoměr.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	26
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

Rysky na přetržených tyčkách byly označeny A, B, C, atd. a měřily se vzdálenosti mezi jednotlivými ryskami. Skutečná hodnota poměrného prodloužení  $\epsilon_{SK}$  se pro náš případ vypočetla ze vzta-  
hu:

$$\epsilon_{SK} = \frac{\overline{XY} - 10}{10} \cdot 100 \quad [\%]$$

$\overline{XY}$  - vzdálenost mezi sousedními ryskami po přetržení. Vzdálenost mezi sousedními ryskami před přetržením je 10 mm.

Výsledky trhací zkoušky jsou uvedeny v tabulce 1.

#### 3.4 Zhotovení výbrusů pro experimentální zkoušky

Po stanovení skutečných hodnot poměrného prodloužení byly vybrány vhodné úseky na jednotlivých tyčích tak, aby tyto úseky odpovídaly rovnoměrně se zvětšujícímu  $\epsilon_{SK}$  od minima do maxima dosažených hodnot. Vybrané části byly ze zkušebních tyčí vyříznuty a použity jako vzorky pro metalografický výbrus.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	27
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

V zájmu usnadnění práce byly do jedné formičky zality tři vzorky. Dva z nich byly deformovány, jeden deformován nebyl. Nedeformovaný vzorek se použil ze zkušební tyče z oblasti pod upínacími čelistmi. V této oblasti je materiál deformován pouze elasticky. Vzorky odebrané z jedné zkušební tyče byly zality do společného výbrusu. Před zalitím byly slepeny dentacrylem. V zájmu dobré evidence byl každý výbrus označen římskou číslicí a jednotlivé vzorky číslem arabským.

Při broušení a leštění výbrusu bylo postupováno dle obvyklých metod. Leptání bylo provedeno nitalem.

### 3.5 Zhotovení a vyhodnocování fotografií

Při fotografování mikrostruktury bylo použito zvětšení 500, pro které je vhodný objektiv 63x0,65. Menší zvětšení není vhodné, protože je ztíženo vyhodnocování fotografií a větší zvětšení by vyžadovalo použít extrémně velkého formátu fotografií.

Pro negativní proces byly použity desky, nastříhané z materiálu PLANFILM 6. Fotografie byly

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	28
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

zhotoveny kopírováním na tvrdý, lesklý papír formátu 90x130 mm. Po kopírování byly ostříženy na normalizovaný formát 74x105 mm. Fotografie struktur jsou na obr. 9 - 17.

Pro vyhodnocování fotografií byl zhotoven rastr, který je přiložen jako příloha. Síť rastru s dělením 3 mm byla vyryta do průhledné fólie.

### 3.6 Stanovení stupně přetvoření

Délka zrna se zjistí podle metody, popsané v kap. 1.5. Poměrné prodloužení  $\xi$ , zjišťované experimentální metodou, se určuje ze vztahu:

$$\xi = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

$l$  - délka zrna po deformaci

$l_0$  - délka zrna před deformací.

Po experimentálním stanovení poměrného prodloužení  $\xi$  se zjistí odchylka  $\delta$  od skutečné hodnoty  $\xi_{SK}$  jako rozdíl  $\delta = \xi - \xi_{SK}$ .

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	29
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

Výsledky experimentů jsou uvedeny v tabulkách 2 - 10. V tabulkách je použito tohoto značení:

$n_L$  - počet hranic zrn, protnutých měřicí přímkou,

$L$  [mm] - délka měřicí přímky,

$l$  [mm] - střední délka zrna po deformaci,

$l_0$  [mm] - střední délka zrna před deformací,

$\xi$  [%] - poměrné prodloužení, zjištěné experimentálně,

$\sigma$  [%] - odchylka  $\xi$  od skutečné hodnoty poměrného prodloužení  $\xi_{SK}$ .

Poznámka: veškeré délkové rozměry, uvedené v tabulkách, jsou platné pro zvětšení 500. Ve skutečnosti jsou odlišné. Protože se však poměrné prodloužení stanovuje jako poměrná veličina, vliv volby zvětšení se neuplatní.

