
THE UNIVERSITY OF CHICAGO

LIBRARY

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

1967

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

VLIV STAVU NAPJATOSTI NA CHARAKTER PŘETVOŘENÍ POVRCHOVÝCH
VRSTEV - POVLAKŮ TENKÝCH PLECHŮ

Jaroslava Kabelíková

396

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Buchar, CSc

Rozsah práce a počet příloh

Počet stran :	67
Počet příloh :	3
Počet obrázků :	32
Počet tabulek :	10
Počet výkresů :	-
Počet modelů :	-

Latum : 2. června 1989

Vysoká škola: strojní a textilní

Fakulta: strojni

Katedra: tváření a plastů

Školní rok: 1988/89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jaroslavu K a b e l í k o v o u

pro

obor **2307 - 8 Strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Vliv stavu napjatosti na charakter přetvoření
povrchových vrstev - povlaků tenkých plechů.

Zásady pro vypracování:

- 1) Seznamte se se sortimentem tenkých plechů s různými povlaky určených zejména pro automobilový průmysl.
- 2) Shrňte požadavky kladené na tenké plechy s různými povlaky s ohledem na jejich použití v automobilovém průmyslu.
- 3) Navrhněte metodiku určování vlivu stavu napjatosti na charakter přetvoření povlaků tenkých plechů.
- 4) U vybraného tenkého plechu s povlakem posuďte vliv stavu napjatosti na charakter přetvoření při různých stupních přetvoření.

V. 74/p. 95.

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

Play the power -
- power play -
- happy play

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

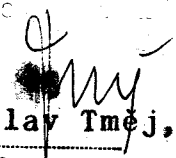
- 1) Jandelová, K.: Světové trendy v používání karosářských plechů
s předúpravou na osobní automobily.
Literární rešerže, SVÚM, Praha, 1986

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zd. Buchar CSc

Datum zadání diplomové práce: 26. 9. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989




Prof. Ing. Jaroslav Tmej, CSc
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrCs.
Děkan

V Liberci 26. 9. 8
..... dne 198.....

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

Yaroslava Kalliková

V Liberci dne 2. června 1989

1. Úvod	6
A. TEORETICKÁ ČÁST	8
2. Základní druhy plechů s povlaky pro automobil. průmysl	9
2.1 Kovové povlaky	9
2.1.1 Kovové povlaky získané elektrolyticky	10
2.1.2 Kovové povlaky žárově nanášené	14
2.2 Nekovové povlaky	19
2.2.1 Nekovové organické povlaky	19
2.2.1.1 Nátěry	19
2.2.1.2 Plasty	21
2.2.2 Nekovové anorganické povlaky	25
3. Požadavky kladené na tenké plechy s povlaky pro automobilový průmysl	27
3.1 Korozivzdornost	27
3.2 Tvařitelnost	30
3.3 Svařitelnost	31
3.4 Lakovatelnost	34
B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	36
4. Návrh metodiky určování vlivu stavu napjatosti na cha- rakter a intenzitu přetvoření povlaků tenkých plechů	37
4.1 Rozbor stavů napjatosti a přetvoření při lisování plechu	38
4.2 Analýza stavu napjatosti a stavu přetvoření metodou deformačních sítí	40
4.3 Diagramy mezních přetvoření	42
4.4 Vlastní experimentální modelování stavů napjatosti	44
4.4.1 Vytvoření deformační sítě	45
4.4.2 Tažení zkušebních těles	48

4.5 Vyhodnocení zkušebních těles	49
4.6 Metalografické zhodnocení povlaku Zn-Fe	54
5. Závěr	62
Seznam použité literatury	65
Seznam příloh	67

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	hlavní normální napětí
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$	hlavní normální přetvoření
m_σ	charakteristika stavu napjatosti
m_φ	charakteristika stavu přetvoření
φ_i	intenzita přetvoření
$\bar{\sigma}_i$	střední směrodatná odchylka
b	šířka střední části zkušebního vzorku před tažením /mm/
H	hloubka zkušebního vzorku po tažení /mm/
t	tloušťka povlaku / m/
1	směr kolmý na směr válcování plechu
2	směr rovnoběžný se směrem válcování plechu
L_{01}, L_{02}	rozměry výchozího elementu deformační sítě /mm/
L_1, L_2	rozměry elementů deformační sítě po tažení /mm/

1. ÚVOD

Základním předpokladem dalšího rozvoje lidské společnosti, jak zdůraznil XVII. sjezd KSČ, je neustále zvyšovat objem a úroveň materiální výroby. Ve strojírenství proto musí být kladen stále větší důraz na využívání produktivních technologií. Povrchové úpravy u výrobků nejrůznějších oborů nabývají stále většího významu a jsou mimořádně důležité i v automobilovém průmyslu. Jejich použitím dosahujeme předně lepší odolnosti vůči korozi, lepších fyzikálních vlastností součástí, hospodárnějšího využití materiálu a současně i lepšího vzhledu.

Patříčnou péčí povrchovým úpravám je třeba věnovat také proto, že náklady na ně činí značné procento celkových výrobních nákladů, v průměru činí asi 8 - 10% celkových nákladů na výrobek/17/. Ekonomie ochrany proti korozi a povrchové úpravy materiálů zahrnuje dvě stránky efektivnosti, a to společenskou a přímou. Společenskou efektivnost vyjadřuje ochranná schopnost, která má vliv na dobu funkční schopnosti výrobku. Přímá efektivnost vyjadřuje relaci nákladů za provedení ochrany nebo úpravy povrchu materiálu.

Pro volbu optimálního způsobu ochrany a úpravy materiálu nestačí tedy brát v úvahu jen ryze technické hledisko. Je třeba zároveň uvažovat o jeho hospodárnosti. Velmi často dochází ve strojírenských či jiných výrobních závodech k tomu, že právě ekonomické hledisko není podloženo hlubším rozbořem. Jako ochrana materiálu se nejčastěji volí povlak levný a v daném výrobním úseku tradiční. Mechanizací a automatizací v technologii povrchových úprav lze dosáhnout velkých úspor na výrobních nákladech a krátké doby návrat-

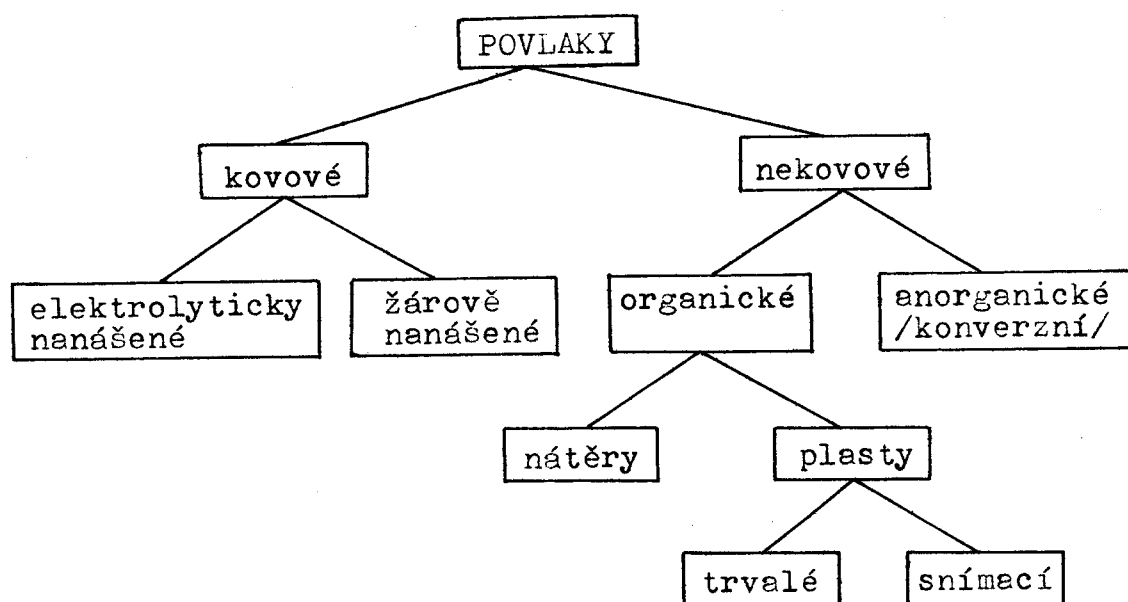
nosti investovaných zařízení. Mechanizací se omezí nebo úplně odstraní nekontrolovatelný, často škodlivý vliv lidského činitele na kvalitu povlaku.

Během posledních deseti let bylo vyrobeno přes osm milionů tun povrchově upravených pásů, v Severní Americe 850 000 tun, v Evropě 360 000 tun, v Japonsku 200 000 tun v roce 1982 /7/. V závislosti se snahou o zvýšení antikorozní ochrany se objevily v automobilovém průmyslu nové materiály - elektrolytické a v tavenině pozinkované plechy, hliníkové materiály, slitiny, atd.

Problematika povlakovaných plechů je velmi obsáhlá, jak z hlediska druhů povlaků, tak i technologií povlakování. Tato diplomová práce pojednává pouze o nejdůležitějších a nejužívanějších metodách povlakování plechů pro automobilový průmysl a kladě si za cíl navrhnout metodiku určování vlivu stavu napjatosti a intenzitu přetvoření těchto povlaků tenkých plechů a tím přispět k řešení dané problematiky.

A. TEORETICKÁ ČÁST

2. ZÁKLADNÍ DRUHY PLECHŮ S POVLAKY PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL



Obr.1 Rozdělení povlaků tenkých plechů

2.1 Kovové povlaky

Přední místo ve výrobě těchto plechů pro automobilový průmysl zaujímá jak ve výběru, tak i v množství Japonsko, dále je to NSR, USA, Velká Británie, SSSR, v menší míře Itálie a Francie.

V Československu se výzkumem a výrobou těchto plechů zabývá n.p. KAROSA Vysoké Mýto - použití žárově pozinkovaného plechu na autobusech, VSŽ Košice - zpracování karosériového plechu pozinkováním, lakováním, fosfátováním a SVÚOM G.V.Akimova v Praze již téměř třicet let.

Mezi nejpoužívanější kovové povlaky pro plechy v automobilovém průmyslu patří především povlaky na bázi zinku, a to pro svoji relativně nízkou cenu a vynikající antikoroziční vlastnosti. Zinek poskytuje ocelovému plechu ochranu tím, že vytváří ochranné povrchové filmy a ve vodě nerozpustné

uhličitaný. Zinek má vyjíměčné postavení pro své elektrochemické vlastnosti a poskytuje i relativně dobrou ochranu střížných hran a drobných mechanických poškození povlaku. Životnost zinkového povlaku je úměrná jeho tloušťce /14/.

Protože způsobů získání povlaků na bázi zinku je celá řada, je blíže pojednáno pouze o dvou nejběžnějších metodách - elektrolyticky vyloučené a žárově nanášené povlaky. Každá kapitola je rozčleněna do tří částí:

- a/ druhy vyráběných povlakovaných plechů
- b/ způsoby a princip výroby
- c/ vlastnosti a použití

2.1.1 Kovové povlaky získané elektrolyticky

a/ Elektrolytické, neboli galvanické pokovování je dnes samostatným vědním oborem, kterým se ve světě zabývá velké množství pracovišť a který prodělává v současné době velký rozvoj. Elektrolytické povlaky je možno vytvořit nejen z čistých kovů, nýbrž i z různých slitin, např. speciálních mosazí Zn-Cu. Vývoj moderních technologií v galvanotechnice spěje k vylučování rychlých a lesklých povlaků, které nevyžadují podstatné mechanické leštění po pokovení.

Kvalita povlaku je dána jeho vzhledem, soudržností, porézností a odolností proti korozi. Získání požadovaných vlastností záleží vždy na kvalitě a přípravě povrchu základního materiálu, na zvolené galvanické metodě a podmínkách při pokovování. Účelem galvanického zinkování je především ochrana proti atmosférické korozi. Vyloučený zinkový povlak doplněný konverzní vrstvou zaručuje dobrou přilnavost povla-

ku k základnímu kovu.

Vyrábí se oboustranně, diferenciálně i jednostranně pozinkované plechy s tloušťkou povlaku 1,0 - 7,5 μm . Mimo uvedené druhy povlakovaných plechů /tab.I/ existuje ještě celá řada dalších, s různými kombinacemi prvků povlakových slitin, v různém procentovém zastoupení, nejčastěji je to pro své vynikající vlastnosti Zn, Ni, Al, Mg, Cr a Co. Nelze také opomenout rozličné systémy užívané u jednotlivých výrobců.

b/ Princip elektrolytického pokovování spočívá v tom, že ve vhodném elektrolytu se působením stejnosměrného proudu vyvolají na elektrodách, tvořících galvanický článek, děje, které umožňují vylučování kovových povlaků na plechu. Na záporné elektrodě - katodě dochází k průchodu elektrického proudu, k vybíjení iontů a tvoří se kovové atomy. Na kladné elektrodě - anodě přechází kov z atomárního stavu do stavu iontového /děj obrácený/. Děj je však komplikován současnými sekundárními reakcemi na katodě, kdy se ještě vylučuje vodík a na anodě kyslík, popřípadě různé sloučeniny. Proces elektrolýzy lze kvantitativně hodnotit Faradayovými zákony.

Vzhledem k tomu, že elektrolyticky pozinkované plechy s tenkými povlaky pro výrobu karosérií neposkytují dostatečnou korozní ochranu, byly vyvinuty nové technologie a konstrukce výrobních zařízení umožňující dosahovat vysokých proudových hustot /až 200 A/dm²/ a tím zvýšení výkonů.

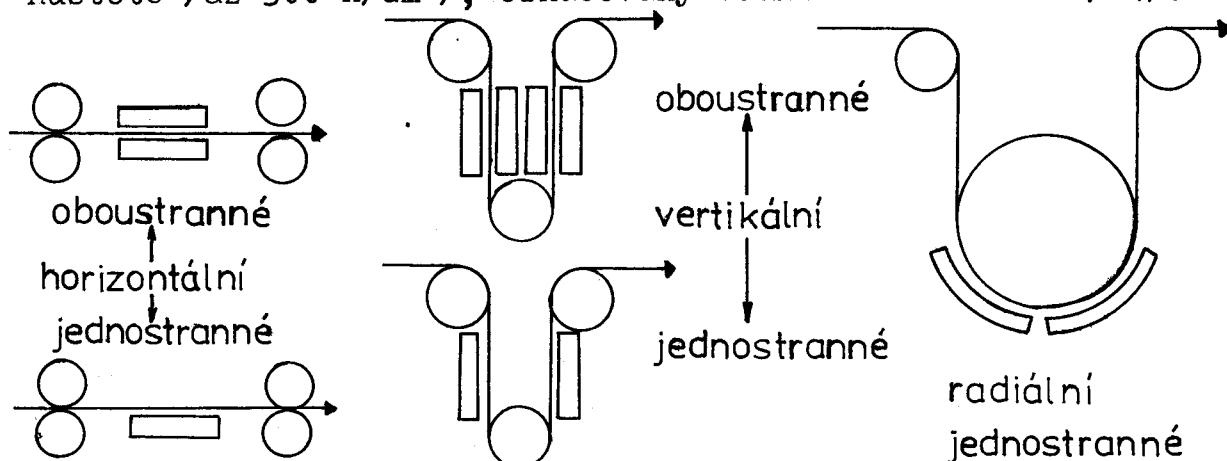
Pro moderní výrobu je charakteristické používání kyselých elektrolytů s intenzivním prouděním v mezeře mezi anodou a pásem plechu a používání rozpustných i nerozpustných

Tab.I Nejpoužívanější vyráběné tenké plechy s elektrolyticky vyloučenými povlaky

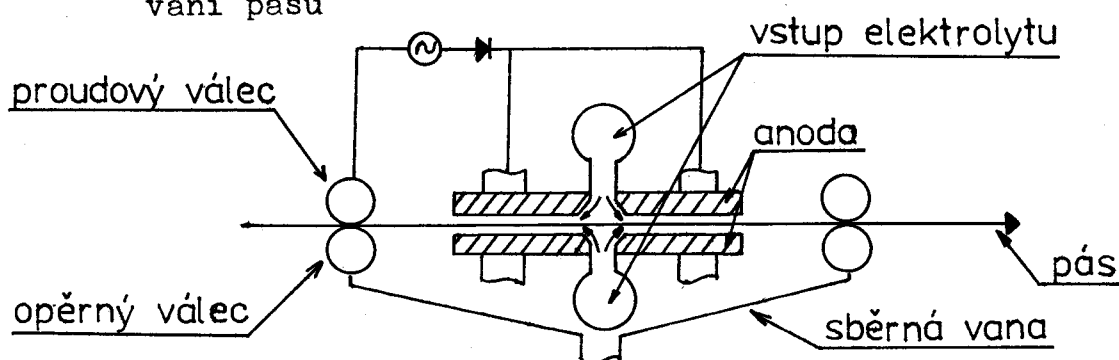
Název	Výrobce	Druh povlaku	Vlastnosti	Poznámka
ZINCROMETAL	různé země	prvotní povlak-vodní disperze Zn, druhotný povlak-Zn prášek s epoxidovou živicí s vysoušením v peci	vysoká korozní odolnost, možnost různých variant nanášení povlaku, lisování a svařování	výroba značně rozšířená od 70.let
ZINCROX	Itálie-koncern FIAT podnik TEKSID S.P.A.	trojitá vrstva Zn, Cr a oxidu Cr	vysoká odolnost proti korozi	
EXCELITE	Japonsko-koncern Toyota Motor Corp. a Nippon Steel Corp.	dvě vrstvy Zn-Fe	dvojnásobně odolná proti korozi vzhledem ke konvenčním materiálům	
ZINCAL	NSR-f.Hoesch Siegerlandwerke AG	oboustranně Zn	vysoká odolnost proti korozi	tloušťka povlaku 7,5 μm
RIVER-EX-ZINC	Japonsko-f.Kawasaki Steel	jednostranně nebo oboustranně Zn-Fe	výborná odolnost vůči perforační korozi	
MONOGAL	Francie-f.DACRAL SA	jednostranně Zn	výborná hlubokotažnost, odolnost proti korozi, dobrá bodová svařitelnost	
DURZINCLITE	Japonsko-f.Nippon Steel Corp.	jednostranně Zn-Ni, obsahuje Co	odolnost proti korozi, dobrá tvařitelnost a bodová svařitelnost	

anod. Pro konstrukci nejmodernějších linek je typické použití tzv. tryskové komory a úprava vstřikování elektrolytu mezi anodu a pás. Na základě této technologie byl společností Nippon Steel vyvinut proces ACIC, znázorněný na obr.3. Speciálně pro účely výroby jednostranně elektrolyticky pozinkovaných plechů s povlakem o tloušťce $15\text{ }\mu\text{m}$ vyvinula US Steel USA proces CAROSEL s radiálním uspořádáním pozinkovací komory.

