

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Ing. Petr Hrbáček

CHARAKTERISTIKY MEZNÍCH STAVŮ PŘI TVÁŘENÍ OCELOVÝCH
PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Kandidátská disertační práce

svazek 1

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088169

Číslo a název vědního oboru

23-07-9 Strojírenská technologie

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

Ústřední knihovna

LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 2

PSČ 461 17

U 267
+ příloha

Odborné vedení: Prof. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Liberec, listopad 1991

139A.

ph. Lab, gupfy

O B S A H :

	strana
OBSAH	2
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK	5
1. ÚVOD	6
2. OCELOVÉ PLECHY S OCHRANNÝMI POVLAKY NA BÁZI ZINKU A SLITIN ZINKU	8
2.1 Plechy žárově pozinkované	8
2.2 Plechy elektrolyticky pozinkované	11
2.3 Plechy s organickými povlaky s obsahem zinku .	15
2.4 Plechy s ochrannými povlaky na bázi zinku nebo slitin zinku používané v automobilovém průmyslu	16
3. METALURGIE ŽÁROVÉHO ZINKOVÁNÍ	21
4. OCHRANNÉ PŮSOBENÍ ZINKU NA KAROSERII AUTOMOBILU ..	24
4.1 Katodická ochrana	24
4.2 Bariérové působení	28
4.3 Štěrbinová koroze	29
4.4 Koroze na střížných hranách	30
5. DEFINICE DMP VE VZTAHU K TAŽENÍ KAROSÁŘSKÝCH VÝLISKŮ	32
6. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	36
6.1. Přehled současného stavu problematiky	36
6.2. Cíle a zaměření disertační práce	37
7. POROVNÁNÍ MATERIÁLOVÝCH CHARAKTERISTIK HLUBOKOTAŽ- NÝCH PLECHŮ Z HLEDISKA HODNOCENÍ LISOVATELNOSTI DÍLU VNITŘNÍCH DVEŘÍ ZADNÍCH VOZU Š 781	38
7.1 Mechanické vlastnosti	38

7.2	Chemické složení	41
7.3	Drsnost povrchu	42
7.4	Mikrotvrdost	44
7.5	Zkouška hloubením	45
7.6	Diagram mezních přetvoření	46
8.	HODNOCENÍ LISOVATELNOSTI DÍLU VNITŘNÍCH DVEŘÍ	
	ZADNÍCH VOZU Š 781	52
8.1.	Vliv tvářecího procesu na kvalitu lisovaného dílu	52
8.2.	Sledování charakteristických míst z hlediska vlivu tribologických poměrů při tažení na stav povrchu výlisku vnitřních dveří zadních vozů Š 781.....	55
8.3.	Analýza deformací na výlisku vnitřních dveří zadních vozů Š 781	61
9.	NÁVRH NOVÝCH METOD A ZPŮSOBŮ HODNOCENÍ OCELOVÝCH PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY POMOCÍ REM	69
9.1.	Hodnocení morfologie povrchu u plechů s kovovými povlaky	71
9.2.	Metodika experimentálního výzkumu změn v povrchových vrstvách pozinkovaných plechů při tváření	77
9.2.1.	Hodnocení morfologie povrchu plechu po tváření pomocí REM	78
9.2.2.	Digitalizace obrazu REM a jeho vyhodnocení.	81
9.2.3.	Výsledky obrazové analýzy a jejich zpracování	81

9.2.4. Porovnávací testy pro hodnocení kvality povlaků z hlediska odolnosti proti porušování při tváření	91
9.2.5. Diskuse výsledků experimentálních měření ..	93
9.2.6. Návrh metodiky zkoušení kovových povlaků na odolnost proti porušování při tváření	98
9.3. Rentgenová mikroanalýza povlaků	111
9.4. Uplatnění mikrofraktografie při studiu porušování ocelových plechů s kovovými povlaky ..	120
9.4.1. Aplikace techniky kryogenního lomu při hodnocení plechů s kovovými povlaky pomocí REM	123
10. ZÁVĚR	129
LITERATURA	133

Disertační práce je rozdělena do dvou svazků, které obsahují celkem 173 stran.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

$R_{p0.2}$, R_{eH} , R_{eL} , R_m - smluvní mez kluzu, horní resp. dolní mez kluzu, pevnost v tahu dle ČSN 42 0310

A_x - tažnost dle ČSN 42 0310

σ , σ_i - hlavní normální napětí (skutečné), resp. intenzita napětí

φ , φ_i - hlavní normální přetvoření (logaritmické), resp. intenzita přetvoření

P_{TR} - poměrné porušení povlaku po odlehčení

m_σ , m_φ - ukazatel stavu napjatosti, resp. přetvoření

n - exponent (součinitel) deformačního zpevnění

r - součinitel normálové anizotropie

DMP - diagram mezních přetvoření

FZ - povlak Ferozink, (VSŽ a.s. Košice, ČSFR)

EZ - povlak elektrolyticky zinkovaný, (Sollac, Francie)

IE - prohloubení při zkoušce hloubením dle Erichsena
ČSN 42 0406

R_a - střední aritmetická úchylka profilu, dle ČSN 01 4450

R_q - střední kvadratická úchylka profilu, dle ČSN 01 4450

R_m - největší výška nerovností profilu, dle ČSN 01 4450

R_{z-ISO} - výška nerovnosti profilu z deseti bodů,
tzv. Zehnpunkt Höhe, TGL Hommel, nebo též ČSN 01 4450.

R_{z-DIN} - Gemittelte Rauhtiefe, DIN 4768

α - hladina významnosti dle ČSN 01 0250

$t_{KR} (1-\alpha/2; k)$ - kritická hodnota t-rozdělení (Studentova)
s $k=(n_1+n_2-2)$ stupni volnosti na hladině významnosti α

REM, resp. SEM - rastrovací elektronový mikroskop

WDS, resp. EDS - vlnové, resp. energiové disperzní spektrometr

1. ÚVOD

Jedním z hlavních úkolů automobilového průmyslu je dosažení delší životnosti karoserií zlepšováním korozní ochrany. Světoví výrobci automobilů používají v tomto odvětví v rostoucí míře tenké plechy s kovovými povlaky. Jedná se přitom většinou o ochranné systémy na bázi zinku, zejména oboustranně elektrolyticky pozinkované plechy s přídavným fosfátováním i bez něho pro vnější povrchové díly, jakož i žárově pozinkované plechy pro ostatní díly karoserie. Výrobce k používání těchto materiálů vede snaha o komplexní korozní ochranu vyráběných automobilů. Podíl těchto plechů na karoserii narůstá zejména u korozně velmi exponovaných dílů, které jsou většinou i tvarově náročné. Studie Spojených národů /1/ předpokládá pro příští léta další významný nárůst produkce pokovených tenkých ocelových plechů. Velká část této produkce bude zpracována v automobilovém průmyslu.

Použití ocelových plechů s kovovými povlaky ve velkých sériích přináší hospodářské úspory, naproti tomu ve srovnání se zpracováním ocelových plechů běžných jakostí s sebou dílčí zlepšení vlastností přináší také nové problémy. Jako příklad lze uvést tvoření trhlin v povrchových vrstvách povlaku, ztrátu soudržnosti povlaku se základním materiálem při ohýbání a hlubokém tažení, dále otěr povlaku z povrchu základního materiálu, v neposlední řadě se jedná o problém třídění a zpracování odpadu vznikajícího při zpracování těchto plechů.

U ocelových plechů s kovovými povlaky se setkáváme s určitými specifickými vlastnostmi, které jsou dány vzájemným působením systému povlak - základní materiál. Toto vzájemné

ovlivnění je určováno zejména chemickým složením základního materiálu a povlaku, způsobem výroby základního materiálu ocelového plechu, způsobem nanášení povlaku, a dalšími hutními úpravami plechů s kovovými povlaky. U těchto materiálů musíme počítat s výraznou změnou řady vlastností povrchu oproti plechům ocelovým, kde je povrch určen především finálními úpravami při jejich hutním zpracování.

Povrch, který je při tváření ve styku s nástrojem, výrazně ovlivňuje podmínky realizace plastického přetvoření plechu. Drsnost povrchu a jeho morfologie bude ovlivňovat ulpívání mazadla na povrchu plechu při tváření. Změna vlastností povrchu během tváření se může projevit změnou drsnosti povrchu a jeho morfologie nebo tvorbou trhlin v ochranném povlaku, dále pak sníženou soudržností povlaku se základním materiálem.

Aplikace ocelových plechů s kovovými povlaky v automobilovém průmyslu vyžaduje komplexní hodnocení integrity povrchů těchto materiálů moderními experimentálními metodami. Ve své práci uvádím návrh nových metod a způsobů hodnocení plechů s kovovými povlaky. Tyto metody umožňují posouzení kvality vytvářených povlaků a vzájemné porovnání těchto materiálů s ohledem na jejich určení pro tváření složitých karosářských výlisků.

Získané poznatky by měly přispět k rychlejšímu a spolehlivějšímu využívání ocelových plechů s kovovými povlaky v československém automobilovém průmyslu.

2. OCELOVÉ PLECHY S OCHRANNÝMI POVLAKY NA BÁZI ZINKU A SLITIN ZINKU

Pro povrchové úpravy ocelových plechů kovovými povlaky je zinek vhodný s ohledem na svou relativně nízkou cenu a vynikající korozní vlastnosti. Svými elektrochemickými vlastnostmi poskytuje zinek ocelovému podkladu katodickou ochranu. Zajišťuje i relativně dobrou ochranu střížných hran a drobných mechanických poškození povlaku.

Pro vytváření ochranného povlaku se používají 3 základní metody:

- a) žárové pokovení ponorem do roztaveného kovu nebo slitiny kovů,
- b) elektrolytické nanášení povlaků,
- c) nanášení povlaků s organickými pojivy s obsahem zinku.

Povlaky se na ocelový plech nanášejí buď jednostranně nebo oboustranně se stejnou nebo rozdílnou tloušťkou obou ochranných vrstev.

2.1. PLECHY ŽÁROVĚ POZINKOVANÉ

Žárové pozinkování patří mezi ekonomicky nejefektivnější procesy povrchových úprav ocelových plechů. Pro žárové zinkování ocelových plechů je nejrozšířenější metoda Sendzimirova. Spočívá v tom, že za studena vyválcovaný 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 pak 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/.

Technologická část pozinkovací linky sestává obvykle z pecní části, vany s taveninou, včetně regulace tloušťky povlaku, zařízení pro chlazení a dodatečné úpravy. Kromě toho jsou linky vybaveny odvíječkami, nůžkami, svářečkami a zásobníky pásu.

Průběžná pec sestává z přímo vytápěného redukčního, vyrovnávacího a chladičího úseku, pracujících v redukční atmosféře H_2-N_2 .

V současnosti se při žárovém pokovování používají hlavně tři konstrukční typy van. Jedná se o vanu s vnitřním vyložením stelitem a vnějším elektrickým ohřevem, keramickou vanu s indukčním ohřevem přes stěny vany a keramickou vanu žlabové konstrukce s indukčním ohřevem v přírubách po stranách.

Značný pokrok přinesla technologie tryskového stirání, při které je šterbinou přes celou šířku pásu foukáno plynné médium proti přední i zadní straně pásu. Na přední a zadní straně pásu je možné vytvářet rozdílné povlaky. K zamezení chvění a zajištění rovného průchodu pásu podél trysek slouží stabilizační válec v tavenině. Použití stabilizačního válce v závislosti na rozměrech pásu je nezbytné k zabránění příčného vlnění pásu.

Vrstva povlakového kovu musí ztuhnout před prvním dotykem pásu s převáděcím válcem. Výstupní teplota proto musí být přizpůsobena podmínkám ochlazování, rychlosti a hmotnosti pásu a vzdálenosti převáděcí kladky od lázně. Na pokojovou teplotu

je pás ochlazován závěrečným vzduchovým a vodním chlazením. Při teplotách pod $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ je nutno se vyvarovat lomům rekrytalizačně žíhaného za studena válcovaného pásu. Nebezpečí lomu pásu, především u měkkých jakostí, musí být čeleno správným stanovením tahu pásu, průměru válců a rychlosti ochlazování.

Pokovovací linky jsou vybaveny hladicí stolicí s tahohybovou rovnačkou. Hladicí válcování tažných a hlubokotažných jakostí probíhá při nízkém hladicím úběru (0.5%). Hlazení měkkých a konstrukčních ocelí, prováděné ke zlepšení lakovatelnosti, probíhá při vyšším úběru ($1.0-2.0\%$). K dosažení dobré rovinnosti je za hladicí stolicí zařazena tahohybová rovnačka, ve které se pás prodlužuje až o 2% přes ohýbací válce o malém (40 mm) průměru. Při ohýbání vznikající symetrické příčné zvlnění je odstraňováno rovnacím válcem, který je součástí zařízení /4/.

Na žárově pozinkovacích linkách typu Sendzimir, které jsou běžně k výrobě pozinkovaných plechů používány, není ovšem možné získat ocelový plech s vysokými plastickými vlastnostmi. Dosahovaná mez kluzu R_e se u takto vyráběných plechů pohybuje v rozmezí 260 až 330 MPa , což nestačí pro lisování složitých tvarů výlisků.

Pro zlepšení hlubokotažných vlastností byla ve VSŽ Košice ověřená technologie zpracování ocelového pásu ve svitku jakosti 11305.20, a to nejprv vyžiháním uvedeného svitku v poklopové žíhací peci při teplotě $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ s náběhem na tepotu 10 h a výdrží na teplotě 14 h . Po ochlazení byl svitek pozinkovaný běžnou technologií s použitím normalizačního žíhání, tj. $920\text{ }^{\circ}\text{C}$

při rychlosti zinkování 40 m/min. Hmotnost zinkového povlaku činila 200 g/m² oboustranně. Po pozinkování byl svitek lehce převálcovaný na 2-stolicovém tandemu s úběrem 0.8% , výsledky hodnocení materiálu jsou uvedeny v článku /6/.

V poslední době dochází ke znovuoživení výroby a používání oboustranně žárově pozinkovaných plechů se zlepšeným povrchem s určením pro vnější díly automobilových karoserií /7,8/.

2.2. PLECHY ELEKTROLYTICKY POZINKOVANÉ

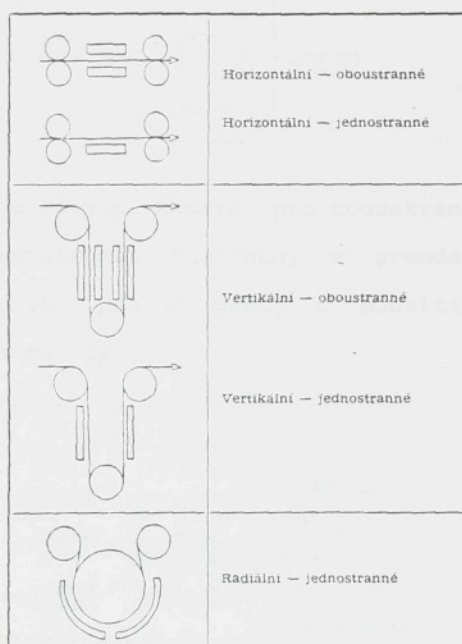
Elektrolyticky pozinkované plechy mají ve srovnání s žárově pozinkovanými plechy několik výhod /9,10/:

- 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 povlaků;
- d) poměrně tenký zinkový povlak poskytuje ještě dostatečnou protikorozi ochranu základního materiálu pod organickým povlakem;
- e) relativně jednoduše lze vyrábět diferenciované a jednostranně pozinkované plechy.

