

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření kovů a plastů



Vendulka VACKOVÁ

**VLIV PŘETVOŘENÍ NA STAV POVLAKU NA BÁZI Zn
OCELOVÝCH PLECHU V PODMÍNKÁCH VYPÍNÁNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1998

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 08

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastů

Katedra tváření a plastů

Vliv přetvoření na stav povlaku na bázi Zn ocelových plechů v podmínkách vypínání

Autor : Vendulka Vacková, KPT - 661

Vedoucí práce : Prof. Ing. Mikeš Viktor, Csc., TU v Liberci

Konzultantka : Ing. Kolnerová Michaela, TU v Liberci

Rozsah práce a příloh

Počet stran.....	75
Počet příloh a tabulek.....	5
Počet obrázků.....	69
Počet výkresů.....	0
Počet modelů nebo jiných pomůcek.....	1

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra : tváření a plastů

Školní rok : 1997/98

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Vendulku V a c k o v o u**

obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č.172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci :

Název tématu : Vliv přetvoření na stav povlaků na bázi Zn
ocelových plechů v podmínkách vypínání.

Zásady pro vypracování :

1. Seznámení s metodikou navrženou a ověřenou v rámci Státního úkolu K 197/III-1-6.
2. Přehled sortimentu plechů na bázi Zn, které se uplatňují v konstrukci karoserií a výběr materiálu pro experimentální část.
3. Návrh metodiky řešení experimentálního studia vlivu stavu napjatosti a přetvoření na stav povlaku.
4. Experimentální část.
5. Rozbor výsledků, závěr.

KPT/TP
45 A., 1. a. příl., 1. samostat. příl.

V/155/98 S

(NA)

Rozsah grafických prací :

Rozsah průvodní zprávy : 50 stran

Seznam odborné literatury :

- /1/ KOLEKTIV ŘEŠITELŮ: Návrh metodiky určování mezních stavů přetvoření při tažení výlisků z ocelových plechů s kovovými povlaky. Závěrečná zpráva. VŠST Liberec, 1989.
- /2/ HRBÁČEK, P.: Charakteristiky mezních stavů při tváření ocelových plechů s kovovými povlaky v automobilovém průmyslu. Kandidátská disertační práce. VŠST Liberec, 1991.
- /3/ Podnikové podklady ze ŠKODA a.a.s., Mladá Boleslav.

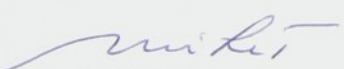
Vedoucí diplomové práce : Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.

Konzultant : Ing. Michaela Kolnerová

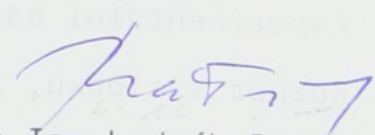
Zadání diplomové práce : 31.10.1997

Termín odevzdání diplomové práce : 29.5.1998




Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.

Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.

Děkan

V Liberci dne 30.10.1997

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Strojírenská technologie

1997 - 1998

Vacková Vendulka

Téma : Vliv přetvoření na stav povlaku na bázi Zn
ocelových plechů v podmínkách vypínání

Topic : The influence of deformation on an overlay state
on a zinc steel plate basis in drawing condition

Číslo DP : 661

Vedoucí DP : Prof. Ing. Mikeš Viktor, Csc.

Konzultant : Ing. Kolnerová Michaela

Anotace : Práce zjišťuje vliv přetvoření na stav povlaku na bázi Zn ocelových plechů v podmínkách vypínání. Byly modelovány různé stavy přetvoření tažením nástřihů proměnné šířky polokulovým tažníkem. Následně byl stav přetvořeného povlaku zdokumentován mikroskopicky a opticky. Matematické vyhodnocení zahrnuje závislosti intenzity přetvoření na hloubce tažení pro jednotlivé deformační stopy vzorků šířky 30, 140 a 210 mm.

Annotation : This work finds out the influence of deformation on an overlay state on a zinc plate basic in drawing conditions. There were modelled different states of deformation by drawing of cuttings with variable width by the hemispherical through the microscopical and optical way. Mathematic evaluation contains dependance of deformation intensity on drawing width for individual deformation sample mark of width 30, 140 and 210 mm.

Poděkování

Na začátku této práce bych ráda poděkovala Prof. Ing. V. Mikešovi, Csc. a ostatním členům Katedry tváření a plastů, především Ing. M. Kolnerové a Ing. P. Solfronkovi, za pomoc při vypracování této diplomové práce.

Vachová Venduška

Obsah	
1. Úvod	10
2. OCELOVÉ VÝKOVY A DOVLAST NA BAST KINOV	12
2.1 Vlivy na vlastnosti ocelí	12
2.2 Vlivy na vlastnosti ocelí	13
2.3 Vlivy na vlastnosti ocelí	14
3. VYKOVY A DOVLAST NA BAST KINOV	15

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

4. VYKOVY A DOVLAST NA BAST KINOV	16
4.1 Vlivy na vlastnosti ocelí	16
4.2 Vlivy na vlastnosti ocelí	17
4.3 Vlivy na vlastnosti ocelí	18

V Liberci dne 25.5.1998

Vachová P.

Podpis

5. VYKOVY A DOVLAST NA BAST KINOV	19
5.1 Charakteristika ocelí	19
5.2 Vlivy na vlastnosti ocelí	20
5.3 Vlivy na vlastnosti ocelí	21
5.4 Vlivy na vlastnosti ocelí	22
5.5 Vlivy na vlastnosti ocelí	23
5.6 Vlivy na vlastnosti ocelí	24
5.7 Vlivy na vlastnosti ocelí	25
5.8 Vlivy na vlastnosti ocelí	26
5.9 Vlivy na vlastnosti ocelí	27
5.10 Vlivy na vlastnosti ocelí	28
5.11 Vlivy na vlastnosti ocelí	29
5.12 Vlivy na vlastnosti ocelí	30
5.13 Vlivy na vlastnosti ocelí	31
5.14 Vlivy na vlastnosti ocelí	32
5.15 Vlivy na vlastnosti ocelí	33
5.16 Vlivy na vlastnosti ocelí	34
5.17 Vlivy na vlastnosti ocelí	35
5.18 Vlivy na vlastnosti ocelí	36
5.19 Vlivy na vlastnosti ocelí	37
5.20 Vlivy na vlastnosti ocelí	38
5.21 Vlivy na vlastnosti ocelí	39
5.22 Vlivy na vlastnosti ocelí	40
5.23 Vlivy na vlastnosti ocelí	41
5.24 Vlivy na vlastnosti ocelí	42
5.25 Vlivy na vlastnosti ocelí	43
5.26 Vlivy na vlastnosti ocelí	44
5.27 Vlivy na vlastnosti ocelí	45
5.28 Vlivy na vlastnosti ocelí	46
5.29 Vlivy na vlastnosti ocelí	47
5.30 Vlivy na vlastnosti ocelí	48
5.31 Vlivy na vlastnosti ocelí	49
5.32 Vlivy na vlastnosti ocelí	50
5.33 Vlivy na vlastnosti ocelí	51
5.34 Vlivy na vlastnosti ocelí	52
5.35 Vlivy na vlastnosti ocelí	53
5.36 Vlivy na vlastnosti ocelí	54
5.37 Vlivy na vlastnosti ocelí	55
5.38 Vlivy na vlastnosti ocelí	56
5.39 Vlivy na vlastnosti ocelí	57
5.40 Vlivy na vlastnosti ocelí	58
5.41 Vlivy na vlastnosti ocelí	59
5.42 Vlivy na vlastnosti ocelí	60
5.43 Vlivy na vlastnosti ocelí	61
5.44 Vlivy na vlastnosti ocelí	62
5.45 Vlivy na vlastnosti ocelí	63
5.46 Vlivy na vlastnosti ocelí	64
5.47 Vlivy na vlastnosti ocelí	65
5.48 Vlivy na vlastnosti ocelí	66
5.49 Vlivy na vlastnosti ocelí	67
5.50 Vlivy na vlastnosti ocelí	68
5.51 Vlivy na vlastnosti ocelí	69
5.52 Vlivy na vlastnosti ocelí	70
5.53 Vlivy na vlastnosti ocelí	71
5.54 Vlivy na vlastnosti ocelí	72
5.55 Vlivy na vlastnosti ocelí	73
5.56 Vlivy na vlastnosti ocelí	74
5.57 Vlivy na vlastnosti ocelí	75
5.58 Vlivy na vlastnosti ocelí	76
5.59 Vlivy na vlastnosti ocelí	77
5.60 Vlivy na vlastnosti ocelí	78
5.61 Vlivy na vlastnosti ocelí	79
5.62 Vlivy na vlastnosti ocelí	80
5.63 Vlivy na vlastnosti ocelí	81
5.64 Vlivy na vlastnosti ocelí	82
5.65 Vlivy na vlastnosti ocelí	83
5.66 Vlivy na vlastnosti ocelí	84
5.67 Vlivy na vlastnosti ocelí	85
5.68 Vlivy na vlastnosti ocelí	86
5.69 Vlivy na vlastnosti ocelí	87
5.70 Vlivy na vlastnosti ocelí	88
5.71 Vlivy na vlastnosti ocelí	89
5.72 Vlivy na vlastnosti ocelí	90
5.73 Vlivy na vlastnosti ocelí	91
5.74 Vlivy na vlastnosti ocelí	92
5.75 Vlivy na vlastnosti ocelí	93
5.76 Vlivy na vlastnosti ocelí	94
5.77 Vlivy na vlastnosti ocelí	95
5.78 Vlivy na vlastnosti ocelí	96
5.79 Vlivy na vlastnosti ocelí	97
5.80 Vlivy na vlastnosti ocelí	98
5.81 Vlivy na vlastnosti ocelí	99
5.82 Vlivy na vlastnosti ocelí	100

OBSAH

OBSAH	7
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK	9
1. ÚVOD	10
2. OCELOVÉ PLECHY S POVLAKY NA BÁZI ZINKU	12
2.1 Plechy žárově pozinkované	12
2.2 Plechy elektrolyticky pozinkované	13
2.3 Plechy s kombinovaným povlakem zinku a organických pojiv	14
3. METALURGIE ŽÁROVÉHO ZINKOVÁNÍ	17
4. OCHRANNÁ FUNKCE ZINKOVÉHO POVLAKU NA OCELI	20
4.1 Ochranná účinnost zinkového povlaku v podmínkách automobilového průmyslu	21
5. URČOVÁNÍ MEZNÍCH STAVŮ PŘETVOŘENÍ PŘI TAŽENÍ VÝLISKŮ Z OCELOVÝCH PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY A JEJICH DEFINICE ..	23
5.1 Definování diagramů mezních přetvoření	24
6. NÁVRH METODIKY URČOVÁNÍ VLIVU PŘETVOŘENÍ NA STAV POVLAKU OCELOVÉHO PLECHU V PODMÍNKÁCH VYPÍNÁNÍ	29
6.1 Charakteristika materiálu	29
6.2 Příprava zkušebních vzorků	30
6.2.1 Zkušební vzorky	30
6.2.2 Deformační síť a metoda jejího nanášení	32
6.3 Zkušební zařízení	34
6.4 Realizace přetvoření	35
6.5 Zjišťování přetvoření	35
6.5.1 Matematické určení intenzity přetvoření	36
6.5.2 Závislost intenzity přetvoření na hloubce tažení	37
6.5.3 Diagram mezních přetvoření	41
6.6 Mikroskopické sledování přetvoření povrchové vrstvy ..	43
6.6.1 Charakteristika dokumentovaných povrchů	60
6.7 Optické sledování přetvoření povrchové vrstvy	62

6.7.1	Charakteristika dokumentovaných povrchových vrstev	68
6.7.2	Struktura základního materiálu ve výchozím nepřetvořeném stavu	70
6.8	Shrnutí experimentu a výsledků	71
7.	ZÁVĚR	73
	LITERATURA	75
	PŘÍLOHA	

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

σ	skutečné napětí [MPa]
φ	logaritmické přetvoření
m_{σ}	ukazatel stavu napjatosti
m_{φ}	ukazatel stavu přetvoření
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu [MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu [MPa]
A_H	homogenní tažnost [%]
A_{80}	celková tažnost určená na úseku 80 mm [%]
r	součinitel normálové anizotropie
n	exponent deformačního zpevnění
ε	poměrné přetvoření
φ_i	intenzita přetvoření
h	hloubka tažení [mm]

1. ÚVOD

Výrobci automobilů jsou neustále nuceni hledat při výrobě možnosti a způsoby, kterými by uspořili finance i suroviny. Současně se však musí snažit snížit celkovou hmotnost vozidla a s tím související spotřebu paliva. Je důležité tyto úspory spojit s větší odolností plechů vůči stále agresivnějšímu životnímu prostředí. Řešení přinesla protikorozní ochrana prostřednictvím povlaků, které jsou zárukou delší životnosti výrobků. Další výhodou je snížení nákladů dané menší tloušťkou plechů pokovených oproti nepokoveným. Z těchto důvodů začali výrobci automobilů vyrábět karosérie z plechů povrchově upravených povlakem, a to převážně na bázi zinku. Užití pokovených plechů v automobilovém průmyslu vzrostlo z 30% v roce 1988 na asi 65% v roce 1997 a do roku 2000 se odhaduje vzrůst na 70% [5].

Použití ocelových plechů s kovovými povlaky ve velkých sériích přináší ekonomické úspory, ale zároveň i nové problémy při zpracování, které se u ocelových plechů běžných jakostí nevyskytují. Příkladem může být tvorba trhlin v povrchových vrstvách povlaku, ztráta soudržnosti povlaku se základním materiálem při lisování. V neposlední řadě i otěr povlaku z povrchu základního materiálu.

Cílem této práce je zjistit, jaký vliv má přetvoření na ocelový plech s povlakem na bázi zinku v podmínkách vypínání.

Základním požadavkem na ochranný povlak je spolu s korozní odolností i zabezpečení dobrého vzhledu. Z toho vyplývá, že se povlak musí nanášet na kovově čistý a vhodně upravený základní materiál. Jinak by došlo ke snížení životnosti povlaku a jeho ochranné účinnosti. Ta je závislá především na dokonalé vazbě povlak - základní materiál a na tvářitelnosti povrchové vrstvy.

Hotové výlisky jsou následně lakovány a v případě poškození povrchu povlaku nebude zajištěna jejich požadovaná kvalita. Proto je nutné vhodně zvolit základní materiál a zjistit chování povrchové vrstvy v procesu lisování.

1. Hotové výlisky jsou následně lakovány a v případě poškození povrchu povlaku nebude zajištěna jejich požadovaná kvalita. Proto je nutné vhodně zvolit základní materiál a zjistit chování povrchové vrstvy v procesu lisování.

2. Hotové výlisky jsou následně lakovány a v případě poškození povrchu povlaku nebude zajištěna jejich požadovaná kvalita. Proto je nutné vhodně zvolit základní materiál a zjistit chování povrchové vrstvy v procesu lisování.

3. Hotové výlisky jsou následně lakovány a v případě poškození povrchu povlaku nebude zajištěna jejich požadovaná kvalita. Proto je nutné vhodně zvolit základní materiál a zjistit chování povrchové vrstvy v procesu lisování.

4. Hotové výlisky jsou následně lakovány a v případě poškození povrchu povlaku nebude zajištěna jejich požadovaná kvalita. Proto je nutné vhodně zvolit základní materiál a zjistit chování povrchové vrstvy v procesu lisování.

Každá z těchto tří metod lze vyrábět plechy jednoboké, dvoustranné nebo oboustranné, a to buď se střípnou stranou, nebo bez střípné strany. Každá z těchto tří metod lze vyrábět plechy jednoboké, dvoustranné nebo oboustranné, a to buď se střípnou stranou, nebo bez střípné strany. Každá z těchto tří metod lze vyrábět plechy jednoboké, dvoustranné nebo oboustranné, a to buď se střípnou stranou, nebo bez střípné strany.

2.1 Plechy žárově pochráněné

Povrchová oprava ocelového plechu žárově pochráněná patří mezi ekonomicky nejefektivnější. Pro žárově pochráněné ocelové plechy je nejvhodnější metoda žárové pochránění. Při této metodě se studený vyválcovaný plech prochází žárovou pecí, ve které se ohřeje na teplotu kolem 800 °C. Na této teplotě se na povrchu oceli vytvoří vrstva chránivé vrstvy z křemíku a železa. Tato vrstva chrání ocel před korozí a zvyšuje její životnost. Po vyjmutí z pece se plech ochladí a může být dále zpracováván.

2. OCELOVÉ PLECHY S POVLAKY NA BÁZI ZINKU

Pro povrchové úpravy ocelových plechů kovovými povlaky se používá převážně zinek. Je vhodný především svou relativně nízkou cenou a výbornou korozní ochranou. Zinek poskytuje svými elektrochemickými vlastnostmi ocelovému podkladu katodickou ochranu.

Ochranný povlak se vytváří třemi základními metodami:

1. žárovým pokovením ponorem do roztaveného kovu nebo slitin kovů (Fe-Zn, Al-Zn),
2. elektrolytickým nanášením povlaku na bázi zinku (Zn-Fe, Zn-Ni)
3. nanášením kombinovaných povlaků zinku a organických pojiv.

Každou z těchto tří metod lze vyrábět plechy jednostranně i oboustranně pokovené, a to buď se stejnou tloušťkou ochranné vrstvy na obou stranách, nebo rozdílnou s tím, že silnější pokovená strana může dosáhnout až 1,5 násobku maximálních tloušťek a strana slaběji pokovená nejméně 0,5 násobku minimálních tloušťek.[4]

2.1 Plechy žárově pozinkované

Povrchová úprava ocelového plechu žárovým pozinkováním patří mezi ekonomicky nejefektivnější. Pro žárové zinkování ocelových plechů je nejrozšířenější metoda Senzimirova. Spočívá v tom, že za studena vyválnovaný plech prochází „oxidační zónou“, ve které se ohřeje ve spalínách na teplotu kolem 350°C. Spálí se válcovací emulze a na povrchu oceli se vytvoří oxid. Pás dále prochází žíhací pecí, kde se oxid redukuje vodíkem na kovové železo a po ochlazení na 450°C prochází zinkovou lázní. Tloušťka a rovnoměrnost povlaku se reguluje pomocí otáčejících se válců umístěných na hladině lázně nebo vzduchovou tryskou nad hladinou lázně [3].

Ostatní principy výroby jednostranně žárově pozinkovaných ocelových plechů jsou v tabulce 2.1. [4]

2.2 Plechy elektrolyticky pozinkované

Elektrolyticky pozinkované plechy mají ve srovnání s žárově pozinkovanými plechy několik výhod :

- a) galvanický proces neovlivňuje původní mechanické vlastnosti základního materiálu, hlavně jeho hlubokotažnost,
- b) vyloučený zinkový povlak doplněný konverzní vrstvou zabezpečuje dobrou přilnavost organického povlaku,
- c) možnost přípravy velmi tenkých zinkových povlaku (až $3\text{ }\mu\text{m}$),
- d) poměrně tenký zinkový povlak poskytuje ještě dostatečnou protikorozní ochranu základního materiálu pod organickým povlakem,
- e) relativně jednoduše lze vyrábět diferencovaně a jednostranně pozinkované plechy.