O tom, že vývoj v oblasti elektrolyticky pozinkovaných plechů s povlaky o větší hmotnosti není ještě zdaleka ukončen, svědčí např. nově vyvinutá konstrukce pozinkovací komory u společnosti Cockerill v Belgii. Touto firmou byl vyvinut proces jednostranného pozinkování proudem o vysoké hustotě /až 300 A/dm^2 /, označovaný COCKERILL - SAMBRE /14/.



Obr.2 Základní uspořádání anod při elektrolytickém pozinkování pásu



Obr.3 Schematický podélný řez pozinkovací komorou se středovým vstřikováním elektrolytu

c/ Metoda galvanování je specifická tím, že je možné získat strukturu, kterou není možné získat hutnickým způsobem. Hlavními přednostmi elektrolytického zinkování jsou:

- výborná ochrana kovu proti obvyklým typům atmosféry při minimálních rozměrových změnách
- výborný dekorativní účinek, zvláště chromátovaných zinkových povlaků
- nízké výrobní náklady
- snadná regulace tloušťky povlaku
- snadná oprava zmetkových nebo zkorodovaných povlaků
- kovový, dobře elektricky i tepelně vodivý povrch
- dobrá svařitelnost

Povlaky jsou při dobrém provedení husté, neporézní, dostatečně tvrdé, lesklé nebo matné. Galvanické zinkování má v automobilovém průmyslu velký význam, neboť dává dobrou mechanickou i elektrochemickou ochranu. Podíl elektrolyticky pozinkovaných plechů na světové výrobě pozinkovaných plechů je 10 - 15% /1/.

2.1.2 Kovové povlaky žárově nanášené

a/ Žárové pozinkování patří k ekonomicky nejefektivnějším procesům povrchových úprav ocelových plechů. K postupnému vývoji pozinkovaných plechů s rozdílnou hmotností povlaků na obou stranách plechů, tzv. diferenciaciálně pozinkovaných plechů a nakonec k vývoji plechů jednostranně pozinkovaných, došlo především v USA a Japonsku. Jejich používání ve větším množství pro vnější díly karosérií se datuje od poloviny 70. let.

Tab.II Nejpoužívanější vyráběné tenké plechy žárově pokovené

Název	Výrobce	Druh povlaku	Vlastnosti
RIVER ZINC	Japonsko-f.Kawasaki Steel Corp.	dvojitá vrstva Zn-Fe jednostranně nebo oboustranně	výborná odolnost vůči perforační korozi
GALVANEALD	Japonsko	jednostranně nebo oboustranně Zn-Fe	výborná odolnost vůči korozi
GALVALUME	Velká Británie -f.SHOTTTON	Zn, Zn-Al	výborná korozní odolnost a tvařitelnost
PAINT-TITE B	Velká Británie	jednostranně Zn povlak tepelně zpracovaný	odolnost proti atmosférické korozi
ZINCROMETAL	NSR-f.Hoesch Siegerlandwerke AG	jednostranně Zn 13-15 μ m	odolnost proti korozi
GALFAN	NSR-f.Hoesch Siegerlandwerke AG	jednostranně Zn-Al	odolnost proti korozi, dobrá tvaritelnost a lakovatelnost

Žárově pozinkované plechy se nejčastěji vyrábí ponorem do roztaveného kovu. Rozsáhlé používání těchto korozivzdorných plechů, náhradou za plechy válcované za studena, si vyžádalo výzkum jejich vlastností při tváření, složení a dalších charakteristických rysů /14/.

b/ V podstatě se provádí zinkování ponorem dvěma způsoby. První způsob je nazýván "suché zinkování" a provádí se tak, že plechy se po moření nejdříve ponořují do lázně s tavidlem /chloridem zinečnatým/ a po vyjmutí se osuší. Potom teprve následuje ponor do zinkové lázně.

Druhý způsob je nazýván "mokré zinkování" a plechy se ponořují do zinkové lázně přímo. Tato lázeň je pokryta silnou vrstvou tavidla /chloridu amonného nebo směsí chloridu amonného a zinečnatého/. Účelem tavidla je zabránit okysličování pokovovaného povrchu a zinkové lázně.

Jedním z požadavků, které musí splňovat žárově pozinkovaný plech z hlediska jeho zpracování, je potlačení tvorby zinkového "květu", který je průvodním jevem při žárovém pozinkování.

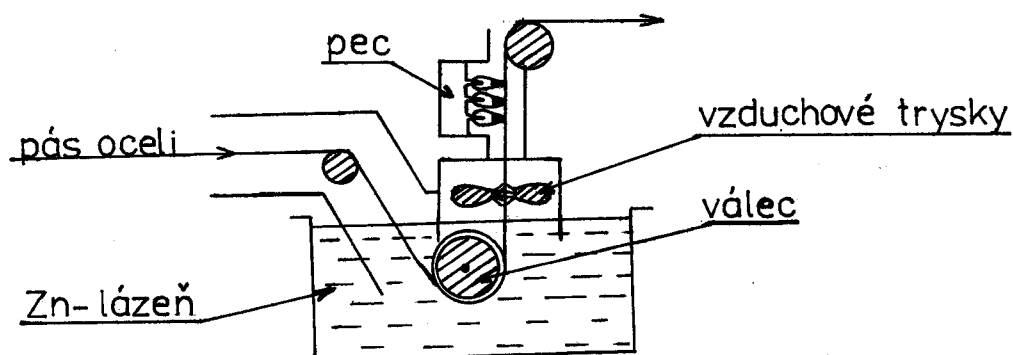
Žárově pozinkované plechy se vyrábějí na linkách typu Sendzimir nebo Cooke - Norteman. Předpokladem pro získání kvalitního povlaku je pečlivá kontrola na vstupu pásu, teploty zinkovací lázně a rychlosti posuvu pásu. Na obr. 4 je do linky vložena pec na výstupu z lázně k nakřátí vrstvy Zn a získání slitiny Zn-Fe. Na obr. 5 dochází k očištění volného zinku a křehké části slitiny Zn-Fe rotačně uloženým kartáčem a materiál prochází vodou chlazeným válcem, tím se dosáhne hladkosti povrchu. Na linkách typu Sendzimir není ovšem možné získat plech s vysokými plastickými vlastnostmi,

vhodný pro hluboké tahy/2/.

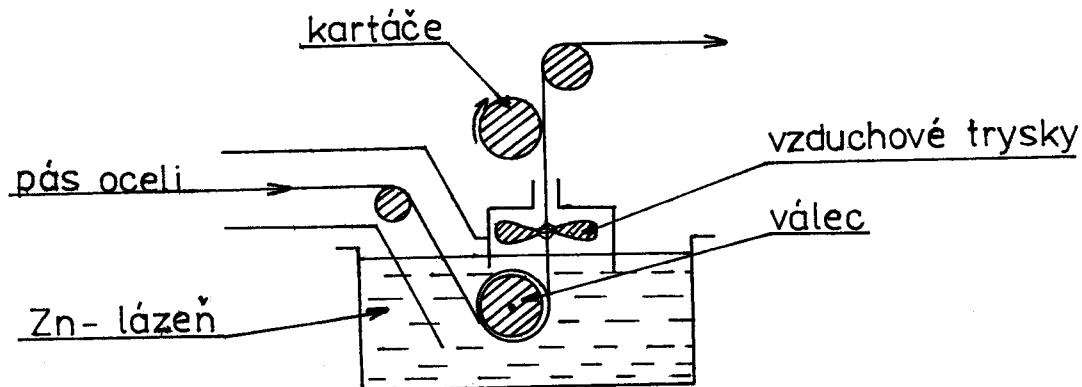
Významného pokroku bylo dosaženo při řízení a regulaci procesu pozinkování počítačem, především při pneumatickém stírání povlaku v neoxidační atmosféře.

Jednostranné žárové pozinkování je obtížnější, používají se nejčastěji metody:

- 1/ vlny-plynem TAG-SIGMAR
- 2/ vlny-ultrazvukem ASAMI-GLASS
- 3/ protiběžného nanášecího válce
- 4/ menisku - ARMCO - elektrolytické čištění povrchu od oxidů
- 5/ NATIONAL STEEL - diferenční pozinkování a elektrolytické odstranění tenké vrstvy z jedné strany pásu /14/



Obr.4 Schematické znázornění žárově pozinkovací linky typu Sendzimir pro tlusté plechy



Obr.5 Schematické znázornění žárově pozinkovací linky typu Sendzimir pro tenké plechy

c/ Způsob pokovování tenkých plechů ponorem je rychlejší a někdy i hospodářsky výhodnější, než pokovování galvanické. "Mokrým zinkováním" se získá větší přilnavost povlaku k základnímu kovu, "suchým zinkováním" mají povlaky lepší vzhled, ale způsob vyžaduje sušící pece a tím je i dražší.

Žárové pokovování poskytuje dobrou ochranu tenkých plechů proti korozi. Získá se většinou větší tloušťka povlaku oproti elektrolytickému pokovování, jehož poréznost je velmi malá. Povlak je však hrubší a méně vzhledný. Minimální tloušťka zinku je obvykle 2 - 10 μm , maximální 20 - 160 μm a roste s rozměrem plechu a jeho tloušťkou.

Jednostranně pozinkované plechy ve srovnání s plechy oboustranně pozinkovanými se dají lépe svařovat. Při použití jednostranně pozinkovaného plechu je vnější povrch karosérie tvořen nepokovenou částí plechu, čímž se zjednodušuje předúprava povrchu před finálním nátěrem a odstraňují problémy s přilnavostí nátěru.

Žárově pozinkované plechy jsou pro své příznivé vlastnosti používány na karosérie automobilů, neboť z nich lze získat i velmi složité výtažky vysokých kvalitativních parametrů /1, 2, 8/.

2.2 Nekovové povlaky

2.2.1 Nekovové organické povlaky

2.2.1.1 Nátěry

a/ Nátěry jsou nejrozšířenější povrchovou úpravou, která má většinou jak ochranný, tak estetický účinek. Nátěry vznikají vytvořením polymerního filmu nanesené nátěrové hmoty.

Základními složkami nátěrových hmot jsou pojiva, pigmenty, těkavá rozpouštědla, ředidla a další přísady, upravující vlastnosti nátěru. Pojiva, kterými mohou být reaktoplasty, termoplasty i elastomery, zabezpečují soudržnost nátěrů a jejich přilnavost k chráněným povrchům. Pigmenty rozhodují především o barvě, kryvosti a konzistenci hmoty, ale ovlivňují i tvrdost, pevnost i rychlost pronikání prostředí nátěrem. Rozpouštědla rozpouštějí filmotvorné složky nátěrové hmoty, upravují její reologické vlastnosti a převádějí ji na konzistenci vhodnou k nanášení a vytvoření souvislého a stejnoměrného filmu. Ředidly se upravují dodatečně konzistence nátěrových hmot před jejich nanášením.

b/ Soudržnost nátěrů je způsobena mezimolekulovou přitažlivostí makromolekul pojiva. Při zasychání dochází k chemické reakci /polymeraci, polykondenzaci, polyadici/ a pojivo je spojováno kovalentní vazbou, obtížně porušitelnou rozpouštědlem. Chemická reakce může probíhat při normální teplotě reakcí se vzdušným kyslíkem /olejové, alkydové na vzduchu schnoucí nátěry/ nebo účinkem tvrdidla /polyurethanové, polyesterové, epoxidové, epoxidéhtové nátěry/ nebo při zvýšené teplotě 100 - 200°C /vypalovací laky, nátěry alkydové, epoxidové a akrylátové/.

Tab.III Základní vlastnosti nátěrů

Nátěry	Způsob vytváření vrstvy	Způsob zasychání			Odolnost					ohybová pevnost	odolnost proti oděru	tvrdost
		při normální teplotě	přisoušením	vypalováním	k teplu	+ slunečnímu záření	k vodě	k chemikáliím	k minerálním rozpouštědům			
nitrocelulozové	odpaření rozpouštědla	x	x		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)
chlorkaučukové	odpaření rozpouštědla	x			-	(-)	(+)	(+)	-	(+)	(+)	(-)
asfaltové	odpaření rozpouštědla	x		x	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)
z vinylických polymerů	odpaření rozpouštědla	x			(-)	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	(+)
olejové	polymerace	x			(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
alkydové	polymerace	x	x		(-)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
melaminové	polykondenzace			x	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)		
fenolformaldehydové	polykondenzace	x		x	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	+	+
močovinoformaldehydové	polykondenzace	x		x	(+)	(+)	(+)	(-)	(+)	(-)		+
epoxidové/tvrzené aminy/	polymerace	x	x		(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)		
epoxydehtové	polymerace	x			(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	+	+
epoxyesterové	polymerace	x		x	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	+	+
silikonové	polykondenzace			x	+	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	+	+
polyurethanové	polymerace	x	x		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+
akrylátové	polymerace	x	x	x	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)

odolnost a vlastnosti: + velmi dobré (-) špatné (+) dobré - velmi špatné

Nátěrovou hmotu lze nanášet několika způsoby:

- 1/ štětcem, válečkem - zajišťuje dobrou penetraci nátěru do nerovností povrchu, nevýhodou je malá produktivita práce
- 2/ stříkáním - nátěrová hmota je rozprašována v trysce stříkací pistole a kapky jsou vrhány na povrch plechu
- 3/ elektrostatickým - ve stříkací pistoli /záporně nabitá stříkáním na 50 000 V/ se nabíjejí částice hmoty a jsou přitahovány k uzemněnému plechu
- 4/ elektroforetickým - využívá se migrace záporně nabitých částic nátěrové hmoty ve vodním elektrolytu k anodicky zapojenému plechu, ponořenému do nanášecí lázně /17/

c/ Pro automobilový průmysl je nejvhodnější nanášení nátěru elektroforetickým stříkáním; z hlediska kvality, vlastností a ceny povlaku. Nátěrové hmoty se používají v automobilovém průmyslu jako konečná úprava povrchu součástí z plechu. Základní nátěry a jejich vlastnosti uvádí tab.III /1/.

2.2.1.2 Plasty

T r v a l é p o v l a k y

a/ neprůsvitné - nanesená vrstva může být jednobarevná nebo různobarevná, povrch může být hladký nebo se vzorem, popř. napodobuje kůži nebo textil. Plechy mohou být opatřeny povlakem jen na jedné straně, druhá strana je často pozinkována a lakována, nebo oboustranně a přitom na každé straně

může být povlak jiné tloušťky a jiné barvy.