Vzhledem k tomu, že elektrolyticky pozinkované plechy pro výrobu karoserií s tenkými povlaky neposkytují dostatečnou korozní ochranu /7/, byly vyvinuty nové technologie a

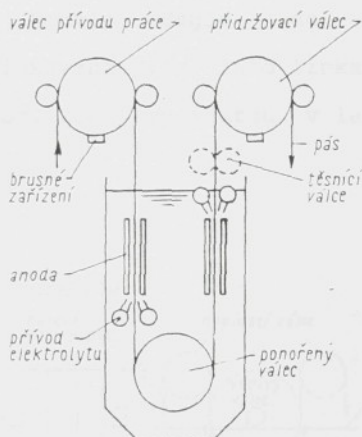
konstrukce výrobních zařízení umožňujících dosažení vysoké proudové hustoty (až 200 A.dm^{-2}) a tím zvýšení výkonů. Pro moderní výrobu je charakteristické používání kyselých elektrolytů s intenzivním prouděním v mezeře mezi anodou a pásem a používání rozpustných i nerozpustných anod.

Možnosti základního konstrukčního uspořádání pozinkovacích van (komor) při výrobě elektrolytický pozinkovaného pásu jsou uvedeny na obr. 2.1.

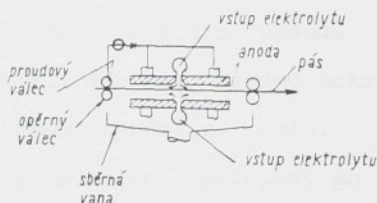


Obr. 2.1 - Schéma základního uspořádání anod při elektrolytickém pozinkování pásu /9/

Pro konstrukci moderních linek je charakteristické použití tzv. tryskové komory a úprava vstřikování elektrolytu mezi anodu a pás obr. 2.2, obr. 2.3.

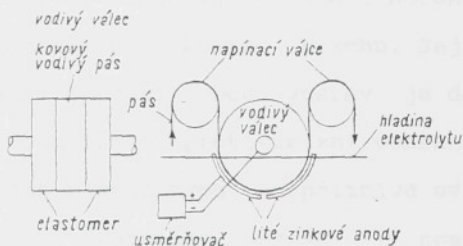


Obr. 2.2 - Vertikální komora pro oboustranné pozinkování konstrukce Sumitomo, s prouděním elektrolytu proti pohybu pásu, s použitím nerozpustných anod /5/



Obr. 2.3 - Schematický podélný řez oboustrannou horizontální pozinkovací komorou se středovým vstřikováním elektrolytu /9/

Vzhledem k požadavkům automobilového průmyslu na sortiment vyráběných plechů (jednostranně i oboustranně pozinkovaný plech dále pak plechy s rozdílnými tloušťkami povlaků a s kombinacemi vrstev povlaku zinku a slitiny zinku a železa) uvedla v roce 1986 společnost Double Eagle do provozu linku pro elektrolytické pozinkování /16/. Tato linka používá technologii pokovení CAROSEL obr. 2.4 , vyvinutou v laboratořích US Steel Corporation.



Obr. 2.4 - Schéma uspořádání jednostranné radiální pokovovací komory CAROSEL /16/

Pochod CAROSEL (Consumable Anode Radial One-Side Elektrolytic) pracuje s radiální pokovovací komorou, která se vyznačuje vysokým využitím proudu v důsledku malé vzdálenosti mezi anodou a pásem. Každou pokovovací komoru tvoří vodivý válec velkého průměru, dolní částí ponořený do elektrolytu a v místě ponoření obklopený po obvodě dvěma litými deskovými zakřivenými zinkovými nebo slitinovými anodami. Těsný styk elastomeru s pásem (viz. obr. 2.4) brání vniknutí elektrolytu na druhou stranu pásu a narůstání povlaku na této straně.

prováděné u výrobců automobilů.

V Japonsku byl vyvinut plech Welclote s kombinovaným povlakem. Welclote sestává z plechu elektrolyticky pokoveného slitinou Zn-Ni, zajišťující vynikající korozní odolnost a tvářitelnost, vrstvy chromátu pro zlepšení přilnavosti organického povlaku i korozní odolnosti a vrchní vrstvy speciálního organického povlaku s obsahem zinku a tvrdého vodivého kovového prachu pro zajištění svařitelnosti a tvářitelnosti povlaku. Tloušťka vrchní vrstvy je pouhých 5 μm . Welclote je ekvivalentní nebo lepší než ZM pokud jde o korozní odolnost, a to i ve tvářeném stavu, a podstatně lepší pokud jde o tvařitelnost a svařitelnost /19,20/. Plechy Welclote mají rovněž lepší tvařitelnost a bodovou svařitelnost než ZM z důvodu menšího podílu a dobré vodivosti kovových částic v povlaku, přítomnosti chromátové mezivrstvy a malé tloušťky organického povlaku.

2.4. PLECHY S OCHRANNÝMI POVLAKY NA BÁZI ZINKU NEBO SLITIN ZINKU POUŽÍVANÉ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

V této stati bude uveden přehled ocelových plechů s ochrannými povlaky na bázi zinku a jeho slitin používaných v automobilovém průmyslu u zahraničních výrobců. U výrobků bude vždy uveden jejich název, stručná charakteristika a výrobce. Informace o uváděných materiálech byly zpracovány z dostupných firemních materiálů společnosti NIPPON STEEL, KAWASAKI STEEL CORPORATION a literatury /4,9,10,11,15,19,20,22,61/ a jsou uvedeny v tab.2.1.

Tab. 2.1 - Přehled ocelových plechů s ochrannými povlaky na bázi zinku a jeho slitin používaných v automobilovém průmyslu

č.	Název - označení	Charakteristika	Výrobce
1	Alugalv	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Zn-Si (55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si)	Ensides, Španělsko
2	Aluzinc	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Zn-Si (55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si)	Phenix Works, Belgie
3	Durgrip	$\underline{J}$ nebo $\underline{O}$ v tavenině pozinkovaný plech, 21 μ m	Nippon Steel, Japonsko
4	Durgrip Galvannealed	$\underline{J}$ nebo $\underline{O}$ v tavenině pokovený plech, vrstva Fe-Zn, 45g/m ² , 6 μ m	Nippon Steel, Japonsko
5	Durgrip (typ AB, 1 $\frac{1}{2}$ GI)	V tavenině pokovený plech s povlakem Zn 14 μ m na jedné a Zn-Fe 4 μ m na druhé straně	Nippon Steel, Japonsko
6	Durgrip-E	V tavenině pokovený plech s povlakem Zn-Fe 60g/m ² na jedné a Zn-Fe 30g/m ² (4 μ m) a Fe-Zn 3g/m ² na druhé straně	Nippon Steel, Japonsko
7	Durexcelite	Elektrolyticky pokovený plech s vrstvami Zn-Fe 20 g/m ² (2.8 μ m), Fe-Zn 3g/m ² (0.5 μ m), $\underline{J}$ nebo $\underline{O}$	Nippon Steel, Japonsko
8	Durzinclite	Elektrolyticky pokovený plech s vrstvou Zn-Ni 20g/m ² (2.8 μ m), $\underline{J}$ nebo $\underline{O}$	Nippon Steel, Japonsko
9	Elektrasmooth	Elektrolyticky pozinkovaný plech s vrstvou do 98g/m ²	Armco, USA
10	EEA	Elektrolyticky pokovený plech slitinou Fe-Zn	Nippon Kokan Japonsko
11	Excelite	Elektrolyticky pokovený plech 2 vrstvami Zn-Fe (I=10-20% Fe, II=75-85% Fe)	Sin Nippon Seitetsu, Japonsko
12	Galbest-Ferro	V tavenině pokovený plech vrstvou Fe-Zn (asi 10% Zn)	Phenix Works, Belgie
13	Galfan	V tavenině pokovený plech slitinou Zn-Al (asi 5% Al)	Inland Steel, USA
14	Galvalume	Žárově pokovený plech slitinou Zn-Al (43.5% Zn, 55% Al, 1.5% Si) 20 μ m, asi 150 g/m ² , $\underline{O}$	Bethlehem Steel, National Steel, US Steel, USA
15	Galvalume HT	Ocelový plech s přísádkou fosforu s povlakem Galvalume	Dofasco, Kanada Bethlehem Steel, USA

Pokračování tab. 2.1

č.	Název - označení	Chrakteristika	Výrobce
16	Galvaleme Steel Sheet	Žárově pokovený plech slitinou Zn-Al, 21 μ m, <u>J</u> nebo <u>O</u>	Nippon Steel, Japonsko
17	Galva-One	<u>J</u> elektrolyticky pozinkovaný plech (proces CAROSEL) 13.7 μ m	US Steel, USA
18	Galvamat	V tavenině pokovený plech vrstvou Fe-Zn (asi 10% Zn)	Galvanar-Montataire, Fracie
19	Galvannealed	V tavenině pokovený plech vrstvou Fe-Zn (asi 10-12% Zn)	USA, Japonsko a další
20	Galvatite	V tavenině pozinkovaný plech, 100-450 g/m ² , <u>O</u>	BSC, Velká Británie
21	Jetzinc	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný plech	Krupp Stahl AG, SNR
22	Lavegal	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Si-Mg-Zn (30% Al, 0.5% Mg, 0.5% Si, 69% Zn)	Italsider, Itálie
23	Monogal	<u>J</u> v tavenině pozinkovaný plech, vyráběný obroušením Zn z jedné strany pásu	USINOR, Francie Thysen Stahl AG, SNR
24	Monozincal	<u>J</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, do 15 μ m	Hösch Siegerland AG, SNR
25	Multizincrox	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný 2 vrstvý plech, Zn 20-90 g/m ² , Cr-CrO _x 0.5-1.0 g/m ²	Italimpianti, Itálie
26	NKFZ	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, Zn 20-40 g/m ² , obsahuje asi 0.05% Cr a 0.2% Co.	Nippon Kokan, Japonsko
27	RIVER EX ZINC	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný 2 vrstvý plech Zn-Fe 3 μ m, Fe-X 0.3 μ m, asi 20-50 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko
28	RIVER HI ZINC	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný plech slitinou Zn-Ni, asi 20-50 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko
29	RIVER HI ZINC SUPER	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný 2 vrstvý plech Zn-Ni 3 μ m, Fe-X 0.3 μ m, asi 20-50 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko
30	RIVER ZINC	<u>J</u> , <u>O</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, asi 60-100 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko
31	RIVER Z	<u>J</u> nebo <u>O</u> žárově pozinkovaný plech, 60-150 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko
32	RIVER Z 1 $\frac{1}{2}$ str	V tavenině pokovený plech na jedné straně vrstvou Zn-Fe 30 nebo 60 g/m ² , a na druhé straně Zn 150 g/m ²	Kawasaki Steel Japonsko

Pokračování tab. 2.1

Č.	Název - označení	Chrakteristika	Výrobce
33	RIVERALLOY	V tavenině pokovený plech s povlakem Zn-Fe 20-60g/m ² <u>J</u> nebo <u>Q</u>	Kawasaki Steel, Japonsko
34	Sumi-Zinc	<u>J</u> , <u>Q</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, asi 100 g/m ²	Sumitomo Metal Industries LTD, Japonsko
35	Sumi-Zinc Super	<u>J</u> , <u>Q</u> elektrolyticky pokovený plech vrstvou Zn-Ni asi 60 g/m ²	Sumitomo Metal Industries LTD, Japonsko
36	Unicote	<u>J</u> v tavenině pozinkovaný plech, 60-100 g/m ²	National Steel, USA
37	Ultrasmooth	<u>Q</u> v žárově pozinkovaný plech	Armco, USA
38	Welcote-N	Plech s kombinovaným povlakem, <u>J</u> nebo <u>Q</u> úprava, spodní vrstva Zn-Ni 20g/m ² (2.8μm), vrchní vrstva Welcote (1μm) org.povlak s obsahem kovových částic	Nippon Steel, Japonsko
39	Zelutite	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Zn-Si, (55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si)	BSC, Velká Británie
40	Zincal	<u>Q</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, 54 g/m ²	Hösch Siegerland AG, SRN
41	Zincalit	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Zn-Si, (55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si)	La Magona, Itálie
42	Zincalume	V tavenině pokovený plech slitinou Al-Zn-Si, (55% Al, 43.5% Zn, 1.5% Si)	John Lysaght, Austrálie
43	Zincgrip OS	<u>J</u> v tavenině pozinkovaný plech	Armco, USA
44	Zinclite	Elektrolyticky pokovený plech slitinou Zn-Ni, (9-18% Ni) s přísadou 0.1% Co 20 g/m ²	Nippon Steel, Japonsko
45	Zincor	Elektrolyticky pozinkovaný plech	Phenix Works, Belgie
46	Zincote	<u>J</u> , <u>Q</u> elektrolyticky pozinkovaný plech, (2.8μm)	Nippon Steel, Japonsko
47	Zincrometal	Kombinovaný povlak plechu spodní vrstva Dacromet 2-3μm, vrchní vrstva Zincromet 10-12μm je tvořena epoxidovou bází se Zn částicemi, <u>J</u> nebo <u>Q</u> úprava	Armco, USA Hösch, Thyssen, SRN
48	Zintex	<u>J</u> elektrolyticky pozinkovaný plech	Kawasaki Steel, Japonsko, BSC, Velká Británie, a další BSC, Velká Británie