Vzhledem k tomu, že elektrolyticky pozinkované plechy pro výrobu karosérií s tenkými povlaky neposkytují dostatečnou korozní ochranu, byly vyvinuty nové technologie a konstrukce výrobních zařízení umožňujících dosažení vysoké proudové hustoty (až $200\text{ A}\cdot\text{dm}^2$) a tím zvýšení výkonu. Pro moderní výrobu je charakteristické používání kyselých elektrolytů s intenzivním prouděním v mezeře mezi anodou a pásem a používání rozpustných i nerozpustných anod. Principy uspořádání anod při elektrolytickém pozinkování jsou v tabulce 2.2.[3]

2.3 Plechy s kombinovaným povlakem zinku a organických pojiv

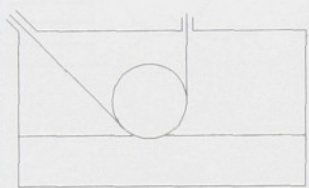
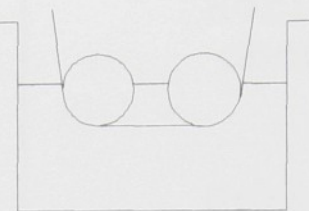
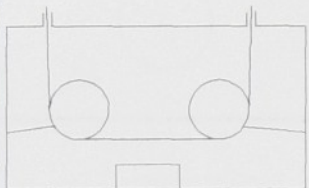
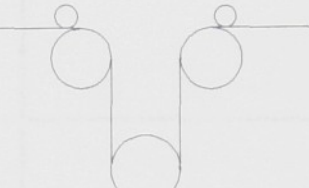
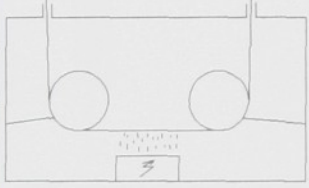
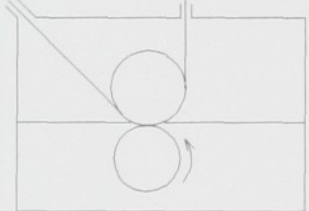
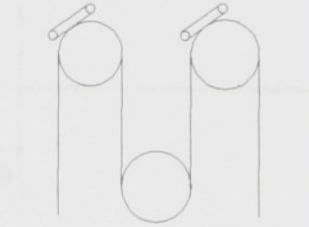
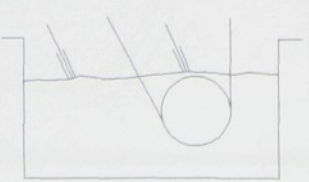
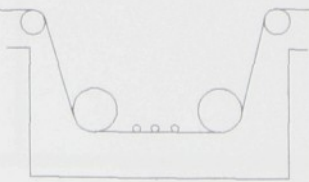
Nejvýznamnějším představitelem ocelového plechu s organickým povlakem pro vnitřní i vnější díly automobilových karosérií je tzv. Zincrometal. Tento materiál vyvinula firma Metals Coatings v roce 1971.

Ochranný povlak je dvouvrstvý. Podkladová vrstva se vytváří z vodní disperze s obsahem zinkového prachu a kyseliny chromové. Je označována jako Dancromet. Její tloušťka je asi 2 až 3 μm . Vrchní vrstva, označovaná jako Zincromet, je tvořena epoxidovou bází s obsahem zinkového prachu. Její tloušťka je asi 10 až 12 μm . Spojení obou vrstev je dokonalé a plní pasivační a bariérovou funkci protikorozi ochrany.

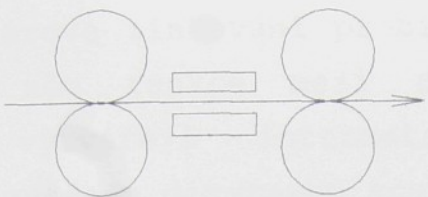
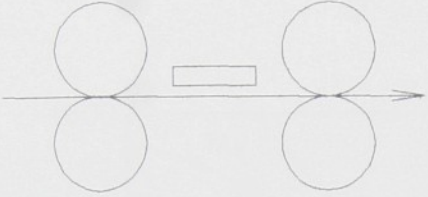
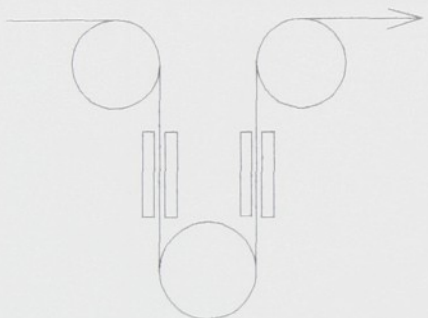
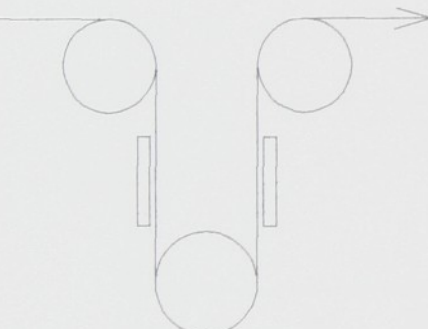
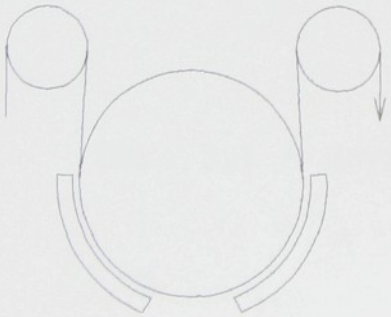
Korozi odolnost plechů typu Zincrometal příznivě ovlivňuje jednak chrom na rozhraní organický povlak - ocel, vytvořený předúpravou pásu, jednak jemný (pod 10 μm) zinkový prach kulovitého tvaru, rozptýlený v epoxidové pryskyřici. Podíl zinku na celkové vrstvě povlaku je asi 80 až 90 % hmotově, resp. asi 50 až 60 % objemově.

Zinkový prach je elektricky vodivý pigment umožňuje bodové svařování plechu. Epoxidy zajišťují dobrou přilnavost ke kovům i organickým látkám včetně laků. Ke zlepšení tvářitelnosti plechu se někdy používají tzv. kluzné laky, obsahující grafit nebo hliníkové pigmenty. Většinou však postačí pouze běžná konzervace olejem. Celková tloušťka povlaku je zpravidla 12 až 18 μm . Pro výrobu vnějších dílů karosérií je plech dodáván s jednostranným povlakem Zincrometal. Nepovlečená strana je dobrým základem pro běžné procesy předúprav a lakování prováděné u výrobců automobilů. [3]

Tab.2.1 - Principy výroby jednostranně žárově pozinkovaných ocelových plechů.

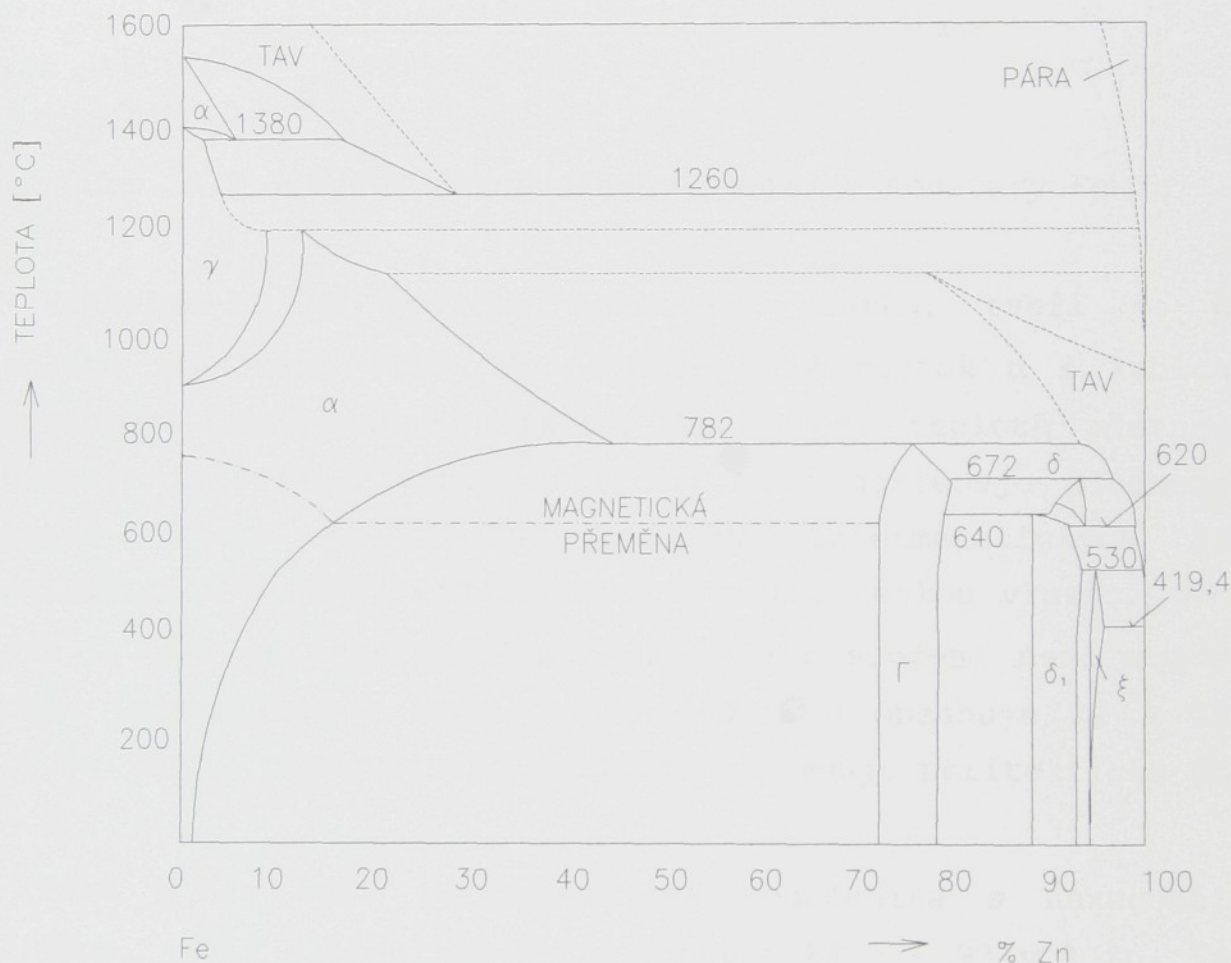
	Nanášení Zn	Další úprava	Charakteristika
PŘÍMÉ ZPŮSOBY			Metoda menisku. Elektrolytické čištění povrchu od oxidů, ARMCO.
			Metoda vlny - - plynem. TAG - SIDMAR.
			Metoda vlny - - ultrazvukem. ASAHY - GLASS.
			Metoda protiběžného nanášecího válce.
NEPŘÍMÉ ZPŮSOBY			Diferenční pozinkování, mechanického odstranění tenké vrstvy z jedné strany pásu.
			Diferenční pozinkování a elektrolytické odstranění tenké vrstvy z jedné strany pásu. NATIONAL STEEL.

Tab.2.2 - Principy uspořádání anod při elektrolytickém pozinkování

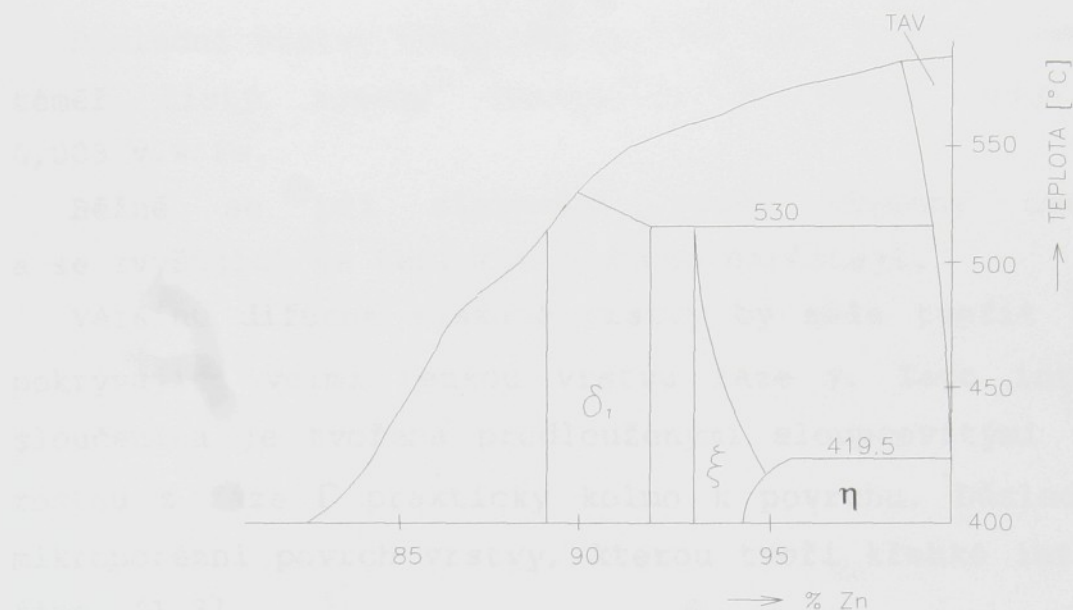
 The diagram shows two circles representing workpieces, one above and one below a horizontal line representing the electrolyte. Two rectangular anodes are positioned between them, connected by a horizontal line. An arrow on the right indicates the direction of electrolyte flow.	Horizontální oboustranné
 The diagram shows two circles representing workpieces, one above and one below a horizontal line. A single rectangular anode is positioned between them. An arrow on the right indicates the direction of electrolyte flow.	Horizontální jednostranné
 The diagram shows two circles representing workpieces, one on the left and one on the right, connected by a vertical line. Two rectangular anodes are positioned between them. An arrow on the right indicates the direction of electrolyte flow.	Vertikální oboustranné
 The diagram shows two circles representing workpieces, one on the left and one on the right, connected by a vertical line. A single rectangular anode is positioned between them. An arrow on the right indicates the direction of electrolyte flow.	Vertikální jednostranné
 The diagram shows a large central circle representing a workpiece. Two smaller circles representing workpieces are positioned on the left and right, connected by a vertical line. Two rectangular anodes are positioned between them. An arrow on the right indicates the direction of electrolyte flow.	Radiální jednostranné

3. Metalurgie žárového zinkování

Žárové zinkování probíhá při teplotě 440 - 740 °C. Nastává při něm reakce mezi zinkovou lázní a ocelí. V povlaku se vytvářejí intermetalické fáze v pořadí stanoveném rovnovážným diagramem soustavy Fe - Zn (obr. 3.1).



Obr. 3.1 - Rovnovázný diagram soustavy Fe-Zn



Obr. 3.2 - Výřez rovnovážného diagramu soustavy Fe-Zn

Vcházíme-li od povrchu ocelového plechu, tvoří se při teplotě zinkování (450 °C) nejprve tuhý roztok α s kubickou prostorově centrovanou mřížkou, který při teplotě místnosti obsahuje nejvýše 5 váhových % Zn. Dále následuje přechodová vrstva, která je sledem křehkých intermetalických fází vznikajících difúzí. První, obvykle velmi tenkou vrstvu, tvoří fáze Γ , což je intermediální fáze. Její složení není uváděno zcela jednoznačně - $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ nebo $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ a obsahuje 72 - 79,4 v.% Zn. Podle rovnovážného diagramu následuje peritektická směs $\Gamma + \delta_1$.

Fáze δ_1 je opět intermetalická sloučenina s hexagonální mřížkou, jejíž složení je FeZn_7 a obsah 88,5 - 93 v.% Zn. Fáze δ_1 tvoří dvě vrstvy, z nichž blíže ocelového povrchu je velmi tenká vrstva δ'_1 s kompaktní strukturou. Druhou vrstvu, vznikající při delším působení Zn na železo, tvoří sloupcovité krystaly a označuje se δ''_1 .

Následující intermetalická fáze označovaná ξ je sloučenina FeZn_{13} s hexagonální mřížkou a tvoří tenké sloupcovité krystaly. Obsah Zn je pouze v rozsahu 93,8 až 94 v.%.

Poslední vrstvy tvoří eutektická směs $\xi + \eta$ a konečně fáze η , téměř čistý zinek, obsahující v tuhém stavu maximálně 0,003 v.% Fe.

Běžně se při zinkování tvoří všechny uvedené fáze a se zvyšující se teplotou a dobou narůstají.

Většinu difúzně získané vrstvy by měla tvořit fáze delta, pokrývající velmi tenkou vrstvou fáze γ . Tato intermetalická sloučenina je tvořena prodlouženými sloupcovitými zrny, která rostou z fáze Γ prakticky kolmo k povrchu. Důsledkem je pak mikroporézní povrch vrstvy, kterou tvoří křehké intermetalické fáze. [1,3]

4. OCHRANNÁ FUNKCE ZINKOVÉHO POVLAKU NA OCELI [1]

Podstatou ochranného působení zinkových povlaků je především chemická bariérová funkce, jejíž základem je vznik tuhých korozních zplodin, které jednak mají výrazně ochranný účinek na vlastní zinkový povlak, jednak fyzikálně i chemicky blokuji místa, kde povlak je pórovitý nebo mechanicky poškozený a ocelový podklad je tím obnažen. Elektrochemická negativnost zinku vůči železu má též význam, v místech styku železa se zinkem působí zinek v soustavě se železem jako anoda a železo chrání (katodová ochrana). Dosah této ochrany je v podmínkách atmosférické koroze plošně omezený (1 až 2 mm) a děje se na úkor zrychlené koroze zinku. Korozní porušení zinkového povlaku se tedy šíří od míst styku se železem (např. na střižných hranách) do plochy povlaku.

Ochranné působení korozních zplodin zinku, které způsobuje, že rychlost atmosférické koroze tohoto kovu je ve srovnání se železem asi o jeden řád menší, souvisí s odlišným reakčním mechanismem funkce stimulátoru a atmosférické koroze, oxidu siřičitého a chloridu s kovem. Se zinkem vytvářejí tyto látky stabilní, velmi málo rozpustné hydroxidsoli, takže každá grammolekula SO_2 zachycená povrchem přemění na korozní zplodinu pouze jeden gramatom zinku. (Jeden gramiont Cl^- - 1/2 gramatomu zinku). Naproti tomu nevznikají při korozi železa stabilní hydroxid soli. Primární zplodinou interakce stimulátoru atmosférické koroze se železem jsou nestabilní soli (FeSO_4 , FeCl_2), které hydrolýzou přecházejí na hydroxidy železité, které jsou podstatou rzi. Přitom se stimulující ionty (SO_4^{2-} vzniklé oxidací SO_2 a Cl^-), vracejí do reakčního mechanismu. Jedna zachycená grammolekula SO_2 rozruší po přeměně na SO_4^{2-} několik desítek gramatomů železa. Totéž platí i o iontech Cl^- .

Zvláštní situace vzniká při těsném styku povrchu zinku a železa, např. v pórech povlaku, ať již inherentní nebo vzniklých mechanickým porušením celistvosti, např. tváření pozinkovaného ocelového plechu. V článku Fe/Zn je zinek rozpouštějící se anodou nejenom z hlediska omezené katodové ochrany obnaženého železa, ale působí též jako akceptor iontů SO_4^{2-} a Cl^- , které v elektrickém poli korozního článku jsou k němu transportovány. Reakcemi se zinkem vznikají již zmíněné hydroxidsoli zinku, které spolu se současně vznikající rzi vytvářejí směsné korozní zplodiny obsahující stimulující ionty převážně v nehydrolyzovatelně vázané formě.

Lze tedy předpokládat, že i necelistvý povlak zinku je do doby jeho téměř úplného rozrušení sto poskytovat podkladové oceli účinnou ochranu tím, že vznikající směsné korozní zplodiny mají ve srovnání se rzí výrazně ochranný charakter. To platí do mezního stavu definovaného takovým stupněm odkorodování zinkového povlaku a obnažení železného podkladu, že elektrolytický transport stimulačních aniontů k zinku přestane být efektivní a železo začne korodovat s jejich aktivní funkcí.

4.1 Ochranná účinnost zinkového povlaku v podmínkách automobilového průmyslu [1]

Při výrobě automobilových karosérií má použití pozinkovaného plechu základní účel: podstatně zvýšit odolnost úplného ochranného systému proti podkorodování, výrazně oddálit korozi ve spárách a v dutinách, kde vlastní nátěrový systém není úplný (v dutinách) anebo je méně kvalitní (spáry, hrany).

Přitom se plný systém karosérie automobilu skládá z těchto složek: ✓ ocelový (případně pokovený) plech,

✓ konverzní povlak (obvykle zinečnatý fosfát),

✓ elektroforetický základní nátěr,

✓ plnič, po vytvrzení přebroušený,

✓ vrchní, obvykle vypalovaný krycí email.

Celková tloušťka organické složky ochranného systému je 70 až 100 μm . Na spodní povrch karosérie se navíc po elektroforetickém základování nanáší za tepla vytvrzovaný tlustovrstvý povlak plastisolu PVC.

Pojem „ochranná účinnost“ zinkového povlaku na oceli je tedy z hlediska využití pokovených plechů pro výrobu automobilů třeba posuzovat s respektováním celé stavby ochranného systému. Vliv dílčích změn ochranné funkce zinkového povlaku je součástí posuzování systému jako celku. Sledování změn ochranné funkce zinkového povlaku tvářením bez respektování vlivu těchto změn na funkci systému jako celku by mohlo vést ke zkreslení. To platí obecně pro jakýkoliv typ pokoveného karosářského plechu, zejména ale pro použití Ferozinku, jehož povlak je svojí podstatou slitinový s obsahem Fe, které odpovídá fázi γ soustavy Zn/Fe a obsahuje více než 20 % Fe. Slitinový charakter povlaku podmiňuje vznik směsných ochranných zplodin i na mechanicky neporušeném, celistvém povlaku. Do jaké míry se ale projeví ochranná funkce zplodin na obnažené oceli při porušení celistvosti povlaku po přetvoření nelze bez experimentu odhadnout. Totéž platí o případném vlivu necelistvosti povlaku (funkce článku povlakový kov - železo) na průběh fosfátování a na jakost fosfátového povlaku. Následné elektroforické nanášení základního nátěru a jakost nátěru též může být těmito změnami ovlivněno.