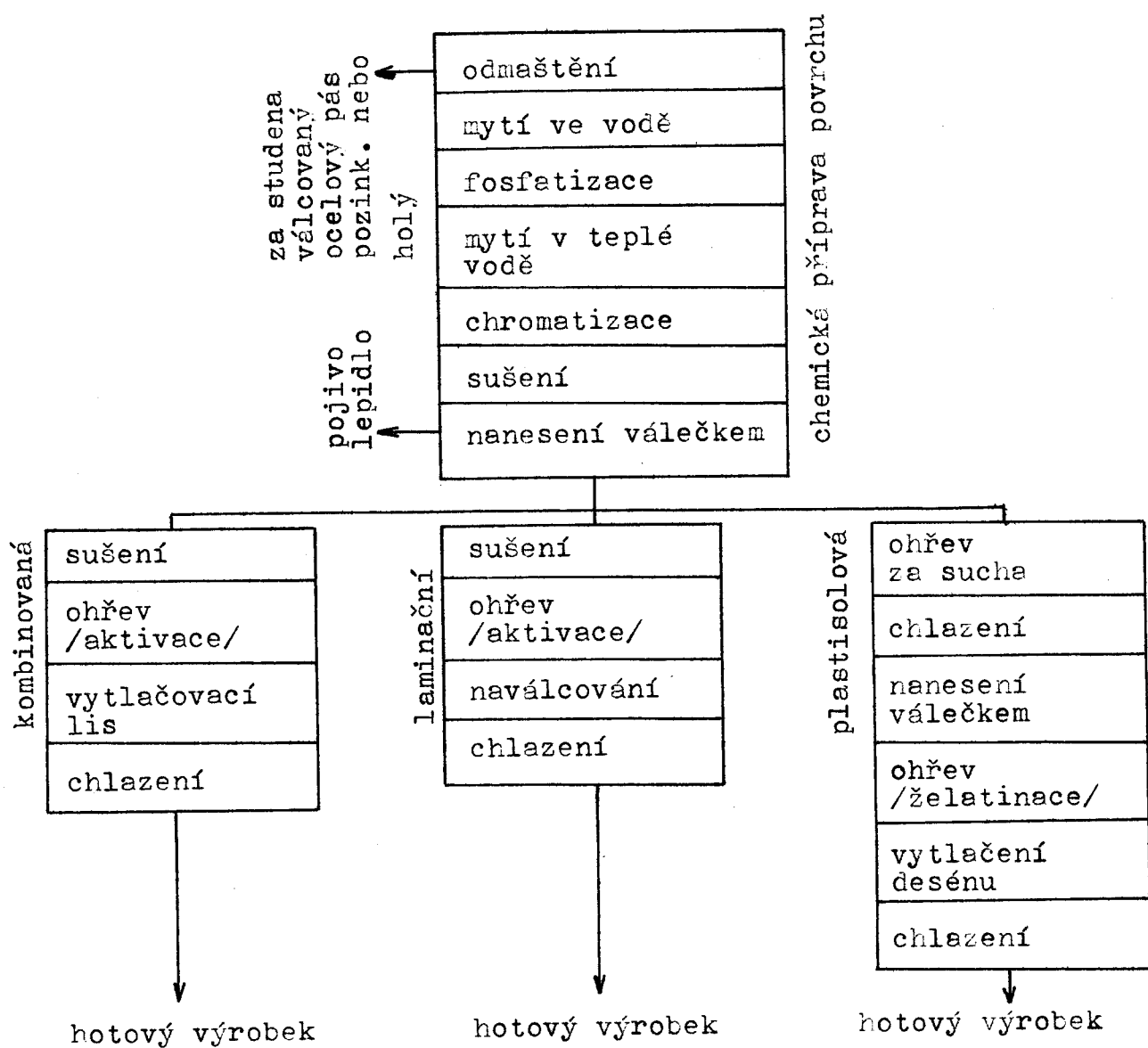
průsvitné - nanesená vrstva plastické hmoty bývá bezbarvá nebo může mít nádech některé barvy. Plastická hmota může být různého druhu, nejčastěji se však používá polyetylén. Plechy s průsvitnými povlaky mají prakticky jed nouúčelové použití v obalové technice.

Tab. IV Nejpoužívanější druhy tenkých plechů s trvalými neprůsvitnými povlaky z plastických hmot

Výrobek	Země výrobce	Technologie	Zákl. mat.	Druh pl.hm.	Tloušťka povl./mm/
PLATAL	NSR	plasti-solová	Fe	PVC	0,1-0,3
SKINPLATE	Belgie	laminační	Fe, Al Mg	PVC	0,2-0,3
STELVETITE	Velká Británie	laminační	Fe	PVC	0,36
LAMIPLATE	Velká Británie	laminační	Fe pozín.	PVC	0,1-0,2
ARVINYL	USA	laminační	Fe, Al Mg	PVC	0,1-0,3
MIRACOIL	USA	plasti-solová	Fe	PVC	0,1-0,3
KASHA-BAND	NSR	laminační	Fe	PVC	0,1-0,3
SULLYONE	USA	laminační	Fe, Al Mg	PVC	0,1-0,3

b/ Pro povlékání se používá především PVC - patří mezi termoplasty, je v podobě prášku, který se pro použití upravuje různými přísadami změkčovadel a stabilizátorů, dodatečným chlorováním nebo kopolymerizací s jinými monomery. Nanáší se v podobě fólií nebo past. Za studena válcovaný plech se může opatřit vrstvou PVC třemi způsoby:

- 1/ PVC se nanese na plech a zahřeje až po želatinaci, čímž vrstva dostane konečné vlastnosti = plastisolový způsob nanášení
- 2/ Na ocelový pás se naválcuje předem zhotovená polotvrdá nebo měkká fólie z PVC. Fólie má již konečné vlastnosti povrchové vrstvy = laminační způsob nanášení
- 3/ Fólie PVC se vytváří až během nanášení plastisolu ve vytlačovacím lisu a naválcuje se



Obr.6 Schéma výrobních postupů kontinuálního povlékání ocelových plechů vrstvou PVC

c/ Při použití v automobilovém průmyslu je přednostní vlastností povlaků z plastických hmot jejich ohnivzdornost, tlumící účinky u součástí podléhajících chvěním. Plechy s povlaky z plastických hmot se používají jako otklady vnitřních stěn a stropů autobusů, kde působí plech i jako nosný prvek, lisují se z něho kostry sedadel, přístrojové desky automobilů, aj.

S n í m a c í p o v l a k y

a/ Povrchová úprava, záležející na nanesení tenké vrstvy plastické hmoty, popř. vrstvy plastické hmoty kombinované s papírem, je pouze dočasná a povlak se v konečném stadiu výroby odstraní.

Vrstva plastické hmoty je obvykle velmi tenký film o tloušťce několika tisícín mm, který je bezbarvý nebo barevný, průsvitný, popř. na něm mohou být natištěny reklamní nebo technické údaje. Ve světě patří mezi největší výrobce těchto plechů švédská firma NYBY-BRUKS, A.B. a západo-německá firma TRANSMARE.

b/ Na snímací povlaky se používá především PVC a polyetylén /v případě, že fólie slouží zároveň i jako mazací prostředek/. Snímací povlaky se vytváří naválcováním fólií nebo nanášením tekuté hmoty vytlačovací hubicí, stříkáním nebo naválcováním. Odstraňují se odloupnutím /stažením/, omytím /rozpuštěním/, okartáčováním, přešetřením, apod.

c/ Povlak má chránit povrch plechu při dopravě, při manipulaci a zpracování před poškrábáním, znečištěním a zamaštěním, především u výrobků s lesklým nebo leštěným povrchem.

Některé druhy těchto snímacích povlaků slouží i jako velmi účinný prostředek při lisování /18/.

2.2.2 Nekovové anorganické povlaky /konverzní povlaky/

Z anorganických povlaků se pro tenké plechy používané v automobilovém průmyslu dají využít pouze povlaky konverzní. Jsou to uměle vytvořené vrstvy oxidů, fosforečnanů nebo chromanů kovu.

1/ O x i d a č n í v r s t v y

Vytvářejí se na nelegovaných ocelích, chemickou oxidací v alkalickém prostředí s obsahem oxidovaadla nebo oxidací na vzduchu za zvýšené teploty. Oxidické vrstvy mohou být barveny a utěšňovány oleji a laky. Tloušťka vrstvy je obvykle 1 - 30 μm .

Podle vzhledu získaného povrchu je oxidování černé, hnědé a modré. Hnědění a modření oceli se provádí popouštěním na barvu při teplotách 240 - 310°C. Černění se provádí v roztoku dusitanu a louhu sodného a nitrofenolu ve vodě při teplotách 130 - 140°C po dobu 10 - 20 minut, následuje oplach.

Oxidace se provádí velmi často jak na ochranu povrchu proti korozi, tak ke zlepšení vzhledu povrchu.

2/ F o s f á t o v é v r s t v y

Podstatou fosfátování je vytváření vrstev nerozpustných terciárních fosforečnanů reakcí mezi kovem a složkami fosfatizační lázně. Fosfátování je možné provádět ponorem, postřikem nebo elektrofosfatizací při teplotě 20 - 70°C.

Získaná vrstva je krystalická, šedá, křehká a elektricky nevodivá. Tloušťka vrstvy je $0,1 - 10 \mu\text{m}$.

Získané vrstvy jsou schopny absorbovat olej, mazací emulze a nátěrové hmoty. Fosfátové vrstvy mají dobré elektroizolační vlastnosti a v kombinaci s nátěrovými hmotami se ještě zvyšuje jejich odolnost proti korozi.

3/ Chromátové vrstvy

Tento způsob úpravy povrchu spočívá ve vylučování vrstev nerozpustných chromanů. Chromátovací lázeň pro ocelové plechy je v podstatě velmi zředěná kyselina chromová, ohřátá na teplotu 95°C . Proces trvá kolem jedné minuty. Tloušťka vrstvy je $0,01 - 0,5 \mu\text{m}$.

Chromátové vrstvy jsou oproti fosfátovým vrstvám odolnější proti korozi, jsou-li nepórovité, brání bariérovým způsobem, porušené chrání podklad inhibičním účinkem rozpuštěného chromanu.

Další konverzní povlaky, získané např. bezproudovým niklováním /vhodné pro renovaci součástí/, eloxováním /pro Al/, nejsou vhodné pro použití v automobilovém průmyslu /1,8/.

3. POŽADAVKY KLALENÉ NA TENKÉ PLECHY S POVLAKY PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

U povrchově upravených plechů jsou kromě dobré korozní odolnosti kladeny vysoké požadavky na tvaritelnost, svařitelnost, dodatečnou povrchovou úpravu. Požadavky spotřebitelů na jakost protikorozní ochrany automobilových karosérií stále rostou, neboť životnost moderního automobilu je dána do značné míry životností ocelové karosérie. Pro výrobce automobilů je problém povrchové úpravy spojen nejen s delšími záručními lhůtami na ochranu karosérií, ale rovněž s požadavky na snížení hmotnosti a zpevnění karosérií, což souvisí se snižováním spotřeby pohonných hmot a zvýšenými nároky na bezpečnost automobilů.

3.1 Korozivzdornost

Odolnost proti korozi je prvořadým kritériem při použití povlakovaných plechů v automobilovém průmyslu a také hlavním důvodem jejich výroby.

Koroze je nežádoucí jev, způsobený vlivy prostředí, který se projevuje fyzikálně-chemickými změnami na povrchu materiálu, a tím i jeho postupným znehodnocování. Kovy ztrácejí lesk, povrch se stává drsným a vytvářejí se chemické sloučeniny - vrstvy oxidů /rez/.

Přítomnost vodních par ve vzduchu způsobuje atmosférickou korozi. Kromě tohoto nejčastějšího druhu se působením plynů za vysokých teplot vyskytuje koroze chemická /součásti motoru, výfukové potrubí/. Podle působení koroze na povrch

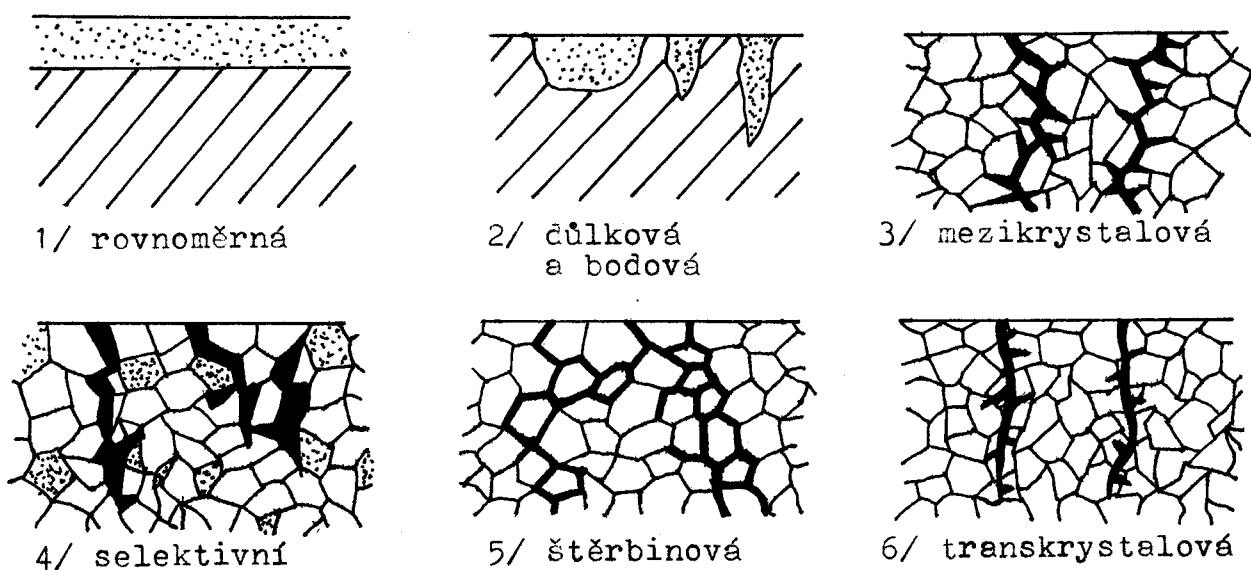
plechu rozeznáváme korozi /obr.7/ :

- 1/ rovnoměrná - je to nejběžnější forma korozního napadení, projevuje se po celém povrchu materiálu a materiál stejnoměrně ubývá, výrazně se snižuje pevnost materiálu
- 2/ důlková a bodová - je to lokalizované napadení ve formě důlků /pitting/, jejichž průměr bývá obvykle menší než jejich hloubka. Tato koroze vede k proděravění materiálu, aniž by ubyla velká hmota kovu.
- 3/ mezikrystalová - je způsobena zvýšenou aktivitou na hranicích zrn, dochází k rozrušování mezi jednotlivými krystaly uvnitř materiálu, často bez znatelných změn na povrchu kovu, způsobuje ji mnohdy špatné tepelné zpracování a dochází především ke ztrátě pevnosti
- 4/ selektivní - dochází k ní u vícefázových slitin s výrazně rozdílnou aktivitou fází nebo u tuhých roztoků. Materiál křehne, ztrácí pevnost a stává se propustným.
- 5/ štěrbinová - je způsobena nehomogenitou složení korozního prostředí na povrchu kovu / to je dáno rozhraním fází / nebo usazením mechanických nečistot na povrchu, napadení působí jako vruby a způsobuje pokles mechanických vlastností
- 6/ transkrystalická - vznikají lomové trhliny působením tahového napětí. Trhliny mají charakter obdobný křehkému lomu, probíhají kolmo na směr napětí, po hranicích zrn nebo přes zrna po kluzných rovinách /1/.

Zlepšování vlastností nebo zmenšování aktivity povrchu materiálu je založeno na několika různých mechanismech působení ochranných povlaků a vrstev:

- a/ povlak nebo vrstva poskytuje podkladovému kovu katodickou ochranu /např. Zn na oceli/

- b/ vrstva slitiny, vytvořená obohacením povrchu kovu legujícím prvkem má v souladu s principem antikorozního legování lepší odolnost než chráněný kov /difuzní chromování, hliníkování, apod./
- c/ povlak izoluje chráněný povrch od korozního prostředí /povlaky z plastů a pryží, povlaky z niklu na oceli/
- d/ vrstva uměle vytvořených sloučenin chráněného kovu má lepší ochranné vlastnosti /fosfátové, oxidové vrstvy/
- e/ vrstva látek, které mají na chráněný kov inhibiční účinek /chromátování zinku, základové nátěry/



Obr.7 Formy korozního napadení

Elektrolytické zinkování dává povlak, který chrání proti korozi i tehdy, jestliže není souvislý. Vhodným korozivzdorným materiálem jsou plechy pozinkované ponorem, jsou plnohodnotnou náhradou plechů válcovaných za studena. Jejich vlastnosti jsou silně ovlivněny žíhacím procesem a složením povrchové vrstvy.

Povlaky z plastických hmot zajišťují výbornou ochranu proti korozi, nanáší se v tloušťce 0,3 - 2mm, která zaruču-

je, že ve vrstvě nebudou průchozí póry. Kritériem ochranné schopnosti nátěrových hmot, až na některé výjimky, je jejich propustnost. Anorganické konverzní povlaky poskytují jen částečnou ochranu proti korozi, neboť povlakové vrstvy jsou poměrně slabé - asi $2 \mu\text{m}$ /1/.

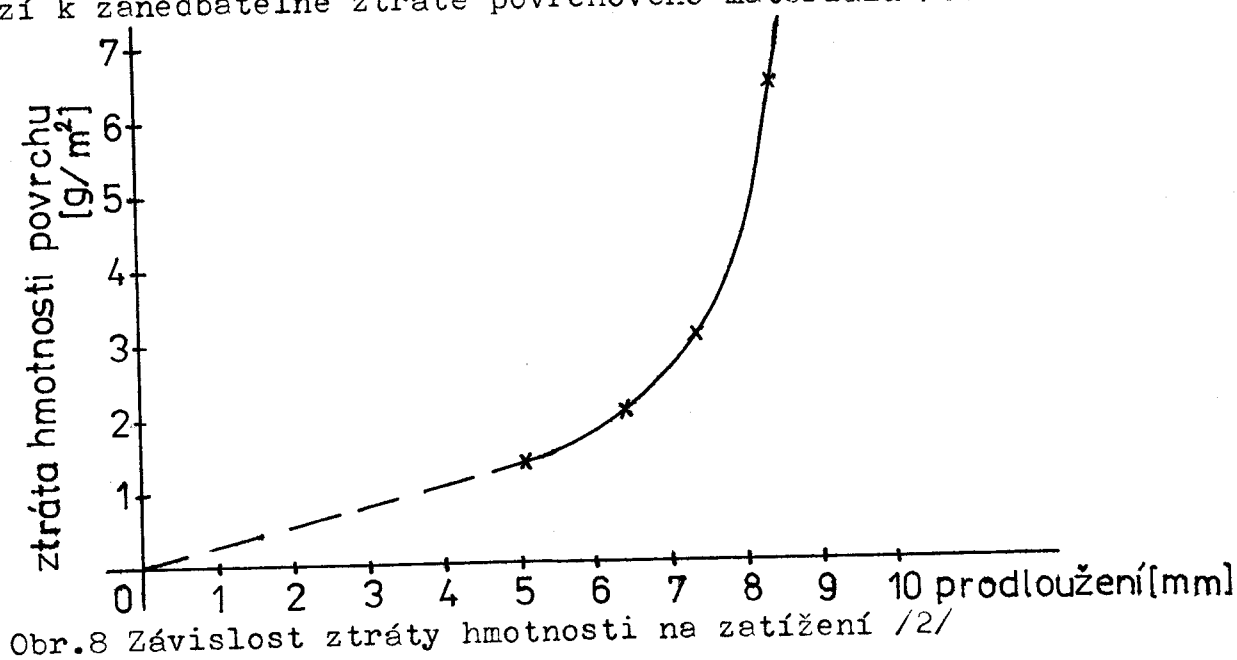
3.2 Tvařitelnost

Dostatečná tvařitelnost je základním požadavkem pro úspěšné využití pozinkovaných plechů v automobilovém průmyslu. Dříve používané plechy válcované za studena nabízely dobrou tvařitelnost i jiné vyhovující vlastnosti. Značná zkušenost jednotlivých výrobců zajistila dobrou lisovatelnost a nízké počty poškození. Výroba pozinkovaných plechů sice zvyšuje korozivzdornost, ale snižuje se objemová tvařitelnost, a to z důvodů neúplného vyžihání /to způsobuje kontinuální žihání/ a napětími, danými způsobem válcování.