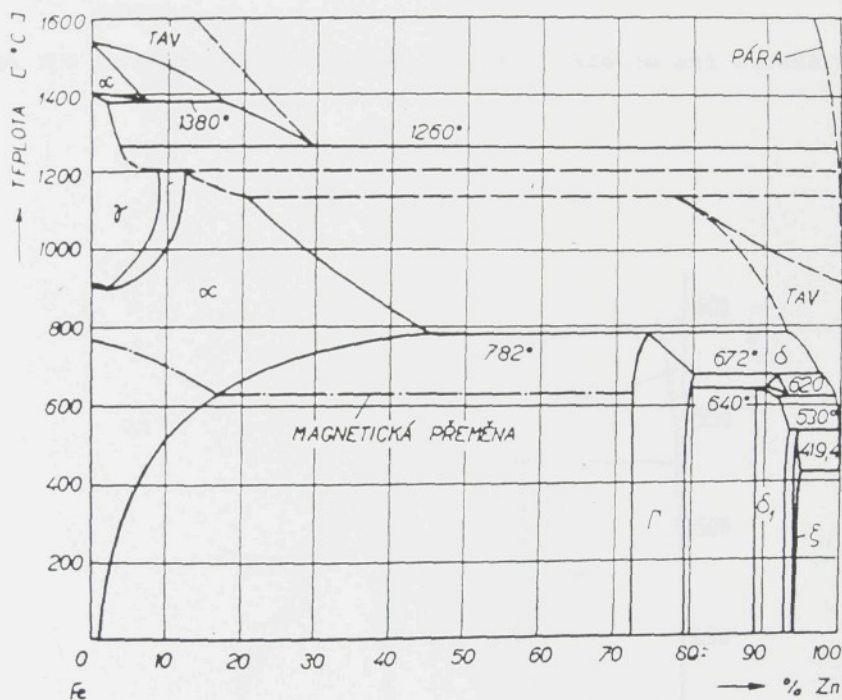
Pokračování tab. 2.1

č.	Název - označení	Charakteristika	Výrobce
49	Zincroplex	kombinovaný plech s tenkým (5 μ m) kovovým povlakem(Zn, Ni-Zn,Fe-Zn) a vrchní vrstvou Dacrometu (2 μ m), a Zincrometu (5 μ m)	Dacral SA a Metal Coatings International Inc., USA
50	Zincrox	Plech s elektrolyticky vyloučeným 3 vrstevným povlakem,Zn(10-20g/m ²),Cr(0.5 g/m ²) a Cr ₂ O ₃ (0.4 g/m ²)	Teksid S.P.A., Itálie
51	Extragal	<u>Q</u> v tavenině pozinkovaný plech Zn 40 à 70 g/m ²	Sollac, Francie
52	Monogal	<u>J</u> v tavenině pozinkovaný plech Zn 40 až 70 g/m ²	Sollac, Francie
53	Galvannealed (Galvallia)	<u>Q</u> v tavenině pokovený plech ZnFe 10% 40 à 70g/m ²	Sollac, Francie
54	Galfan	<u>Q</u> v tavenině pokovený plech ZnAl 5% 50 à 170g/m ²	Sollac, Francie
55	Solcar	<u>Q</u> , <u>J</u> elektrolyticky pozinkovaný plech Zn 35 à 70 g/m ²	Sollac, Francie
56	Solcar ZnNi	<u>Q</u> , <u>J</u> elektrolyticky pokovený plech ZnNi(10-13 %), 20 à 40g/m ²	Sollac, Francie
57	Durasteel (Solplex)	kombinovaný plech s vrstvou ZnNi(10-13%) 20 à 40 g/m ² a 1 μ m organického povlaku, <u>Q</u> , <u>J</u>	Sollac, Francie
58	Bonazinc	kombinovaný plech s vrstvou Zn 40 à 70g/m ² a 7 μ m organického povlaku, <u>Q</u> , <u>J</u>	Sollac, Francie

Pozn.: J - jednostranný povlakQ - oboustranný povlak

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 - Rovnovážný diagram soustavy Fe-Zn

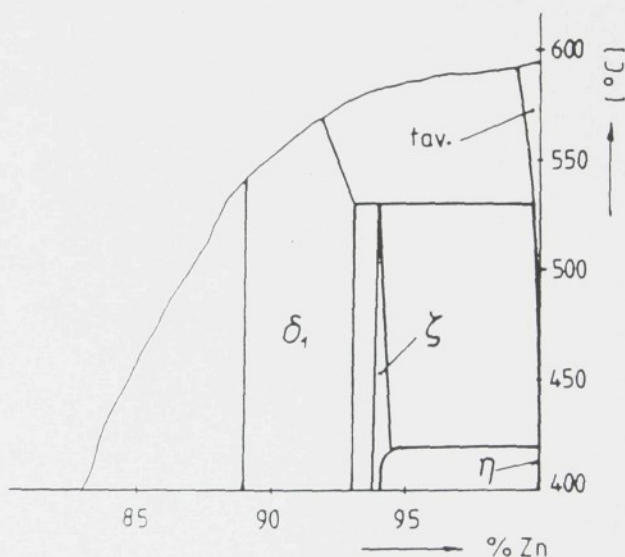
Fáze α - představuje tuhý roztok zinku v železe s kubickou prostorově centrovanou mřížkou.

Fáze Γ - Intermediální fáze Γ obsahuje 21-28 % železa. Jedná se o elektronovou sloučeninu se složitou kubickou mřížkou. Složení se uvádí (např. $\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$ a $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$)

Fáze δ_1 - je intermetalická elektronová sloučenina s hexagonální mřížkou se složením FeZn_7 , která obsahuje 7-12% železa. Tvoří sloupkové krystaly kolmé na povrch.

Fáze ζ - obsahuje 6-6.2% železa. Tato fáze je intermetalická sloučenina FeZn_{13} s hexagonální mřížkou, tvoří hrubé sloupkové krystaly s přednostní orientací kolmo na povrch.

Fáze η - je tuhý roztok železa v zinku, kde je asi 0.008% Fe.



Obr. 3.2 - Výřez z rovnovážného diagramu Fe-Zn

Běžně se při zinkování tvoří všechny tyto fáze a narůstají se stoupající teplotou a dobou.

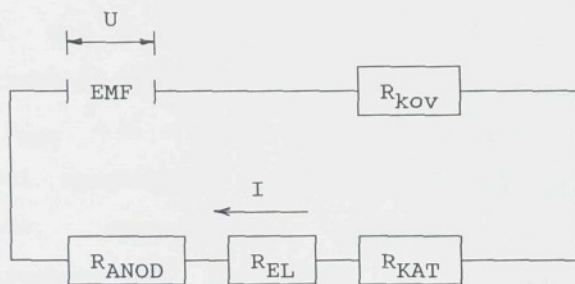
Vrstva získaná difuzním žháním je většinou tvořena fází δ_1 , která pokrývá tenkou vrstvou fáze Γ . Intermetalická sloučenina δ_1 je tvořena sloupcovitými krystaly, které z fáze Γ rostou prakticky kolmo k povrchu. Důsledkem toho je mikroporézní povrch povlaku. Pod vrstvou fáze Γ se nachází vrstva tuhého roztoku zinku v železe /3,11/.

4. OCHRANNÉ PŮSOBNÍ ZINKU NA KAROSERII AUTOMOBILU

4.1. KATODICKÁ OCHRANA

Protože ocel je elektrochemicky ušlechtlejší než zinek, může být na karoserii využívána katodická ochrana pozinkovaných plechů. Elektronegativní vlastnosti zinku, odpovídající jeho místu na stupnici standardních potenciálů mu umožňují zajistit elektrochemickou ochranu. Normální elektrodové potenciály jsou u zinku -0.76 V a u železa -0.43 V /12/ vztažené na referenční vodíkovou elektrodu. Vzájemný vztah elektrodových potenciálů je závislý také na prostředí a dalších korozních činitelích.

Prakticky je ochranné působení ohraničeno na malé ocelové plochy ležící bezprostředně vedle zinkové vrstvy, protože zinek a ocel musí být současně smáčeny elektrolytem, jinak je proudový okruh otevřený (obr. 4.1), /13/.



Obr. 4.1 - Proudový okruh v korozní buňce

Korozním systémem tedy protéká proud, jemuž je úměrná intenzita koroze, neboli úbytek či chemická změna materiálu. Toto vzájemné působení je popsáno Faradayovým zákonem/12/, (4.1)

$$m = k * I * t, \quad (4.1)$$

kde k - elektrochemický ekvivalent;

t - čas v [sec].

Elektromotorická síla EMF působí s napětím U tak, že řadou odporů protéká proud I , jehož velikost je určena Ohmovým zákonem (4.2);

$$U = (R_{KOV} + R_{ANOD} + R_{EL} + R_{KAT}) * I, \quad (4.2)$$

kde R_{KOV} - odpor kovového vodiče mezi anodou a katodou;

R_{ANOD} - přechodový odpor anody;

R_{EL} - odpor elektrolytu;

R_{KAT} - přechodový odpor katody.

Z rovnice (4.2) plyne, že korozní působení bude minimalizováno, jestliže některý z řady odporů bude nekonečně velký. Což v praxi lze jen těžko realizovat, ale vhodným konstrukčním řešením je možné se těmito požadavkům přiblížit.

$R_{KOV} \rightarrow \infty$ - Tento požadavek znamená v praxi elektrickou izolaci spojovaných materiálů. To má velký význam pouze v případech, spojujeme-li materiály s velkým rozdílem elektrochemických potenciálů. Na automobilu se však spíše vyskytují spojení: bodovým odporovým svařováním, šrouby, nýty apod. V těchto případech realitu vystihuje nejlépe $R_{KOV} \approx 0$.

$R_{EL} \rightarrow \infty$ - Odpor elektrolytu, v případě automobilu se jedná vždy o vodu, která však obsahuje určité množství částic z posypových solí, dále pak kyselé deště, nečistoty z ovzduší apod. V tomto případě je jedinou cestou možnost hermetického

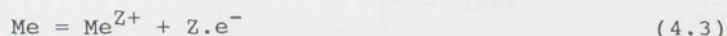
utěsnění štěrbin, dutin, výztuh a svarových lemu např. voskem, plnivy na bázi plastických hmot atd. a tím zabránění přístupu elektrolytu do těchto míst.

$R_{ANOD}/R_{KAT} \rightarrow \infty$ - Tohoto požadavku v praxi dosáhneme, jestliže katodickou a nebo anodickou kovovou plochu pokryjeme izolační vrstvou. Izolační vrstva musí být pro elektrony neprůchodná. Na karoserii je tato vrstva zpravidla vytvářena fosfatizací, základním lakem, podkladovou barvou a vrchním lakem.

Napětí, která způsobují tok proudu v korozní buňce, vznikají z potenciálových rozdílů vyskytujících se v korozním systému. Potenciálové rozdíly mohou vznikat spojením dvou různých kovů, ale také na tomtéž kovovém povrchu. Ty jsou pak způsobeny mřížkovými poruchami, čili body rozdílného potenciálu. Konečně mohou vést k potenciálovým rozdílům také koncentrační rozdíly vznikající při chemických korozních reakcích látek přítomných v elektrolytu.

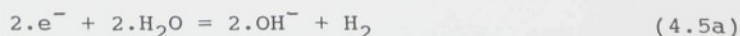
Korozní pochody zahrnují vždy dvě části procesu, který probíhá současně na anodě a katodě /13/.

Anoda: Oxidace kovu, který poskytne ze své kovové mřížky ionty M^{Z+} současně zůstává uvnitř mřížky Z nadbytečných elektronů (4.3).



Katoda: Redukce korozního media při spotřebovávání nadbytečných elektronů na anodě s následujícími možnostmi:

pro bazický nebo neutrální elektrolyt

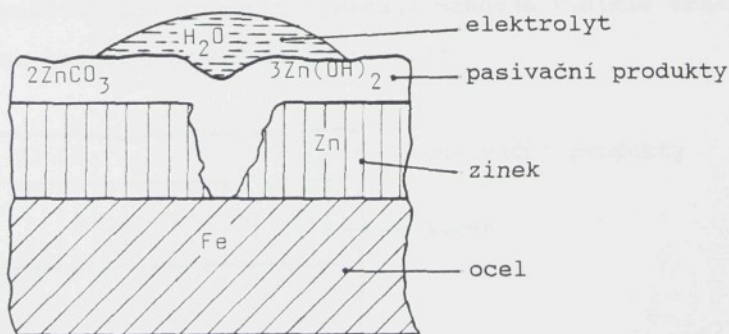


pro kyselý elektrolyt



Obě reakce jsou vázány proudem, který protéká mezi anodou a katodou v kovovém vodiči jako proud elektronů a v elektrolytu jako stejně velký proud iontů. Oxidace probíhá stále na místě s negativním potenciálem (zinková anoda), na katodě se korozní medium pouze redukuje, nedochází zde (v ideálním případě) k žádným chemickým změnám, a tím také k žádné korozi.

Takto působí katodická ochrana na střížných hranách pozinkovaných plechů do tloušťky asi 2 mm. Obdobně budou chráněny rýhy (obr.4.2) nebo místa poškozená údery odletujícího kamení, která procházejí zinkovou vrstvou až na základní materiál ocelového plechu. Neuspokojivé je ochranné působení např. na svarových čóčkách a na lemových spojích.



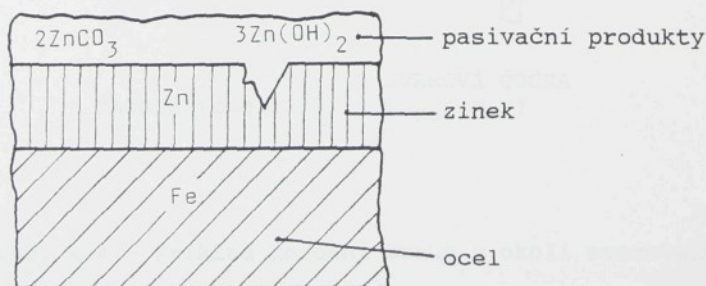
Obr. 4.2 - Katodická ochrana zinku

4.2. BARIÉROVÉ PŮSOBNÍ

U pozinkovaných ocelových plechů tvoří zinková vrstva bariéru proti vstupu korozních médií k oceli.

Plechý na výrobu karosérií mají zpravidla tloušťku vrstvy zinku od 7 μm do 10 μm u elektrolyticky pozinkovaných plechů a 20 μm u žárově pozinkovaných plechů /14/.

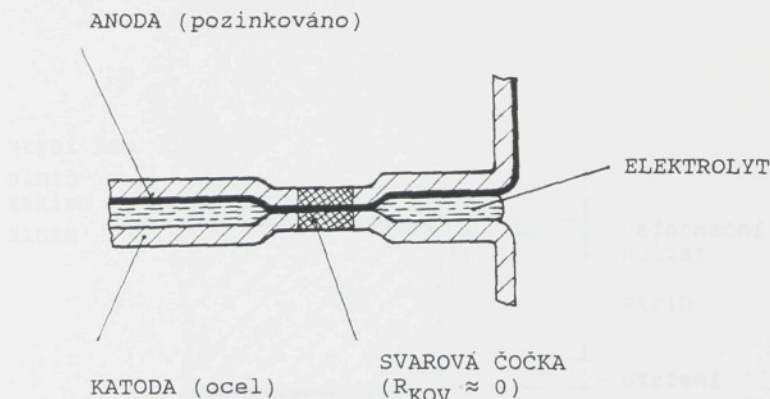
Vrstva zinku působí jako ochranná bariéra a izoluje ocel od vzdušné vlhkosti. Zinek, jako některé další kovy např. hliník, vytváří v elektrolytu těžko rozpustné korozní produkty, které pokrývají kovový povrch a tvoří tak ochrannou neboli pasivační vrstvu. Při hodnotách pH 6 až 12,5 jsou vznikající zinkové oxidy, hydroxidy, uhličitany a další sloučeniny ve vodě téměř nerozpustné a vytváří vrstvu pasivačních produktů. Tato vrstva je sice elektricky nevodivá, ale má póry, které prochází až k povrchu kovové čistého zinku. Proto se mohou zinkové ionty relativně lehce dostat do elektrolytu a přechodový odpor na anodě je poměrně malý. Kyslík může póry pasivační vrstvy procházet jen těžko, protože mu klade velký difuzní odpor /13/. Vrstva pasivačních produktů vyplňuje náhodně vzniklé trhlinky a brzdí tak reakci s kyslíkem (obr. 4.3).