5. URČOVÁNÍ MEZNÍCH STAVŮ PŘETVOŘENÍ PŘI TAŽENÍ VÝLISKŮ Z OCELOVÝCH PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY A JEJICH DEFINICE [1]

Při výrobě automobilu jde především o tažení výlisků nepravidelných tvarů karosářského typu, jenž jsou obvykle složitého prostorového tvaru a obrysu a při jejich tažení je plech podrobován komplexnímu přetvoření, které v sobě zahrnuje:

- ↳ prvky hlubokého tažení, vyznačujícího se velkými posuvy plechu při stavech napjatosti tah - tlak v oblasti přidržovače a ohybem a narovnáním v oblasti tažné hrany.
- ↳ vypínáním v povrchových plochách výlisku při stavech napjatosti tah - tah. Plocha povrchu výlisku je většinou větší než plocha v oblasti přidržovače.
- ↳ rozšiřování předstřižených funkčních nebo technologických otvorů.
- ↳ lemování okrajových částí výlisků včetně přechodových rádiusů.

Obecným kritériem hodnocení lisovatelnosti daného dílu je dodržení požadavků, kladených na výlisek ve vztahu k jeho dalšímu technologickému zpracování (např. úspěšná realizovatelnost následných operací tváření, spojování a povrchové úpravy) a funkčnímu uplatnění (tvarová a rozměrová přesnost, tuhost, stabilita, odolnost proti únavovým lomům apod.).

Ve vztahu k vlastní technologii tažení výlisků je kategorickým požadavkem celistvost bez výskytu trhlin a dodržení požadované tvarové a rozměrové přesnosti a kvality povrchu. Příčinou zmetkovitosti může být místní výskyt vln, povrchových vrásek i nepřípustné poškození povrchu plechu působením nástroje.

V případě tažení výlisku s povrchově upravených plechů je navíc nutno zajistit splnění požadavků zachování potřebné míry ochranné funkce povlaku. Příčinou jejího snížení (ve srovnání s výchozím stavem u netvářeného plechu), eventuální ztráty, mohou být následující průvodní jevy:

1. Zmenšení tloušťky povlaku

K tomu může dojít:

- v souvislosti s plastickou deformací základního materiálu (za předpokladu dostatečné plastičnosti povlaku), např. v oblastech vypínání, ohybů a rozšiřování.
- působením nástroje při realizaci posuvů, a to zejména v oblasti brzdících lišt a tažných rádiusů a při kalibraci.

2. Při nedostatečné plastičnosti povlaku (včetně případné mezivrstvy) a nedokonalém spojení se základním materiálem mohou vznikat v povlaku **trhliny**, nebo docházet i k jeho **odlupování**. Lze předpokládat, že k těmto jevům bude docházet v těch plasticky deformovaných oblastech, kde se uplatňují především tahová napětí.

5.1 Definování diagramu mezních přetvoření [4]

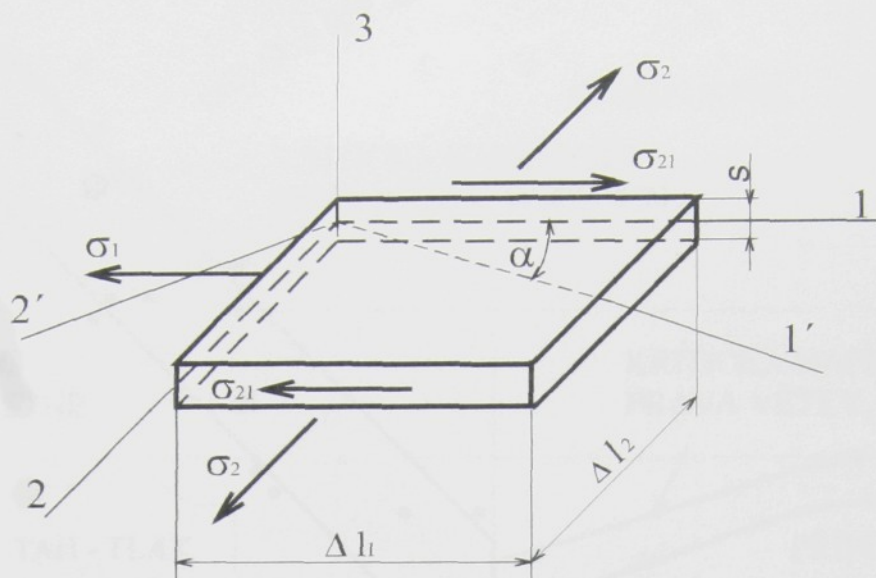
Při lisování souvisí ztráta procesu přetvoření s vyčerpáním schopnosti libovolného elementu součásti (obr.5.1) přenášet tvářecí sílu.

Mezní stupeň daného plechu závisí i na stavu napjatosti v průběhu tažení. Označme hlavní normálová napětí v rovině plechu σ_1, σ_2 ($\sigma_3 = 0$), přičemž $|\sigma_1| > |\sigma_2|$ a odpovídající přetvoření φ_1, φ_2 jsou definována jako logaritmické deformace

$$d\varphi = \frac{dl}{l} \quad (5.1)$$

Rovinnou napjatost lze vyjádřit

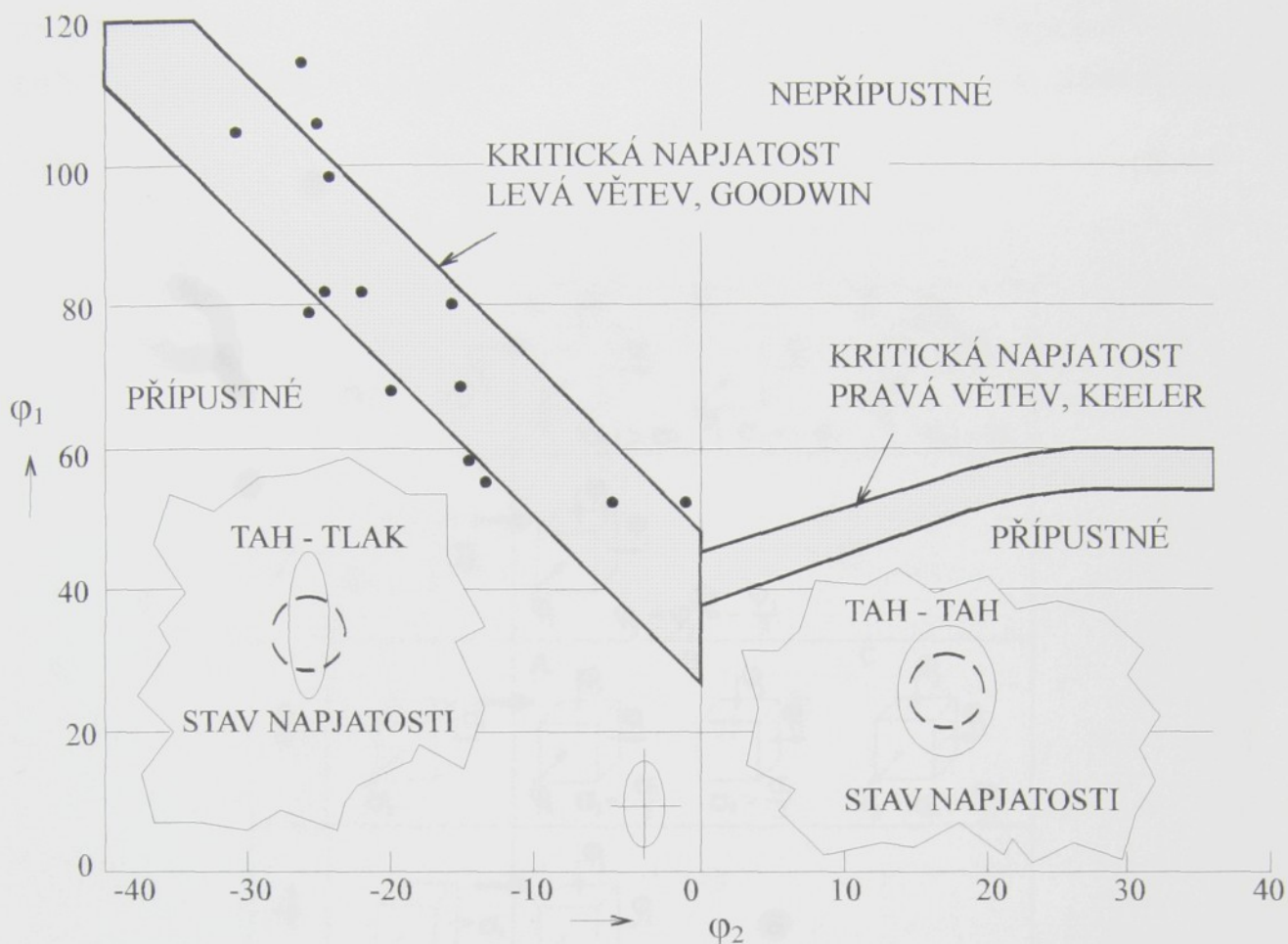
$$1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1 : m_\sigma : 0, \quad m_\sigma = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}, \quad m_r = \frac{\sigma_{21}}{\sigma_1} \quad (5.2)$$



Obr.5.1 - Vytknutý element na výlisku (1,2 - rovina plechu)

Poprvé Keeler s Goodwinem v r.1965 navrhli sestavit diagram mezních přetvoření jako závislost většího přetvoření φ_1 na menším přetvoření φ_2 v rovině plechu. v tomto případě hodnoty logaritmických deformací φ_1 a φ_2 zjistili pomocí deformačních sítí na rozmanitých výliscích. Takto získaný diagram je na obr.5.2.

Jednotlivé stavy napjatosti charakterizované opět ukazatelem m_σ (pro prosté zatěžování $m_\sigma = \text{konst.}$) jsou v tomto diagramu představovány paprsky vycházejícími z počátku souřadného systému. Tedy diagram s těmito souřadnými osami vyjadřuje závislost velikosti mezních přetvoření na napjatosti. **Křivka** (pásma) **mezních přetvoření** (KMP) vymezuje v diagramu dvě plochy příslušné přípustným (pod křivkou) a nepřípustným (nad křivkou) přetvořením. Křivka (pásma) mezních přetvoření tvoří hranici obou ploch a určuje tak kritická přetvoření pro daný mezní stav. Na křivce je zřetelné minimum, které ji rozděluje na dvě větve, levou a pravou.



Obr.5.2 - Pásmo mezních přetvoření experimentálně určené Goodwinem a Keelerem

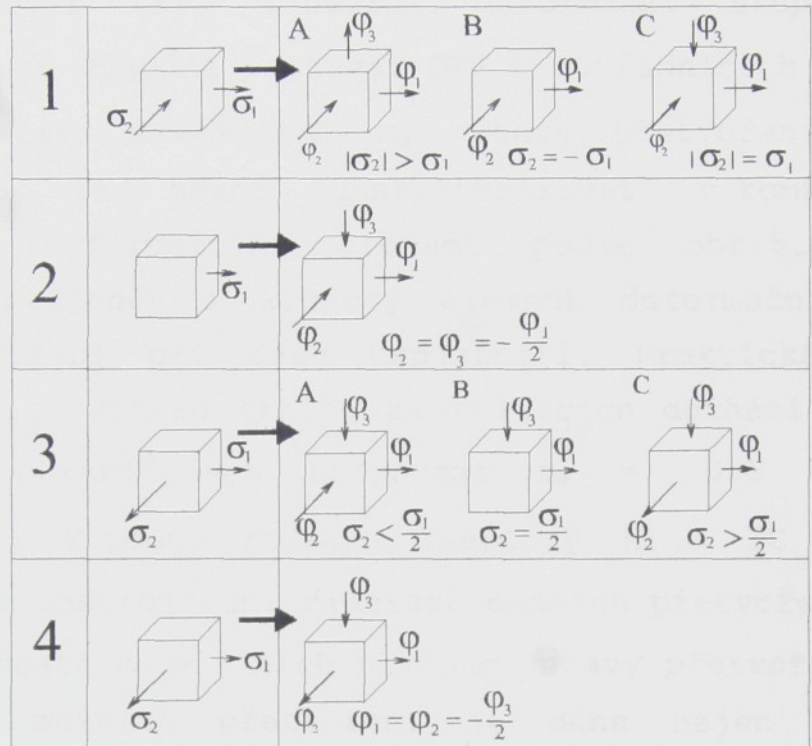
Při tažení výlisků se obecně uplatňují rovinné stavy napjatosti patrné z obr.5.3. Jednotlivé případy se postupně vyskytují v oblasti přidržovače (1), v okrajových oblastech výlisku se mohou vyskytovat i stavy blízké jednoosému tahu (2), ale na převážné části povrchu výlisku je dvojosá tahová napjatost (3), přičemž (4) lze považovat za hraniční případ stavu (3), vypínání. Na výlisku nelze určit přímo velikost napětí. Je však možné pomocí deformační sítě bezprostředně změřit hodnoty přetvoření jako následek působící napjatosti. Pak je výhodné pro prosté zatěžování definovat ukazatel stavu přetvoření m_ϕ vztahem

$$m_\phi = \frac{\phi_2}{\phi_1} \quad (5.3)$$

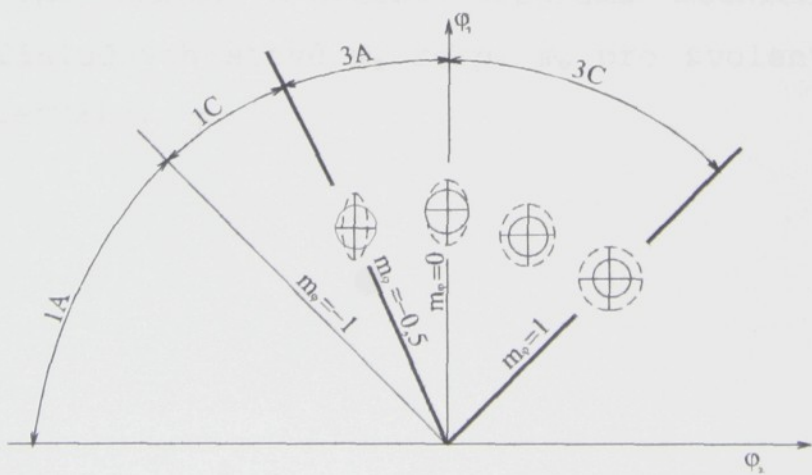
Za předpokladu kvaziizotropního materiálu lze na základě teorie tečení jednoduše vyjádřit vztah mezi napjatostí a přetvořením

jako

$$m_\varphi = \frac{1 - 2m_\sigma}{m_\sigma - 2} \tag{5.4}$$



Obr.5.3 - Stavy napjatosti a přetvoření, které se vyskytují při tažení výlisků



Obr.5.4 - Stavy přetvoření na výliscích charakterizované ukazatelem m_φ

Je zřejmé, že ukazatel stavu přetvoření m_φ je ve stejném intervalu jako ukazatel m_σ , čili $m_\varphi \in \langle -1, 1 \rangle$. Obdobně jako u m_σ paprsky vycházející z počátku souřadného systému určují stav přetvoření $m_\varphi = \text{konst.}$ (proporcionální přetvoření), čili v tomto případě určují tzv. lineární **deformační stopu**. Vzhledem k uvedenému je výhodné používat DMP v souřadnicích $\varphi_2 - \varphi_1$ a přímo ukazatele stavu přetvoření m_φ . Stavy přetvoření znázorněné na obr.5.3 je možné charakterizovat v tomto diagramu příslušnými deformačními stopami podle obr.5.4. Současně je v něm znázorněn i kruhový element deformační sítě před a po přetvoření při dané napjatosti. Praktické zkušenosti ukázaly, že ke vzniku trhlin na výliscích dochází při stavech přetvoření ohraničených hodnotami $m_\varphi = -0,5$ a $m_\varphi = 1$, ($m_\sigma \in \langle 0, 1 \rangle$). V tomto rozsahu (sektory 3A a 3C na obr.5.4) je nutno při sestrojování diagramů mezních přetvoření modelovat stavy napjatosti m_σ a z nich plynoucí stavy přetvoření m_φ .

Velikost mezních přetvoření je dána nejen plastičností plechu, ale je i výrazně závislá na způsobu definování mezního stavu. Za ten lze považovat na jedné straně dosažení meze pevnosti materiálu, na druhé straně až porušení soudržnosti plechu tvárným lomem. K určení diagramu mezních přetvoření v rozsahu příslušných stavů m_σ resp. m_φ pro zvolený mezní stav z daného intervalu.

6. NÁVRH METODIKY URČOVÁNÍ VLIVU PŘETVOŘENÍ NA STAV POVLAKU OCELOVÉHO PLECHU V PODMÍNKÁCH VYPÍNÁNÍ

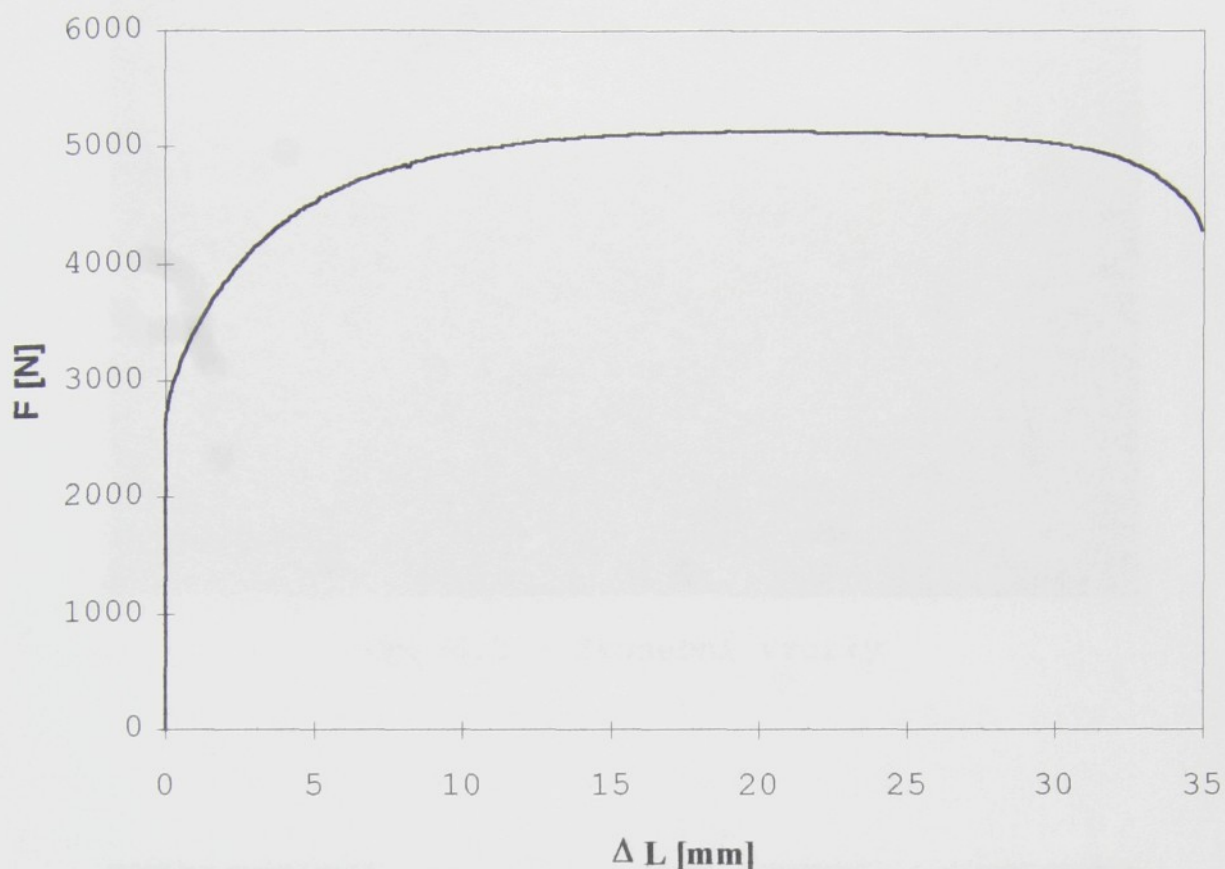
K hodnocení vlivu přetvoření povlaku v podmínkách vypínání byla zvolena metodika modelování podmínek stavů napjatosti odpovídajících povrchovým částem výlisku s použitím metody a zařízení KPT TU v Liberci. Jde o modelování různých stavů přetvoření tažením (vypínáním) nástřihů proměnné šířky polokulovým tažníkem.