K získání kvalitnějších plechů byl vývoj směřován na chemickou a technologickou stránku. K dosažení vhodných vlastností pozinkovaných plechů se tyto před pozinkováním vyžihají v hrncích, čímž je získána hrubozrnná struktura. Částečná precipitace uhlíku způsobuje zvýšení pevnosti. Ke zvýšení tvařitelnosti je možné snížit obsah uhlíku a snížit teplotu žihání. Tvařitelnost je možné zvýšit také přidáním Ti, který na sebe váže C a tvoří karbidy Ti, Ti však na druhou stranu zvyšuje koeficient zpevnění /n/.

Chování povrchové vrstvy během tažení je nejsledovanějším jevem. Většina vad povrchové vrstvy je způsobena nízkou tažností fází slitiny Zn-Fe na obou stranách plechu. K zís-

kání přehledu o chování povrchové vrstvy se provádí zkouška Olsenova /tažení povrchové vrstvy/ a Marciniakova /kombinované namáhání/. Výsledky Olsenovy zkoušky ukázaly, že dochází k zanedbatelné ztrátě povrchového materiálu /obr.8/.



Obr.8 Závislost ztráty hmotnosti na zatížení /2/

Tvařitelnost tenkého plechu povlečeného plastickou hmotou je lepší než u plechu holého. Vrstva plastické hmoty, která sama o sobě má tažnost značně větší než ocel, působí zejména při hlubokých tazích jako vynikající mazivo a zlepšuje podmínky tváření. Je důležité, aby vrstva plastické hmoty byla dostatečně tlustá, aby ani v místech největších deformací skrz ni neprosvítal základní plech /18/.

U nátěrů zajišťuje dostatečnou plasticitu druh pojiva, který zároveň zabezpečuje soudržnost nátěru. Při nízké plasticitě povrch praská a odlupuje se vlivem pnutí, vznikajícího v důsledku rozdílné tepelné roztažnosti nátěru a kovu /1/.

3.3 Svařitelnost

Nedílnou součástí problematiky zpracování tenkých plechů

s povlaky je jejich spojování. Jde zejména o nerozebíratelné a montážní spoje. Technologie svařování patří mezi nejprogressivnější, reprezentuje více než 40% všech spojů tenkých plechů, včetně povrchově upravených, což je dáno zejména velkými možnostmi automatizace a mechanizace této technologie.

Nejvýhodnější metodou je odporové svařování, při dodržení všech potřebných podmínek /zařízení, polohovačla, sériovost, kusová jednoznačnost, nákladovost, apod./ se v automobilovém průmyslu používá nejvíce. Nízký bod tavení zinkového povlaku /420°C/ a z toho vyplývající malý odpor proudu ve styku při průběhu svařovacího proudu vyžaduje použití silnějšího proudu i delšího času svařování než u plechu nepozinkovaného, a to o 20-50% /tab.V/.

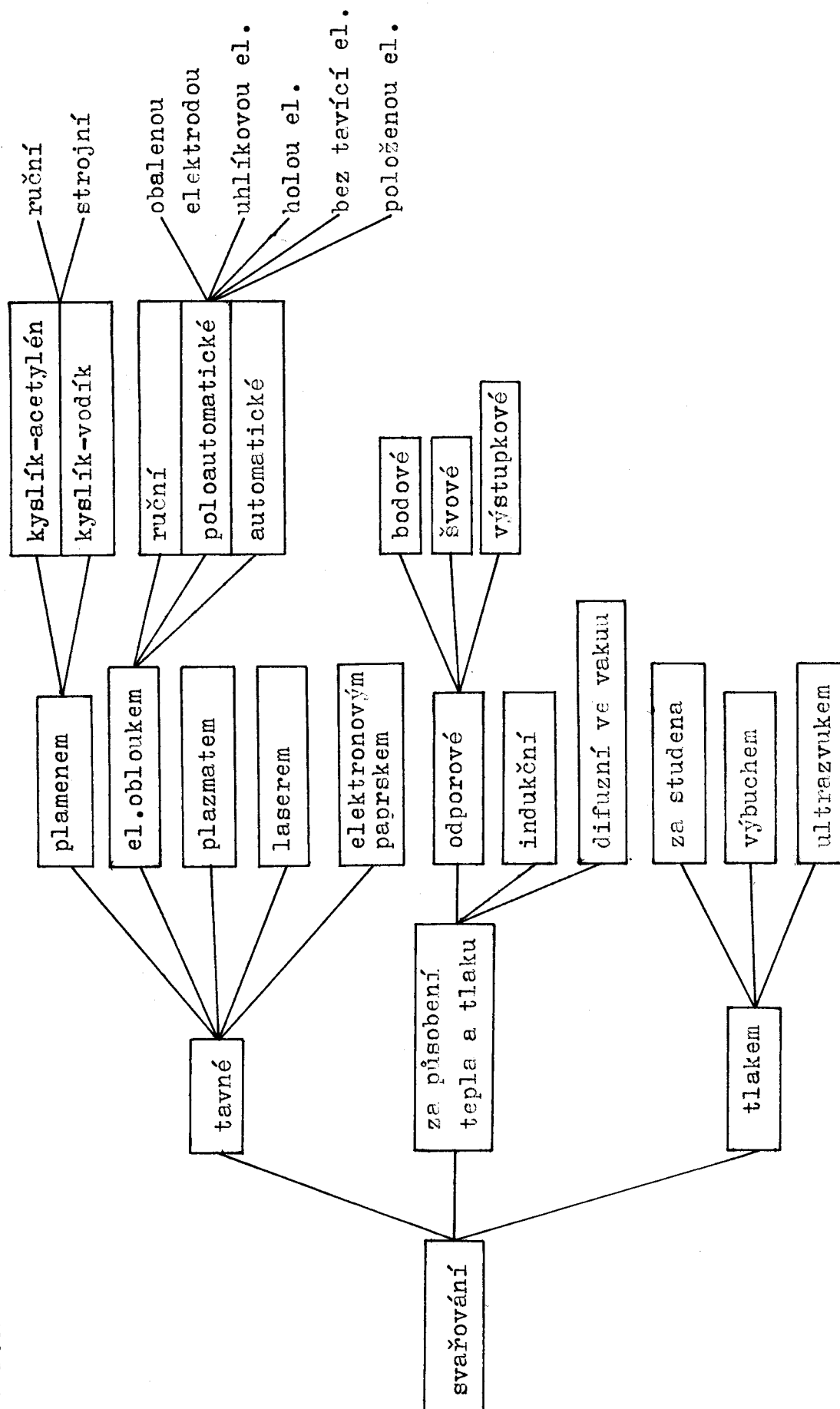
Tab.V Porovnání výkonu svařovacího zařízení pro holý
a pozinkovaný plech/12/

Plech	holý	pozinkovaný
tloušťka plechu /mm/	-	1
čas svařování /periody/	8	13
svařovací proud /A/	4 000	125 000
počet svarů za minutu	50	50
pracovní cyklus	11,1	18,0
sekundární napětí /V/	11,8	11,8
příkon	106	147
výkon při 50% prac.cyklů	50	86

Pro svařování pozinkovaného plechu se používá elektrod ze slitiny Cu a Cr nebo Cu a Zr o tvrdosti nejméně 75 HB. Nejvhodnější jsou elektrody z čistého wolframu, mají nejdelší životnost.

Použití plechu s povlakem z plastické hmoty vyžaduje svařování švové a bodové. Plech s plastickou hmotou lze svařovat

Obr.8A Přehled a rozdělení metod svařování tenkých plechů s povlaky



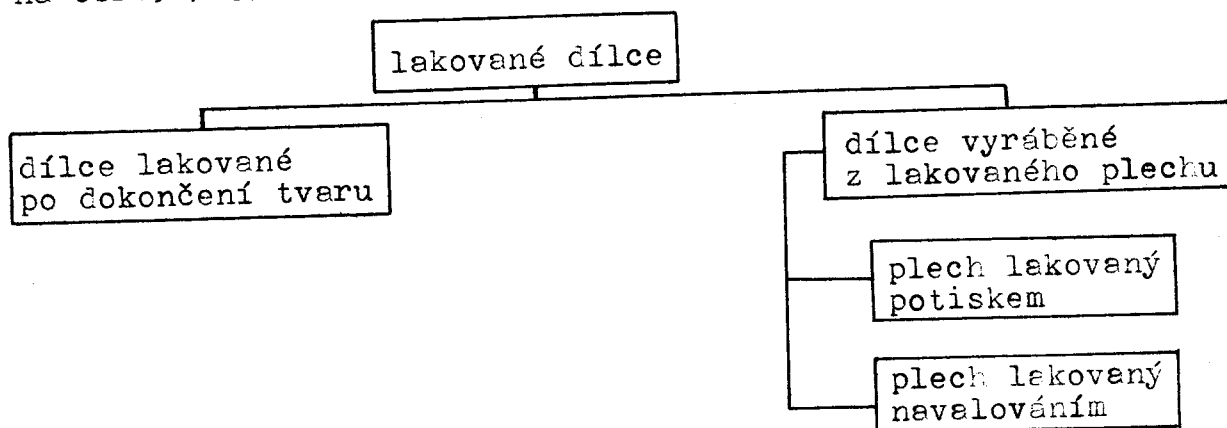
jen za předpokladu, že teplo, které se přitom vyvine, nepoškodí plastickou hmotu, jež by se mohla teplem deformovat, popř. zuhelnatět. Nepříznivé změny vlastností PVC vznikají již při teplotách 150°C.

K vzájemnému svařování vrstev plastické hmoty je vhodné vysokofrekvenční zařízení, které se skládá z vysokofrekvenčního generátoru a svařovacího lisu. Tímto svařováním mohou být vytvořeny spoje odolávající vysokým stříhovým silám /i větším než pevnost plechu v tahu/. Plechy s těmito povlaky lze svařovat také horkým vzduchem/18/.

3.4 Lakovatelnost

Je dalším důležitým požadavkem pro následné zpracování povlakovaných plechů. Podle druhu povlaku je nutné volit lak i způsob lakování, aby bylo dosaženo konečné kvalitní úpravy povrchu plechu.

Lakované dílce se vyrábí některým z postupů uvedených na obr.9 /13/.



Obr.9 Výroba lakovaných dílců

K zajištění potřebné přilnavosti laku a korozivzdornosti povrchově upraveného plechu je zapotřebí plech před lakováním upravit odmaštěním, fosfátováním a pasivací přípravkem. Plechy jsou opatřeny nejdříve vrstvou základní nátěrové hmoty /Epoxy Primer, Acrylic Primer, Corrosion Resistent Primer/ a potom vrchní vrstvou nátěrové hmoty /Acrylic Finish, PVDF Fluoralue Finish/. Povrch nátěru může být v úpravě lesklé, pololesklé, polomatiné a matné.

Lakovatelnost plechů se v ČSSR vyhodnocuje podle norm ČSN a také podle zkoušek převzatých ze zahraničí. Hodnotí se především lesk, odstín, tloušťka nátěru, přilnavost nátěru, odolnost v ohybu, odolnost při deformaci úderem, tvrdost, pórovitost, odolnost proti povětrnostním vlivům, proti střídání teplot, korozivzdornost. Pro dosažení dobré odolnosti vůči korozi nesmí plech obsahovat více jak 7 mg povrchového uhlíku na m^2 .

Při anodickém lakování obsah povrchového uhlíku neovlivňuje odolnost vůči korozi. Pro katodické lakování je potřebné vyrobit při fosfátování krystalky fosfátové vrstvy velikosti pod 20 μm , aby byla dobrá odolnost proti korozi zaručena. Žárově pozinkované plechy ztrácejí rychle přilnavost laku po působení agresivních činidel.

Z uvedených druhů plechů v předchozích kapitolách vynikají výbornou lakovatelností zejména GALFAN a ZINCROMETAL /lakování nepovlečené strany různými postupy/. Pro zlepšení lakovatelnosti se v Japonsku vyvíjí plechy s dvouvrstvými povlaky Zn-Cr/Zn-Ni, Zn/Zn-Ni, Zn-Fe/Zn-Ni /7, 18/.

B. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4. NÁVRH METODIKY URČOVÁNÍ VLIVU STAVU NAPJATOSTI NA CHARAKTER A INTENZITU PŘETVOŘENÍ POVLAKŮ TENKÝCH PLECHŮ

S neustále rostoucími nároky na povrchově upravené plechy roste i význam zkoušení a posuzování vzhledem k požadavkům, které jsou na ně kladeny.

Neexistuje zatím univerzální metoda, která by spolehlivě určila a postihla všechny vlastnosti povrchově upraveného plechu. Pro určování jejich vlastností se používá celá řada zkoušek. K běžným patří zkouška tahem, ohybem, zkouška tvrdosti, Erichsenova zkouška hloubením, hydraulická, klínová, kalíškovací, zkouška tlakem, zkouška TZP, Fukujiho zkouška, zkouška Siebela-Pompeho, kontrolní zkouška chemického složení, metalografická kontrola mikrostruktury, kontrola stavu povrchu a rozměrových tolerancí. Kromě toho existuje celá řada speciálních, nenormalizovaných neboli napodobujících zkoušek, vyžadujících náročné podmínky a přístroje, které se však používají v menší míře/4/.

Ve vztahu k povlaku plechu je nutné si vymezit některé pojmy důležité k jeho hodnocení. Především je to korozní odolnost, která se vztahuje k obecnému rozdělení koroze na "kosmetickou"/začátek koroze, objevují se puchýře a povlak se loupe/ a na "perforační"/koroze zasahuje celou tloušťku plechu, plech prokoroduje/. Korozní odolnost však hodnotí již finální výrobek /např. u automobilu blatník s lakem, podběh/. Ke zjišťování korozní odolnosti se používají korozní zkoušky.

Tato diplomová práce by měla navrhnout metodiku určování korozní odolnosti, ale určovat ji až teprve na finálním

výrobku je nevýhodné, jelikož pro výrobce je nutné znát vlastnosti plechu již před výrobou automobilu. Proto je nutné se zabývat nejdříve hodnocením míry ztráty ochranné funkce povlaku v důsledku jeho porušení a do budoucna hledat vztah mezi korozní odolností a mírou ztráty ochranné funkce povlaku.

Zabývat se mírou ztráty ochranné funkce povlaku znamená hodnotit kvalitu povlaku, jak dlouho povlak vydrží než se koroze dostane na základní plech a sledovat změnu tloušťky povlaku. Je nezbytné tedy modelovat různé stavy napjatosti a různou intenzitu přetvoření, aby bylo možné posoudit chování povlaku, tzn. jak se mění povrch, při jaké intenzitě přetvoření se objevují trhliny v povlaku, jaký vliv má stav napjatosti na tvar trhlín a jaká je jejich orientace.

4.1 Rozbor stavů napjatosti a přetvoření při lisování plechu

Složitost problematiky přetvoření při lisování spočívá v tom, že na výliscích nepravidelných tvarů se vyskytuje velmi různorodá skladba stavů napjatosti a přetvoření.

Stav napjatosti v krychlovém elementu tělesa je obecně určen třemi normálovými a šesti smykovými napětími. Při vhodně zvolené poloze hlavních os elementu se smyková napětí navzájem vyruší a stav napjatosti je popsán třemi hlavními napětími $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, přičemž platí: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Existuje devět schémat hlavních napětí.