Obr. 4.3 - Bariérové působení zinkového povlaku

4.3. ŠTĚRBINOVÁ KOROZE

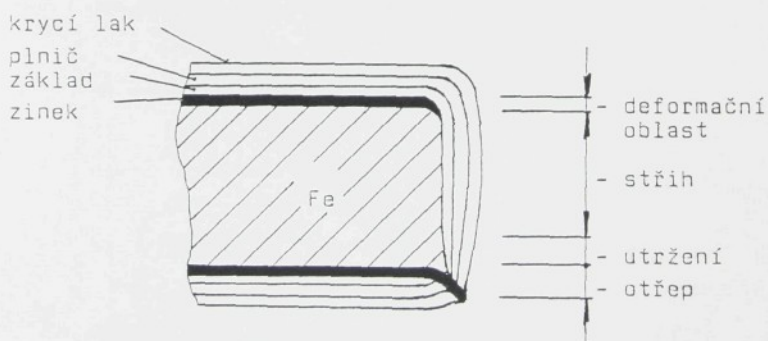
Protože karoserie je spojována především bodovým odporovým svařováním, vznikají lemy o šířce asi 15 až 20 mm. Tyto spoje (obr. 4.4) jsou chráněny elektrochemicky nanášeným základním lakem jen nedokonale. V lemech, a také v místech výztuh, kde dochází ke zdvojení plechů se nachází zinek kovově čistý. Zde dochází vzájemným působením koncentračních rozdílů, jakož i solí a kyselin v elektrolytu a dlouhodobé vlhkosti ve štěrbinách k rapidní korozi, která pro zinkový povlak karosářského plechu snadno překračuje rychlost $10 \mu\text{m}/\text{rok}$ [13]. Aby se u pozinkované karoserie dodržela stejná životnost všech jejích částí, je nutné zamezit štěrbinové korozi utěsněním nebo plněním štěrbin voskem nebo plnivem na bázi plastů.



Obr. 4.4 - Příklad korozní buňky v okolí svarového spoje pozinkovaného a ocelového plechu

4.4. KOROZE NA STŘIŽNÝCH HRANÁCH

Při stříhání plechů se nelze vyhnout otřepu přiměřené velikosti. Při elektrochemickém nanášení základního laku a podkladové barvy a vrchního laku budou více zásobeny pigmenty zvláště otřepy a to díky rozložení proudových koncentrací. Při vypalování způsobuje povrchové napětí "tekuté" budoucí vrstvy laku, že se nátěr na hranách ztenčuje a otřep potom protrhne vrstvu laku. Střížné hrany jsou značně náchylné na korozi. Když není na otřepu k dispozici žádný "obětovaný" zinek (na střížné zóně a v oblasti utržení nenalezneme prakticky žádný zinek), nemůže působit katodická ochrana. Je zřejmé, že ochrana střížných hran u pozinkovaných plechů je optimální tehdy, když zpracováváme oboustranně pozinkovaný plech. Potom nezáleží na směru stříhu, protože "obětovaný" zinek je na otřepu pokaždé k dispozici (obr. 4.5).



Obr. 4.5 - Střížná hrana oboustranně pozinkovaného plechu

Také při štěrbinové korozi je lepší, když jsou lemy oboustranně pozinkované. V mezeře je působení "obětovaného" zinku, jak bylo již vysvětleno, možné pouze částečně a spotřebovávání zinku je značně rychlejší, než jaké představuje bariérové působení povlaku.

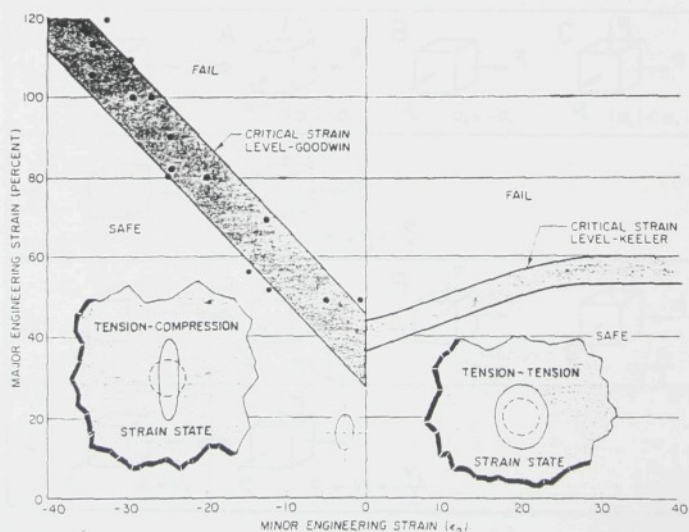
Pokud se spojují pozinkované a čisté ocelové plechy, při korozním zatěžování se nanosená základní vrstva nátěru na kraji mezery na straně oceli odloupne (obr.4.4). Příčinou jsou zřejmě alkalické ionty (OH^-), které se tvoří na katodové straně /13/ podle rovnic platících pro bazický a neutrální elektrolyt (4.4a,4.5a).

Korozní ochrana karoserie zinkem bude optimální tehdy, když jsou oba spojované plechy oboustranně pozinkovány.

5. DEFINICE DMP VE VZTAHU K TAŽENÍ KAROSÁŘSKÝCH VÝLISKŮ

Uvedené DMP je možno získat použitím teoreticky odvozených vztahů pro výpočet kritických hodnot přetvoření φ_{1K} a φ_{2K} jako funkce stavu napjatosti a vybraných materiálových charakteristik /38/. Mezní stav je určován z podmínky ztráty stability odpovídající dosažení meze pevnosti materiálu při daném stavu napjatosti. Tento přístup je však zatím značně nepřesný, neboť nelze zahrnout z hlediska pracnosti větší počet faktorů ovlivňujících lisovatelnost plechu.

Daleko výhodnější se jeví způsob experimentálního stanovení mezních přetvoření φ_{1K} a φ_{2K} a modelování stavů napjatosti, které se vyskytují na výliscích. Základním krokem k tomuto přístupu byl diagram, zpracovaný pro ocelový plech Goodwinem a Keelerem /37/. Pásmo mezních přetvoření bylo získáno určováním φ_{1K} a φ_{2K} na různých typech výlisků v okolí trhlin za použití deformačních sítí viz. obr.5.1.

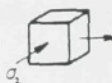
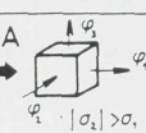
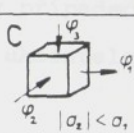
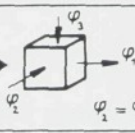
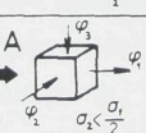
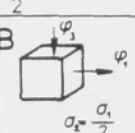
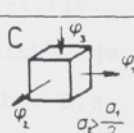
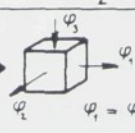


Obr. 5.1 - Pásmo mezních přetvoření experimentálně určené Goodwinem a Keelerem /37/

Později byla vyvinuta celá řada metod modelování stavů napjatosti /40/ s cílem určit mezní hodnoty přetvoření vyskytujících se na výlisku.

V práci /39/ se uvádí rovinné stavy napjatosti, které se uplatňují při tažení výlisků z tenkého ocelového plechu viz obr.5.2. Danému stavu napjatosti odpovídají příslušné oblasti na výlisku:

- 1 - oblast přidržovače, v omezené míře i okrajové části výlisku v první fázi tažení, a to v místech mezi tažnými hranami tažnice a tažníku (nebezpečí vzniku vln),
- 2 - okrajové oblasti výlisku, kde se mohou vyskytovat stavy blízké jednoosému tahu,
- 3 - na převážné části povrchu výlisku.
- 4 - zvláštní (hraniční) případ stavu 3

	napjatost	přetvoření
1		 A $\sigma_2 > \sigma_1$  B $\sigma_2 = -\sigma_1$  C $\sigma_2 < \sigma_1$
2		 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = -\frac{\epsilon_3}{2}$
3		 A $\sigma_2 < \frac{\sigma_1}{2}$  B $\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{2}$  C $\sigma_2 > \frac{\sigma_1}{2}$
4		 $\epsilon_1 = \epsilon_2 = -\frac{\epsilon_3}{2}$

Obr. 5.2 - Schemata stavů napjatosti a přetvoření vyskytujících se při tažení na výlisku /39/

Stav napjatosti při tažení výlisku lze charakterizovat následujícím způsobem:

$$\sigma_1:\sigma_2:\sigma_3=1:m_\sigma:0, \quad (5.1)$$

kde m_σ je ukazatel stavu napjatosti

$$m_\sigma=\sigma_2/\sigma_1. \quad (5.2)$$

Volíme-li souřadný systém tak, aby platilo, že $|\sigma_1| \geq |\sigma_2|$, potom $m_\sigma \in \langle -1, +1 \rangle$.

Ukazatel přetvoření je možno definovat vztahem

$$m_\varphi = d\varphi_2/d\varphi_1, \quad (5.3)$$

v případě proporcionálního přetvoření

$$m_\varphi = \varphi_2 / \varphi_1. \quad (5.4)$$

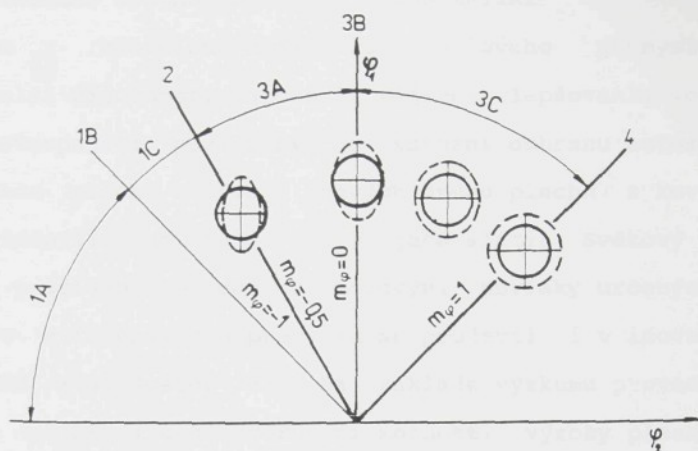
Za předpokladu kvaziizotropního materiálu lze v případech 1 až 3 charakterizovat stav přetvoření za pomoci ukazatele stavu napjatosti

$$m_\varphi = (2m_\sigma - 1) / (2 + m_\sigma). \quad (5.5)$$

V tom případě bude m_φ rovněž nabývat hodnot $m_\varphi \in \langle -1, +1 \rangle$.

Stavy přetvoření vyskytující se na výlisku je možné charakterizovat v souřadnicích φ_1 a φ_2 podle obr. 5.3.

Ke vzniku trhlin na výliscích dochází při stavech přetvoření, ohraničených hodnotami $m_\varphi = -0,5$ a $m_\varphi = +1,0$. To znamená, že diagram mezních přetvoření bude ležet v oblastech 3A a 3C viz obr. 5.3.



Obr. 5.3 - Stavy přetvoření na výliscích charakterizované ukazatelem m_φ /39/

Tento přístup k experimentálnímu určování DMP a použité metody jsou v podstatě shodné s praktickým hodnocením lisovatelnosti a použitelné pro různé druhy plechu. Proto byla na KPT VŠST v Liberci věnována této problematice mimořádná pozornost v řadě prací /39,40,41,24,42/.

6. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY A CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

6.1. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY

Jedním z hlavních úkolů automobilového průmyslu je dosažení delší životnosti karoserií zejména zlepšováním korozní ochrany. Stoupající požadavky na korozní ochranu automobilů vedou výrobce plechů k vývoji nových druhů plechů s kovovými povlaky především na bázi Zn a jeho slitin. Světový trend výroby a používání plechů s kovovými povlaky určených pro karoserie v automobilovém průmyslu se projevil i v inovačních záměrech VSŽ a.s. Košice /61/. Na základě výzkumu prováděného ve VSŽ se přikročilo k ověřování možnosti výroby plechu se slitinovým povlakem Ferozink pro potřeby automobilového průmyslu v ČSFR.

V a.a.s. Škoda se v současné době řeší problémy vznikající při tváření, svařování a povrchových úpravách plechů s kovovými povlaky, které jsou určeny na výrobu korozně exponovaných dílů karoserie. V blízké budoucnosti by měl podíl těchto materiálů dosáhnout asi 30 % hmotnosti karoserie, jako je tomu u většiny zahraničních výrobců.

V našem automobilovém průmyslu dosud nejsou potřebné zkušenosti se zpracováním ocelových plechů s kovovými povlaky, protože jejich výzkum a výroba se u nás začíná teprve rozvíjet. Zpracovatelé plechů s kovovými povlaky získávají předběžné podklady z odborné literatury a ověřováním zkouškami lisovatelnosti u plechů z dovozu.

V současné době chybí metodické postupy, které by se zabývaly hodnocením integrity kovových povlaků ocelových plechů při tváření.

6.2. CÍLE A ZAMĚŘENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Dosavadní výsledky prací publikovaných u nás i v zahraničí k této problematice neobsahují potřebné informace pro hodnocení tvářitelnosti těchto materiálů.

U plechů s povrchovými vrstvami lze problém tvářitelnosti rozdělit na hodnocení mezních stavů základního materiálu, a na hodnocení mezních stavů povrchové vrstvy. Oba případy společně charakterizují zkoumaný materiál. U základního materiálu se jedná o problematiku diagramu mezních přetvoření, která byla podrobně rozpracována v / 24,39,40,41,42 /.

Cíl disertační práce byl formulován v návaznosti na řešení dílčího úkolu státního plánu základního výzkumu III-1-6/2-3 "Mezní stavy při zpracování povrchově upravených tenkých ocelových plechů".

Cílem disertační práce je:

- přispět k objasnění podmínek porušování kovových povlaků při tváření výlisků z těchto plechů zejména v automobilovém průmyslu,

- experimentálně ověřit vliv změny tvářecích parametrů na porušování kovových povlaků modelováním podmínek různých stavů a intenzit přetvoření vyskytujících se na výliscích karosářského typu,

- vypracovat metodiku a navrhnout způsob hodnocení kvality kovových povlaků na bázi Zn z hlediska podmínek jejich porušování při tváření,

- provést výběr a dopracování vhodné mechanické zkoušky pro posuzování kvality kovových povlaků při tváření v podmínkách automobilového průmyslu.

7. POROVNÁNÍ MATERIÁLOVÝCH CHARAKTERISTIK HLUBOKOTAŽNÝCH PLECHŮ Z HLEDISKA HODNOCENÍ LISOVATELNOSTI DÍLU VNITŘNÍCH DVEŘÍ ZADNÍCH VOZU Š 781

V rámci sledování lisovatelnosti dílu vnitřních dveří zadních na vůz Š 781 byly v práci porovnávány komplexně celkem tři druhy materiálů hlubokotažných plechů. Plech jakosti 11 305.21 tl. 0.7 mm, dále plech s oboustranným žárově nanášeným povlakem Fe-Zn (Ferozink, VSŽ Košice) a plech s oboustranným elektrolyticky naneseným Zn povlakem (Sollac, Francie). Oba povlaky byly nanесeny na plech odpovídající jakosti 11 305.21 (VSŽ, Košice). Zkoumání materiálových charakteristik a chování při lisování u plechů s povlaky na bázi Zn vyplývá z toho, že u výlisku vnitřních dveří zadních a některých dalších dílů se předpokládá do budoucna zvýšená korozní ochrana zinkovými povlaky, jako je tomu u jiných zahraničních automobilů.