6.1 Charakteristika materiálu

Zkušebním materiálem byl ocelový plech elektrolyticky pozinkovaný FeP05 ZE 75/75 PH. Výrobcem tohoto plechu je firma Voest Alpine, Linz - Rakousko. Mechanické hodnoty plechu byly zjištěny zkouškou tahem [7, 8, 9] na zkušebních normalizovaných tyčkách o tloušťce 0,9 mm, šířce 20,5 mm a délce zkušebního úseku 80 mm. Zkušební tělesa byla z plechu odebrána jednak ve směru válcování 0° a též kolmo na směr válcování 90°. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.1 a graf zkoušky tahem je na obr.6.1.

Tab.6.1 - Materiálové hodnoty plechu FeP05 ZE 75/75 PH

směr odebrání	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_H [%]	A_{80} [%]	n [-]	r [-]
0°	154	277.7	24.88	43.92	0.227	1.589
90°	157.9	274.1	23.77	43.72	0.223	2.047

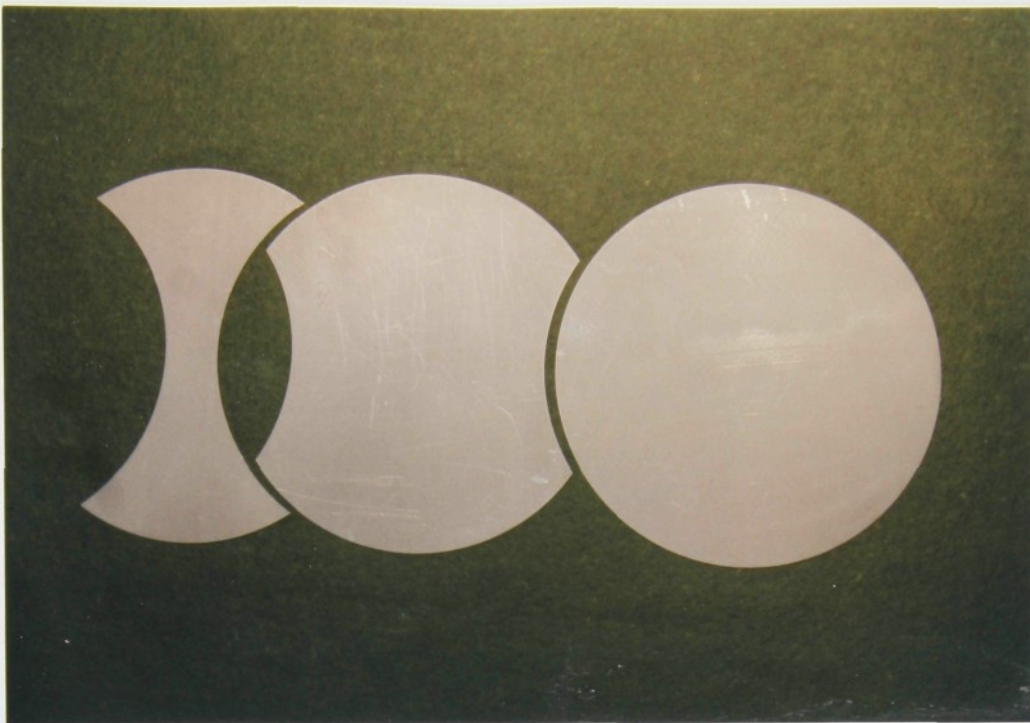


Obr.6.1 - Závislost získaná zkouškou tahem

6.2 Příprava zkušebních vzorků

6.2.1 Zkušební vzorky

Zkušebními tělesy byly tvarově upravené nástřihy o průměru 210 mm s vystřiženými segmenty proměnného poloměru. Tímto způsobem se získaly vzorky s různou šířkou střední části, a to konkrétně šířka 30, 140, 210 mm - obr.6.2. Šířka 30 mm byla označena jako deformační stopa (DF) **1**, šířka 140 mm jako DF **2** a šířka 210 mm jako DF **3**. Různou šířkou se zajistilo dosažení různých stavů napjatosti. Vzorek byl vystřižen v jediném nástroji umístěném na výstředníkovém lise LENP 40 - obr.6.3. Odstřižení kruhového segmentu tak, aby měl nástřih ve střední části požadovanou šířku, se zajistí pomocí pevného dorazu na čele střižníku.



Obr.6.2 - Zkušební vzorky



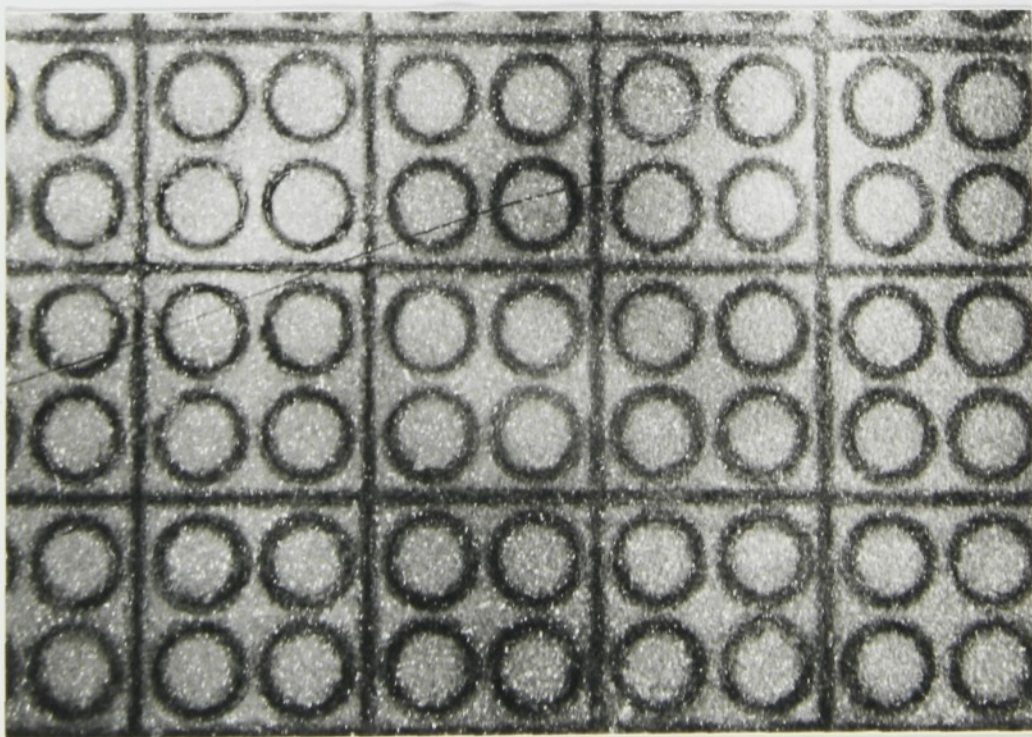
Obr.6.3 - Střížný nástroj umístěný na lise LENP 40

Jak je uvedeno v literatuře /4/, odstraní se použitím těchto vzorků nedostatek, kterým je výskyt lomu v blízkosti tažné hrany a dojde k porušení tělesa na vrcholu vytaženého vrchlíku, kde jsou přetvořené elementy deformační sítě snadno měřitelné.

6.2.2 Deformační síť a metoda jejího vytváření

K určení přetvoření je nutné na zkušební vzorek nanést deformační síť. V tomto případě byla zvolena deformační síť tvořená kruhovými a čtvercovými elementy vzájemně se neprotínajícími, obr.6.4.

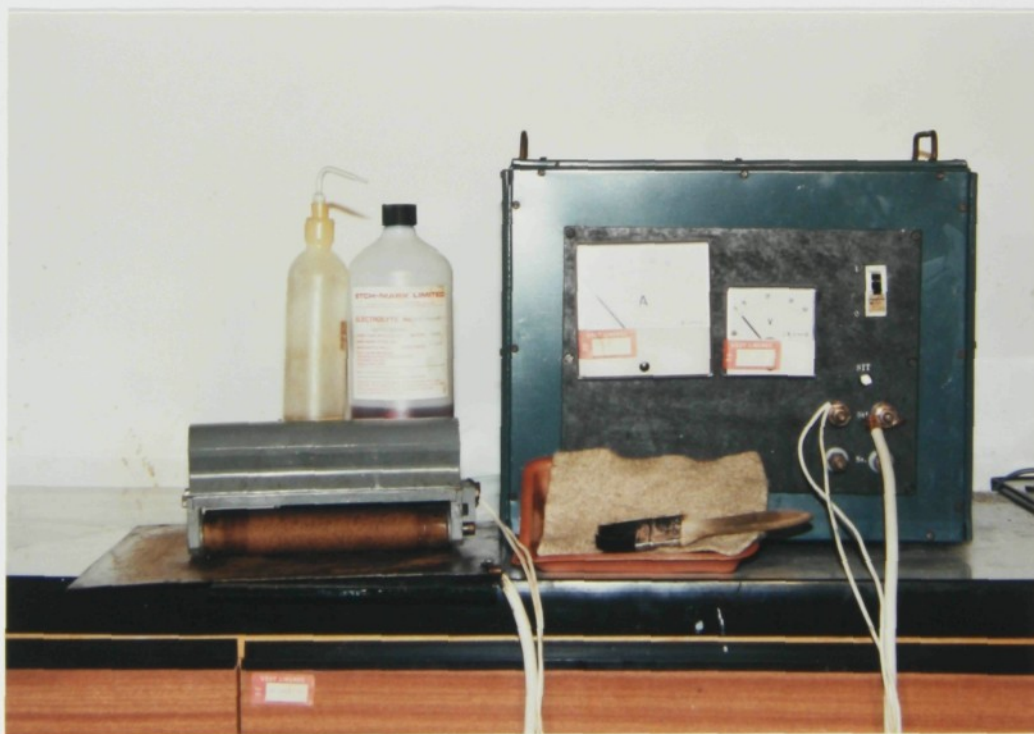
Výběr vhodné metody nanášení ovlivnily požadavky jako přesnost, složitost vytváření, dostupnost potřebných zařízení, možnost proměřování a celková spolehlivost získaných údajů o velikosti realizovaného přetvoření. Vzhledem ke všem těmto požadavkům byla vybrána metoda elektrolytického leptání.



Obr.6.4 - Deformační síť vytvořená na zkušebním vzorku

Vlastní metodický postup byl následující: na acetonem očištěné vzorky bylo přiloženo síto s negativní sítí a též plstěná podložka navlhčená elektrolytem SC 35 (firmy ETCH-MARK LIMITED). K vytvoření obrazu pozitivní sítě došlo průchodem elektrického proudu (o napětí $U = 16 \text{ V}$) elektrolytem mezi plechem, sítím a válečky, které jsou po plstěné podložce vedeny určitou rychlostí. Zvolená rychlost musí zajistit správné zaleptání (odpovídající jsou asi $3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$). Po vyleptání se zbytek elektrolytu neutralizuje, vzorek se opláchne lihem a nakonzervuje olejem. Zařízení pro vytváření sítí výše popsaným způsobem bylo vyrobeno na KPT TU v Liberci, obr.6.5.

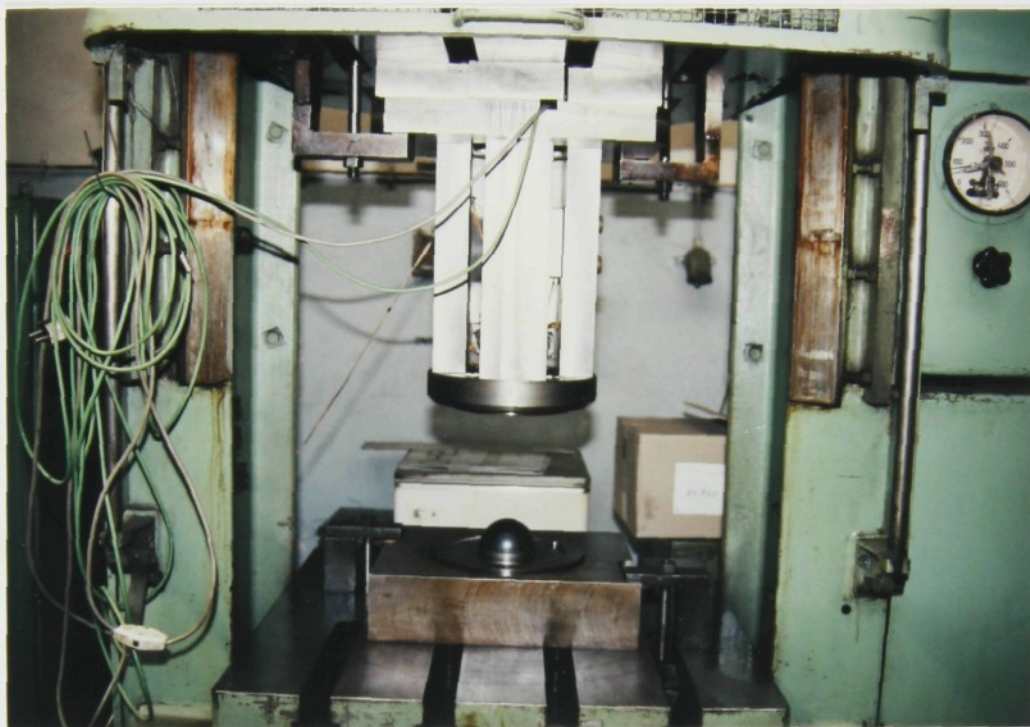
Vytvořená síť byla kontrastní a dobře čitelná v mikroskopu. Výchozí rozměry kruhového elementu sítě ve dvou vzájemně kolmých směrech byly $L_{01} = 2,27 \text{ mm}$ a $L_{02} = 2,28 \text{ mm}$ (směr 1 - kolmý na směr válcování a směr 2 - totožný se směrem válcování).



Obr.6.5 - Zařízení na výrobu deformačních sítí

6.3 Zkušební zařízení

Experiment byl prováděn v nástroji umístěném na dvojčinném hydraulickém lise CBA 300/63, obr.6.6. Systém konstrukce



Obr.6.6 - Tažný nástroj umístěný na lise CBA 300/63

nástroje umožňuje silové ovládání přidržení plechu mezi tažnicí a přidržovačem (beran ovládaný horním hydraulickým válcem) a tažníku (spodní hydraulický válec). Rychlost pohybu tažníku je $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, při zvětšení přetvárného odporu dojde k přepnutí na vysokotlaké čerpadlo a snížení rychlosti tažníku na $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Spodní část nástroje se sestává pouze z upínací desky (zajišťující i možnost středění na tažník) a přidržovače. V čelní ploše přidržovače je zabezpečeno osové založení nástřihů a středění tažnice. Ta je upevněna v opěrné desce. Mezi horní upínací deskou a opěrnou deskou jsou rozpěrky, které vytvářejí prostor pro umístění televizní kamery.

6.4 Realizace přetvoření

Deformační stopy 1, 2 a 3 byly zatěžovány až do okamžiku vzniku lokálního ztenčení, které bylo definováno jako mezní stav přetvoření. Ostatní vzorky jednotlivých deformačních stop se rovnoměrně rozdělily tak, aby obsáhly interval tažené hloubky od nulové deformace po mezní stav přetvoření. Jednotlivým hloubkám tažení tak odpovídala vždy určitá hodnota intenzity deformace, která se zjistila proměřením rozměrů elementů deformační sítě na optickém mikroskopu firmy ZEISS.

Při tažení byla mezi vzorek a tažník vložena plastová fólie natřená mazivem značky A00.

6.5 Zjišťování přetvoření

Na optickém mikroskopu firmy ZEISS (obr.6.7) se určily rozměry elementů deformační sítě v oblasti vytaženého vrchlíku vzorku.



Obr.6.7 - Optický mikroskop firmy ZEISS

6.5.1 Matematické určení intenzity přetvoření

Ze zjištěných rozměrů elementů deformační sítě ve směrech hlavních normálních napětí se určila velikost poměrných přetvoření $\epsilon_{1,2}$ ze vztahu

$$\epsilon_{1,2} = \frac{L_{1,2} - L_{01,2}}{L_{01,2}}, \quad (6.1)$$

kde $L_{1,2}$ jsou konečné hodnoty délky elementů sítě a $L_{01,2}$ jsou počáteční rozměry elementů sítě. Následně se vypočítaly hodnoty logaritmických přetvoření podle vztahu

$$\varphi_{1,2} = \ln (1 + \epsilon_{1,2}). \quad (6.2)$$

Nakonec mohly být stanoveny hodnoty intenzity přetvoření ze vztahu

$$\varphi_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_1 \cdot \varphi_2} \quad (6.3)$$

6.5.2 Závislost intenzity přetvoření na hloubce tažení

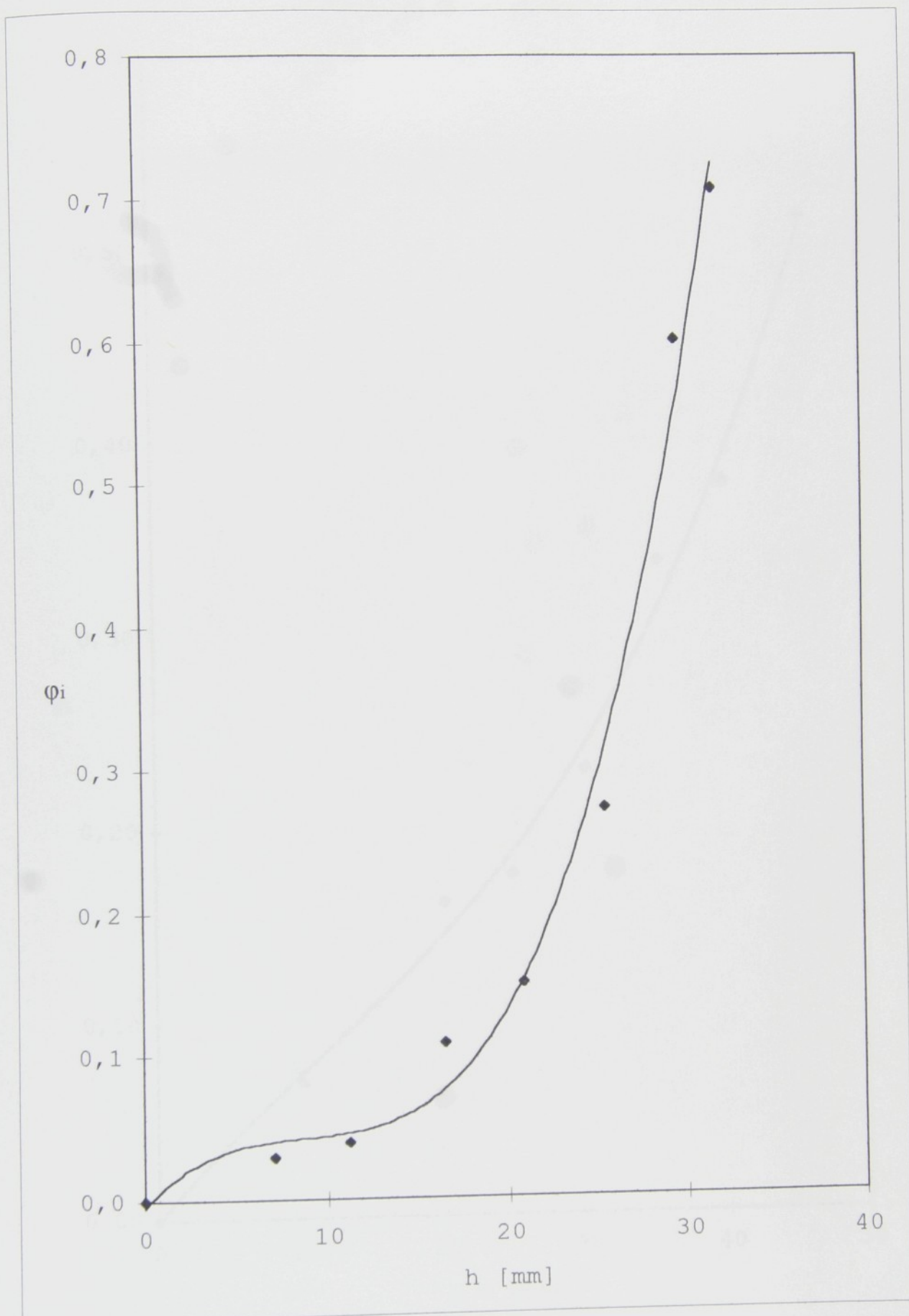
Určením hodnot intenzity přetvoření mohla být sestavena její závislost na hloubce tažení od nuly až po mezní stav. Tato závislost byla vytvořena pro všechny tři deformační stopy. Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.2.