Pomocí tohoto souřadného systému můžeme popsat i přetvoření. Mluvíme o tzv. schématech hlavních přetvoření, která velmi názorně ilustrují podmínku stálosti objemu při plastic-

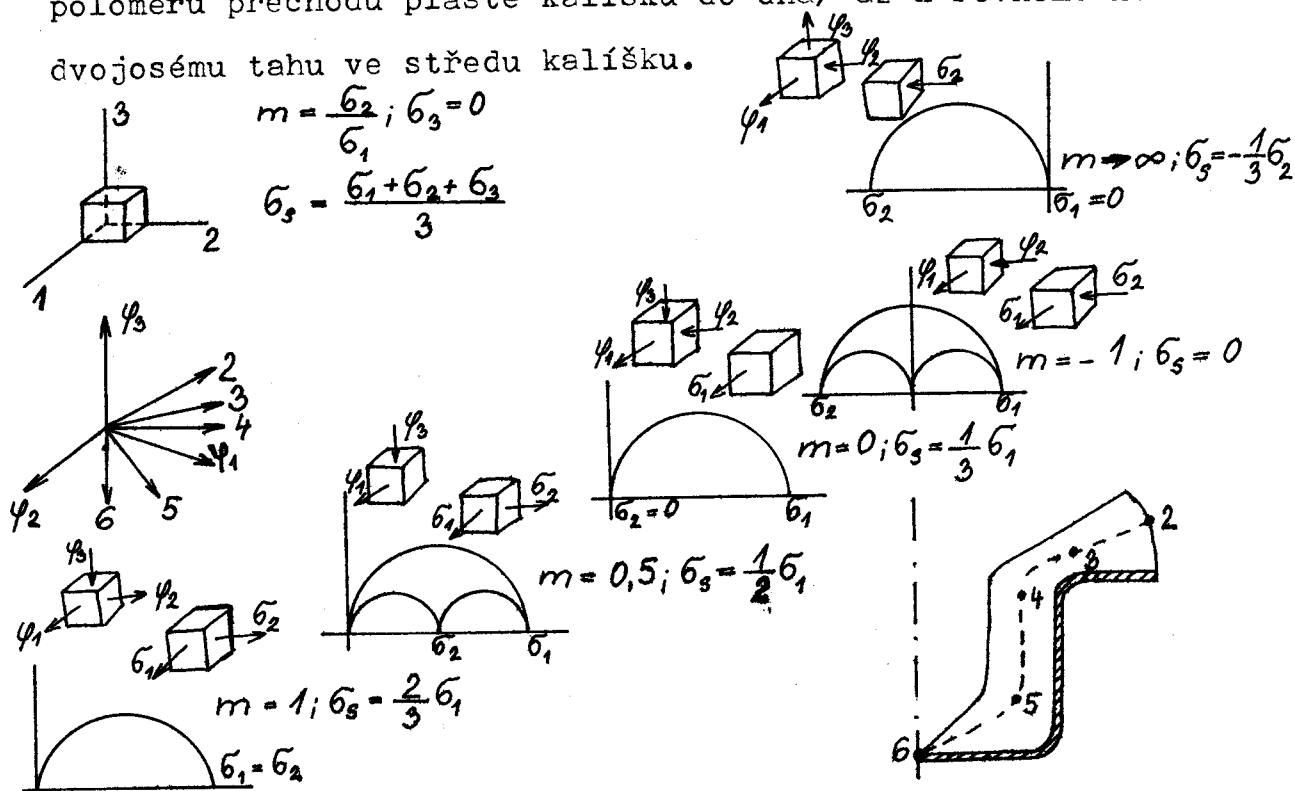
kém přetvoření:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0$$

/1/

Z uvedeného vztahu vyplývá, že existují pouze tři druhy schémat hlavních přetvoření. Systém tří hlavních souřadnic lze dále rozdělit ve třech různých směrech, vždy na dvojice oblastí s opačnými znaménky přetvoření. Takto vznikne systém 12-ti přímk, z nichž každá představuje určité charakteristické přetvoření.

Jak plyne z obr.10, vyskytují se při lisování plechů přetvoření, která odpovídají paprskům 2 až 6. Z hlediska stavů napjatosti to představuje rozsah od jednoosého tlaku /např. na vnějším okraji příruby taženého kalíšku/, přes prostý smyk / v určitém místě příruby/, k jednoosému tahu /v blízkosti tažené hrany/ a dále dvojosému tahu /v blízkosti poloměru přechodu pláště kalíšku do dna/ až k rovnoměrnému dvojosému tahu ve středu kalíšku.



Obr.10 Stavy přetvoření a stavy napjatosti charakteristické pro výlisky

4.2 Analýza stavu napjatosti a stavu přetvoření metodou deformačních sítí

Ze zákona stálosti objemu při plastických deformacích /kap. 4.1/ plyne, že pro určení stavu přetvoření při lisování stačí určit jeho dvě hodnoty v rovině plechu.

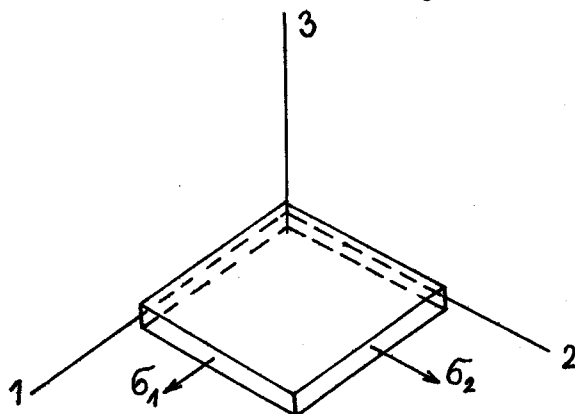
K tomuto účelu se s výhodou používá metody povrchových deformačních sítí. Vezmeme elementární plošku na povrchu výlisku /obr.11/, na kterou působí hlavní normálová napětí, pro něž platí:

$$\sigma_1 : \sigma_2 : \sigma_3 = 1 : m_\sigma : 0 \quad /2/$$

Předpokládejme, že napětí ve směru tloušťky plechu σ_3 je rovno 0. Z předešlého vztahu vyplývá, že:

$$m_\sigma = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \quad /3/$$

kde m je veličina charakterizující stav napjatosti.



Obr.11 Elementární ploška povrchu výlisku

Nyní předpokládejme, že elementární ploška výtežku představuje základní kruhový element deformační sítě, který se deformuje podle obr.12. Na základě změny délek hlavních os elementu lze určit hlavní /logaritmická/ přetvoření v rovině plechu:

$$\varphi_1 = \ln \frac{L_1}{L_0}$$

/4/

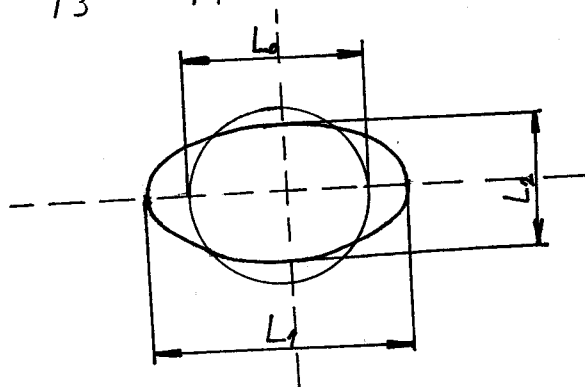
$$\varphi_2 = \ln \frac{L_2}{L_0}$$

/5/

Současně je třeba si uvědomit, že napětí, která způsobují přetvoření, působí sice pouze v rovině plechu / $\varphi_3 = 0$ /, avšak k deformaci plechu dochází obecně i ve směru jeho tloušťky. Přetvoření v tomto směru vyplývá ze zákona stálosti objemu, tedy:

$$\varphi_3 = -\varphi_1 - \varphi_2$$

/6/



Obr.12 Charakteristické rozměry deformovaného kruhového elementu povrchové deformační sítě

Na tomto základě je možné provádět nejjednodušší analýzu poměrů při tažení, stav přetvoření v daném místě výtažku je možno vyjádřit pomocí hodnot $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$, tedy třemi čísly. Chceme-li jej však vyjádřit pouze jedinou hodnotou, musíme zavést tzv. intenzitu přetvoření, která je dána rovnicí:

$$\varphi_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_1 \cdot \varphi_2 + \varphi_2^2}$$

/7/

S ohledem na normálovou anizotropii lze stav napjatosti vyjádřit následujícím způsobem:

$$m_6 = \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \frac{\varphi_2}{r_0}}{\varphi_1 + \varphi_2 + \frac{\varphi_1}{r_{90}}} \quad /8/$$

To znamená, že použitím metody deformačních sítí lze poměrně snadno stanovit stav přetvoření a stav napjatosti v libovolném místě výlisku tím, že určíme hlavní přetvoření

φ_1 a φ_2 . Výchozí rozměr elementů deformační sítě volíme tak, aby byl splněn předpoklad, že v rozmezí elementu je rovnoměrná napjatost, tedy $m_6 = \text{konst.}$

4.3 Diagramy mezních přetvoření

Při analýze tažení výlisků nepravidelných tvarů se tedy nevyšetřuje přímo stav napjatosti, ale využívá se skutečnosti, že existuje vztah mezi tenzorem napětí a tenzorem přetvoření a že je možné stanovit přetvoření na základě měření přímo na výlisku. Napjatost u těchto typů výlisků je velice složitá a v důsledku toho jsou v jednotlivých místech výlisku velmi rozdílné přetvoření.

K hodnocení těchto rozmanitých stavů přetvoření sestavili Goodwin a Keeler v polovině 60. let tzv. diagram mezních přetvoření. Diagram se kreslí v systému os φ_1 a φ_2 , které určují křivku mezních přetvoření, resp. pásmo mezních přetvoření /obr.13/ se vypočtou dle dříve uvedených vztahů /4/ a /5/, kde L_1 a L_2 získáme z tzv. mezního elementu deformační sítě.

Potřebný rozsah různých stavů přetvoření, které se na výlisku vyskytují a které je třeba zjistit, abychom

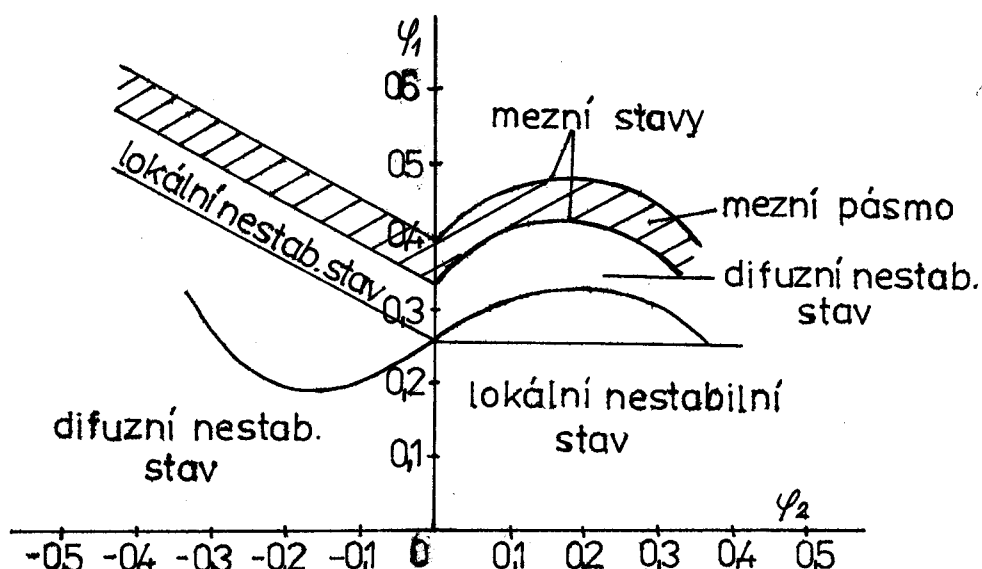
dostali diagram mezních přetvoření v daném rozsahu, vyplývá z obr.14. Veličina m_φ je charakteristika stavu přetvoření a je definovaná dle vztahu:

$$m_\varphi = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \quad /9/$$

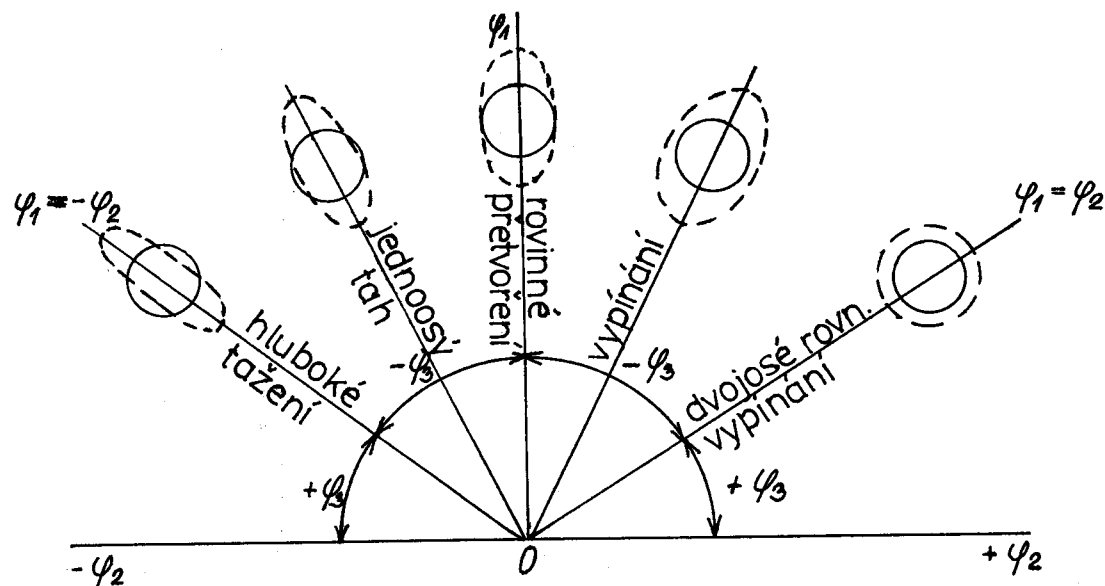
Závislost mezi stavem napjatosti a stavem přetvoření dostaneme dosazením a úpravou vztahů /9/ a /8/:

$$m_\sigma = \frac{1 + m_\varphi + \frac{m_\varphi}{r_0}}{1 + m_\varphi + \frac{1}{r_{90}}} \quad /10/$$

Praktické využití diagramu mezních přetvoření tkví v tom, že je možné určit, jak "daleko" je stav přetvoření v daném místě výlisku od mezního stavu, představovaného kritickým mezním přetvořením. Pokud některý stav přetvoření /daný hlavními normálovými přetvořeními na výlisku φ_1 a φ_2 / leží v blízkosti spodní hranice kritického mezního přetvoření nebo dokonce ještě výše, hrozí v odpovídajícím místě výlisku vznik trhliny a tím i vznik neopravitelných zmetků. Mluvíme zde o vyčerpání schopnosti materiálu k plastickému přetvoření.



Obr.13 Mezní pásmo a teoretická křivka mezní deformace pro konkrétní materiál o daných hodnotách r a n



Obr.14 Přetvoření zjišťovaná pomocí změny tvaru elementu povrchové deformační sítě v diagramu mezních přetvoření

4.4 Vlastní experimentální modelování stavů napjatosti

V souvislosti s modelováním rovinných stavů napjatosti byla na VŠST - katedře tváření a plastů navržena metodika, která využívá zkušebních těles ve tvaru kruhových nástřihů průměru $D = 210$ mm s oboustranným kruhovým vybráním o poloměru $R = D/2 = 105$ mm. Všechny zkušební tělesa mají konstantní poloměr vybrání, ale rozdílnou šířku b ve střední části zkušebního vzorku. Takto lze při jejich tažení dosáhnout různých stavů napjatosti a tím i různých přetvoření, které vyhodnocujeme změnou tvaru elementů nanesené deformační sítě. Zkušební tělesa se táhnou polokulovitým tažníkem a různá hloubka tažení u jednotlivých těles stejné šířky nám určuje intenzitu přetvoření při různých stavech napjatosti.

K experimentu byly použity vzorky oboustranně pozinkovaného plechu KOHAL 20 E/Zn-Fe vyrobeného ve VSŽ Košice a dodaného n.p. AZNP Mladá Boleslav jako materiálu, v budou-

cnu využitelného na výrobu karosérií automobilů.

Výchozí kruhové zkušební tělesa i kruhová vybrání byly připraveny pomocí zvláštních dorazů jediným střížným nástrojem, umístěným na výstředníkovém lisu LENP 40 /obr.15/.

K dosažení různého přetvoření bylo použito vzorků o šířce $b = 30, 75, 120, 160$ a 210 mm.



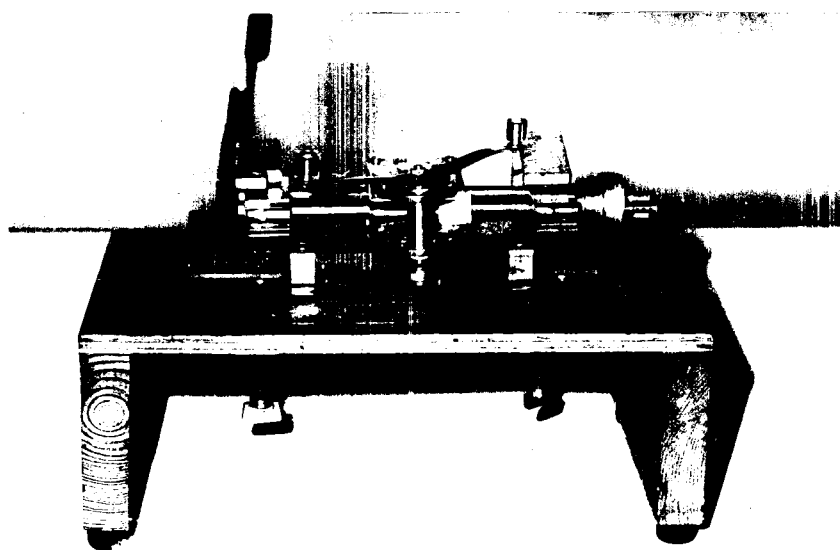
Obr.15 Střížný nástroj umožňující stříhat zkušební tělesa

4.4.1 Vytvoření deformační sítě

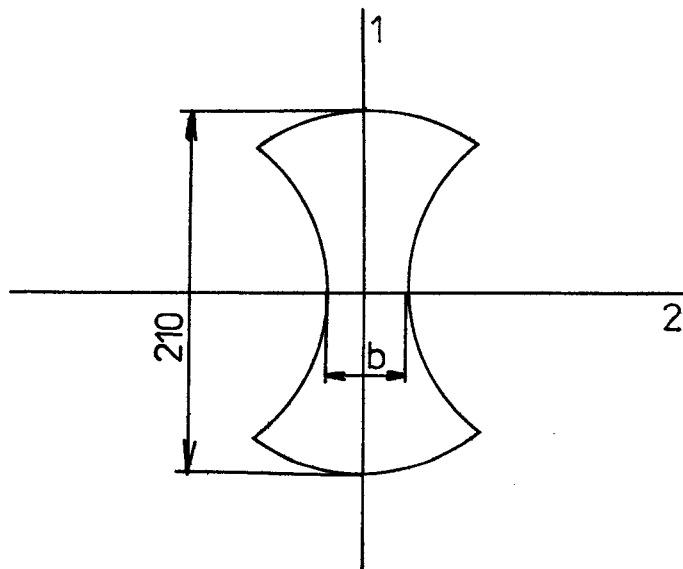
Na katedře tváření a plastů VŠST byla vytváření deformačních sítí věnována velká pozornost. Protože pro hodnocení povlaku Zn-Fe po tažení nesměl být povrch plechu narušen, nemohla být pro vytvoření deformačních sítí užita fotografická metoda kombinovaná s elektrochemickým leptáním, která se k tomuto účelu na katedře běžně používá.