Experimentální výzkum plechu s oboustranným povlakem Fe-Zn (Ferozink) byl prováděn v rámci výzkumného úkolu III-1-6/2. Nosným základem plechu je ocelový hlubokotažný plech jakosti 11 305.21. Ochranný povlak Fe-Zn byl získán principem oboustranného žárového pozinkování v tavenině s následným difuzním žháním. V rámci disertační práce byl dále hodnocen plech jakosti 11 305.21 s oboustranným elektrolyticky naneseným zinkovým povlakem (Sollac, Francie).

7.1. MECHANICKÉ VLASTNOSTI

Pro zjištění mechanických vlastností plechu s povlakem Ferozink byla prováděna na trhacím stroji FPZ 100 zkouška tahem podle ČSN 42 0310, dále byly stanoveny hodnoty $\underline{r}$ - součinitele

normálové anizotropie a n - exponentu deformačního zpevnění podle návrhů ČSN 42 0435 a ČSN 42 0436 /24/. Výsledky jsou uvedeny v souhrnné tab. 7.1a. Materiálové vlastnosti plechu s elektrolyticky nanášeným Zn povlakem a plechu 11 305.21 byly hodnoceny na zkušebním zařízení Wolpert TT 1283 a jsou uvedeny v tab. 7.1b a 7.1c.

Tab. 7.1a - Mechanické vlastnosti plechu 11 305.21 s povlakem Ferozink /24/

orient. vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	Re_H [MPa]	Re_L [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	r	n
0°	180.4	-	-	300.8	42.3	0.624	0.214
45°	174.3	-	-	296.6	44.2	0.720	0.220
90°	175.1	-	-	299.6	42.8	0.630	0.218
ϕ	176.3	-	-	298.4	43.4	0.673	0.218

11
0.8

Tab. 7.1b - Mechanické vlastnosti plechu 11 305.21 s povlakem Zn elektrolyticky nanášeným

orient. vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	Re_H [MPa]	Re_L [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	r	n
0°	-	270.2	260.2	330.3	37.54	1.44	0.168
45°	-	258.1	245.9	325.4	35.07	1.14	0.171
90°	-	247.8	235.9	325.0	38.62	1.14	0.173
ϕ	-	258.6	247.0	326.5	36.58	1.22	0.171

1
0

Tab. 7.1c - Mechanické vlastnosti plechu 11 305.21

orient. vzorku	$R_{p0.2}$ [MPa]	R_{eH} [MPa]	R_{eL} [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} [%]	r	n
0°	174.8	-	-	314.5	44.31	1.76	0.208
45°	180.6	-	-	323.9	36.83	1.33	0.201
90°	169.4	-	-	306.0	37.26	2.09	0.205
ϕ	176.4	-	-	317.1	38.81	1.63	0.204

Na základě porovnání materiálových vlastností těchto tří materiálů lze usuzovat jaký vliv na základní materiál budou mít různé způsoby nanášení povlaků. U plechu s povlakem Ferozink jsou charakteristiky srovnatelné s plechem 11 305.21, s výjimkou hodnoty exponentu deformačního zpevnění, který je nepatrně nižší, a zejména součinitele normálové anizotropie. Je pravděpodobné, že hodnota $r < 1$ je důsledkem nevhodné krystalografické textury, vzniklé žiháním /24/. Hodnota normálové anizotropie plechu s povlakem Ferozink odpovídá plechu se špatnou hlubokotažností. Plastické přetvoření se v tomto případě bude uskutečňovat na úkor ztenčení tloušťky materiálu. To také dále potvrzují výsledky zkoušky hloubením podle Erichsena viz tab. 7.6. U plechu s povlakem elektrolyticky zinkovaným (Sollac, Francie) zřejmě došlo během transportu nebo v procesu pozinkování k výraznému vystárnutí. Odpovídá tomu výrazná mez kluzu, zvýšeny jsou hodnoty meze kluzu i meze pevnosti, zatímco tažnost je nižší. Výrazně snížena je i hodnota exponentu deformačního zpevnění. K vystárnutí materiálu došlo pravděpodobně v důsledku nízkého obsahu Al viz. tab. 7.3.

7.2. CHEMICKÉ SLOŽENÍ

Směrné chemické složení nosného základu plechu jakosti 11 305.21 podle /47/ je uvedeno v tab. 7.2 .

Tab. 7.2 - Směrné chemické složení plechu jakosti 11 305.21

Označení dle ČSN	Obsah chemických prvků [%]				
	C max.	Mn max.	P max.	S max.	Al min.
11 305.21	0.07	0.4	0.025	0.025	0.025

Chemický rozbor vzorků základního materiálu plechů byl prováděn na kvantometru ARL 3560. Jeho výsledky jsou uvedeny v následující tabulce 7.3 .

Tab. 7.3 - Chemické složení porovnávaných materiálů

prvek [%]	11 305.21 FZ	11 305.21 EZ	11 305.21
C	0.04726	0.04775	0.04688
Mn	0.22527	0.24630	0.29458
Si	0.01066	0.01003	0.02984
P	0.00679	0.01068	0.01378
S	0.00925	0.01776	0.01318
Al	0.05290	0.01920	0.06850
Cu	0.01775	0.05412	0.02761
Cr	-	0.01571	-
Ni	0.00156	0.01330	-
Mo	-	0.00104	0.00212
Sn	0.00153	0.00432	0.00250
Co	0.00137	0.00410	0.01131
Ti	0.00162	0.00197	0.00323
V	0.00078	0.00176	0.00402
W	-	-	0.00713
B	0.00018	0.00020	0.00026
Sb	-	-	0.00123

Chemické složení předepsané pro jakost 11 305.21 je dodrženo s výjimkou sníženého obsahu Al=0.0192% oproti doporučovaným min. 0.025% u plechu elektrolyticky zinkovaného. U tohoto materiálu byl snížený obsah Al patrně příčinou tzv. vystárnutí materiálu, což se negativně odrazilo na dosahovaných

hodnotách mechanických vlastností viz. tab. 7.1b . Hodnoty dalších prvků C, Mn, S, P jsou zejména u obou plechů s kovovými povlaky ve všech případech nižší, než max. přípustné hodnoty stanovené normou /47/, což by se mělo příznivě projevit zejména v mechanických vlastnostech materiálu. Další doprovodné prvky jako např. Cu, Cr, Ni spolu s Mn, Si ocel obsahuje v součtu v malém množství. Vyjimku tvoří poměrně vysoký obsah Cu= 0.05412% u plechu elektrolyticky zinkovaného, který mohl být jedním z faktorů ovlivňujících poměrně nízkou hodnotu exponentu deformačního zpevnění.

7.3. DRSNOST POVRCHU

Kontrola drsnosti povrchů plechů byla provedena na přístroji Hommel-Tester T 20, za podmínek měření: snímač TK 100, MB= 2 μ m, LT= 15 mm, LC= 0.80 mm, VT= 0.50 mm/s.

U porovnávaných materiálů byly určovány tyto charakteristiky drsnosti povrchu:

- R_a - střední aritmetická úchylka profilu (střední aritmetická hodnota absolutních hodnot úchylek profilu v rozsahu základní délky), ČSN 01 4450
- R_q - střední kvadratická úchylka profilu (střední kvadratická hodnota úchylek profilu v rozsahu základní délky), ČSN 01 4450
- R_m - největší výška nerovností profilu (vzdálenost mezi čarou výstupků profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky), ČSN 01 4450

R_Z -ISO - Výška nerovnosti profilu z deseti bodů (střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti největších výstupků a hloubek pěti největších prohlubní profilu v rozsahu základní délky) tzv. Zehnpunkt Höhe, TGL Hommel, nebo též ČSN 01 4450.

R_Z -DIN - Gemittelte Rauhtiefe, DIN 4768 (střední hodnota z největších výšek pěti vzájemně navazujících základních délek filtrovaného profilu).

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 7.4a pro orientaci ve směru válcování a v tab. 7.4b kolmo na směr válcování. Pro porovnání uvádím ještě charakteristiky drsností povrchu zahraničního materiálu RRSt 14 05 určeného k tažení náročných karosářských výlisků.

Tab. 7.4a - Charakteristiky drsnosti povrchu

Charakteristiky drsnosti povrchu, orientace 0°					
Plech	R_a	R_q	R_m	R_Z -ISO	R_Z -DIN
11 305.21	1.375	1.825	16.275	10.650	10.425
11 305.21 FZ	1.875	2.450	18.375	14.225	12.775
11 305.21 EZ	1.725	2.225	13.850	12.025	11.775
RRSt 14 05	1.125	1.450	10.150	8.775	8.200

Tab. 7.4b - Charakteristiky drsnosti povrchu

Charakteristiky drsnosti povrchu, orientace 90°					
Plech	R_a	R_q	R_m	R_Z -ISO	R_Z -DIN
11 305.21	1.275	1.675	11.375	9.525	8.975
11 305.21 FZ	1.700	2.125	16.225	13.025	12.450
11 305.21 EZ	1.575	2.050	12.300	11.400	11.250
RRSt 14 05	1.150	1.475	8.700	8.075	7.950

7.4. MIKROTVRDOST

U srovnávaných materiálů bylo provedeno měření mikrotvrdomosti podle Vickerse v povrchových vrstvách. Při stanovování mikrotvrdomosti se postupovalo podle ČSN 03 8159 Měření mikrotvrdomosti kovových povlaků. Byl použit mikrotvrdoměr Zwick 3212. Měřeno bylo na povrchu povlaku a na povrchové vrstvě nepovlakovaného plechu. Podmínky měření se nelišily od standardních (uváděné normou), zatížení bylo voleno 0.0981 N tzn. 0.01 kp. Naměřené hodnoty, které slouží pro porovnání mikrotvrdomostí povrchových vrstev jsou uvedeny v tab. 7.5 .

Tab. 7.5 - Mikrotvrdomost podle Vickerse

zatížení	ocelový plech		11 305.21 s povlakem	
	RRSt 14 05	11 305.21	FZ	EZ
HV 0.01	110 - 122	100 - 123	181 - 230	35 - 41

Z výsledků měření mikrotvrdomostí v povrchových vrstvách lze konstatovat, že mikrotvrdomost povlaku elektrolyticky zinkovaného se pohybuje v rozmezí 35-41 HV 0.01 , která se blíží tvrdosti čistého zinku v netvářeném stavu. Podstatně vyšší je mikrotvrdomost povlaku Ferozink , která se pohybuje v rozmezí 181-230 HV 0.01, je způsobena přítomností intermetalických fází železa a zinku. Pro srovnání byly naměřeny hodnoty mikrotvrdomostí pro ocelový plech domácí i zahraniční produkce. Hodnoty se pohybují v rozmezí 110-120 HV 0.01. Lze tedy říci, že oproti dosud běžně užívaným materiálům má elektrolyticky pozinkovaný povrch asi 3x nižší tvrdost a povlak Ferozink tvrdost asi 2x vyšší.

U mikrotvrdostí vymezuje vliv podložky nomogram uvedený v příloze ČSN 03 8159. Zvolené zatížení vyhovuje pro ocelové povrchy a povlak Ferozink (FZ). V případě povlaku EZ by dle uváděného nomogramu mělo zatížení být menší než HV 0.001. Měření při těchto zatíženích nebylo možné v našich podmínkách provést. Dle literatury /60/ může být spojeno se značnými odchylkami danými zátěžnou charakteristikou měřicího přístroje. Proto je uváděna hodnota mikrotvrdosti povlaku EZ pouze pro srovnání a může být vzhledem k možnému vlivu podložky - materiálu 11 305.21 nižší nebo rovna 41 HV 0.01.

7.5. ZKOUŠKA HLOUBENÍM

Zkouška hloubením plechů a pásů podle Erichsena ČSN 42 0406 patří mezi rozšířené technologické zkoušky plechů. Není náročná na čas ani na přípravu vzorků. Přitom poskytuje cenné informace o chování materiálu plechu v podmínkách dvouosého vypínání, které je časté u karosářských výlisků zejména v oblastech prolisů a některých dalších exponovaných částí.

Pás plechu o šířce 90 až 110 mm se upne do zkušebního zařízení s přidržovacím tlakem asi 10 MPa a do plechu je vtlačována kulička o průměru 20 mm. Měří se hloubka vniknutí kuličky do doby, kdy dojde ke kontrakci a porušení lomem a stanovuje se tzv. IE (index Erichsena - hloubka vniknutí v mm). Dále se hodnotí povrch materiálu způsob porušení.

Výsledky měření pro porovnávané materiály jsou uvedeny v tab. 7.6 .

Tab. 7.6 - Hodnoty získané zkouškou hloubením

IE [mm]			
č. měř.	11305.21	11305.21 FZ	11305.21 EZ
1.	9.95	10.75	9.95
2.	9.90	10.70	9.90
3.	9.90	10.65	9.90
4.	9.90	10.70	9.95
5.	9.95	10.75	9.95
6.	9.90	10.70	9.90
7.	9.95	10.65	9.90
8.	9.95	10.60	9.90
9.	9.90	10.65	9.95
10.	9.95	10.60	9.95
ϕ	9.93	10.68	9.93

Pro plech jakosti 11 305.21 a plech elektrolyticky pozinkovaný odpovídá $IE=9.9$ mm běžným hodnotám dosahovaným u těchto plechů. Povrch po zkoušce nejevil známky zhrubnutí tzv. pomerančové kůry. U plechu s povlakem Ferozink je zvýšená hodnota $IE=10.6$ mm zapříčiněna vypínáním materiálu na úkor ztenčování jeho tloušťky a bude patrně též důsledkem nevhodné krystalografické textury vzniklé v procesu žihání /24/. Tato vlastnost je pro hlubokotažné plechy nevhodná.

7.6. DIAGRAM MEZNÍCH PŘETVOŘENÍ

Metodika stanovení DMP tenkých ocelových plechů je podrobně popsána v /24, 41, 42, 52/. V této stati bude uvedeno porovnání vlivu způsobu nanášení povlaku na tvar a polohu křivky mezních přetvoření plechů s kovovými povlaky.

Za tímto účelem jsem stanovil DMP plechu odpovídajícího jakosti 11 305.21 elektrolyticky zinkovaného (Sollac, Francie) pomocí metodiky uvedené v /42/. Křivka mezních přetvoření

bolo jinou metódou charakterizovat

plechu jakosti 11 305.21 a DMP plechu s povlakem Ferozink viz. obr. 7.1a. pro porovnání byly převzaty z lit. /42/.