Tab.6.2 - Tabulka hodnot hloubky a intenzity přetvoření

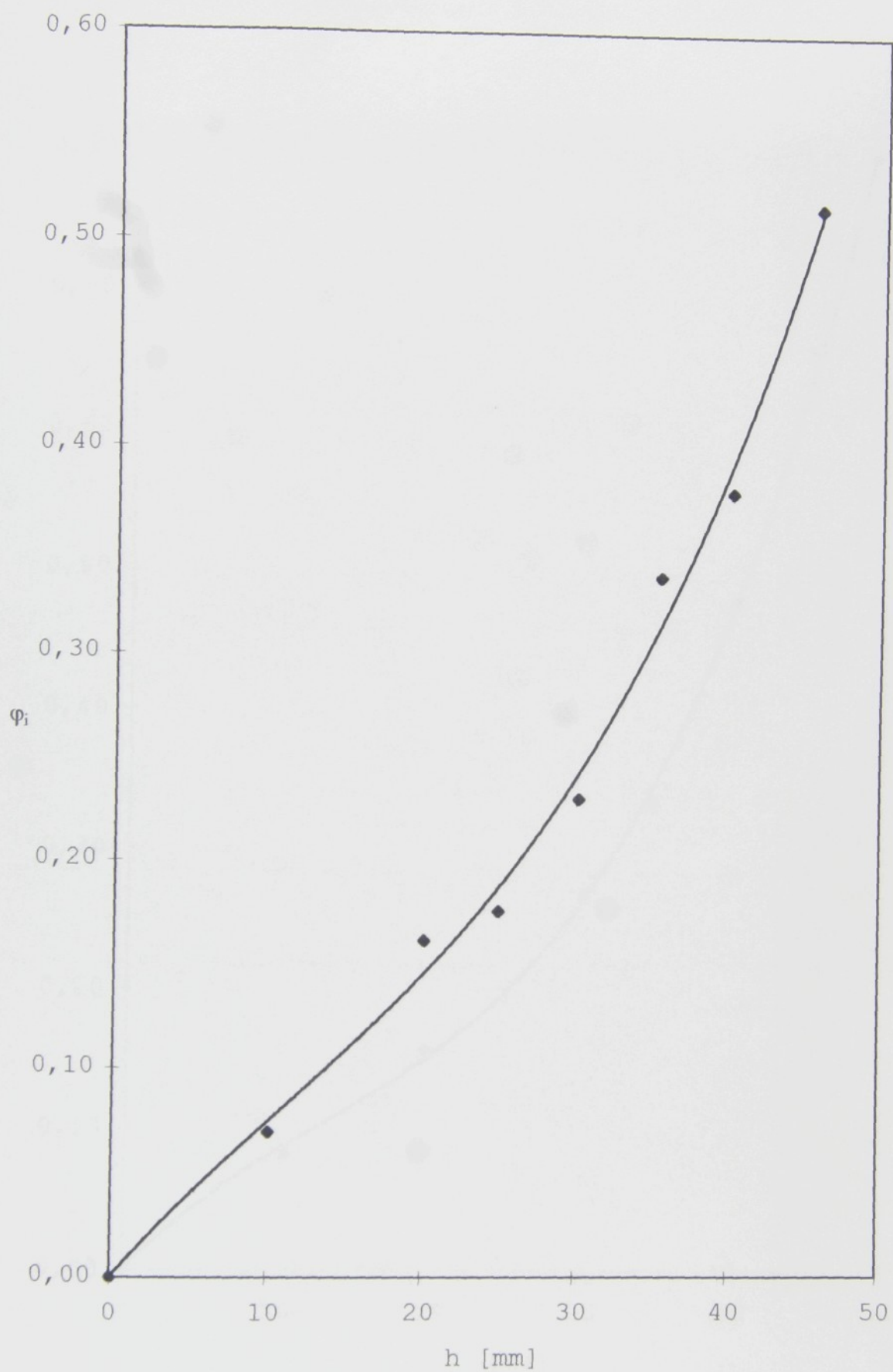
Deformační stopa	Číslo měření	Hloubka h [mm]	Intenzita přetvoření φ_i
1	0	0	0
	1	7,075	0,029
	2	11,2	0,039
	3	16,563	0,108
	4	20,9	0,150
	5	25,5	0,272
	6	29,667	0,601
	7	31,75	0,707
2	0	0	0
	1	10,075	0,069
	2	20,075	0,162
	3	24,925	0,176
	4	30,125	0,231
	5	35,4	0,338
	6	40,063	0,379
	7	45,7	0,517
3	0	0	0
	1	10,375	0,082
	2	19,475	0,157
	3	29,925	0,269
	4	34,425	0,335
	5	39,95	0,481
	6	44,775	0,662
	7	48,675	0,802

Číslo měření 7 znamená mezní stav.

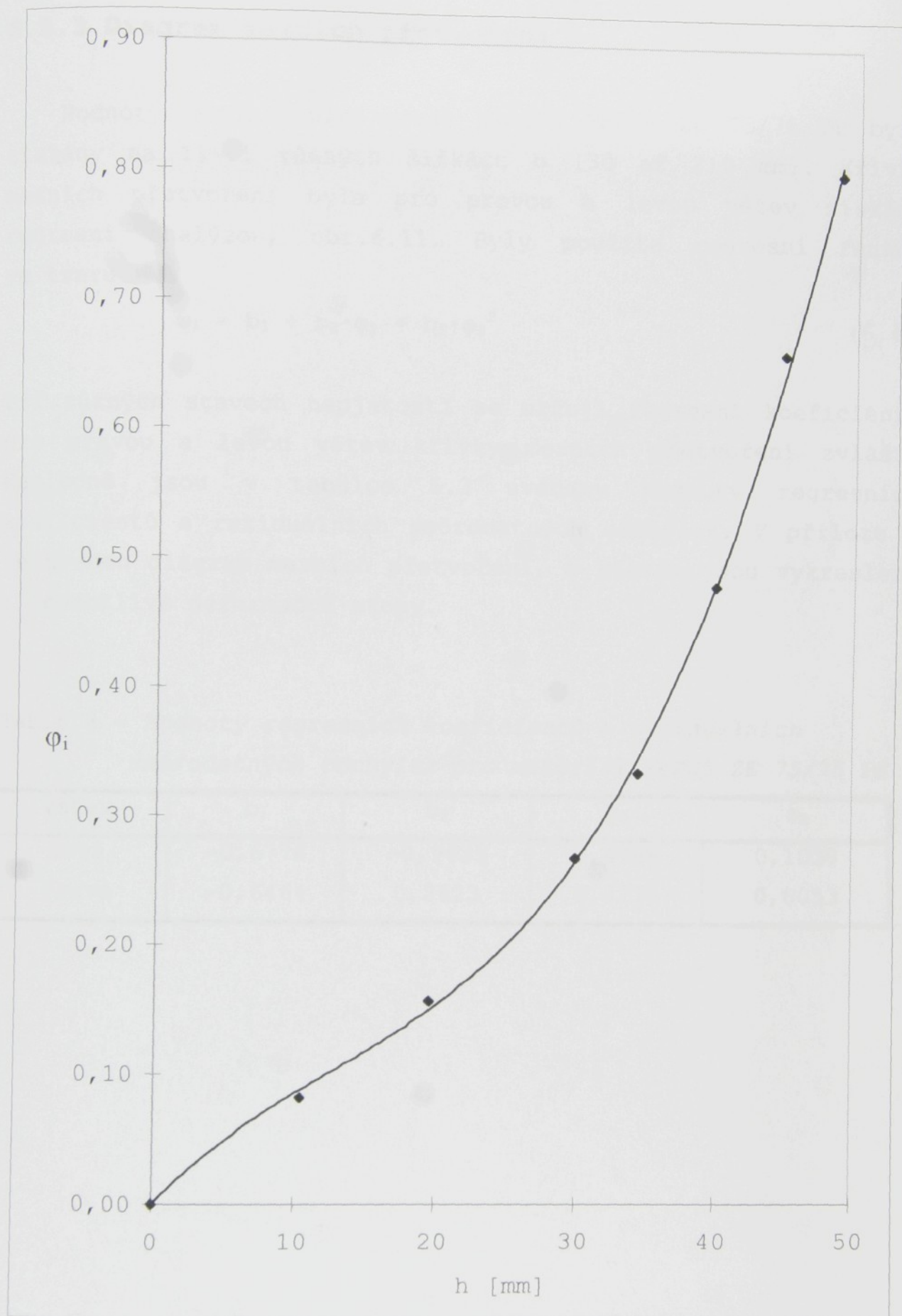
Závislosti intenzity deformace na hloubce tažení jsou na obrázcích 6.8, 6.9, 6.10.



Obr.6.8 - Závislost intenzity přetvoření na hloubce tažení
pro deformační stopu 1



Obr.6.9 - Závislost intenzity přetvoření na hloubce tažení
pro deformační stopu 2



Obr.6.10 - Závislost intenzity přetvoření na hloubce tažení
pro deformační stopu 3

6.5.3 Diagram mezních přetvoření

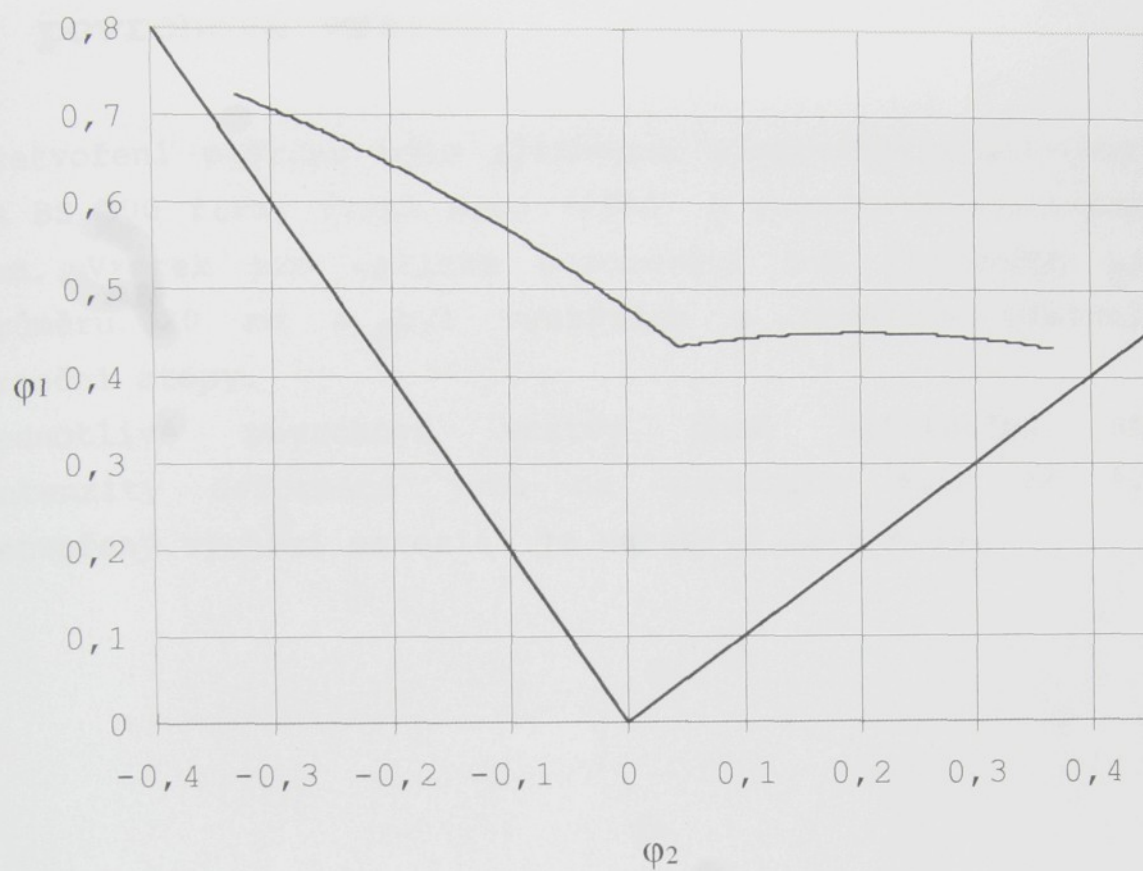
Hodnoty mezních přetvoření plechu FeP05 ZE 75/75 PH byly získány na 11-ti různých šířkách b (30 až 210 mm). Křivka mezních přetvoření byla pro pravou a levou větev získána regresní analýzou, obr.6.11. Byly použita regresní funkce ve tvaru

$$\varphi_1 = b_1 + b_2 \cdot \varphi_2 + b_3 \cdot \varphi_3^2 \quad (6.4)$$

Při různých stavech napjatosti se určují regresní koeficienty pro pravou a levou větev křivky mezních přetvoření zvlášť. Následně jsou v tabulce 6.3 uvedeny hodnoty regresních koeficientů a reziduálních směrodatných odchylek. V příloze 1 je uveden diagram mezních přetvoření, v kterém jsou vykresleny i jednotlivé deformační stopy.

Tab.6.3 - Hodnoty regresních koeficientů a reziduálních směrodatných odchylek pro materiál FeP05 ZE 75/75 PH

větev	b_1	b_2	b_3	S_R
Levá	-0,6778	-0,9635	0,4788	0,1038
Pravá	-0,6464	0,2623	0,4235	0,0053



Obr.6.11 - Diagram mezních přetvoření plechu FeP05 ZE 75/75 PH

6.6 Mikroskopické sledování přetvoření povrchové vrstvy

Přetvoření povrchu bylo sledováno elektronovým mikroskopem TESLA BS 300 firmy TESLA Brno (1983) s rozlišovací schopností 10 nm. Vzorek pro optické pozorování byl kruhového tvaru o průměru 20 mm a byl vystřižen z vrchlíku přetvořené deformační stopy.

Jednotlivé povrchové vrstvy dané deformační stopy a intenzity deformace jsou na obrázcích 6.14 až 6.43. Nepřetvořený výchozí materiál je na obr.6.12 a 6.13.



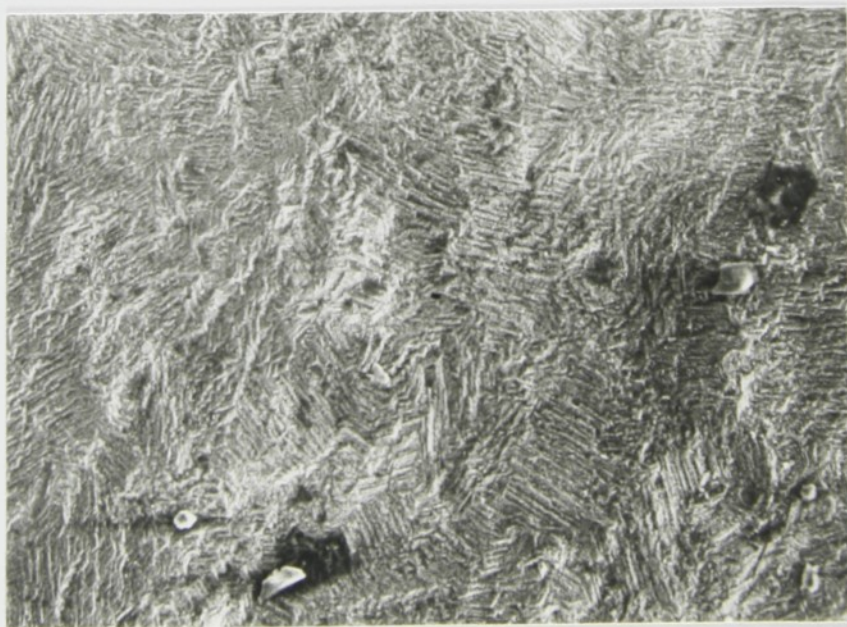
Obr.6.12 - Nepřetvořený výchozí materiál,
60x zvětšeno



Obr.6.13 - Nepřetvořený výchozí materiál,
300x zvětšeno



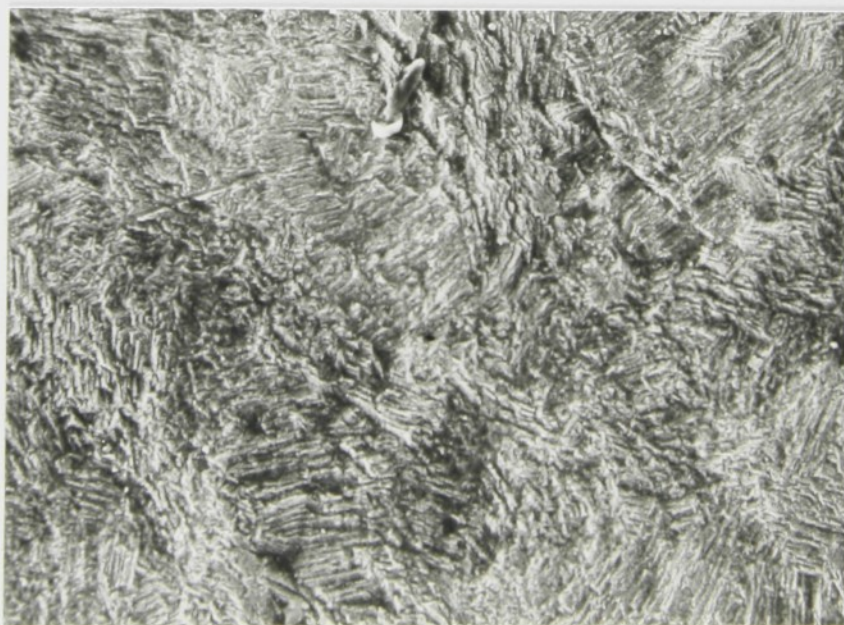
Obr.6.14 - Deformační stopa 1, $\varphi_i = 0,108$
60x zvětšeno



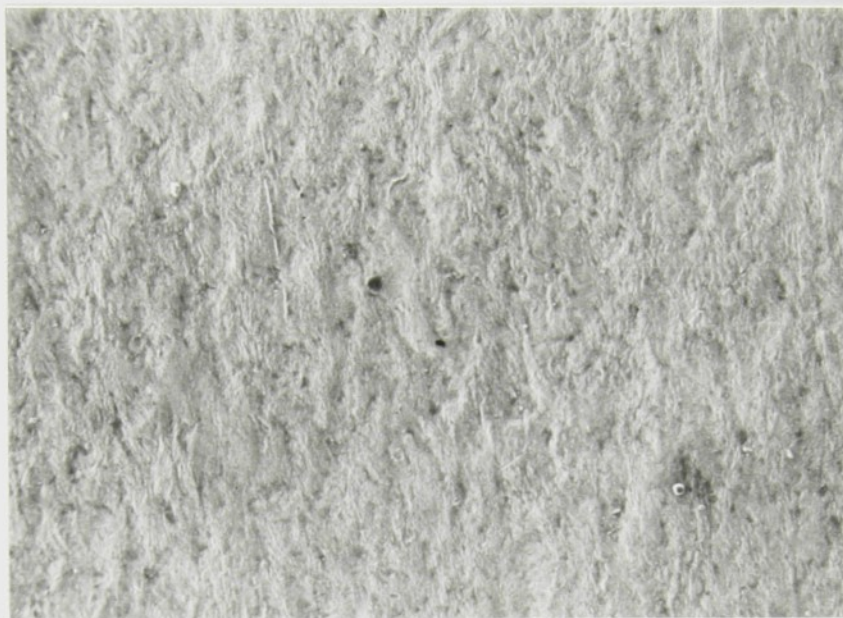
Obr.6.15 - Deformační stopa 1, $\varphi_i = 0,108$
300x zvětšeno