Samotné osvětlení a vyvolání deformační sítě po nanesení

světlocitlivé emulze SCR-5 neposkytovalo požadovanou čitelnost elementů deformační sítě. Při osvětlení a vyvolání světlocitlivé emulze PVA byla čitelnost elementů deformační sítě dobrá, ale při tažení se emulze z důvodu její křehkosti odlupovala. Bylo tedy nutné použít ryté deformační sítě, která byla zhotovena na mechanickém rycím přípravku /obr.16/. Obtížné bylo dodržet konstantní tloušťku ryté čáry z důvodu tvrdosti a drsnosti povrchu plechu /tvrdost a křehkost slitiny Zn-Fe byla způsobena normalizačním žíháním a žárovým nanášením povlaku/, rycí hrot bylo nutné zatížit, aby elementy deformační sítě byly čitelné, to však způsobilo větší šířku ryté čáry, čímž se zvýšila nepřesnost při měření elementů deformační sítě. Pro měření základního průměru kruhového elementu deformační sítě byl proveden náhodný výběr a zjištěny hodnoty L_{01} /průměr výchozího kruhového elementu ve směru kolmém na směr válcování plechu/ a L_{02} /průměr výchozího kruhového elementu ve směru rovnoběžném se směrem válcování/ - označení směrů na zkušebním tělese ukazuje obr.17.



Obr.16 Rycí přípravek použitý k vytvoření deformační sítě

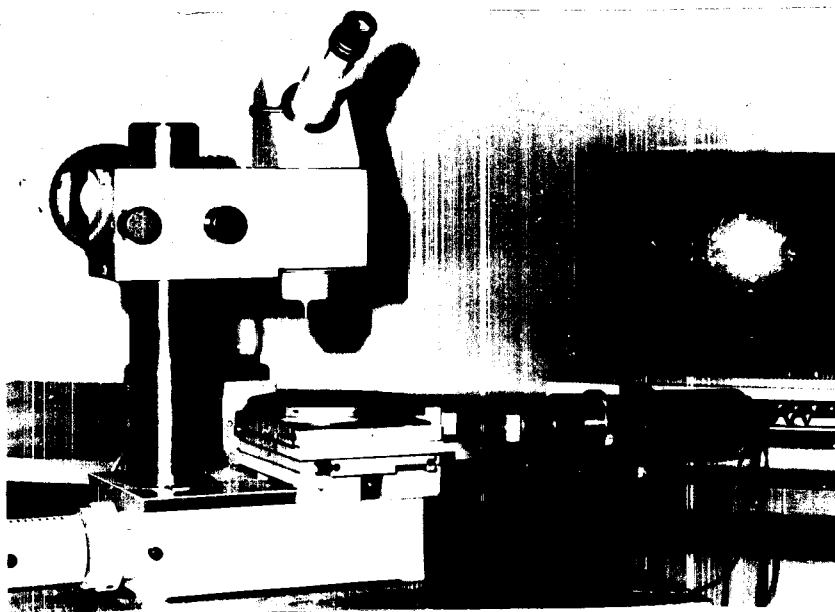


Obr.17 Zkušební těleso s označením směrů

1směr kolmý na směr válcování plechu

2směr rovnoběžný se směrem válcování plechu

Měření výchozích rozměrů kruhových elementů bylo provedeno na dílenském mikroskopu ZEISS, připojeném na počítačovou jednotku. Pomocí předem vytvořeného programu bylo možné po stisknutí spínačů přímo odečítat na monitoru rozměry elementů /obr.18/. Zjištěné hodnoty výchozích elementů uvádí tab.V.



Obr.18 Dílenský mikroskop ZEISS

Tab.V Rozměry výchozích elementů kruhové deformační sítě

číslo měření	L ₀₁	L ₀₂
1	3,459	3,452
2	3,430	3,445
3	3,391	3,426
4	3,396	3,417
5	3,433	3,440
6	3,455	3,451
7	3,409	3,403
8	3,430	3,432
9	3,445	3,449
10	3,436	3,434
11	3,412	3,413
12	3,402	3,401
13	3,430	3,438
14	3,435	3,439
15	3,447	3,442
16	3,412	3,415
17	3,444	3,446
18	3,447	3,448
19	3,432	3,434
20	3,449	3,446
21	3,445	3,449
22	3,411	3,410
23	3,451	3,450
24	3,448	3,442
25	3,427	3,424
26	3,448	3,443
27	3,459	3,457
28	3,410	3,419
29	3,449	3,442
ΣL_{0i}	99,542	99,607

$$\bar{L}_{01} = \frac{L_{01}}{n} \quad /11/$$

$$\bar{L}_{02} = \frac{L_{02}}{n} \quad /12/$$

npočet měření

Střední směrodatná odchylka:

$$\sigma_i = \pm \sqrt{\frac{L_{0i}^2 - \frac{L_{0i}^2}{n}}{n}} \quad /13/$$

$$\bar{L}_{01} = /3,432 \pm 0,019/ \text{ mm}$$

$$\bar{L}_{02} = /3,435 \pm 0,015/ \text{ mm}$$

4.4.2 Tažení zkušebních těles

Vlastní tažení zkušebních těles bylo provedeno na hydraulickém lisu CBA 300. Aby se zabránilo vzniku suchého tření mezi polokulovitým tažníkem a zkušebním vzorkem, byla na povrch vzorku vždy nanesena vrstvička plastického maziva A 00 a mezi tažník a vzorek vloženo několik polyetylénových fólií s mezivrstvami plastického maziva. Počet polyetylénových fólií se zvyšoval úměrně s rostoucí šířkou vzorku b a pro nejširší nástřihy bylo použito až šesti fólií.

Hloubka H tažení u každého vzorku byla určována individuálně, podle okamžiku ztráty stability procesu plastického přetvoření. Za ten lze považovat vznik lokálního ztenčení nebo přesněji vznik okamžiku trhliny. Tyto dva procesy jsou spolu velice úzce spjaty.

Tažení bylo provedeno ručně² a celý proces byl sledován uzavřeným televizním okruhem, který umožnil vizuálně kontrolovat celý proces tažení /obr.19/.

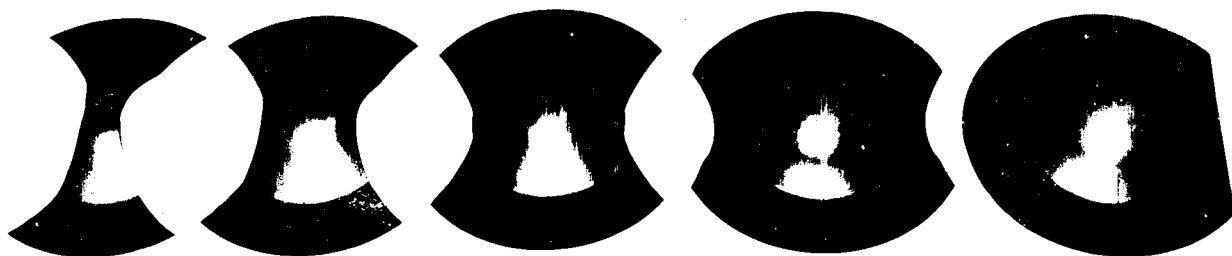


Obr.19 Hydraulický lis CBA 300 s uzavřeným televizním okruhem

4.5 Vyhodnocení zkušebních těles

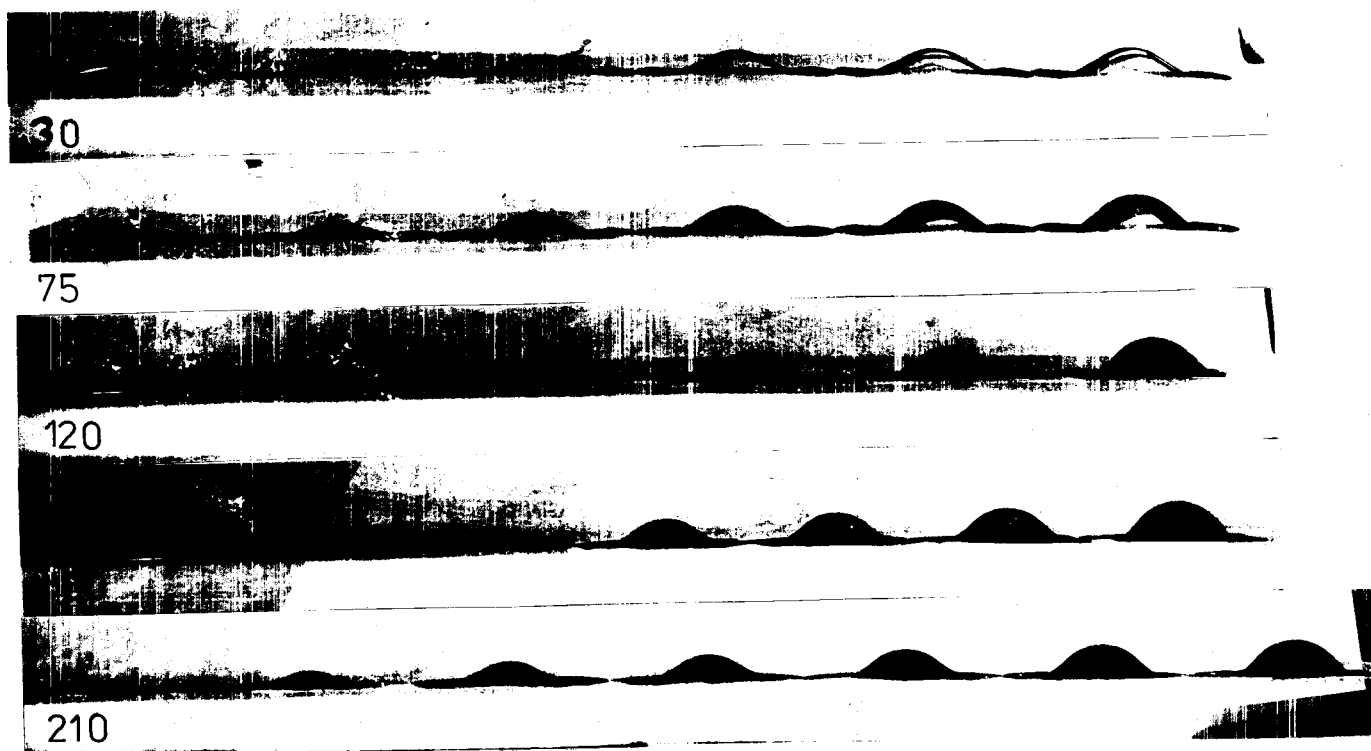
Po tažení byly proměřeny elementy deformační sítě a to konkrétně elementy na vrcholu polokulovitého výtažku, protože právě zde dochází k největšímu přetvoření. Modelování různých stavů napjatosti a tím i různých přetvoření bylo zajištěno rozdílnou šířkou b ve střední části výtažku /obr.20/. Měření vrcholových elementů bylo provedeno stejně jako u vý-

chozích elementů deformační sítě na dílenském mikroskopu ZEISS, připojeném na počítačovou jednotku.



Obr.20 Zkušební tělesa s rozdílnou šířkou b a hloubkou
tažení H

Různá hloubka výtažků, určující různou intenzitu přetvoření, byla změřena posuvným měřítkem na speciálním stojánku. Změnu hloubky výtažků až po vznik trhliny u všech šířek zkušebních vzorků ukazuje obr.21.

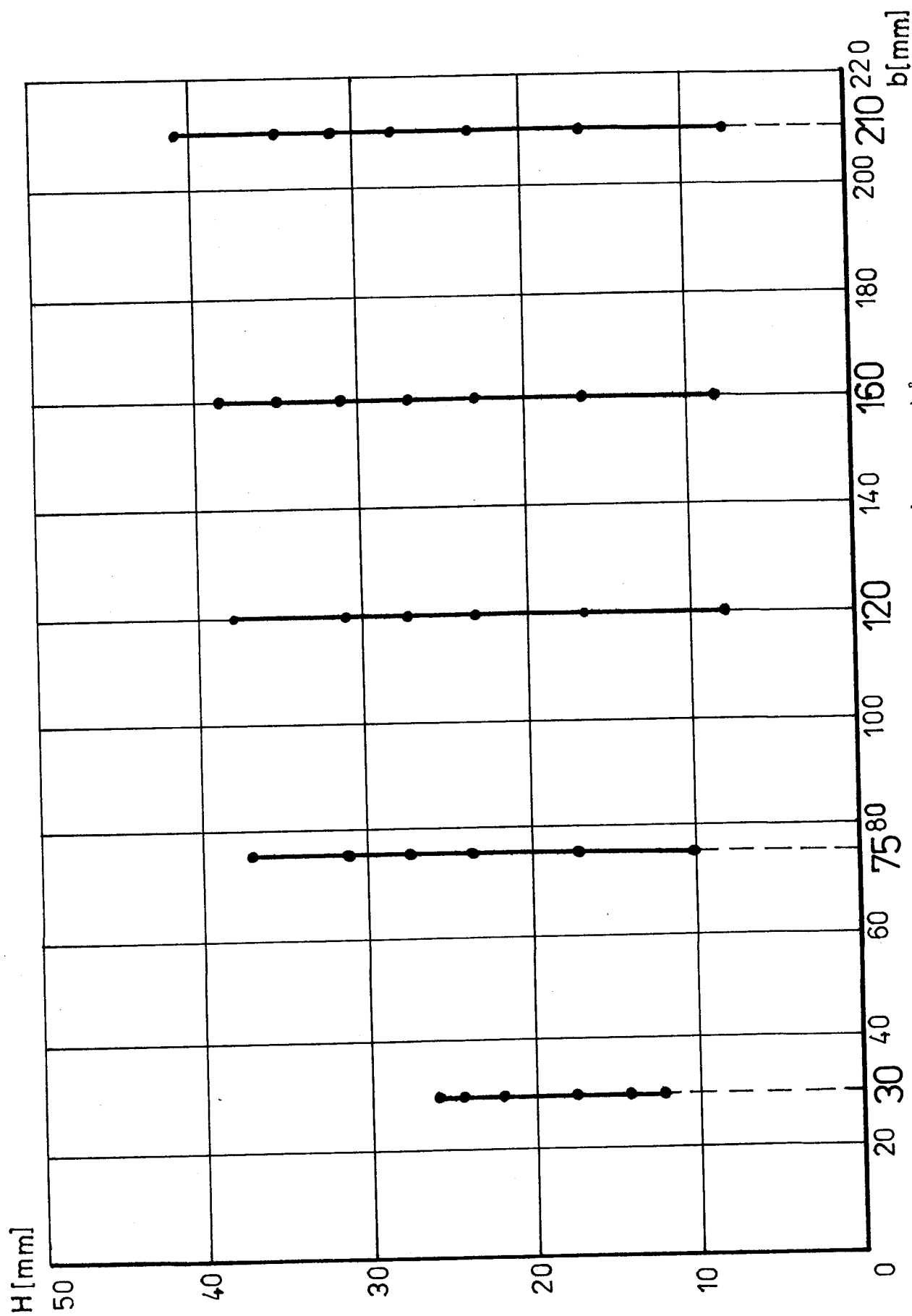


Obr.21 Změna hloubky u jednotlivých zkušebních těles šířky b

Tab.VI Rozměry vrcholových elementů deformační sítě a hloubka tažení zkušebních těles

číslo vzorku	b/mm/ měř. hodn.	30	75	120	160	210
1	L_1	3,577	3,541	3,519	3,529	3,512
	L_2	3,438	3,469	3,501	3,514	3,512
	H	12,15	10,05	7,85	8,25	7,55
2	L_1	3,663	3,689	3,658	3,662	3,688
	L_2	3,393	3,454	3,554	3,655	3,673
	H	14,25	17,00	16,50	16,40	16,25
3	L_1	3,825	4,010	3,904	3,789	3,852
	L_2	3,345	3,441	3,636	3,761	3,829
	H	17,50	23,50	23,00	22,85	23,00
4	L_1	4,110	4,206	4,065	3,875	4,027
	L_2	3,197	3,424	3,615	3,785	3,963
	H	22,00	27,35	27,15	27,00	27,70
5	L_1	4,635	4,532	4,179	4,058	4,230
	L_2	3,135	3,363	3,609	3,908	4,179
	H	24,55	31,10	31,00	31,00	31,40
6	L_1	6,038	5,580	4,555	4,314	4,399
	L_2	2,782	3,281	3,626	4,047	4,334
	H	26,00	36,80	37,80	35,00	34,85
7	L_1				4,656	5,044
	L_2				4,129	4,773
	H				38,40	40,75