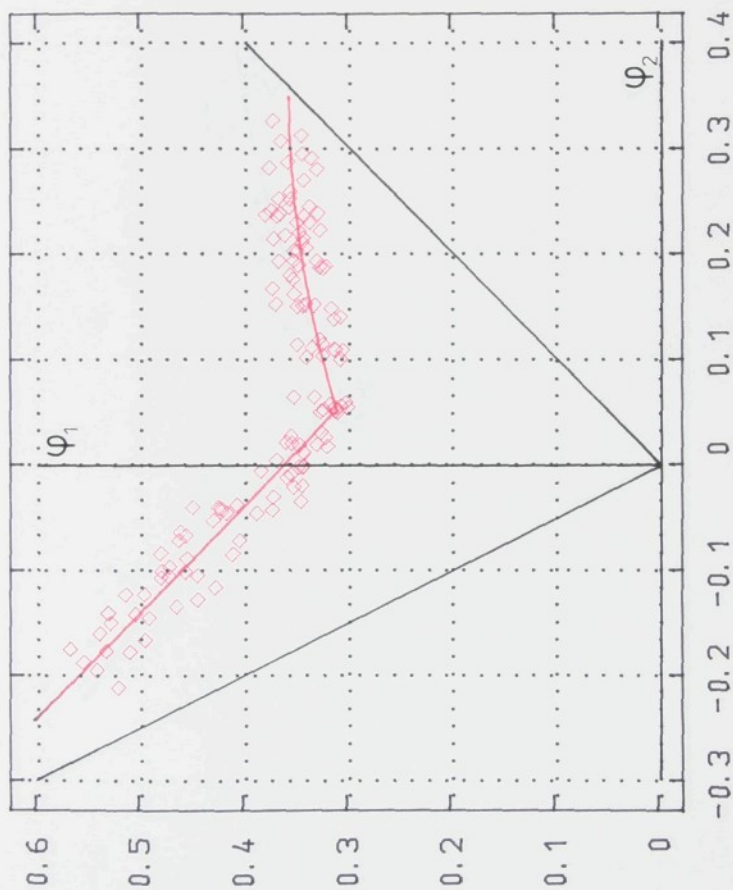
Hodnoty mezních přetvoření plechu 11 305.21 EZ jsem získal na 13-ti různých šířkách b ($b = 30$ až 210 mm). Celkem 330 vyhodnocených měření vytváří v DMP pásmo mezních přetvoření základního materiálu viz. obr. 7.1b. Křivka mezních přetvoření pro plech 11 305.21 EZ byla pro pravou a levou větev získána regresní analýzou.

V daném případě se v lit. /42/ doporučuje použití regresní funkce ve tvaru ($p = 3$). Bodové odhady regresních koeficientů $b_1, b_2 \dots b_p$ byly získány použitím metody nejmenších čtverců.

$$E(\phi_1 / \phi_2) = \hat{\phi}_1 = b_1 + b_2 \cdot \phi_2 + b_3 \cdot \phi_2^2. \quad (7.1)$$

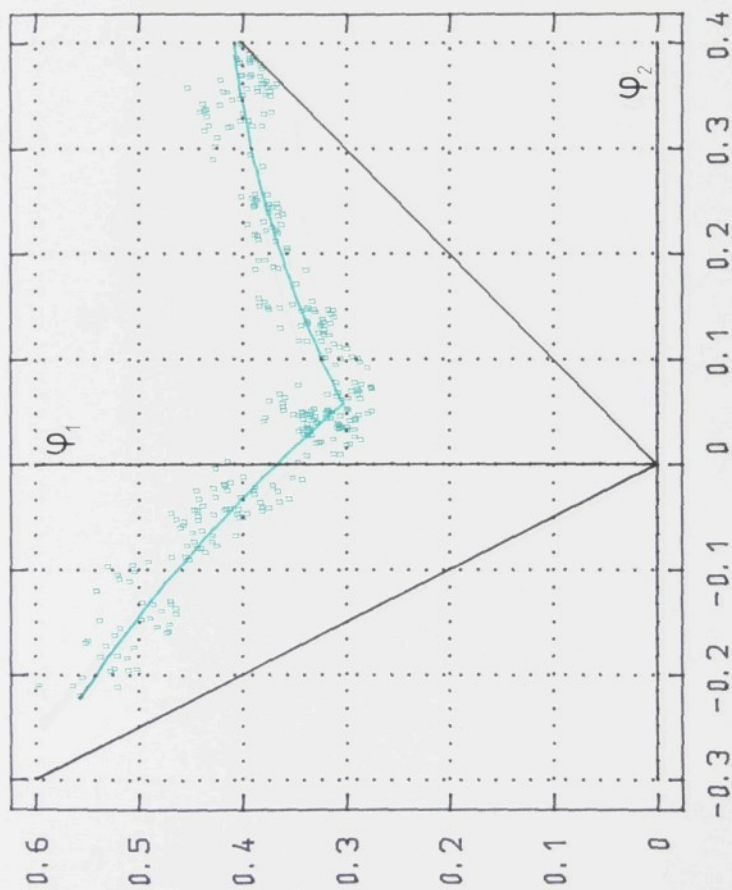
Vzhledem k charakteru přetvoření se podle /42/ určují při různých stavech napjatosti regresní koeficienty samostatně pro levou "L" (přibližně $\phi_2 \leq 0$) a pravou "P" ($\phi_2 > 0$) větev křivky mezních přetvoření. Hranice mezi levou a pravou větví křivky mezních přetvoření je dána průsečíkem obou větví, který odpovídá stavu přetvoření, pro který by hodnoty ϕ_1 měly být minimální.

Na obr. 7.2 jsou pro srovnání nakresleny křivky mezních přetvoření materiálu 11 305.21, plechu s povlakem Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a plechu s povlakem elektrolyticky zinkovaným (Sollac, Francie). Dále jsou v tabulce 7.7 uvedeny hodnoty regresních koeficientů a reziduálních směrodatných odchylek, přičemž hodnoty pro plech jakosti 11 305.21 a plech s povlakem Ferozink jsou převzaty z lit. /42/.



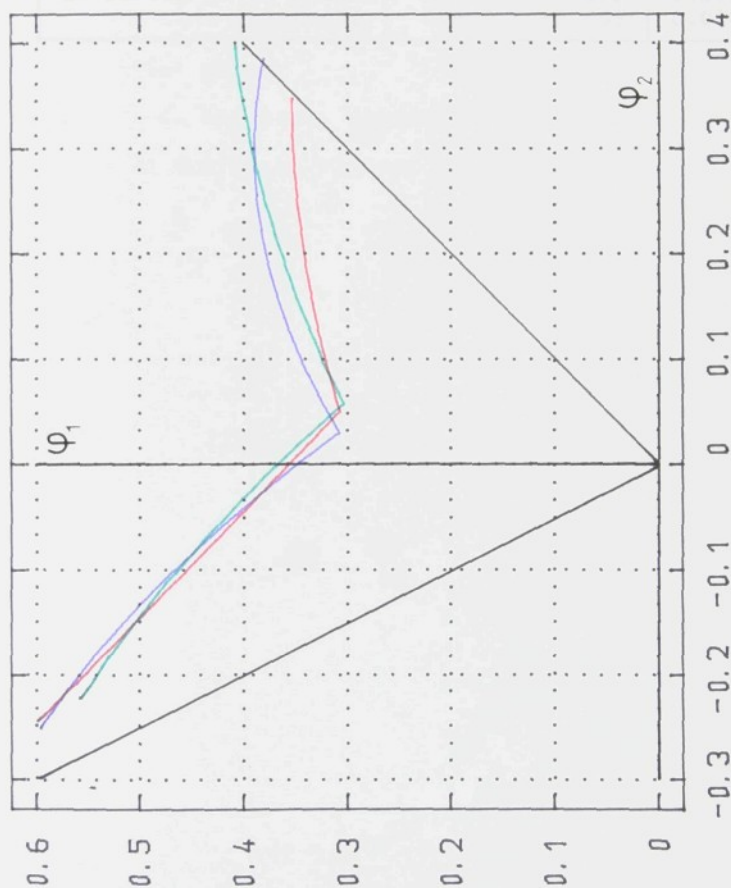
Obr. 7.1a - Diagram mezních přetvoření základního materiálu

11 305.21 tl. 0,7 mm s povlakem FZ



Obr. 7.1b - Diagram mezních přetvoření základního materiálu

tl. 305.21 tl. 0,7 mm s povlakem E7



Obr. 7.2 - Křivky mezních přetvoření plechů jakosti 11 305.21,
11 305.21 s povlakem FZ a 11 305.21 s povlakem EZ
(tloušťka 0,7 mm)

Tab. 7.7 - Hodnoty regresních koeficientů a reziduálních směrodatných odchylek pro srovnávané materiály

plech		b_1	b_2	b_3	s_R
11 305.21	L	0.352	-1.302	-1.252	0.0235
	P	0.291	0.684	-1.145	0.0274
11 305.21 FZ	L	0.359	-0.974	-0.094	0.0236
	P	0.292	0.358	-0.506	0.0155
11 305.21 EZ	L	0.370	-1.046	-0.875	0.0239
	P	0.272	0.567	-0.563	0.0182

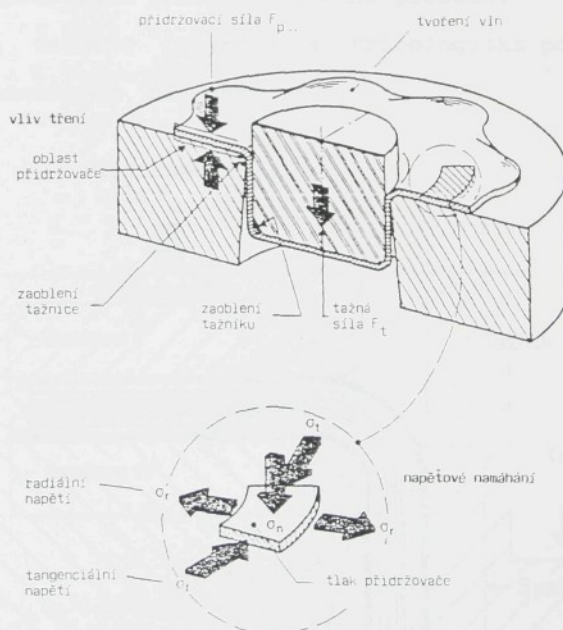
8. HODNOCENÍ LISOVATELNOSTI DÍLU VNITŘNÍCH DVEŘÍ ZADNÍCH VOZU Š 781

8.1. VLIV TVÁŘECÍHO PROCESU NA KVALITU LISOVANÉHO DÍLU

Na kvalitě výroby a stupni využití se současně podílí řada faktorů: - tvářecí stroj

- geometrie tvářecího nástroje a geometrie vylisku
- chování materiálu
- třecí poměry

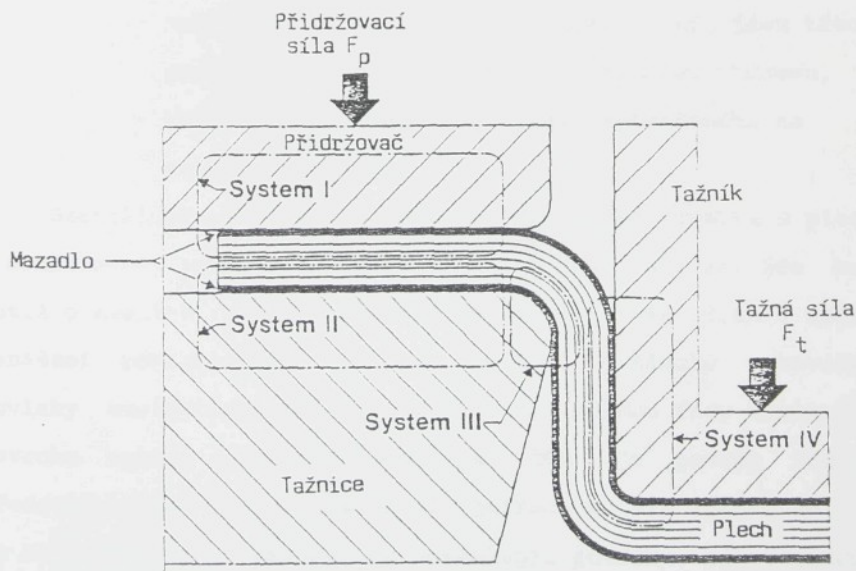
Schematické zobrazení namáhání plechu a působení tvářecího nástroje během tvářecího procesu ukazuje obr. 8.1.



Obr. 8.1 - Schematické znázornění namáhání plechu v nástroji během tvářecího procesu

Při hlubokém tažení je plech z oblasti přidržovače vtahován tažníkem přes zaoblění tažnice do nástroje. Oblast přidržovače je v případě tohoto tvářecího procesu hlavní zónou plastických deformací. V přírubě plechu dochází působením tvářecího nástroje ke vzniku radiálních a tangenciálních napětí. Tangenciální napětí mohou způsobovat zvlnění v okrajových oblastech výlisku a tím nestabilitu tvářecího procesu. Zvlnění je možné potlačit vhodnou volbou přidržovací síly. Kromě velikosti přidržovací síly má dále v oblasti přidržovače vliv na tvářecí proces ještě materiál výlisku, morfologie povrchu nástroje a výlisku, viskozita maziva a s tím související tribologické poměry tvářecího procesu.

Uspořádání tažného nástroje a tribologické poměry jsou schematicky znázorněny na obr. 8.2.



Obr. 8.2 - Schematické znázornění tribologických poměrů v tvářecím nástroji

Síla přidržovače působí kolmo k rovině plechu v přírubě výlisku. Velikost přidržovací síly ovlivňuje tření v tribologickém systému I. a II. podle Coulombova zákona. V tribologickém systému III. a IV. působí kromě tření ještě tvářecí síla přenášená tažníkem na rozhraní nástroj - výlisek.

V souvislosti s aplikací různých druhů mazadel by se nemělo zapomínat na význam kvality povrchů nástroje a plechu.

V případě ocelových plechů je kvalita povrchu určována zejména stavem povrchu hladicích válců při finálních úpravách v hutích. Obr. 9.1 a 9.2 ukazují kvalitativní možnosti jednotlivých postupů opracování povrchu hladicích válců a jejich vliv na výsledný stav povrchu plechu.

Povrch plechu musí být vytvářen tak, aby:

- plech byl schopen mazivo přijímat,
- morfologie povrchu nesmí umožňovat odtékání maziva
- nedocházelo k nárůstu oblastí, kde jsou třecí plochy v přímém styku během tvářecího procesu,
- nedocházelo k odtržení filmu, vytvářeného na povrchu mazadlem.

Specifické vlastnosti bude mít povrchová vrstva u plechů s ochrannými povlaky na bázi zinku a jeho slitin. Zde bude totiž o kvalitě a stavu povrchu rozhodovat také druh a způsob nanášení povlaku viz. obr. 9.3 a 9.4. U plechů s kovovými povlaky musíme také počítat s výraznou změnou řady vlastností povrchu oproti plechům ocelovým, kde je povrch určen především finálními úpravami při jejich hutním zpracování. To se do značné míry projeví na morfologii povrchu, mikrotvrdosti povrchové vrstvy a na dalších vlastnostech plechu. Uváděné

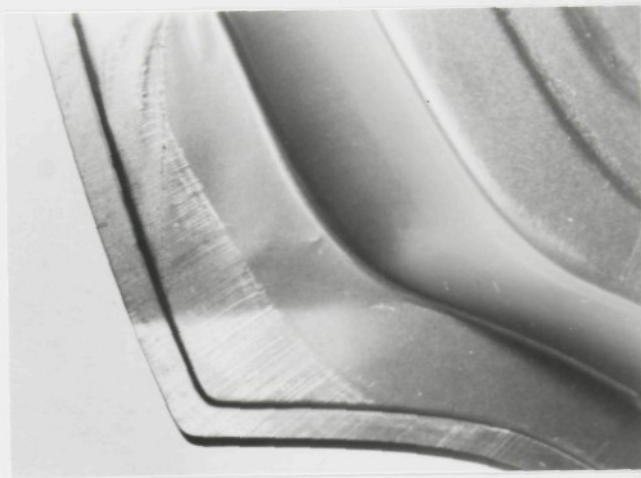
změny ovlivní především třecí poměry v tribologických systémech viz. obr.8.2 a tím i vlastní tvářecí proces.