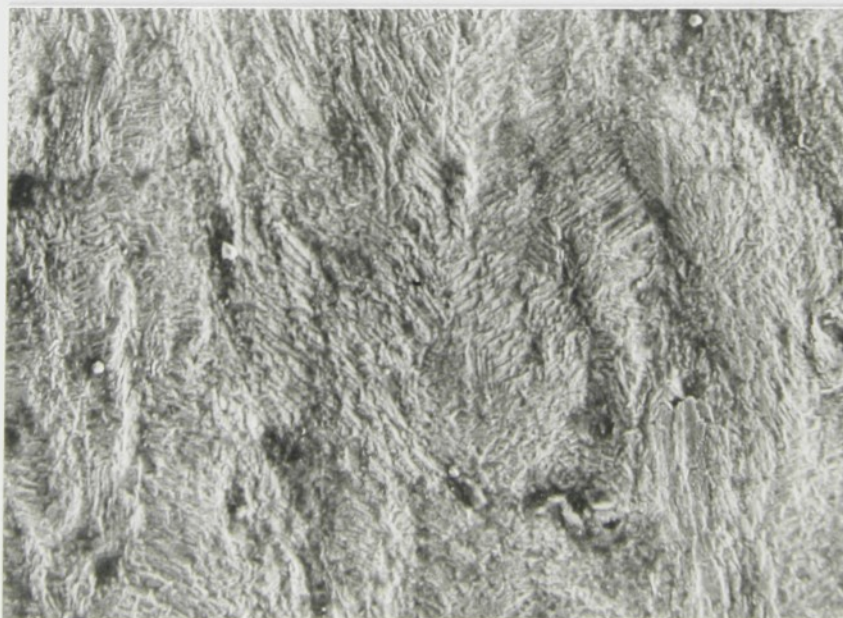
Obr.6.16 - Deformační stopa **1**, $\varphi_i = 0,208$
60x zvětšeno



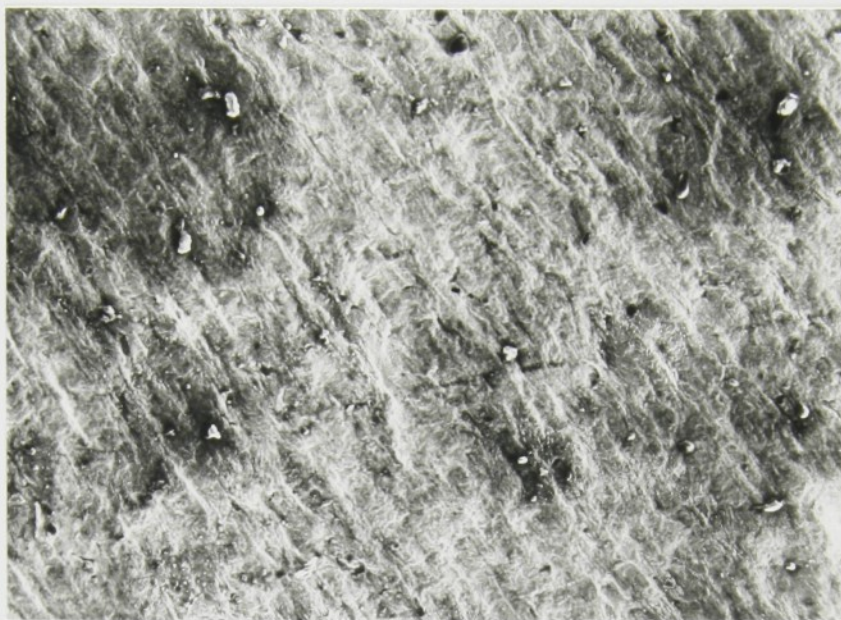
Obr.6.17 - Deformační stopa **1**, $\varphi_i = 0,208$
300x zvětšeno



Obr.6.18 - Deformační stopa 1, $\varphi_i = 0,309$
60x zvětšeno



Obr.6.19 - Deformační stopa 1, $\varphi_i = 0,309$
300x zvětšeno



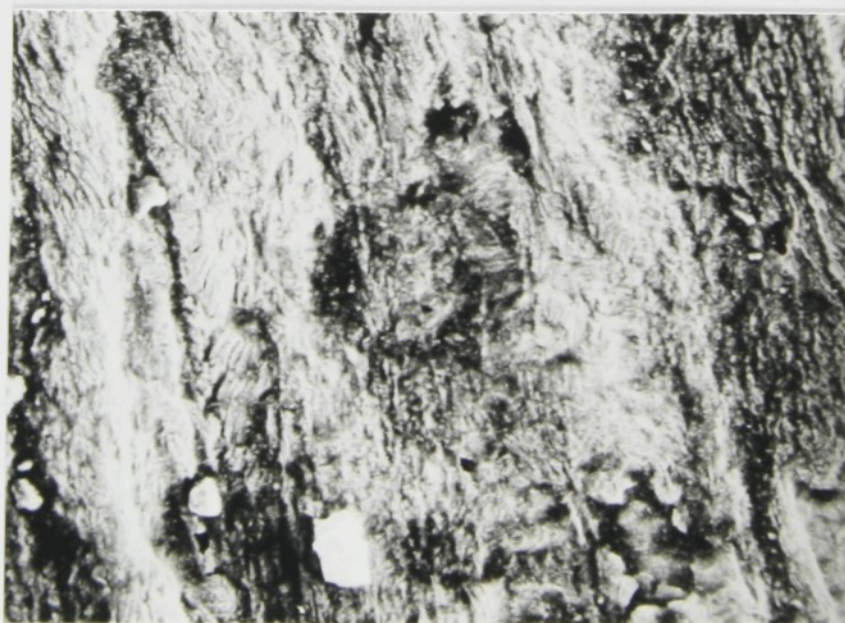
Obr.6.20 - Deformační stopa **1**, $\varphi_i = 0,416$
60x zvětšeno



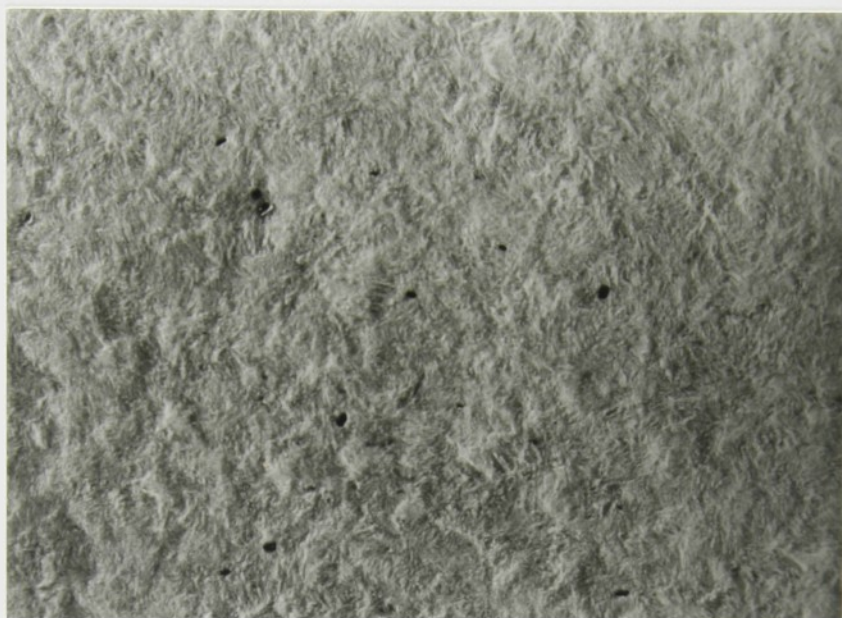
Obr.6.21 - Deformační stopa **1**, $\varphi_i = 0,416$
300x zvětšeno



Obr.6.22 - Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,515$
60x zvětšeno



Obr.6.23 - Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,515$
300x zvětšeno



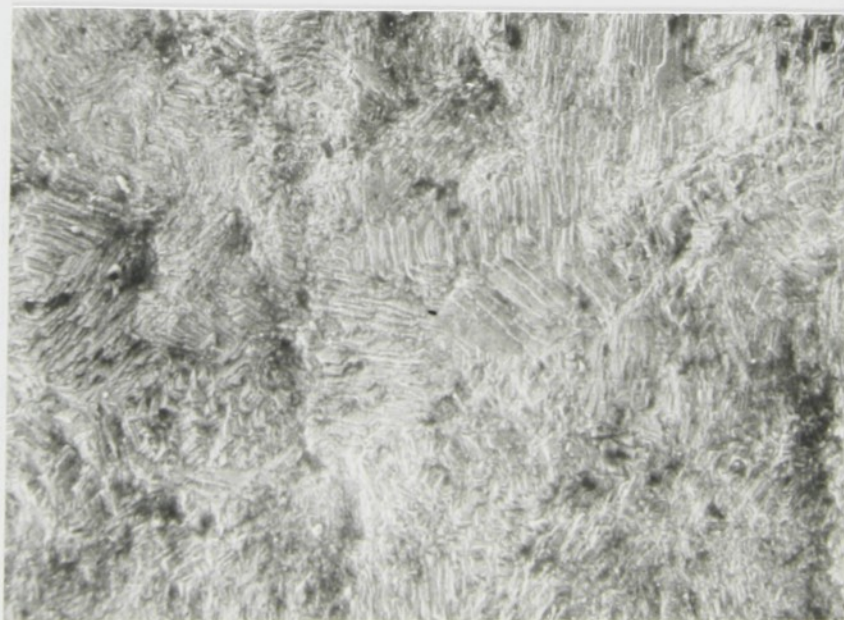
Obr.6.24 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,129$
60x zvětšeno



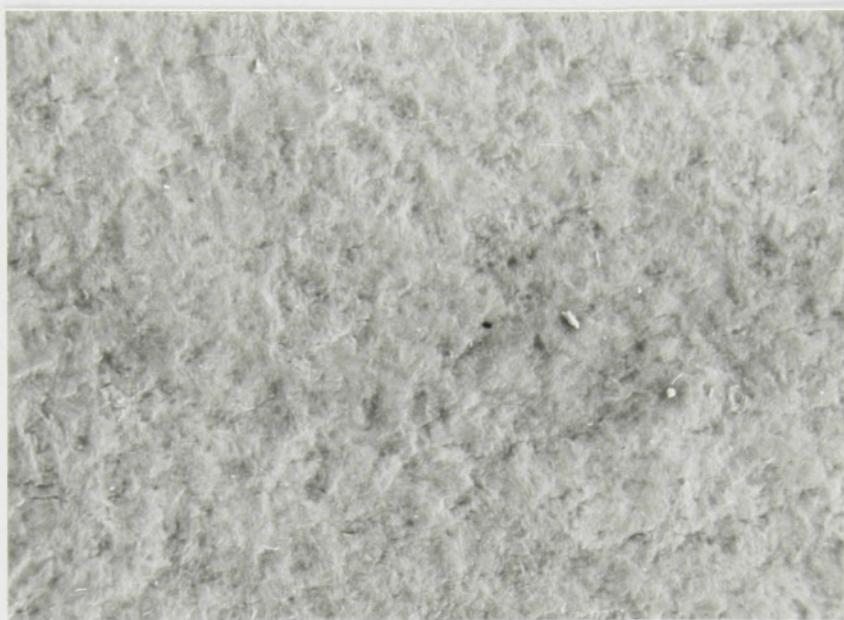
Obr.6.25 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,129$
300x zvětšeno



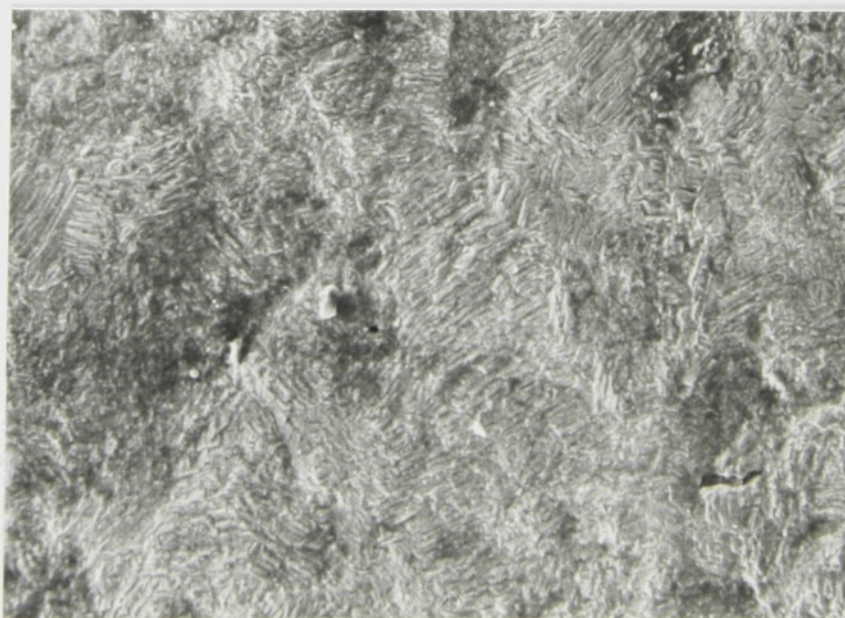
Obr.6.26 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,225$
60x zvětšeno



Obr.6.27 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,225$
300x zvětšeno



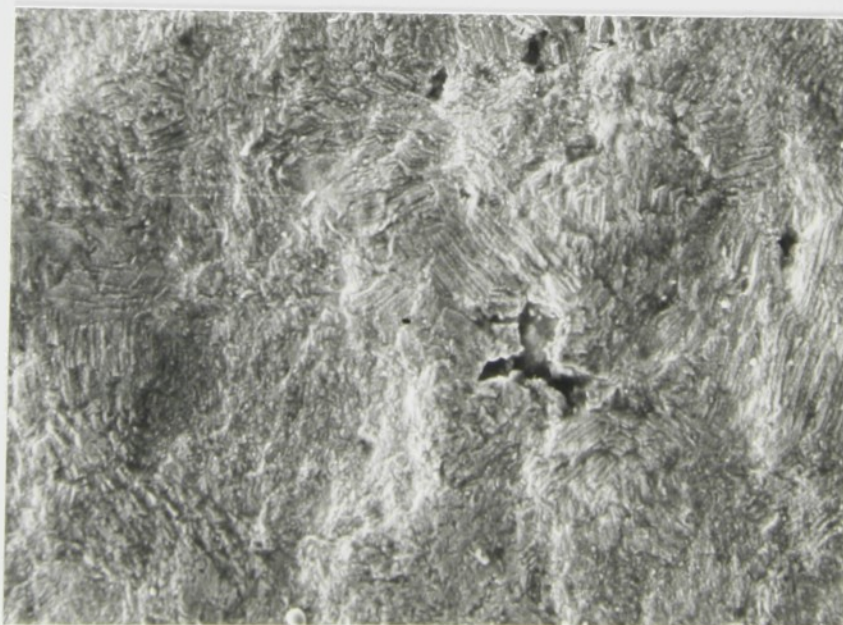
Obr.6.28 - Deformační stopa **2**, $\varphi_i = 0,299$
60x zvětšeno



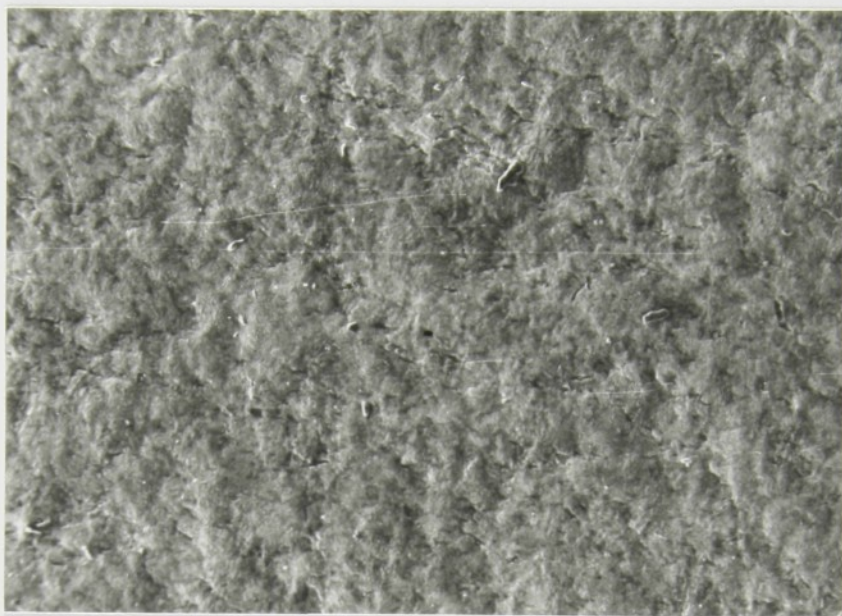
Obr.6.29 - Deformační stopa **2**, $\varphi_i = 0,299$
300x zvětšeno



Obr.6.30 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,368$
60x zvětšeno



Obr.6.31 - Deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,368$
300x zvětšeno



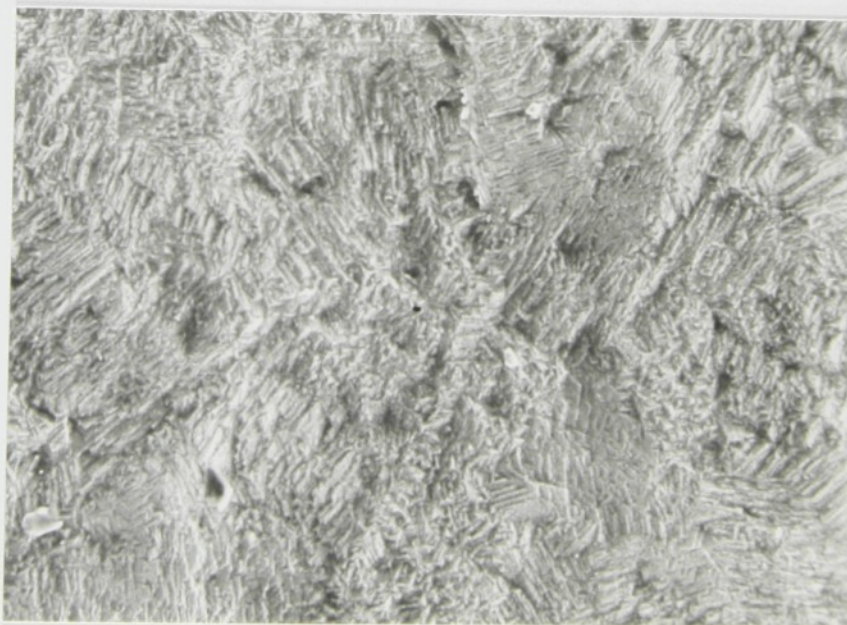
Obr.6.32 - Deformační stopa 2, $\varphi_1 = 0,431$
60x zvětšeno



Obr.6.33 - Deformační stopa 2, $\varphi_1 = 0,431$
300x zvětšeno



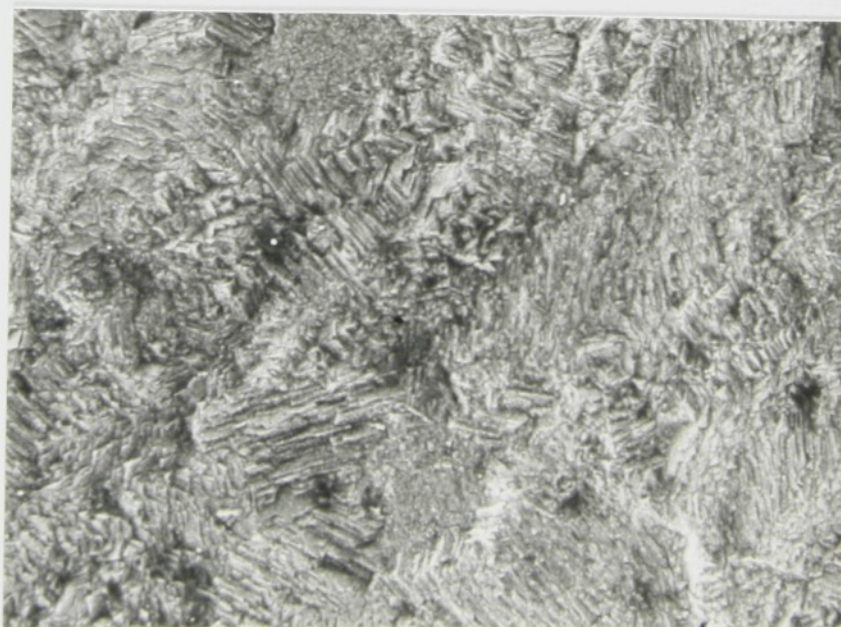
Obr.6.34 - Deformační stopa **3**, $\varphi_i = 0,141$
60x zvětšeno