3. 7 Vyhodnocení zkoušek

Úsek	Tyč č. I		Tyč č. II		Tyč č. III	
	Délka úseku [mm]	Poměrné prodloužení $\epsilon$ [%]	Délka úseku [mm]	Poměrné prodloužení $\epsilon$ [%]	Délka úseku [mm]	Poměrné prodloužení $\epsilon$ [%]
$\overline{AB}$	14,009	40,09	12,457	24,57	13,1794	31,794
$\overline{BC}$	13,887	38,87	12,266	22,66	12,9796	29,796
$\overline{CD}$	13,595	35,95	12,154	21,54	12,7505	27,505
$\overline{DE}$	13,445	34,45	12,0465	20,465	12,673	26,73
$\overline{EF}$	-	-	-	-	12,5635	25,635
$\overline{FG}$	-	-	-	-	12,425	24,25

Tab. 1



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření	DP-ST-1100/74	31
Fakulta strojní	hlubokotažných plechů	30.5.1974	M. Pažout

Pro metalografické výbrusy byly vybrány tyto úseky:

Výbrus č. I: č. 1 - úsek z oblasti pod upínacími čelistmi z tyče č. I.

č. 2 - úsek  $\overline{AB}$  z tyče č. I.

č. 3 - úsek  $\overline{CD}$  z tyče č. I.

Výbrus č. II: č. 4 - úsek z oblasti pod upínacími čelistmi z tyče č. II.

č. 5 - úsek  $\overline{AB}$  z tyče č. II.

č. 6 - úsek  $\overline{DE}$  z tyče č. II.

Výbrus č. III: č. 7 - úsek z oblasti pod upínacími čelistmi z tyče č. III.

č. 8 - úsek  $\overline{DE}$  z tyče č. III.

č. 9 - úsek  $\overline{BC}$  z tyče č. III.

Tyč č. I je odebrána z tabule plechu tak, aby její osa souhlasila se směrem válcování plechu. Tyče č. II a III jsou odebrány ve směru, který je na směr válcování kolmý. Fotografie

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	32
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

mikrostruktur, určené k vyhodnocování, jsou na obr. 9 - 17. Pod každou fotografií jsou v tabulce uvedeny výsledky vyhodnocování /tab. 2 - 10/. Při výpočtu poměrného prodloužení vzorku z určitého výbrusu dosazujeme za hodnotu  $l_0$  hodnotu, získanou z nedeformovaného vzorku z téhož výbrusu.



Obr. 9 Výbrus vzorku č. 1. Zvětšeno  
500x, leptáno nitalém po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_o$ [mm]	$\epsilon$ [%]	$\epsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
208	2400	-	11,53	-	-	-

Tab. 2



Obr. 10 Výbrus vzorku č. 2. Zvětšeno  
500x, leptáno nitalém po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_o$ [mm]	$\varepsilon$ [%]	$\varepsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
128	2400	18,90	11,53	63,80	40,09	23,71

Tab. 3

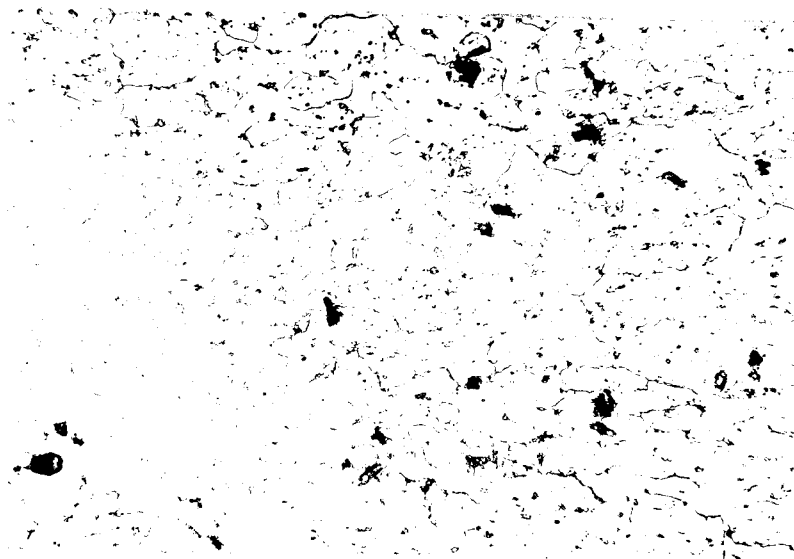
VŠT Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	35
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout



Obr. 11 Výbrus vzorku č. 3. Zvětšeno  
500x, leptáno nitalém po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\varepsilon$ [%]	$\varepsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
138	2400	17,25	11,53	49,40	35,95	13,45

Tab. 4

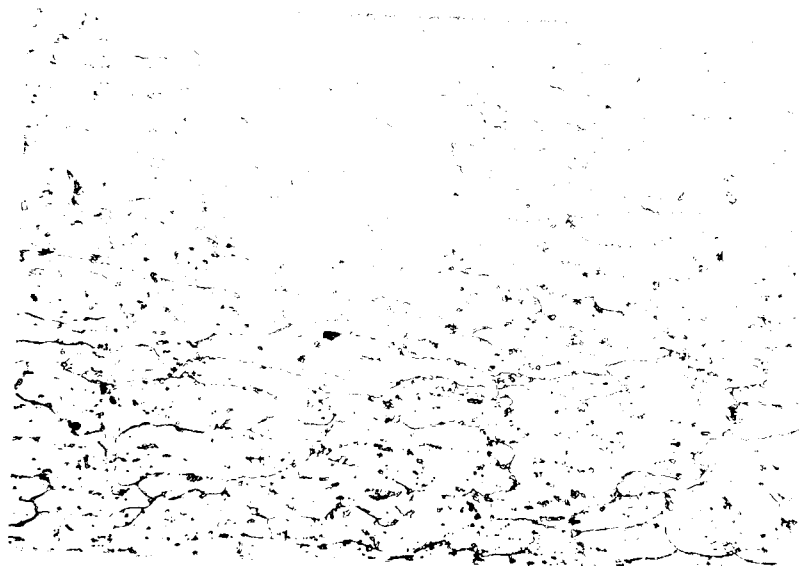


Obr. 12 Výbrus vzorku č. 4. Zvětšeno  
500x, leptáno nitalem po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\varepsilon$ [%]	$\varepsilon_{SK}$ [%]	$\sigma$ [%]
281	2400	-	8,54	-	-	-

Tab. 5

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	37
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

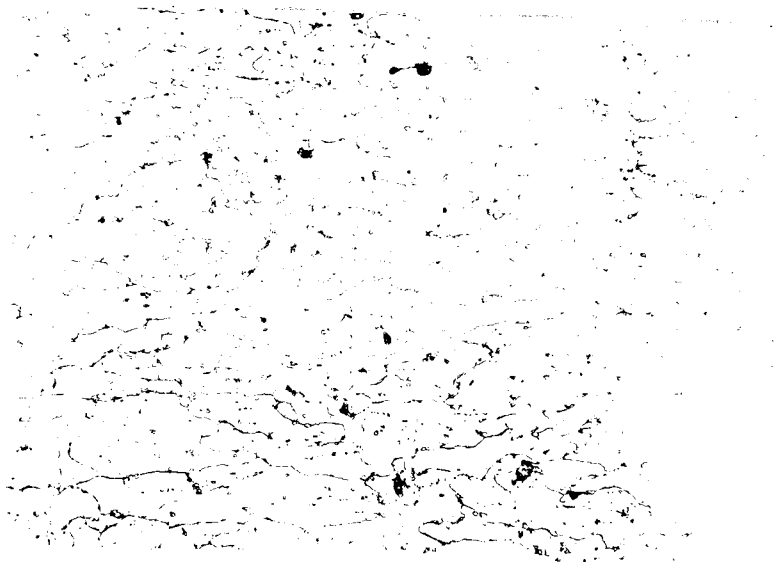


Obr. 13 Výbrus vzorku č. 5. Zvětšeno 500x, leptáno nitaem po dobu 9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\varepsilon$ [%]	$\varepsilon_{SK}$ [%]	$\int$ [%]
204	2400	11,76	8,54	37,71	24,57	13,14

Tab. 6

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	38
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout



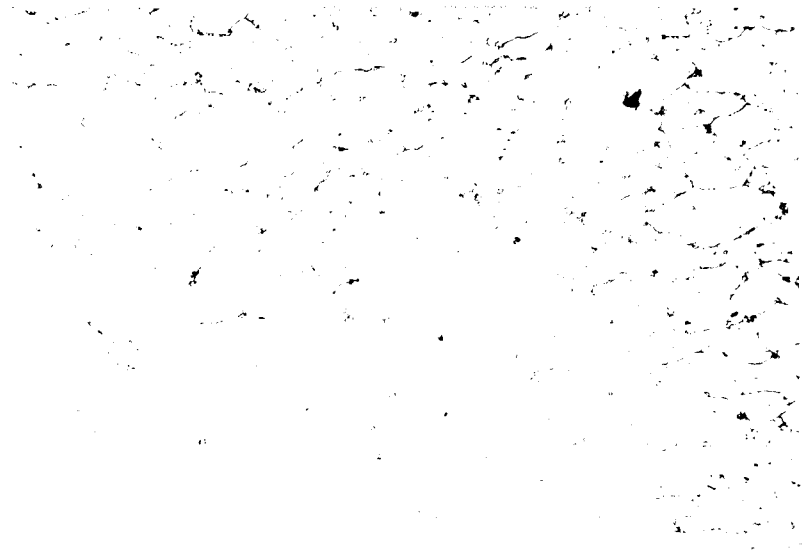
Obr. 14 Výbrus vzorku č. 6. Zvětšeno 500x, leptáno nitalem po dobu 9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\epsilon$ [%]	$\epsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
213	2400	11,27	8,54	32,08	20,465	11,615

Tab. 7



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření	DP-ST-1100/74	39
Fakulta strojní	hlubokotažných plechů	30.5.1974	M. Pažout

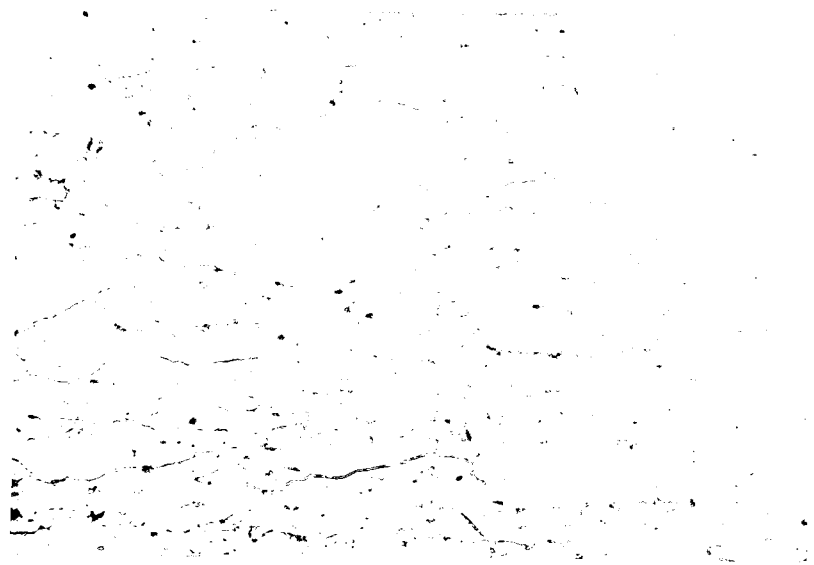


Obr. 15 Výbrus vzorku č. 7. Zvětšeno  
500x, leptáno nitem po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\xi$ [%]	$\xi_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
259	2400	-	9,25	-	-	-

Tab. 8

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	41
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout



Obr. 17 Výbrus vzorku č. 9. Zvětšeno  
500x, leptáno nitaem po dobu  
9 sec.