8.2. SLEDOVÁNÍ CHARAKTERISTICKÝCH MÍST Z HLEDISKA VLIVU TRIBOLOGICKÝCH POMĚRŮ PŘI TAŽENÍ NA STAV POVRCHU VÝLISKU VNITŘNÍCH DVEŘÍ ZADNÍCH VOZU Š 781

Pro porovnání byly sledovány povrchy výlisků vnitřních dveří zadních z ocelového plechu jakosti 11 305.21 a plechu s elektrolytickým povlakem zinku. U obou výlisků byly po prvním tahu v místě č.1 viz. obr.8.13 odebrány vzorky plechu z oblasti příruby, stěny a dna výlisku tak, aby reprezentovaly charakteristické tribologické poměry v nástroji podle obr. 8.2.



Obr. 8.3 - Výlisek vnitřních dveří zadních po prvním tahu, hlubokotažný plech jakosti 11 305.21



Obr. 8.4 - Detail místa č.1 na hotovém výlisku, v lemové části je patrná změna povrchu po průchodu přes brzdící lištu, plech 11 305.21

Z hlediska rozdílného charakteru povrchu lze v tomto místě na výlisku nalézt až 4 oblasti:

1 - Oblast přidržovače, kde je povrch většinou změněn vlivem průchodu přes brzdící lištu v nástroji. Tato oblast se většinou dostává do místa tzv. lemu, ve kterém je výlisek spojován s vnějším dílem zadních dveří. Na povrchu plechu jsou patrné jasné stopy po zadírání při průchodu přes brzdící lištu.

2 - Oblast vtahování plechu přes tažnou hranu tažnice do nástroje. Tato oblast je po vylisování ve stěně výlisku blíže k lemu. Na povrchu plechu je patrné vyhlazení povrchové vrstvy průchodem přes tažnou hranu a místní zadírání, které nemá převládající charakter.

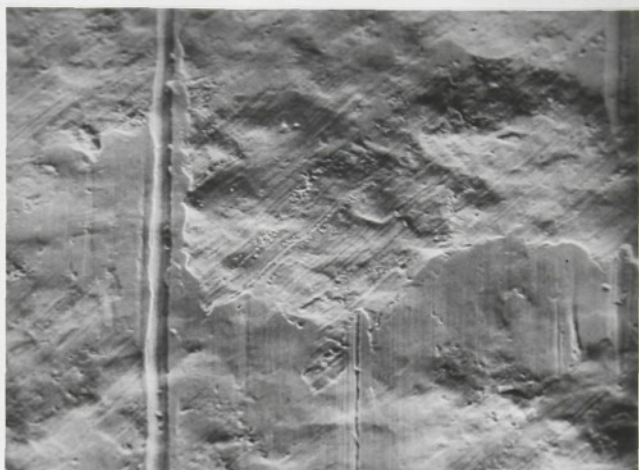
3 - Oblast stěny výlisku, která přenáší tažnou sílu od tažníku do příruby výlisku. V prvním tahu tato oblast nepřichází do takového kontaktu s nástrojem, že by to výrazným způsobem ovlivnilo povrch výlisku. Je pouze patrné vypínání ve směru toku materiálu.

4 - Oblast v rozích dna výlisku, kde je v místech styku povrchu plechu s tažníkem patrné vyhlazení povrchové vrstvy vlivem kontaktních tlakových napětí.

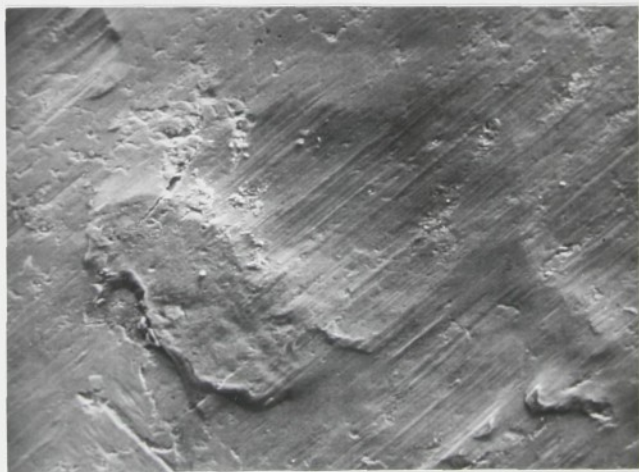
Změny povrchů na výliscích z obou materiálů byly sledovány pomocí REM při konstantním zvětšení 500x. Toto zvětšení bylo voleno s ohledem na to, že nejlépe postihuje změny v charakteru povrchu, dané různými tribologickými podmínkami obr.8.5 - 8.12.



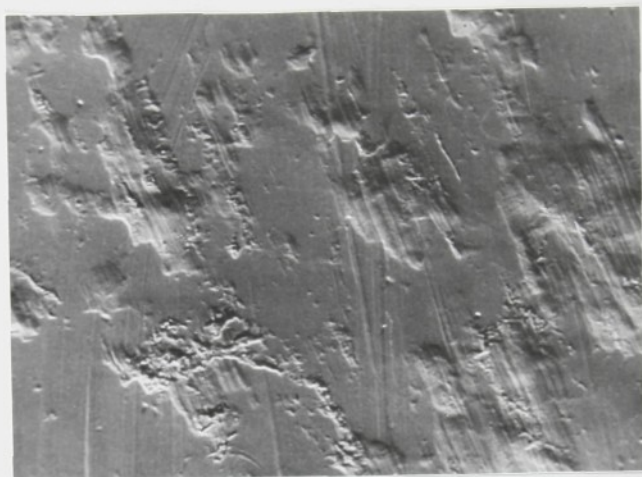
Obr. 8.5 - Oblast přidržovače, plech jakosti 11 305.21, REM, 500x.



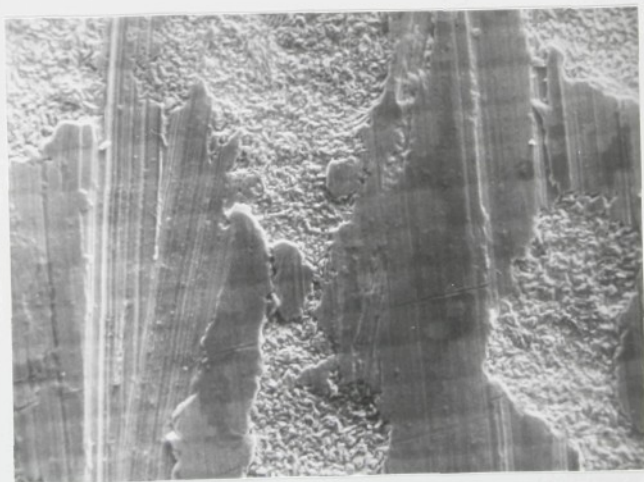
Obr. 8.6 - Oblast tažné hrany, plech jakosti 11 305.21, REM, 500x.



Obr. 8.7 - Oblast stěny výlisku, plech jakosti 11 305.21, REM, 500x.



Obr. 8.8 - Oblast dna výlisku, plech jakosti 11 305.21,
REM, 500x.



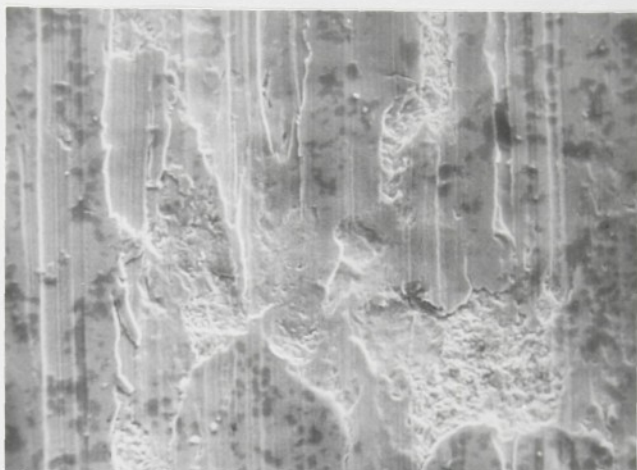
Obr. 8.9 - Oblast přidržovače, plech jakosti 11 305.21
s povlakem EZ, REM, 500x.



Obr. 8.10 - Oblast tažné hrany, plech jakosti 11 305.21
s povlakem EZ, REM, 500x.



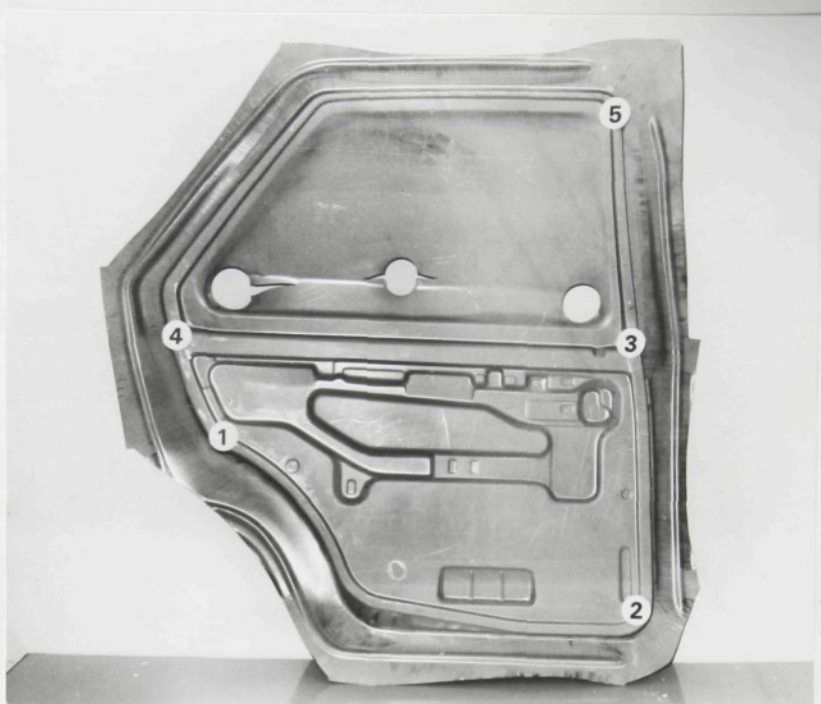
Obr. 8.11 - Oblast stěny vylisku, plech jakosti 11 305.21
s povlakem EZ, REM, 500x.



Obr. 8.12 - Oblast dna výlisku, plech jakosti 11 305.21 s povlakem EZ, REM, 500x.

8.3. ANALÝZA DEFORMACÍ NA VÝLISKU VNITŘNÍCH DVEŘÍ ZADNÍCH VOZU Š 781

Na základě dlouhodobého sledování výskytu vad na výrobní kontrole v lisovně Škoda a.a.s. Mladá Boleslav byla určena místa nejčastějšího výskytu vad na výlisku vnitřních dveří zadních viz obr. 8.13 . Zkušební výlisky byly pro porovnání změn vlastností zhotoveny z ocelového plechu jakosti 11 305.21 a oboustranně elektrolyticky zinkovaného plechu odpovídajícího jakosti 11 305.21.



Obr. 8.13 - Místa nejčastějšího výskytu vad na výlisku vnitřních dveří zadních, plech elektrolyticky pozinkovaný

K měření deformací v těchto kritických místech bylo použito rytých deformačních elementů s těsným uspořádáním o průměru $3.26 \pm 0.02 \text{ mm}$, nanášených zařízením vyvinutým na KPT VŠST Liberec /2/. Za účelem nanášení deformačních sítí na velkou plochu nástřihu bylo zařízení opatřeno třmeny s magnetickými úchytkami, které v průběhu nanášení deformační sítě spolehlivě vyvozovaly přítlak a držely zařízení v požadované orientaci.

S ohledem na to, že zařízení poskytuje řadu kruhových elementů deformační sítě o délce 50 mm, bylo nutné s vysokou přesností stanovit místa na nástřihu pro nanesení řady deformačních a její orientaci tak, aby po vylisování odpovídala kritickým místům na výlisku viz obr. 8.13 .

Z těchto důvodů bylo nutné nanesení orientační sítě na jeden zkušební nástrih. Element orientační sítě byl volen čtvercový $10 \times 10 \pm 0.02 \text{ mm}$. Takto získané průsečíky sítě na nástrihu sloužily pak k orientaci na výlisku po vylisování.

Orientační čtvercová síť byla zhotovena v a.a.s. Škoda na měřicím zařízení DELTA-3D (r.v. 1976, DEA Itálie). Orýsování bylo provedeno hlavicí AM 04 (DEA, Itálie).

Na čtvercovém nástrihu $1230 \times 1230 \times 0.7 \text{ mm}$ se stanovil střed tabule a souřadnice na nástrihu jsou počítány od tohoto středu v klasickém kartézském souřadném systému $[x;y]$. Pro přesnou orientaci na ploše nástrihu ještě udávám polohu jednotlivých míst v daném souřadném systému orientační sítě tab. 8.1.

Tab. 8.1 - Souřadnice tzv. kritických míst na nástrihu pro výlisek vnitřních dveří zadních, kde byla nanesena deformační síť

č.	počátek řady	orientace ve směru
1	$[-120;-360]$	$[-200;-460]$
2	$[-440;+420]$	$[-500;+500]$
3	$[+40;+420]$	$[+80;+380]$
4	$[+100;-380]$	$[+60;-440]$
5	$[+500;+340]$	$[+540;+380]$

Po vylisování v tahové operaci byl proveden odběr vzorků z uváděných míst a jejich proměření. V tab. 8.2a, 2b jsou uvedeny hodnoty deformací v místech označených na obr. 8.13 pro výlisek z plechu jakosti 11 305.21 a plechu s povlakem elektrolyticky zinkovaným.