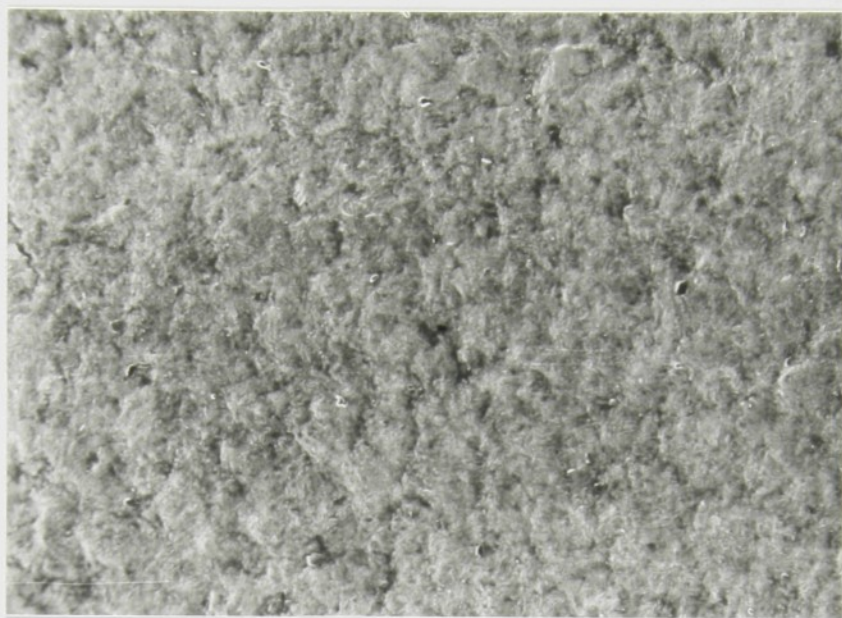
Obr.6.35 - Deformační stopa **3**, $\varphi_i = 0,141$
300x zvětšeno



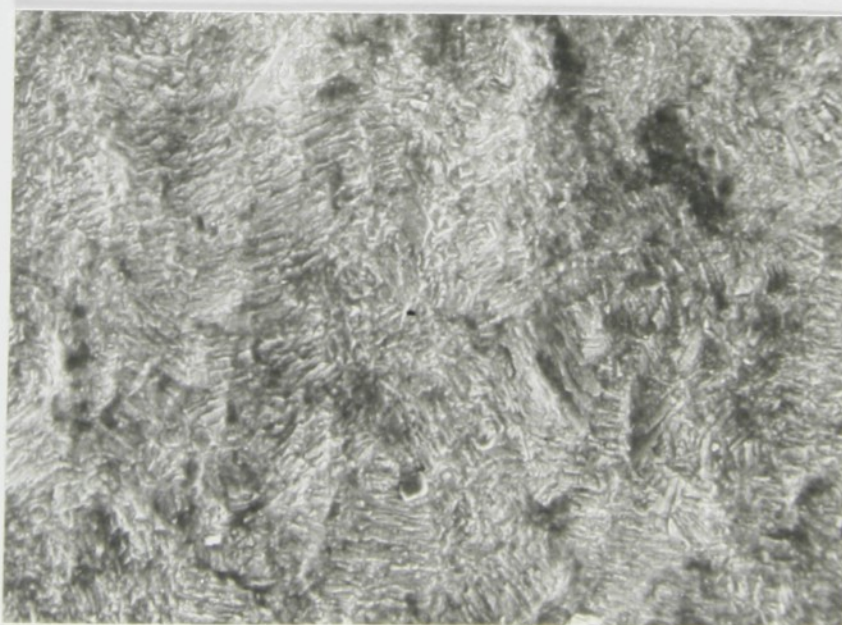
Obr.6.36 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,277$
60x zvětšeno



Obr.6.37 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,277$
300x zvětšeno



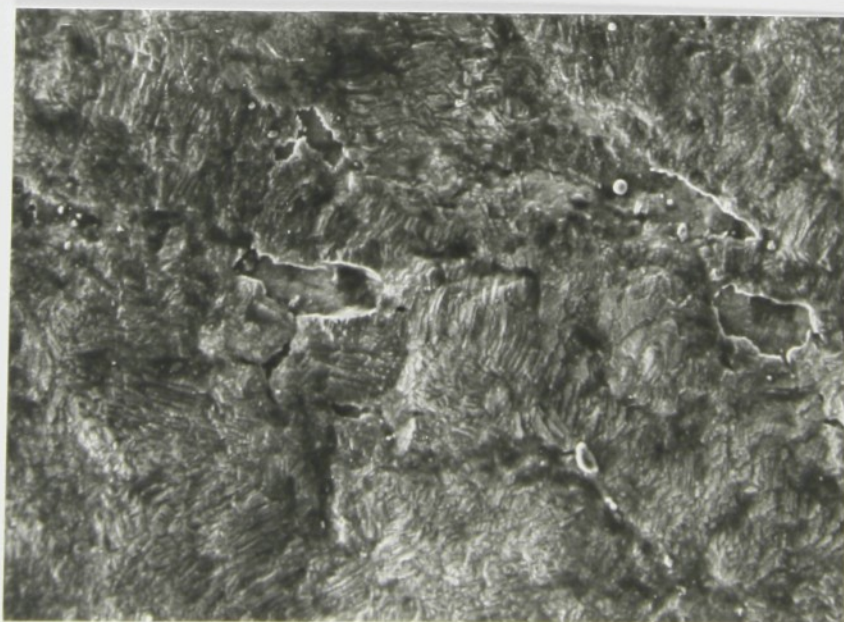
Obr.6.38 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,423$
60x zvětšeno



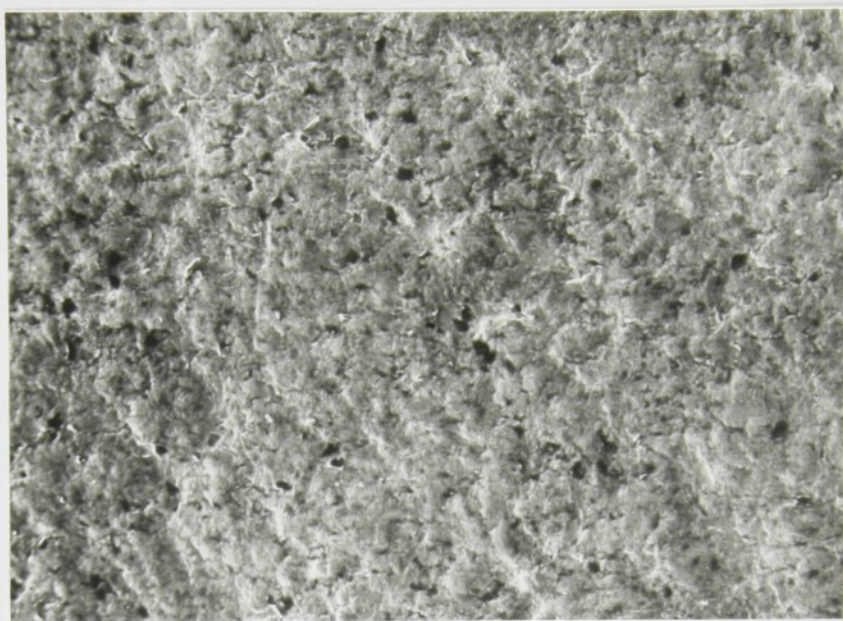
Obr.6.39 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,423$
300x zvětšeno



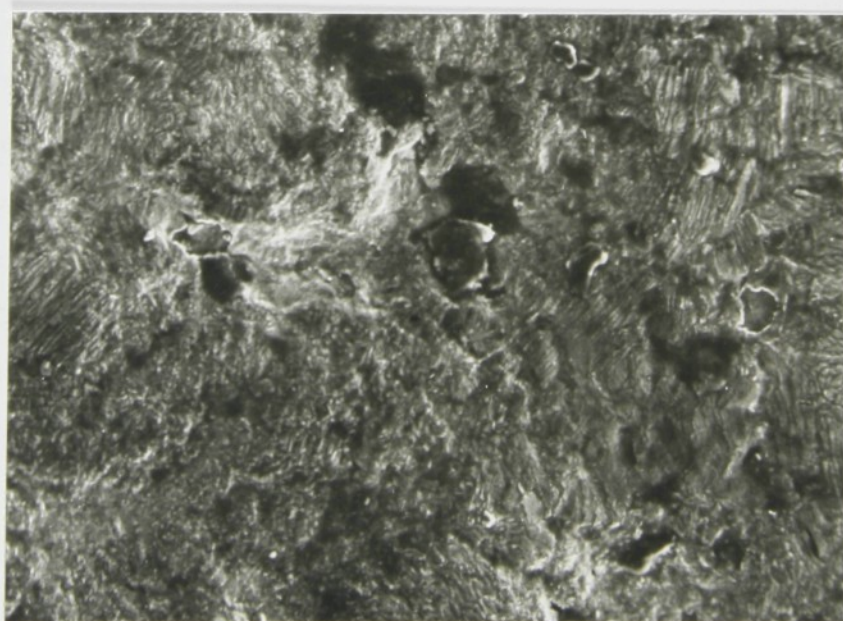
Obr.6.40 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,556$
60x zvětšeno



Obr.6.41 - Deformační stopa **3**, $\varphi_1 = 0,556$
300x zvětšeno



Obr.6.42 - Deformační stopa **3**, $\varphi_i = 0,711$
60x zvětšeno



Obr.6.43 - Deformační stopa **3**, $\varphi_i = 0,711$
300x zvětšeno

6.6.1 Charakteristika dokumentovaných povrchů

Dokumentující fotografie jsou značně plastické, což usnadňuje sledování a popisování povlaku.

Výchozí nepřetvořený plech (obr.6.12,6.13)

Výchozí ochranný povlak je nerovnoměrný. Různou tloušťku reprezentují tmavší a světlejší plochy. Světlejší plochy představují vrstvu s větší tloušťkou a tmavší plochy vrstvu tenčí.

Def.stopa 1, $\varphi_1 = 0,108$ (obr.6.14,6.15)

Při tomto přetvoření není ještě vidět žádné poškození povlaku, a to ani v místech s menší tloušťkou ani s tloušťkou větší.

Def.stopa 1, $\varphi_1 = 0,208$ (obr.6.16, 6.17)

Zvýšení deformace způsobuje vznik prvních trhlin, které jsou drobné a krátké. Trhliny jsou osamocené, nespojují se a procházejí světlejšími i tmavšími místy.

Def.stopa 1, $\varphi_1 = 0,309$ (obr.6.18, 6.19)

Dalším zvětšením deformace se trhlinky rozšiřují a začínají se též rozvětňovat. Zatím ještě nedochází k jejich propojování, ani zhušťování.

Def.stopa 1, $\varphi_1 = 0,416$ (obr.6.20, 6.21)

Trhlinky již jasně patrné a široké. Některé jsou protáhlé, jiné naopak rozšířené více směry, a tím získávají oválný tvar. Je zde větší množství velkých trhlin a méně malých úzkých. Trhliny nejsou propojené, ale jsou hustší.

Def.stopa 1, $\varphi_1 = 0,515$ (obr.6.22, 6.23)

Trhliny jsou natolik široké, že již odhalují ocelový podklad. Objevují se převážně trhliny velké a hluboké. Uvnitř největší trhliny je vidět osamělé kry ochranné vrstvy.

Def.stopa 2, $\varphi_1 = 0,129$ (obr.6.24, 6.25)

Nejmenší přetvoření povlaku nevykazuje žádné poškození.

Def.stopa 2, $\varphi_1 = 0,225$ (obr.6.26, 6.27)

Zvyšující se deformace zatím viditelně nepoškodila povlak.

Def.stopa 2, $\varphi_i = 0,299$ (obr.6.28, 6.29)

Při této hodnotě intenzity deformace již vznikají první trhlinky. Jsou spíše osamocené, nepřiliš dlouhé a tenké.

Def.stopa 2, $\varphi_i = 0,368$ (obr.6.30, 6.31)

Trhliny se rychle rozšiřují a rozvětvují. Vznikají nové menší trhliny, které se také okamžitě rozvětvují. Největší trhliny začínají odhalovat základní materiál.

Def.stopa 2, $\varphi_i = 0,431$ (obr.6.32, 6.33)

I menší trhliny jsou širší. Mají protáhlý i oválný tvar. Především ty největší trhliny oválného tvaru jsou již tak hluboké, že je vidět základní materiál.

Def.stopa 3, $\varphi_i = 0,141$ (obr.6.34, 6.35)

Povlak při této hodnotě deformace vykazuje minimální množství vlasových, krátkých a různě orientovaných trhlinek.

Def.stopa 3, $\varphi_i = 0,277$ (obr.6.36, 6.37)

Trhlinky jsou zřetelnější a delší. Stále ještě mají "vlasovou" tloušťku. Jsou různě orientované a je jich více.

Def.stopa 3, $\varphi_i = 0,556$ (obr.6.38, 6.39)

Krátké trhliny se roztáhly do malých ováleků a ostatní se protáhly jedním směrem a zůstaly úzké. Je zde i několik malých vlasových krátkých trhlín.

Def.stopa 3, $\varphi_i = 0,711$ (obr.6.40, 6.41)

Zvětšením deformace se trhliny značně rozšířily a některé se již propojují. Je zde více velkých rozměrných trhlín. Menší trhliny se rozvětvují, větší jsou spíše oválné. Velké trhliny jsou velmi hluboké.

Def.stopa 3, $\varphi_i = 0,25$ (obr.6.42, 6.43)

Přibýly velké trhliny. Hustota trhlín je celkově větší. Hlavně velké trhliny se propojují a malé rozšiřují. Většina trhlín je oválných a některé jsou velmi hluboké až na podklad.

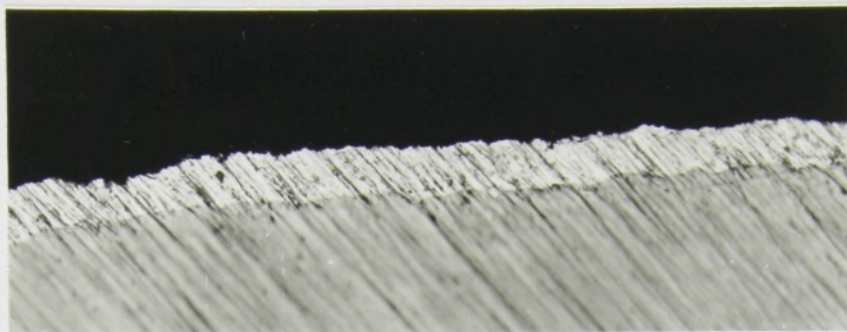
6.7 Optické sledování přetvoření povrchové vrstvy

Vzorky pro mikroskopické pozorování byly zality dentakrylem do plastového kroužku. Potom byl takto upravený vzorek broušen postupně brusnými papíry se stále menší velikostí zrna. Nakonec byl vyleštěn na leštícím kotouči potřeném diamantovou pastou. Směr broušení byl kolmý na povrch, a tím se zvýraznila vždy pouze jedna vrstva oboustranně pokoveného plechu (druhá povrchová vrstva byla broušením vytrhána).

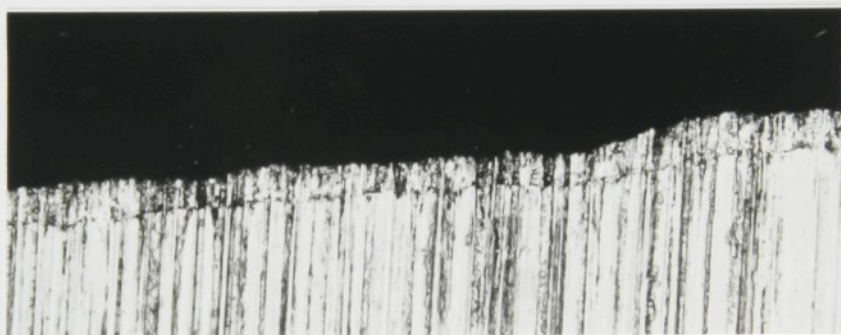
Následovalo pozorování metalografického výbrusu na optickém mikroskopu NEOPHOT 21 firmy CARL ZEISS - JENA, obr.6.44. Výsledky sledování jednotlivých přetvořených vrstev jsou na obrázcích 6.46 až 6.60. Povrchová vrstva nepřetvořeného výchozího plechu je na obr.6.45.



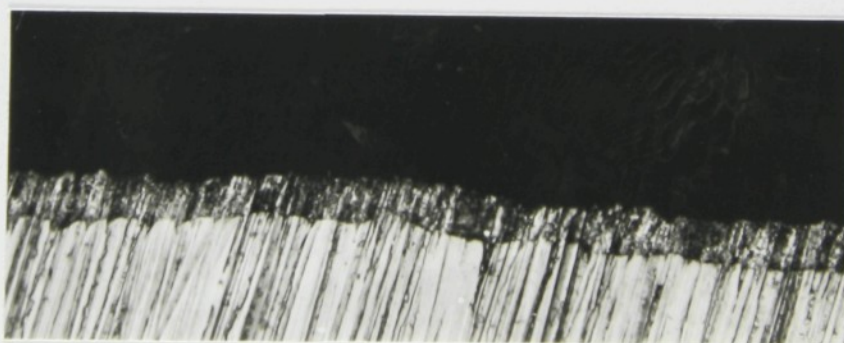
Obr.6.44 - Optický mikroskop NEOPHOT 21



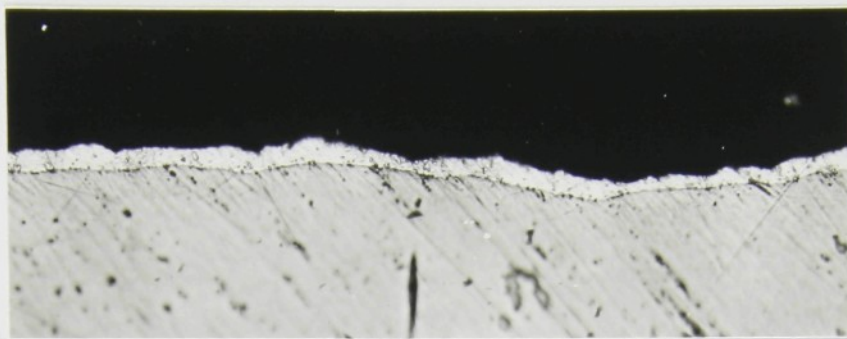
Obr.6.45 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
nepřetvořený výchozí plech,
500x zvětšeno, neleptáno.



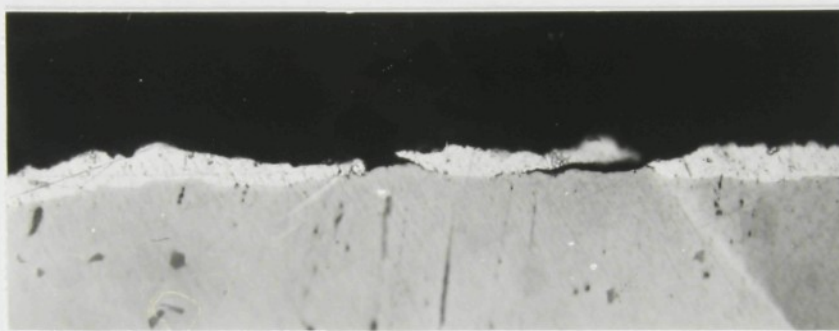
Obr.6.46 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,108$,
500x zvětšeno, neleptáno.



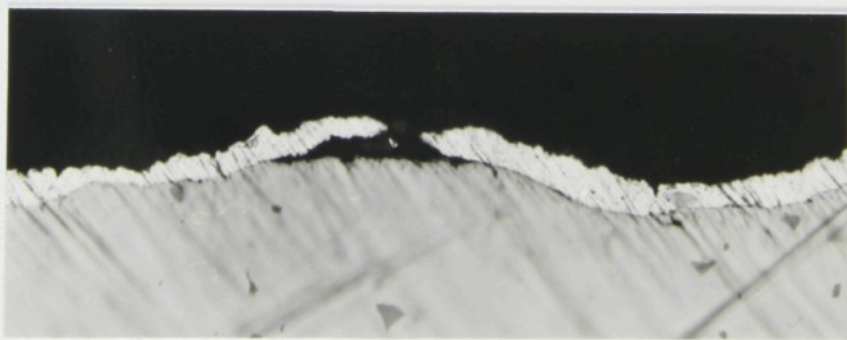
Obr.6.47 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,208$,
500x zvětšeno, neleptáno.



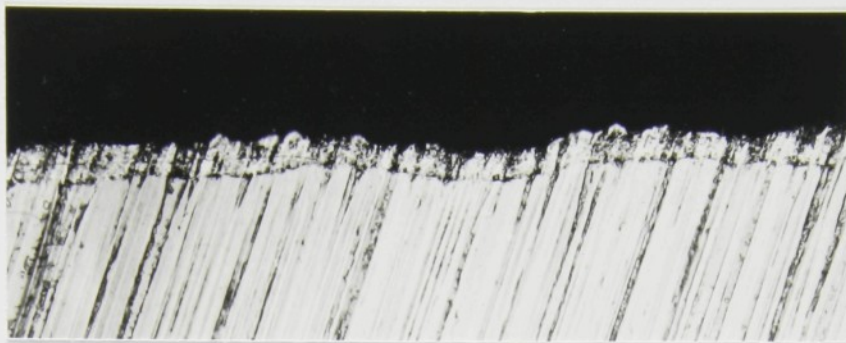
Obr.6.48 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,309$,
500x zvětšeno, neleptáno.