$n_L$	L [mm]	l [mm]	$l_0$ [mm]	$\epsilon$ [%]	$\epsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
178	2400	13,48	9,25	45,80	29,796	16,004

Tab. 10

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	42
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

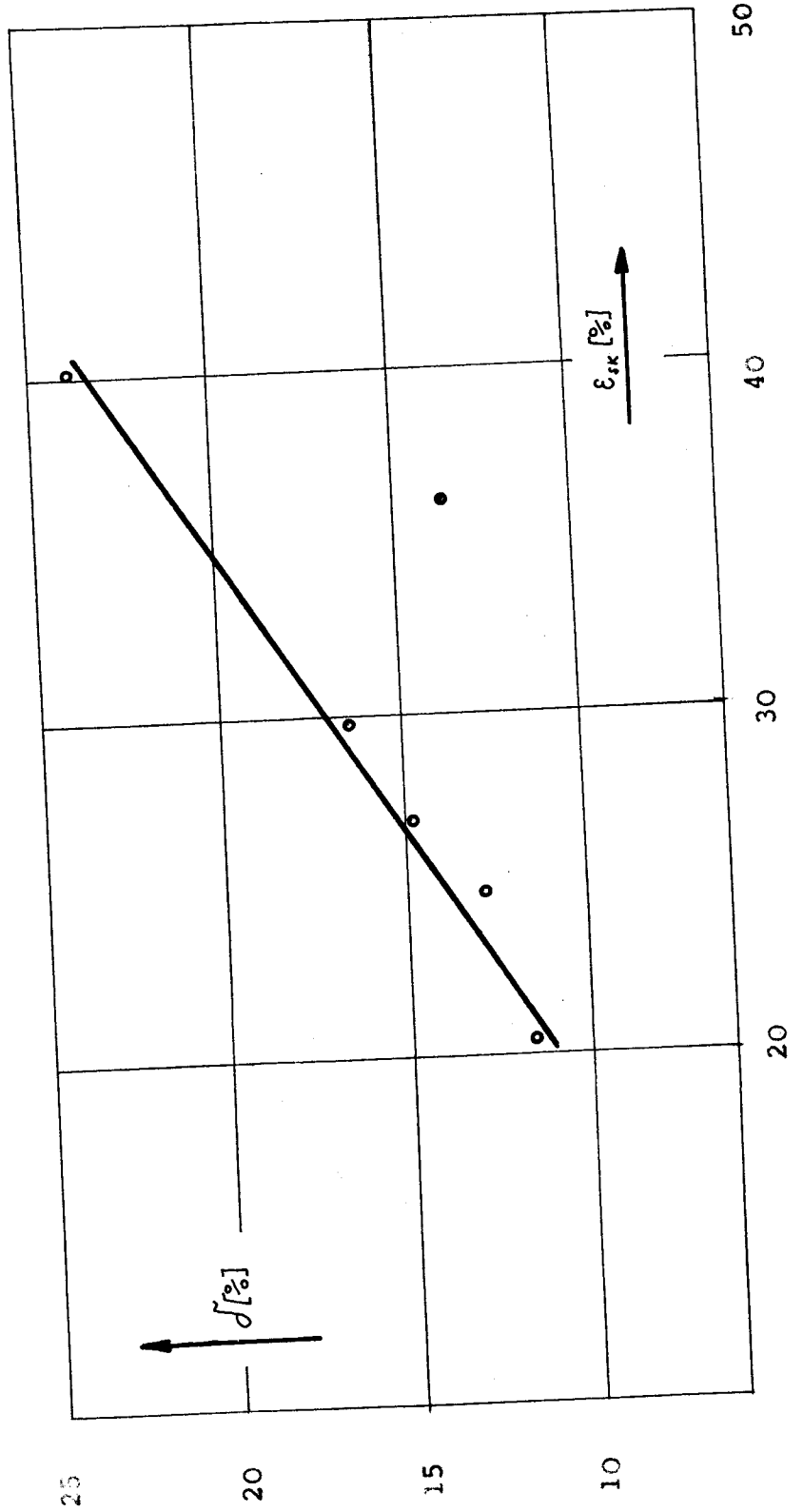
### 3.8 Shrnutí výsledků experimentálních zkoušek

Výsledky experimentálních zkoušek jsou shrnuty v tabulce 11.