Závislost hloubky tažení H na šířce b zkušebních těles ukazuje obr.22. Ze zjištěných hodnot L_1 , L_2 byly vypočteny dle vztahů /4/, /5/ a /7/ přetvoření φ_1 , φ_2 , intenzita přetvoření φ_i , z nich potom dle vztahů /9/ a /10/ ukazatele stavu přetvoření m_φ , dále stavu napjatosti m_σ . Jejich hodnoty udává tab.VII a tab.VIII. Pro výpočet ukazatele stavu napjatosti m_σ byly do vztahu /10/ použity hodnoty



Obr. 22 Závislost hloubky tažení H na šířce b zkušebních vzorků

Tab.VII Hodnoty přetvoření φ_1 , φ_2 a intenzity přetvoření φ_i

číslo vzorku		30	75	120	160	210
1	φ_1	0,041	0,031	0,025	0,028	0,022
	φ_2	-0,001	0,010	0,019	0,023	0,022
	φ_i	0,048 ²	0,043	0,044	0,051	0,044
2	φ_1	0,065	0,072	0,064	0,065	0,072
	φ_2	-0,012	0,006	0,034	0,062	0,067
	φ_i	0,069	0,087	0,100	0,127	0,120
3	φ_1	0,108	0,156	0,129	0,099	0,115
	φ_2	-0,027	0,002	0,057	0,091	0,109
	φ_i	0,112	0,181	0,191	0,190	0,224
4	φ_1	0,180	0,203	0,169	0,121	0,160
	φ_2	-0,071	-0,003	0,051	0,097	0,143
	φ_i	0,181	0,233	0,230	0,218	0,303
5	φ_1	0,300	0,278	0,196	0,168	0,209
	φ_2	-0,091	-0,021	0,049	0,129	0,196
	φ_i	0,308	0,310	0,259	0,298	0,405
6	φ_1	0,565	0,486	0,283	0,229	0,248
	φ_2	-0,211	-0,046	0,054	0,164	0,232
	φ_i	0,571	0,537	0,362	0,395	0,480
7	φ_1				0,305	0,385
	φ_2				0,184	0,329
	φ_i				0,494	0,715

Tab.VIII Hodnoty ukazatelů stavu napjatosti m_6 a přetvoření m_φ

číslo vzorku	30	75	120	160	210
1	0,244	0,323	0,760	0,821	1,000
2	-0,185	0,083	0,531	0,954	0,931
3	-0,250	0,013	0,442	0,919	0,948
4	-0,394	-0,015	0,302	0,802	0,894
5	-0,303	-0,076	0,250	0,768	0,938
6	-0,037	-0,095	0,191	0,716	0,935
7				0,603	0,855
$\overline{m}_\varphi$	-0,210	-0,039	0,413	0,929	0,929
m_6	0,013	0,301	0,534	0,804	0,804

normálové anizotropie $r_0 = 0,624$ a $r_{90} = 0,628$, zjištěné jako průměrné hodnoty M. Zedníkem a uvedené v jeho diplomové práci.

Z vypočtených hodnot byl sestrojen diagram mezních přetvoření /obr.23/, kde jednotlivé deformační stopy reprezentují rozdílnou šířku zkušebních těles, tedy různé stavy napjatosti. Závislost intenzity přetvoření na přetvoření ve směru rovnoběžném se směrem válcování plechu znázorňuje obr.24. S rostoucí hloubkou tažení se úměrně zvyšuje i intenzita přetvoření, jak je ukázáno na obr.25.

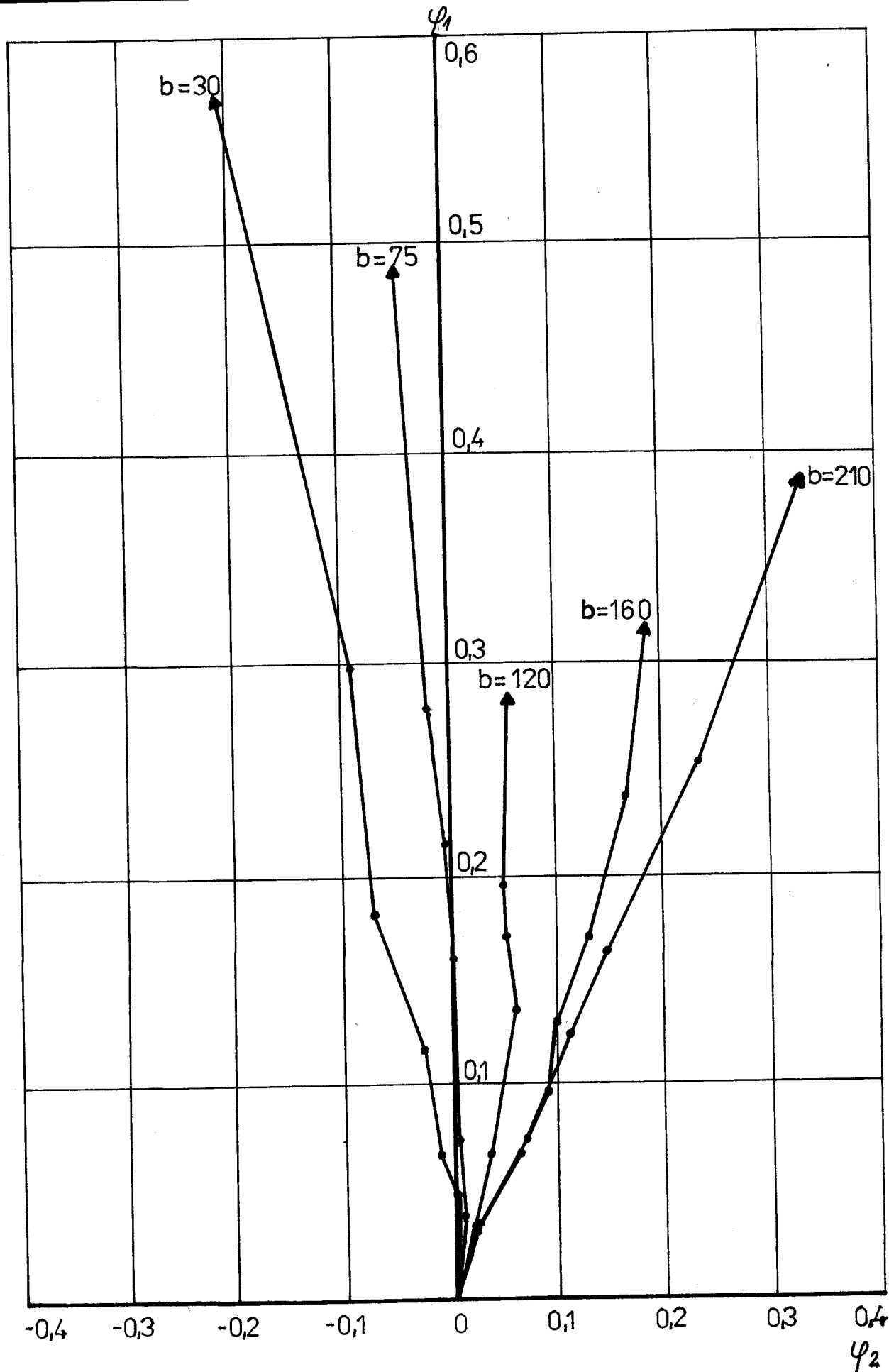
Vyhodnocení uvedených diagramů s použitím regresní analýzy nebylo v tomto případě vhodné, jelikož soubor naměřených hodnot byl malý, takže analýza by značně zkreslila celkové výsledky měření.

4.6 Metalografické zhodnocení povlaku Zn-Fe

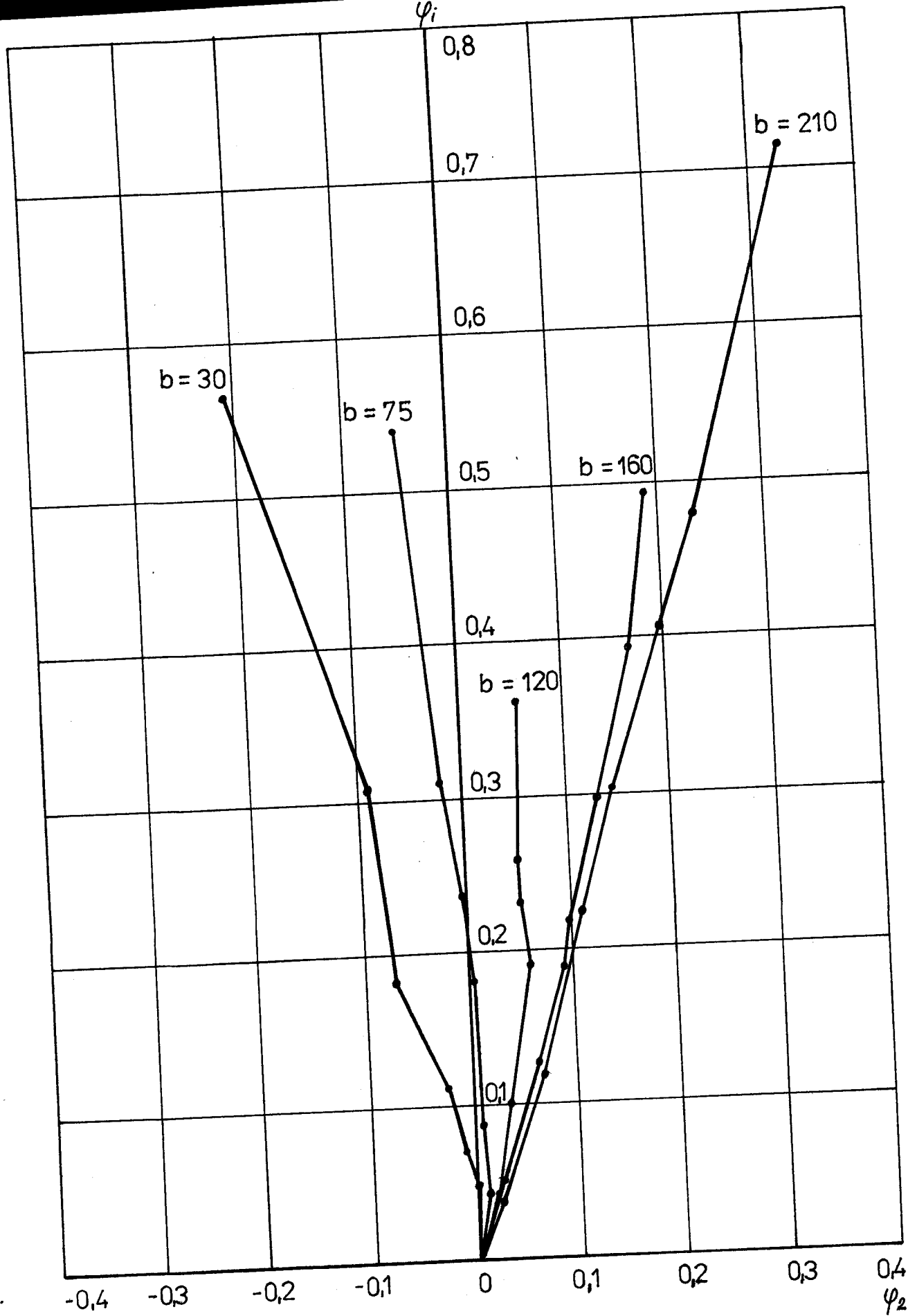
Pro stanovení míry ztráty ochranné funkce povlaku je třeba posoudit jeho chování při různých stavech napjatosti a různé intenzitě přetvoření.

K pozorování povlaku zkušebních těles bylo použito mikroskopu NEOPHOT 21 a jeho různé stavy nafotografovány při různých zvětšeních na planfilmy ORWO-NP 22 /obr.26/. Na obr.27 - 30 znázorněn povrch výchozího materiálu s označením směrů 1, 2 /kap. 4.4.1/, které potvrzují, že materiál je téměř izotropní, čemuž odpovídají i zjištěné hodnoty normálové anizotropie r_0 a r_{90} .

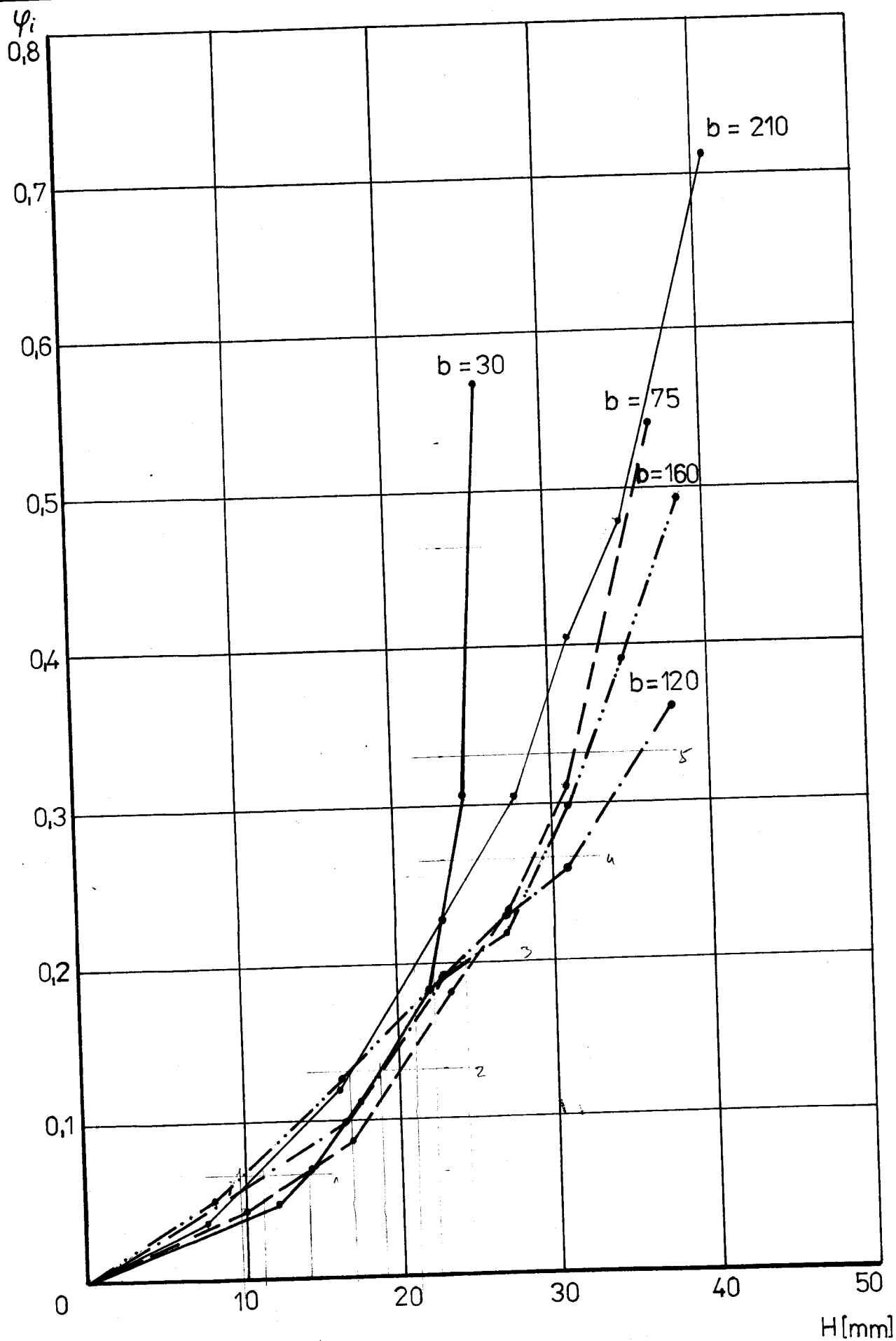
Z diagramu mezních přetvoření /obr.23/ byly vybrány pro posouzení změn stavu povrchu tři deformační stopy a to



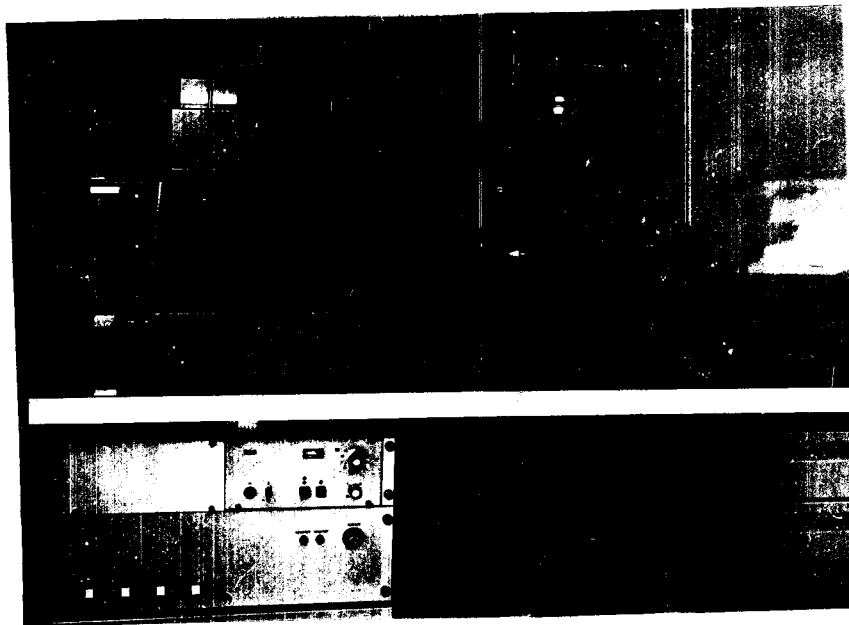
Obr.23 Diagram mezních přetvoření pro KOHAL 20 E/Zn-Fe