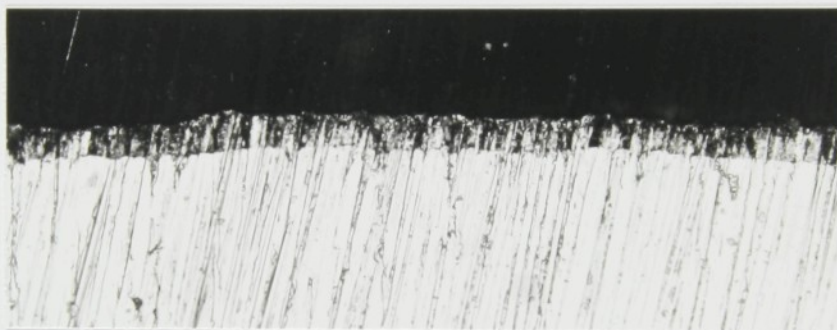
Obr.6.49 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,416$,
500x zvětšeno, neleptáno.



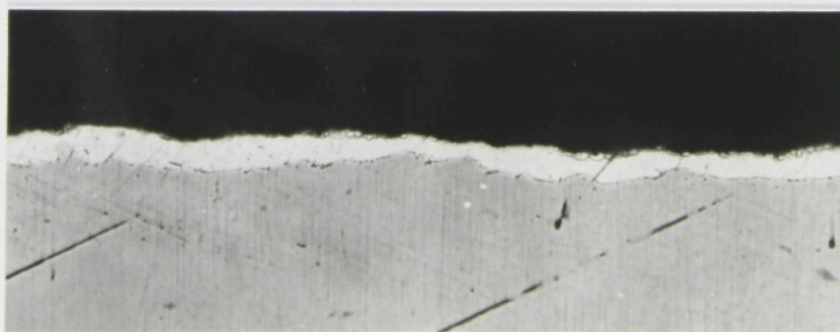
Obr.6.50 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,515$,
500x zvětšeno, neleptáno.



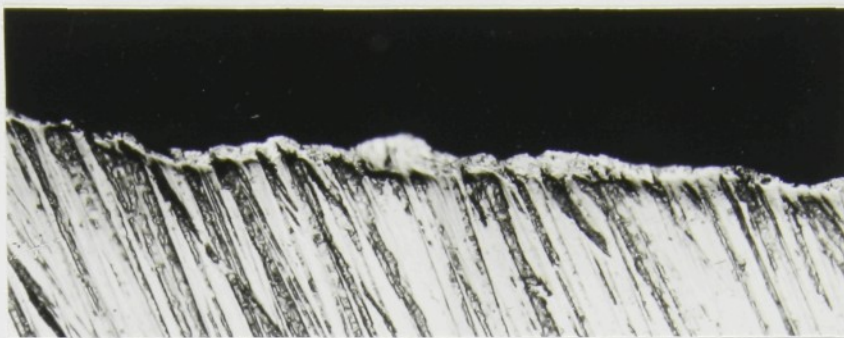
Obr.6.51 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,129$,
500x zvětšeno, neleptáno.



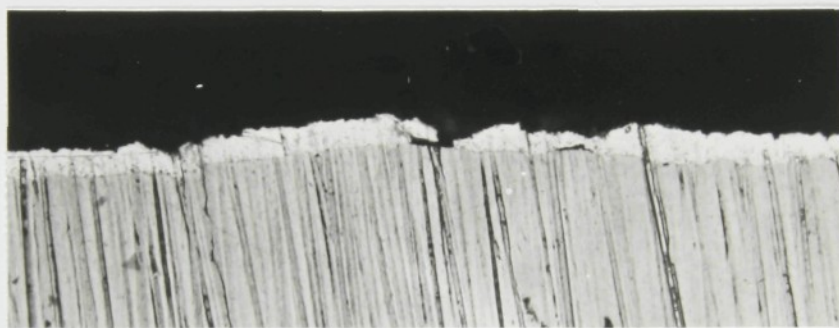
Obr.6.52 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,225$,
500x zvětšeno, neleptáno.



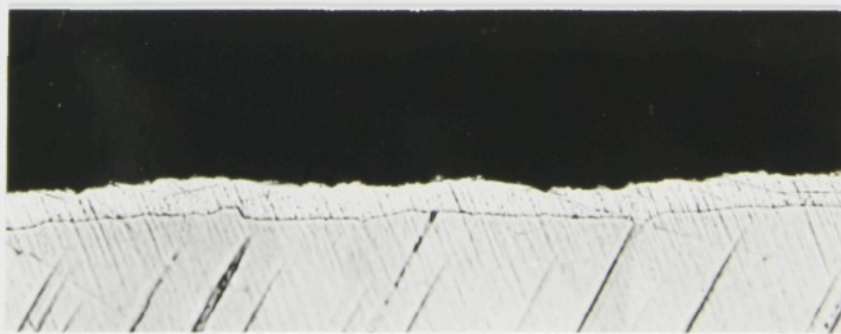
Obr.6.53 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,299$,
500x zvětšeno, neleptáno.



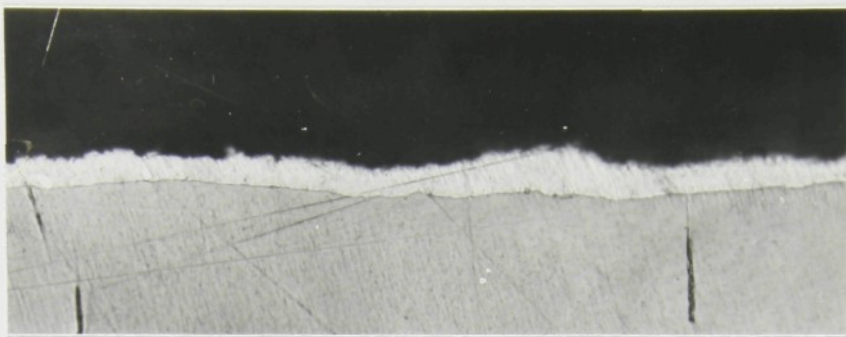
Obr.6.54 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,368$,
500x zvětšeno, neleptáno.



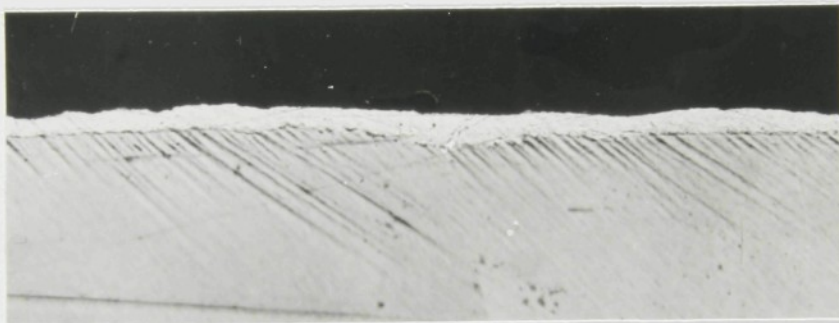
Obr.6.55 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 2, $\varphi_i = 0,431$,
500x zvětšeno, neleptáno.



Obr.6.56 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,141$,
500x zvětšeno, neleptáno.



Obr.6.57 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,277$,
500x zvětšeno, neleptáno.



Obr.6.58 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,423$,
500x zvětšeno, neleptáno.



Obr.6.59 - Mikrostruktura povrchové vrstvy,
deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,556$,
500x zvětšeno, neleptáno.



Obr.6.60 - Mikrostruktura povrchové vrstvy, deformační stopa 3, $\varphi_1 = 0,711$, 500x zvětšeno, neleptáno.

6.7.1 Charakteristika sledované vrstvy

Výchozí nedeformovaný plech (obr.6.45)

Na tomto vzorku je vidět nerovnoměrnost tloušťky ochranné vrstvy.

Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,108$ (obr.6.46)

Při této hodnotě přetvoření je patrné zmenšení tloušťky ochranné vrstvy. Vrstva však nevykazuje žádné trhliny.

Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,208$ (obr.6.47)

Stejně jako v předešlém případě je i na této fotografii vidět ztenčení tloušťky ochranné vrstvy, ale trhlinky zde vidět nejsou.

Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,309$ (obr.6.48)

Z dalším zvětšováním deformace se ochranná vrstva znatelně ztenčila. Jsou vidět i první malé trhlinky zasahující asi do jedné třetiny tloušťky povlaku.

Deformační stopa 1, $\varphi_1 = 0,416$ (obr.6.49)

Trhliny již pronikly celým povlakem, rozšířily se a pokračují pod povlak, což způsobuje odchlípnutí ochranné vrstvy od základního materiálu. Již se začíná odhalovat základní materiál, i když jen z malé části. Trhliny se šíří pouze ochrannou vrstvou, nikoliv do základního materiálu.

Deformační stopa 1, $\phi_i = 0,515$ (obr.6.50)

Trhliny se šíří hluboko pod ochrannou vrstvu, která se zvedá a odhaluje základní materiál. Základ zůstává neporušen.

Deformační stopa 2, $\phi_i = 0,129$ (obr.6.51)

Nejnižší zdokumentované přetvoření této deformační stopy zatím nepoškodilo povlak trhlinami, pouze došlo ke ztenčení ochranné vrstvy.

Deformační stopa 2, $\phi_i = 0,225$ (obr.6.52)

Zvýšením deformace povlak zatím nevykazuje tvorbu trhlin a ztenčení vrstvy není tak výrazné jako v předešlém případě.

Deformační stopa 2, $\phi_i = 0,299$ (obr.6.53)

V některých místech již došlo k výraznému ztenčení tloušťky, a to v některých místech až na čtvrtinu původní tloušťky. Trhliny, které byly viditelné na snímcích z elektronového mikroskopu, zde patrné nejsou.

Deformační stopa 2, $\phi_i = 0,368$ (obr.6.54)

Ochranná vrstva je v některých místech opravdu velmi tenká a její povrch vykazuje značné nerovnosti. Vlevo je viditelná trhlinka zasahující zhruba do poloviny povlaku.

Deformační stopa 2, $\phi_i = 0,431$ (obr.6.55)

Při tomto přetvoření se trhliny rozvírají a vrstva má snahu se odlupovat. Zhruba uprostřed je vidět ochranou vrstvu, která již není spojena s podkladem a nadzvedává se.

Deformační stopa 3, $\phi_i = 0,141$ (obr.6.56)

Dochází k mírnému ztenčení ochranné vrstvy a vlevo je viditelná tenká a mělká trhlinka.

Deformační stopa 3, $\phi_i = 0,277$ (obr.6.57)

Zvýšením deformace se povlak opět mírně ztenčil. Vlevo je viditelná vlasová a nehluboká trhlinka.

Deformační stopa 3, $\phi_i = 0,423$ (obr.6.58)

Nyní má povlak v některých místech zhruba poloviční tloušťku vzhledem k výchozí nepřetvořené ochranné vrstvě. Na tomto vzorku nejsou patrné žádné trhliny narozdíl od fotografií z elektronového mikroskopu.

Deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,556$ (obr.6.59)

Trhliny se značně rozevřely a odhalují ocelový podklad, ale nezasahují do něj. V okrajích trhlin se povlak nadzvedává a směrem k trhlíně se výrazně zmenšuje jeho tloušťka. Ani zde nedochází k porušení základního materiálu.

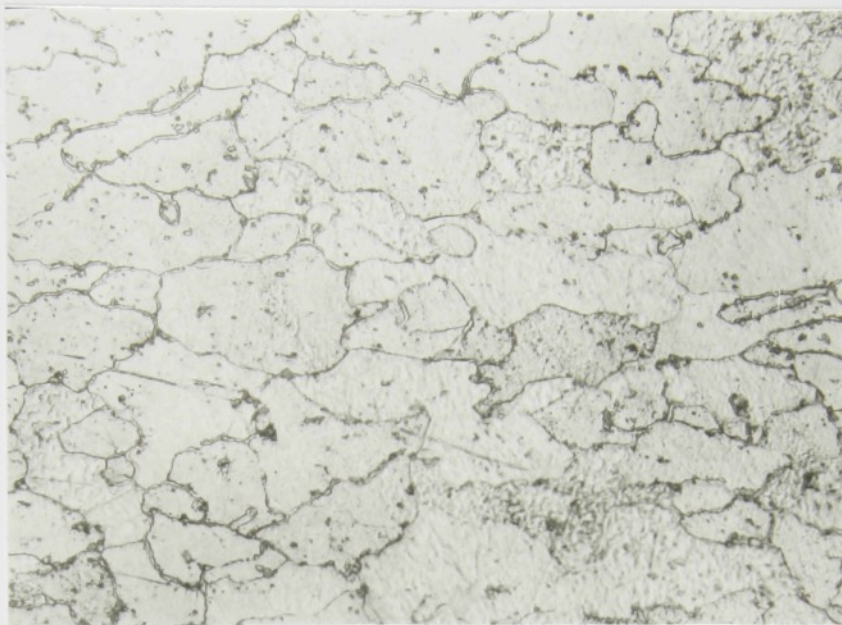
Deformační stopa 3, $\varphi_i = 0,711$ (obr.6.60)

V některých místech již trhliny rozdělily ochranný povlak na kry, které jsou spojeny s podkladem, ale mají tendenci k odlupování. Stejnou tendenci vykazují souvisleji pokrytá místa. Podkladový materiál je značně obnažen, ale není poškozen zásahem trhlin.

6.7.2 Struktura základního materiálu ve výchozím nepřetvořeném stavu

Výbrus zhotovený k pozorování ochranné vrstvy byl dvakrát naleptán 1% roztokem HNO_3 (označení Nital) a následně zdokumentován na optickém mikroskopu NEOPHOT 21 prostřednictvím fotografie.

Na fotografii je viditelná feritická struktura bez výrazných nečistot, obr.6.61.



Obr.6.61 - *Struktura základního materiálu ve výchozím nepřetvořeném stavu, 500x zvětšeno, leptadlo Nital (1%)*

6.8 Shrnutí experimentu a výsledků

Výsledkem postupného vypínání vzorků jednotlivých deformačních stop bylo získání závislosti intenzity deformace na hloubce tažení. Podle této závislosti byly určeny hodnoty intenzity deformace rovnoměrně pokrývající celou získanou závislost a pro tyto určené hodnoty vytaženy vzorky. Z výtažků jednotlivých deformačních stop se získaly vzorky pro optické a mikroskopické pozorování přetvoření ochranné vrstvy.

Pro všechny tři deformační stopy byly výsledky optického a mikroskopického pozorování podobné. Pro nejnižší hodnoty intenzity deformace je povlak bez porušení trhlinami. Dochází k jeho postupnému ztenčování a se zvyšující se deformací vznikají první trhliny, které jsou nejprve tenké a mělké, později se začínají rozšiřovat, rozvětňovat a prohlubovat. Při nejvyšších hodnotách přetvoření jsou některé trhliny již tak široké, že odhalují základní materiál. Na některých místech

se povlak odchlípuje, ale ještě není odtržený a plech částečně překrývá, jinde jsou již holá místa.

Příprava vzorků pro optické a mikroskopické pozorování nebyla jednoduchá. Bylo nutné několikrát postup broušení a leštění vzorku opakovat než bylo dosaženo uspokojivého výsledku. Zároveň se nesměl čas k broušení a leštění prodlužovat. Kompromis znamenal, že nutné krátké leštění neodstranilo rýhy po broušení, které jsou vidět na fotografiích.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zjistit vliv přetvoření na stav povlaku na bázi Zn ocelového plechu FeP05 ZE 75/75 PH v podmínkách vypínání. Vypínání bylo realizováno tažením tvarově upravených přístřihů proměnné šířky polokulovým tažníkem. Tímto způsobem byly namodelovány různé stavy napjatosti pro tři zvolené deformační stopy o šířce vzorků 30, 140 a 210 mm.

Zkušební vzorky (s deformační sítí) byly, k získání závislosti intenzity deformace na hloubce tažení, podrobeny deformaci od nuly až po mezní stav přetvoření. Pro výslednou závislost platí, že se zvyšující se hloubkou tažení se zvyšují i hodnoty ϕ_i .

Následně byly ze závislosti rovnoměrně vybrány hodnoty intenzity deformace a pro ně opět vytaženy vzorky (bez deformační sítě) všech tří deformačních stop. Hodnoty intenzity přetvoření se pro první deformační stopu (šířka vzorků 30 mm) pohybovaly od 0,108 do 0,515, pro druhou (šířka vzorků 140 mm) mezi 0,129 a 0,431 a pro třetí (šířka vzorků 210 mm) mezi 0,141 a 0,711.

Z těchto výtažků byly zhotoveny vzorky pro optické a mikroskopické pozorování přetvoření ochranné vrstvy. U všech tří deformačních stop byl, při nejnižších hodnotách intenzity deformace, vliv přetvoření na stav povlaku téměř neznatelný. Zvýšením hodnot intenzity přetvoření se začala tloušťka povlaku zmenšovat a vznikaly první tenké a nepříliš hluboké trhliny, zasahující převážně pouze do jedné třetiny ochranné vrstvy. Dalším zvyšováním intenzity deformace se již vzniklé trhlinky prohlubovaly, rozšiřovaly, rozvětvovaly a propojovaly. Při těch nejvyšších hodnotách ϕ_i byl povlak velmi poškozen. Ochranná vrstva byla, v některých místech, trhlinami rozdělena (obvykle uvnitř rozměrných oválných trhlín) na osamocené "ostrůvky".

Na jiných místech byl povlak odchlípnut, tzn. že trhлина se šířila pod povlak, který nebyl ještě odtržen a částečně kryl povrch ocelového základu. Objevovala se i místa zcela odhaleného základního materiálu. Pro všechny tři deformační stopy platí, že se při žádné hodnotě intenzity deformace trhliny nešíří do základního materiálu.

Elektrolyticky pozinkovaný plech je používán při výrobě karosérií automobilů, například ve ŠKODĚ AUTO a.s., Mladá Boleslav (v příložených podkladech [6] znázorňujících karosérii vozu Škoda Octavia Combi).

Závěrem bych chtěla podotknout, že tato diplomová práce se zaměřila pouze na část problematiky vlivu lisování na stav povlaku na bázi Zn ocelového plechu. Proto je nutné pro ucelenost řešení problematiky věnovat pozornost i analýze vlivu stavů napjatosti a intenzity přetvoření v okrajových částech výlisku (v oblasti přidržovače a tažné hrany) a v souvislosti s následnými operacemi tváření v těchto oblastech. Nakonec bych doporučila i zjišťování korozní odolnosti a ochranné funkce povlaku pro komplexnost řešení.

LITERATURA

- /1/ TMĚJ, J. a kol.: Návrh metodiky určování mezních stavů přetvoření při tažení výlisků z ocelových plechů s kovovými povlaky. Zpráva úkolu III-1-6/2-3, VSŠT Liberec, 1989.
- /2/ ŠEJNOHOVÁ, J.: Vliv podmínek přetváření na vlastnosti povrchově upravených tenkých plechů. Diplomová práce, VSŠT Liberec, 1989.
- /3/ Hrbáček, P.: Charakteristiky mezních stavů při tváření ocelových plechů s kovovými povlaky v automobilovém průmyslu. Kandidátská disertační práce, VSŠT Liberec, 1991.
- /4/ BUCHAR, Z.: Diagramy mezních přetvoření tenkých hlubokotažných plechů. Kandidátská disertační práce, VSŠT Liberec, 1987.
- /5/ Metal report. 21.1997.
- /6/ Podklady ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav
- /7/ ČSN 42 0310 Zkouška tahem
- /8/ ČSN 42 0435 Skúška súčiniteľa normálovej anizotropie
- /9/ ČSN 42 0436 Skúška exponenta deformačného spevnenia

Prohlášení k využívání výsledků DP :

Jsem si vědoma toho, že diplomová práce je majetkem školy, a že s ní nemohu sama bez svolení školy disponovat, a že diplomová práce může být zapůjčena či objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

Beru na vědomí, že po 5ti letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

Vacková V.

Vacková Vendulka

Česká Lípa, Antonína Sovy 1715/22

PŘÍLOHA