Vzorek č.	$\varepsilon$ [%]	$\varepsilon_{SK}$ [%]	$\delta$ [%]
1	-	-	-
2	63,80	40,09	23,71
3	49,40	35,95	13,45
4	-	-	-
5	37,71	24,57	13,14
6	32,08	20,465	11,615
7	-	-	-
8	41,70	26,73	14,97
9	45,80	29,796	16,004

Tab. 11

Grafická závislost  $\xi = f / \varepsilon_{SK}$



### 3.9 Zhodnocení zkoušek

Při zkouškách se prakticky jednalo o to, deformovat materiál, zjistit jeho skutečnou deformaci, zároveň určit deformaci metodou strukturní analýzy přetvoření a obě zjištěné deformace porovnat. Deformace materiálu byla provedena jednoosým tahem a veličinou, popisující velikost deformace, bylo zvoleno poměrné prodloužení. Zvolený postup se v průběhu zkoušek ukázal jako vhodný.

Rozměry fotografií byly voleny 74x105, protože nebyly k dispozici desky většího formátu pro negativní proces. Formát 74x105 se do jisté míry neosvědčil, protože při použitém rastru pro odečítání nebyla splněna podmínka 250 napočítaných průsečíků měřící přímky s hranicemi zrn u většiny vyhodnocovaných fotografií. Bude-li se v podobných zkouškách pokračovat, bylo by lépe pracovat s formátem větším, nejlépe 150x105.

Pro vyhodnocování fotografií formátu 74x105 byl zhotoven rastr vyrytím sítě do průhledné fólie. Síť zahrnovala 24 měřících přímek 100 mm dlouhých, které byly od sebe vzdáleny 3 mm. Zároveň bylo provedeno vyhodnocování s podobným rastrem, který měl dělení 4 mm. Výsledky práce s tímto rastrem

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	45
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

nejsou v předložené práci uvedeny, ale nelišili se podstatně od výsledků, dosažených se sítí s dělením 3 mm. Bylo dosaženo podobné grafické závislosti s tím, že rozptyl jednotlivých bodů od proložené přímky byl větší. Je tomu tak z toho důvodu, že podmínka 250 napočítaných průsečíků byla ještě hruběji narušena, než při použití sítě s dělením 3 mm.

Otázka volby vzdálenosti měřících přímek rastru není při použití dostatečně velkého formátu kritická za předpokladu, že je dodržena podmínka 250 napočítaných průsečíků hranic zrn s měřící přímkou.

Pro práci s formátem fotografií 150x105 mm se na základě zkušeností doporučuje volit rastr s příslušně dlouhými měřícími přímkami, vzdálenými od sebe 3 mm. Menší dělení se v žádném případě nedoporučuje, protože odečítání se stává nepřehledným a roste tak možnost výskytu chyb.

Bylo též zkoušeno vyhodnocovat velikost poměrného prodloužení  $\underline{\epsilon}_K$  ve směru kolmém na vyšetřovaný směr deformace a požadovanou hodnotu poměrného

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	46
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

prodloužení  $\underline{\xi}$  vypočítat ze vztahu  $\xi = -\mu \varepsilon_K$ , kde  $\underline{\mu}$  je Poissonova konstanta. Touto metodou však nebylo dosaženo uspokojivých výsledků.

#### 4. Rozbor výsledků a návrh využitelnosti pro praxi

##### 4.1 Rozbor výsledků

Výsledky jsou shrnuty v tabulce 11. Z tabulky je patrný poměrně značný rozdíl v hodnotách poměrného prodloužení, zjištěných metodou strukturní analýzy  $\underline{\xi}$  a skutečnými hodnotami poměrného prodloužení  $\underline{\xi}_{SK}$ .

Struktura hlubokotažného plechu je tvořena feritickými zrny, hranice zrn tvoří nečistoty. Při procesu tváření plechu se hranice zrn narušují a může dojít i ke spojování zrn. Tímto způsobem lze vysvětlit, proč v našem případě vycházejí hodnoty poměrného prodloužení větší, než skutečně jsou. Proces spojování zrn v průběhu tváření nemůže být postihnout při vyhodnocování rozměru zrn metalografickou technikou. Při vyhodnocování se tedy napočítá menší počet průsečíků hranic zrn

s měřicí přímkou, protože některé hranice zrn vlivem tváření zmizely. Z toho důvodu potom vychází délka deformovaného zrna větší a hodnota  $\underline{\epsilon}$  vyjde též větší, než je skutečná hodnota poměrného prodloužení  $\underline{\epsilon}_{SK}$ .