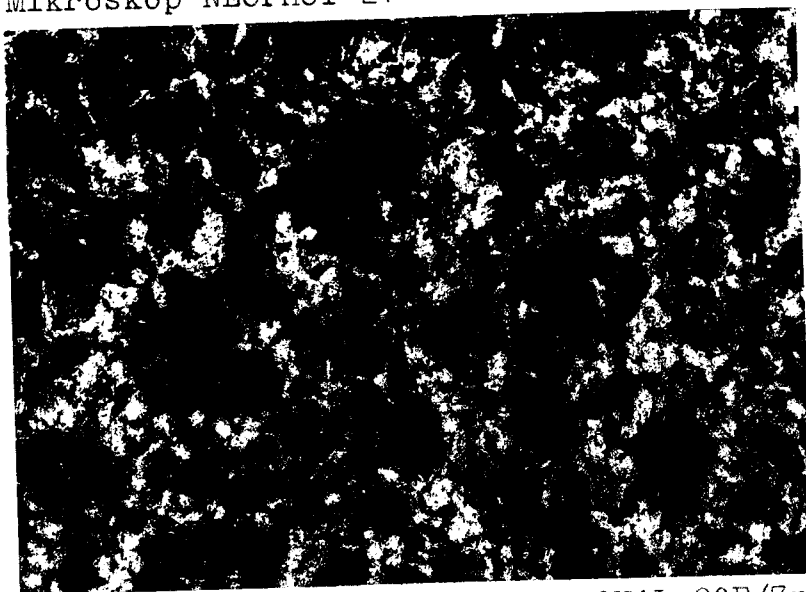
Obr.24 Závislost intenzity přetvoření φ_i na přetvoření φ_2
ve směru rovnoběžném se směrem válcování plechu



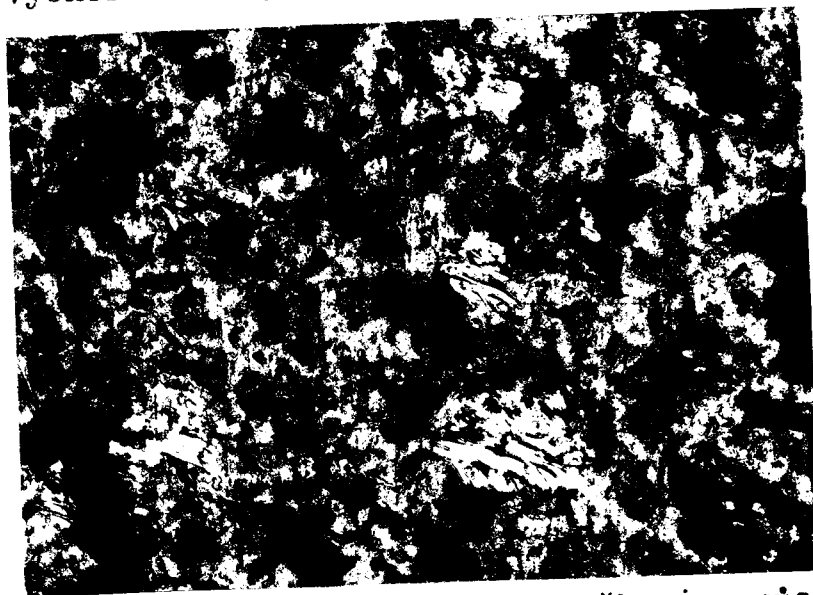
Obr.25 Závislost intenzity přetvoření φ_i na hloubce tažení H



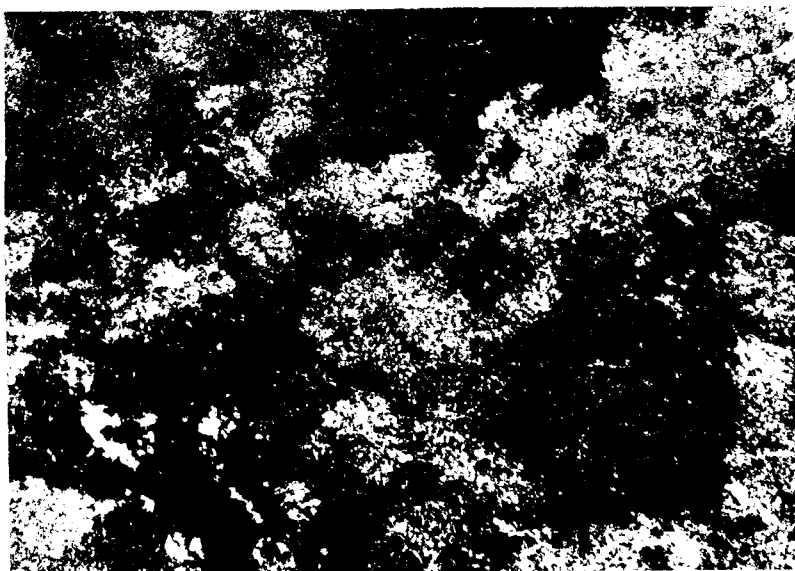
Obr.26 Mikroskop NEOPHOT 21



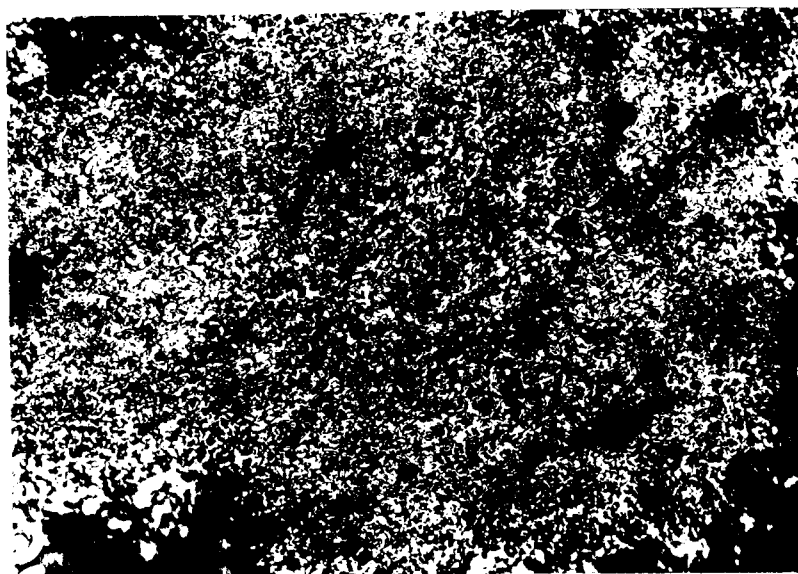
Obr.27 Výchozí stav povrchu plechu KOHAL 20E/Zn-Fe /50x zvětš./



Obr.28 Výchozí povrch s lesklými ploškami, způsobenými otěrem při manipulaci s plechy /50x zvětšeno/



Obr.29 Výchozí stav povrchu /250x zvětšeno/



Obr.30 Výchozí stav povrchu-vybraný element /500x zvětšeno/

konkrétně dvě krajní stopy diagramu pro zkušební tělesa o šířce $b=30\text{mm}$ a $b=210\text{mm}$ a prostřední stopa diagramu pro zkušební tělesa o šířce $b=120\text{mm}$. U každého vzorku vybraných deformačních stop byla sledována místa vrcholových kružnic deformační sítě. Fotografie povrchu v přílohách č. 1 - 3 dokumentují, k jakým změnám povlaku dochází při různých stavech napjatosti a intenzitě přetvoření. Snímky byly

zhotoveny při 250-ti násobném zvětšení a označená místa při 500-ti násobném zvětšení, aby bylo možné přesněji zhodnotit vznik a charakter trhlin vzniklých v povlaku a usuzovat tak o jejich velikosti a množství.

K tomuto účelu byly vyhotoveny také metalografické výbrusy, z nichž bylo možné sledovat a měřit změnu tloušťky povlaku.

Zkušební vzorky byly rozřezány lupenkovou pilkou ve speciálním přípravku, zality do epoxidové pryskyřice smíchané s tvrdidlem P 11, broušeny na čtyřech brusných kotoučích s odstupňovanou drsností povrchu a leštěny na semišovém kotouči pomocí ferogenu.

Měření tloušťky povlaku Zn-Fe bylo provedeno na metalografickém výbrusu výchozího materiálu Abbého délkoměrem /tab.IX/ a také přímo z obr.31 /tab.X/. Měření tloušťky povlaku nedestructivní metodou na přístrojích DUALSCOPE /NSR, pracující na principu vířivých proudů/ a ULTRAMETR /PLR, pracující na principu ultrazvuku/ bylo provedeno M. Středulou a výsledky měření uvedeny v jeho diplomové práci. Zjištěné hodnoty tloušťky povlaku jsou značně odlišné, neboť byla naměřena drsnost povrchu $R_a=1,55$ a odchylky nerovností $\pm 8 \mu m$. U zkušebních vzorků o šířce $b=120mm$ byly zhotoveny metalografické výbrusy, z nichž je vidět změna tloušťky povlaku při různém stavu napjatosti a intenzitě přetvoření. Snímky těchto výbrusů jsou uvedeny v příloze č.2. Na obr.32 je zachycen řez trhlínou.

Neostrost fotografií v přílohách č.1 - 3 je způsobena tvarem zkušebních těles.

Tab.IX Měření tloušťky pov-
laku Abbého délkomě-
rem $/1\mu\text{m}=1,63\text{ dílků}/$

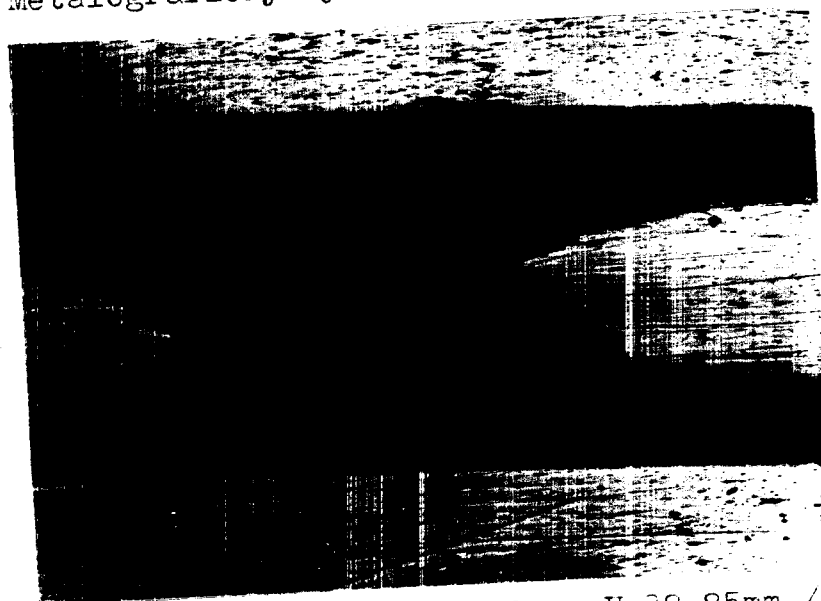
číslo měř.	dílků délk.	tloušťka v μm
1	43	26,380
2	41	25,153
3	38	23,313
4	43	26,380
5	40	24,540
6	31	19,018
7	44	26,994
8	40	24,540
9	43	26,380
10	46	28,221
$t = /25,091 \pm 2,430 \mu\text{m}/$		

Tab.X Měření tloušťky pov-
laku z obr.31

číslo měř.	mm na obr.	μm ve skut.
1	10	20
2	12	24
3	10	20
4	8	16
5	10	20
6	8	16
7	12	24
8	10	20
9	8	16
10	10	20
$t = /19,6 \pm 2,8 \mu\text{m}/$		



Obr.31 Metalografický výbrus výchozího materiálu/500x zvětš./



Obr.32 Řez trhlinou-vzorek $b=120\text{mm}$, $H=38,85\text{mm}$ /50x zvětšeno/

5. ZÁVĚR

Při určování vlivu stavu napjatosti na charakter a intenzitu přetvoření u plechu KOHAL 20 E/Zn-Fe bylo zjištěno, že povlak plechu se pro každý stav napjatosti mění. Trhliny v povlaku vznikají již při prvních ^{již} tezích zkušebních vzorků, tedy při nejmenší intenzitě přetvoření, a jsou pro každý daný stav napjatosti typické.

S rostoucí intenzitou přetvoření se zvyšuje jejich hloubka, velikost a dochází k různému uspořádání trhlin. U zkušebních vzorků o šířce $b=30\text{mm}$ jsou trhliny uspořádány do směru rovnoběžného se směrem válcování plechu, stejně jako při tahové zkoušce tohoto materiálu /její výsledky uvádí ve své diplomové práci J. Šejnohová/, a s rostoucí šířkou b dochází postupně k nahodilé orientaci trhlin až po zkušební vzorky o šířce $b=210$, kde se trhliny vyskytují v různých směrech.

byl dovaženo
U zkušebních vzorků s mezním ^u stavem přetvoření dochází ke ztrátě soudržnosti slitiny Zn-Fe se základním materiálem a odlupování povlaku, zvláště v místech vzniku trhliny $b=30$ podle zkušebního vzorku. Z pozorování struktury povlaku je zřejmé, že slitina Zn-Fe je složena z několika fází, jejich hodnocení je spíše metalurgickou záležitostí. Z metalografických výbrusů vyplývá, že při tažení zkušebních vzorků dochází k difuzi částic slitiny Zn-Fe do základního kovu a naopak. Při mezních stavech přetvoření se vzniklé trhliny šíří až do základního materiálu a při vzniku koroze /působením kyslíku/ se zinek jako anoda rozpouští a zaplňuje trhliny v základním materiálu.

Z uvedených skutečností vyplývá, že na charakteru pře-

tvoření a intenzitě přetvoření je závislá stálost povlaku na základním plechu, která je určující při stanovení doby životnosti plechu. Vliv stavu napjatosti na charakter a intenzitu přetvoření, tedy na životnost, je v každém místě karosérie automobilu jiný, proto je nutné jej hodnotit komplexně.

Navržená metodika by měla sloužit ke stanovení míry ztráty ochranné funkce povlaku plechu a přispět tak k řešení problému používání pozinkovaných plechů pro výrobu karosérií automobilů.

Závěrem bych touto cestou chtěla poděkovat
Ing. Zdeňku Bucharovi, CSc za vedení práce a jeho cenné
radý a připomínky, rovněž tak Ing. Františku Beranovi
a všem, kteří nějak přispěli k vytvoření této diplomové
práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ BARTONÍČEK, R.: Navrhování protikorozi ochrany. Praha 1980.
- /2/ BELLAU, C.-KELLEY, D.K.: Characterization of One and a Half Side Galvanized Steels for Automotive Applications. Paper No. 840824, SAE 1984.
- /3/ BUCHAR, Z.: Diagramy mezních přetvoření tenkých hlubokotažných plechů./Kandidátská disertace/. Liberec 1987. -VŠST. Fakulta strojní.
- /4/ DĚDEK, V.: Hlubokotažné ocelové pásy. Praha 1967.
- /5/ DINDA, S.-TRAFICANTE, R.J.: Worldwide Supply Of Zinc Coated Sheet Steel For Automotive Applications. Paper No. 840283, SAE 1984.
- /6/ VÚMV, Praha/ČSSR/: Dokumentační zpravodaj VÚMV. Část F. 1986, 1987, 1988.
- /7/ JENDELOVÁ, K.: Světové trendy v používání karosářských plechů s předúpravou na osobní automobily./Literární rešerše/. Praha, SVÚOM 1986.
- /8/ KOLEKTIV: Technologie slévání, tváření a svařování. Praha 1980.
- /9/ DOM TECHNIKY SVTS, Bratislava/ČSSR/: Kurz galvanotechniků. I. a III. část. 1977.
- /10/ LUETJE, R.E.: Corrosion Opinion Poll. Paper No. 850208, SAE 1983
- /11/ MACHEK, V.: Tenké ocelové pásy a plechy válcované za studena. Praha 1987.
- /12/ MACHEK, V.-VESELÝ, L.-VESELÝ, M.-VIŠŇÁK, M.: Zpracování tenkých plechů. Praha 1983.
- /13/ PANCÍŘ, J.: Tvařitelnost lakovaných plechů./Kandidátská disertace/. Liberec 1986. -VŠST. Fakulta strojní.

- /14/ PASTRŇÁK, Z.-PIVODA, P.: Výhledy výroby plechů. Hutnické listy, 1986, č. 2, s. 95-101.
- /15/ PÍŠEK, F.-JENÍČEK, L.-RYŠ, P.: Nauka o materiálu I/2. Praha 1968.
- /16/ SEHNÁLKOVÁ, Z.: Povrchové úpravy plechov a pásů -
-výberová bibliografia. Košice 1984.
- /17/ TROJHRÁNEK, F. A KOL.: Příručka pro povrchové úpravy
-5.díl. Praha 1964.
- /18/ WEISNER, F.-ZEZULOVÁ, M.: Povrchová úprava hutnických
výrobků povlaky z plastických hmot. Praha 1961.

SEZNAM PŘÍLOH

- /1/ Deformační stopa diagramu mezních přetvoření
pro KOHAL 20 E/Zn-Fe o šířce zkušebních vzorků $b=30\text{mm}$
- /2/ Deformační stopa diagramu mezních přetvoření
pro KOHAL 20 E/Zn-Fe o šířce zkušebních vzorků $b=120\text{mm}$
- /3/ Deformační stopa diagramu mezních přetvoření
pro KOHAL 20 E/Zn-Fe o šířce zkušebních vzorků $b=210\text{mm}$