Zajímavá a velice cenná skutečnost vyplýne, jestliže vypočítáme rozdíl  $\underline{\sigma} = \epsilon - \epsilon_{SK}$  a určíme grafickou závislost  $\underline{\sigma} = f / \epsilon_{SK}$ . Tato závislost je na obr. 18. Z grafu vyplývá, že odchylka  $\underline{\sigma}$  se zvětšuje s rostoucí hodnotou  $\epsilon_{SK}$  poměrně velice plynule.

Ze získaných poznatků lze vyvodit pro praxi velice cenné závěry. Metoda strukturní analýzy přetvoření je použitelná. Lze to zatím tvrdit pouze pro případy, kdy deformace nabývá hodnot maximálně 40 %. Stanovení stupně přetvoření metodou strukturní analýzy však nelze provádět přímo. Je nutno vyšetřit pro určitý druh plechu korekční křivku, t.zn. závislost  $\epsilon_{SK} = f / \epsilon$  a pomocí této závislosti pak určovat skutečné hodnoty deformace.

Poznámka: použitelnost metody strukturní analýzy



VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	48
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

přetvoření je ověřena pouze pro deformace do 40 %, protože podstatně větších přetvoření nelze jednoosým tahem dosáhnout. Vyšších stupňů přetvoření lze docílit při trojosém stavu napjatosti, který lze simulovat například tažením pásku plechu brzdícími lištami. Proto by bylo vhodné v práci pokračovat a ověřit použitelnost metody strukturní analýzy přetvoření i pro vyšší deformace.

#### 4.2 Využitelnost výsledků práce pro praxi

V procesu zpracování hlubokotažných plechů se jedná o to, aby jejich lisovatelnost odpovídala požadavkům lisoven v zájmu snížení zmetkovitosti na minimum.

Lisovatelnost je ovlivňována materiálovými vlastnostmi, podmínkami stavu napjatosti a stupněm přetvoření. Z hlediska stability výlisků rozeznáváme tři typy ztráty stability:

- 1/ Ztráta stability v oblasti malých přetvoření, která se projevuje vznikem povrchových vrásek.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	49
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

2/ Ztráta stability vznikající působením tahových a tlakových napětí, jež se projeví vznikem vln.

3/ Ztráta stability za mezí pevnosti, projevující se vznikem trhlin.

Pro hodnocení stavu napjatosti lze v případě prvního a druhého typu ztráty stability použít metodu deformačních sítí, pro třetí typ ztráty stability je tato metoda téměř nepoužitelná. Přitom vznik trhlin je nejčastější příčinou zmetkovitosti.

Z toho důvodu se hledají metody, které by byly schopny nahradit metodu deformačních sítí. Jedna z metod, přicházejících v úvahu, je metoda strukturní analýzy. Předložená práce dokázala, že je možné použít tuto metodu pro stupně přetvoření do 40 %. Pro vyšší hodnoty přetvoření bude nutno její použitelnost ještě ověřit, i když lze již nyní předpokládat, že bude vhodná i pro vyšší deformace.

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74 50
Fakulta strojní		30.5.1974 M. Pažout

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně  
za pomoci uvedené literatury.

*Miloslav Pažout*

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	51
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

5. Seznam použité literatury

- [1] Ministr:  
Praktická metalografická mikroskopie.  
SNTL, Praha 1962
- [2] Kraus, I.:  
Kvantitativní metalografická analýza,  
Pokroky matematiky, fyziky a astronomie,  
XIII /1968/, 2, 83 - 100
- [3] Saltykov, S.A.:  
Stereometrická metalografie.  
SNTL, Praha 1962
- [4] Pluhař - Korita  
Strojírenské materiály.  
SNTL, Praha 1966

VŠST Liberec	Strukturní analýza přetvoření hlubokotažných plechů	DP-ST-1100/74	52
Fakulta strojní		30.5.1974	M. Pažout

Děkuji svému konsultantovi Ing. J. Strnadovi  
a vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. J. Tmějovi CSc  
za cenné rady a připomínky k vypracování této práce.

V Liberci dne 30. května 1974