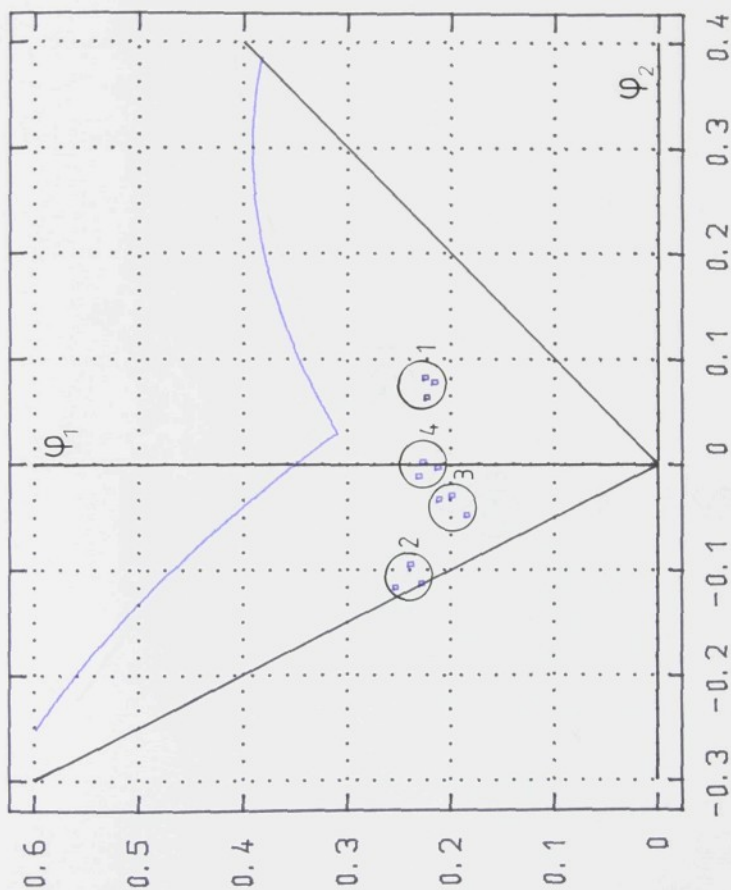
Tab. 8.2a - Zjištěné hodnoty deformací ve sledovaných místech na výlisku pro plech 11 305.21

místo	číslo měření	φ_1	φ_2
1	1	0.2248	0.0639
	2	0.2267	0.0824
	3	0.2176	0.0780
2	1	0.2551	-0.1170
	2	0.2296	-0.1128
	3	0.2407	-0.0945
3	1	0.2131	-0.0334
	2	0.1863	-0.0481
	3	0.2011	-0.0290
4	1	0.2139	-0.0031
	2	0.2326	-0.0110
	3	0.2284	0.0023

Tab. 8.2b - Zjištěné hodnoty deformací ve sledovaných místech na výlisku pro plech odpovídající jakosti 11 305.21 s povlakem EZ.

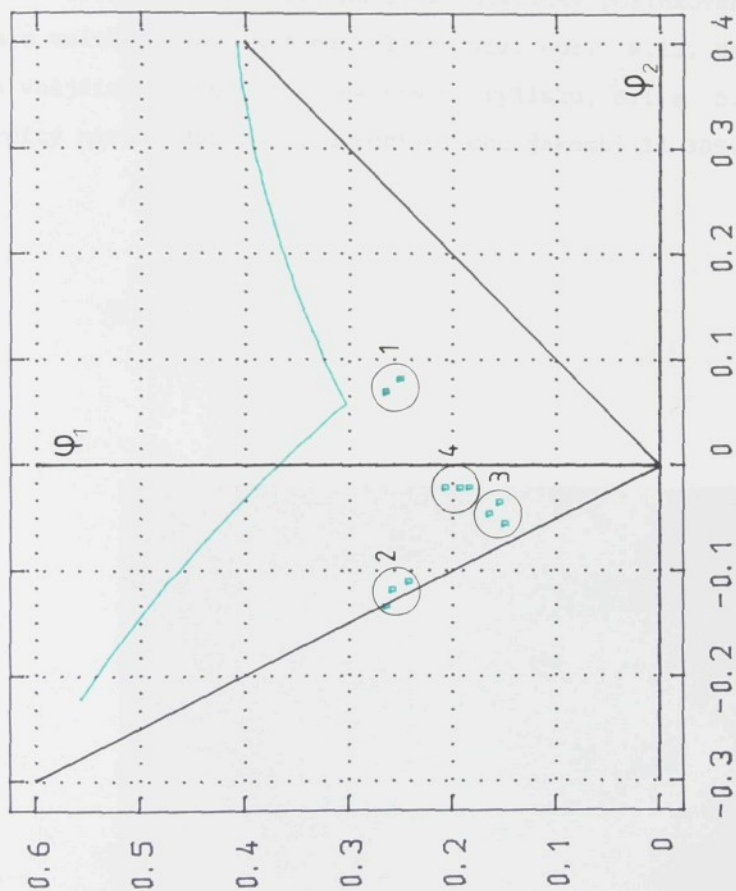
místo	číslo měření	φ_1	φ_2
1	1	0.2653	0.0713
	2	0.2510	0.0828
	3	-	-
2	1	0.2651	-0.1326
	2	0.2587	-0.1166
	3	0.2432	-0.1088
3	1	0.1505	-0.0540
	2	0.1655	-0.0448
	3	0.1560	-0.0337
4	1	0.2081	-0.0198
	2	0.1938	-0.0206
	3	0.1845	-0.0200

Příslušné deformace odpovídající daným místům na výlisku vnitřních dveří zadních pro plech jakosti 11 305.21 a plech elektrolyticky pozinkovaný odpovídající jakosti 11 305.21 jsou vyneseny v obr. 8.14a, 14b.



Obr. 8.14a - Hodnoty přetvoření v kritických místech výlisku

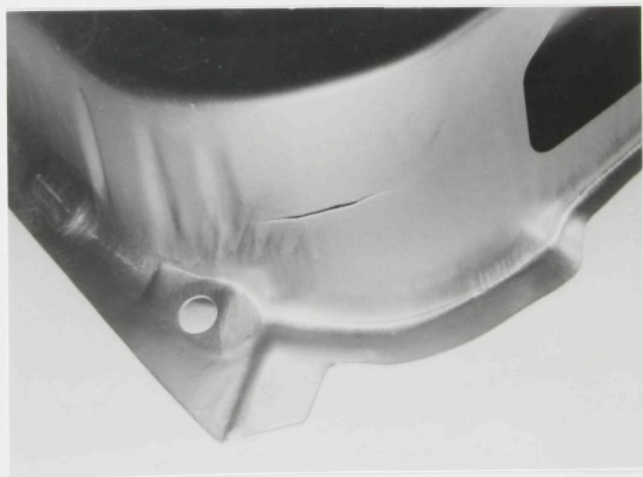
(plech jakosti 11 305.21)



Obr. 8.14b - Hodnoty přetvoření v kritických místech výlisku
(plech jakosti 11 305.21 s povlakem EZ)

V místě č.5 byla nanesená deformační síť špatně čitelná, proto nejsou uvedeny výsledky měření.

Na obr. 8.14a, 14b je znázorněna změna velikosti a poměru deformací ke které dochází při použití plechu elektrolyticky zinkovaného oproti plechu 11 305.21 ve sledovaných místech. Místa č.3 a č.4 vykazují zřetelný pokles deformací a nepatrný posun doleva v DMP u plechu elektrolyticky pozinkovaného, jedná se o vnitřní zaoblení na výlisku viz. obr. 8.13. Naopak místa na vnějších zaobleních, ve stěně výlisku, č.1 a č.2 vykazují určitý nárůst deformací oproti plechu jakosti 11 305.21.



Obr. 8.15 - Trhlina na výlisku vnitřních dveří zadních
v místě č.2 viz obr.8.13



Obr. 8.16 - Trhlina na výlisku vnitřních dveří zadních
v místě č.5 viz obr.8.13

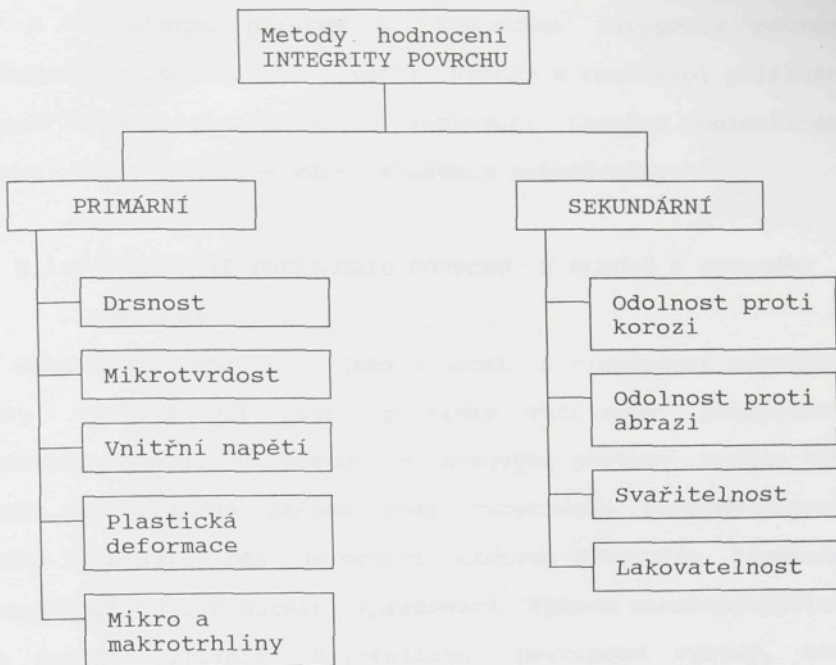
Obr. 8.15 a 8.16 představují příklady porušení výlisku tvárným lomem v kritických místech na výlisku č.2 a č.5 viz obr. 8.13 pro plech jakosti 11 305.21. Délka trhlin se pohybuje v rozmezí 20 až 30 mm. Trhliny jsou jen nepatrně rozevřené a po obou stranách končí jemnou vlasovou trhlinou.

9. NÁVRH NOVÝCH METOD A ZPŮSOBŮ HODNOCENÍ PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY POMOCÍ REM

V poslední době se v literatuře často objevuje termín "integrita povrchu". Hovoří-li se o geometrii povrchu včetně textury povrchu, je plocha chápána jako hranice, oddělující sledovaný předmět od jiného předmětu nebo prostředí. Při hodnocení integrity povrchu je plocha ale uvažována jako vrstva, která byla změněna technologickým procesem a má rozdílné vlastnosti oproti materiálu v základním stavu. Tyto změny jsou však vztahovány k funkčnímu uplatnění sledované plochy.

Dnes v podstatě neexistuje způsob, kterým lze jednoznačně nedestruktivně hodnotit plochy nově vznikající při tváření s výjimkou hodnocení drsnosti. Zatím dosud jedinou zkouškou integrity je vlastní provoz, nebo modelové zkoušky bližící se svým charakterem provozu - zkoušky korozní odolnosti součástí vytvářených z plechů s kovovými povlaky.

Ve své práci se podrobně zabývám hodnocením povrchových vrstev u ocelových plechů s kovovými povlaky, které jsou určeny pro výrobu korozně exponovaných dílů karoserie osobního automobilu. Na základě výsledků tohoto výzkumu jsem sestavil schema hodnocení integrity povrchu pro součásti tvářené z plechů s kovovými povlaky. Schema viz. obr. 9.1 zahrnuje komplexní soubor metod primárního a sekundárního hodnocení integrity povrchu u těchto materiálů.



Obr. 9.1 - Schema hodnocení integrity povrchu u součástí tvářených z plechů s kovovými povlaky.

Hodnocení integrity povrchu v sobě zahrnuje změny, které nastaly v povrchové vrstvě po tváření. Lze provádět na základě celé řady experimentů a je výhodné hodnotit integritu povrchu ve dvou stupních:

- 1) plastická deformace povrchu, rozvoj porušení povrchu - trhliny, jejich plocha, případně orientace a možný postup šíření i zabrzdění a to nejen v ploše povlaku ale i směrem do základního materiálu, případně mikrotvrdost.
- 2) Tyto změny ve vztahu k funkčnímu uplatnění součástí např. odolnost proti otěru povlaku, korozní odolnost lisovaných dílů z plechů s kovovými povlaky, svařitelnost, vhodnost k dalším povrchovým úpravám.

Komplexní přístup k hodnocení integrity povrchu umožňuje efektivní řízení jakosti výroby a realizaci příslušné tvářecí technologie s cílem zhotovení funkčně spolehlivého vylisku, který vyhovuje všem základním požadavkům.

9.1. HODNOCENÍ MORFOLOGIE POVRCHU U PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY

Jakost povrchu, tj. jeho drsnost a vlastnosti povrchové vrstvy výrazně ovlivňují podmínky realizace plastického přetvoření plechu. U plechů s kovovými povlaky musíme také počítat s výraznou změnou řady vlastností povrchu oproti plechům ocelovým, kde je povrch určován především finálními úpravami při jejich hutním zpracování. Způsob nanášení povlaku může značně ovlivnit krystalizaci povrchové vrstvy, tvar a orientaci dendritů vzhledem k povrchu ocelového plechu. S tím úzce souvisí mechanické a tribologické vlastnosti povlaku, mikrogeometrie a morfologie povrchové vrstvy.

V důsledku uvedených změn se stupňují požadavky na úplnější popis povrchu a povrchových vrstev. Je nutné hodnocení chemických a fyzikálních změn v povrchové vrstvě plechu, které vznikají realizací vlastního technologického procesu tváření. Tyto změny výrazně ovlivňují výslednou funkční spolehlivost a životnost vylisků z plechů s kovovými povlaky.

Plochy, které vznikají na povrchu vylisku při určitých stavech a intenzitách přetvoření, vykazují značné změny v jakosti povrchu.

Tvářecí proces při kterém vzniká nový povrch vylisku má značný vliv na tvářený materiál, který získává nové rozměry,

tvar, drsnost povrchu a také změněné vlastnosti oproti materiálu v základním netvářeném stavu. Tyto změny probíhají jak u základního materiálu, tak i v povlaku. Jsou provázeny:

- u základního materiálu deformačním zpevněním případně tvorbou dutinových poruch, které mohou v mezním případě vést ke vzniku tvárného lomu
- u povlaku deformací povrchové vrstvy, změnou drsnosti povrchu, v případě, kdy má povlak nižší schopnost k přenášení plastických deformací dochází k rozvoji trhlin a porušení povrchové vrstvy, které může však být také způsobeno špatným stavem povrchu tvářecího nástroje.

Příčiny uvedených změn je nutné vidět v mechanickém účinku procesu tváření. Plocha nově vzniklá tvářením může být hodnocena z různých hledisek:

- textury tvářené plochy
- změny vlastností povrchové vrstvy

Do hodnocení textury povrchu lze zahrnout drsnost povrchu u materiálu v základním netvářeném stavu v jednotlivých řezech (ve směru 0° , 90° , případně 45° ke směru válcování). Po tváření je to především drsnost povrchu měřená kolmo na směr "toku" materiálu v nástroji, která nám dává informace o stavu nástroje, účinku mazadla a případně o stavu povlaku po přetvoření. Metody pro hodnocení drsnosti povrchu jsou podrobně zpracovány v ČSN 01 4451.

Velmi výhodné je hodnocení textury povrchu profilometrem doplněné o hodnocení pomocí REM. To pak umožňuje srovnávat jednotlivé povrchy z hlediska jejich morfologie např. ve vztahu

k možnosti ulpívání maziva na povrchu materiálu během tváření.

V případě ocelových plechů je kvalita povrchu určována zejména stavem povrchu hladicích válců při finálních úpravách v hutích. Povrch hladicích válců může být vytvářen různými způsoby např.: broušením,

tryskáním,

elektroerozivně,

opracováním laserem.

Způsob vytváření povrchu válců vede z hlediska hodnot drsností buď k izotropnímu povrchu jako je tomu např. u válců upravovaných elektroerozivně a tryskáním, nebo k povrchu výrazně anizotropnímu u válců upravovaných broušením. U plechů používaných pro výrobu karoserií je z hlediska drsnosti výhodnější izotropní struktura povrchu plechu.

Na obr. 9.2. a 9.3. je uvedeno srovnání morfologie povrchu nepovlakovaného plechu jakosti 11 305.21 a plechu RRSt 14 05 o přibližně stejných strukturách. Ukazuje kvalitativní možnosti jednotlivých postupů opracování povrchu hladicích válců a jejich vliv na výsledný stav povrchu plechu.

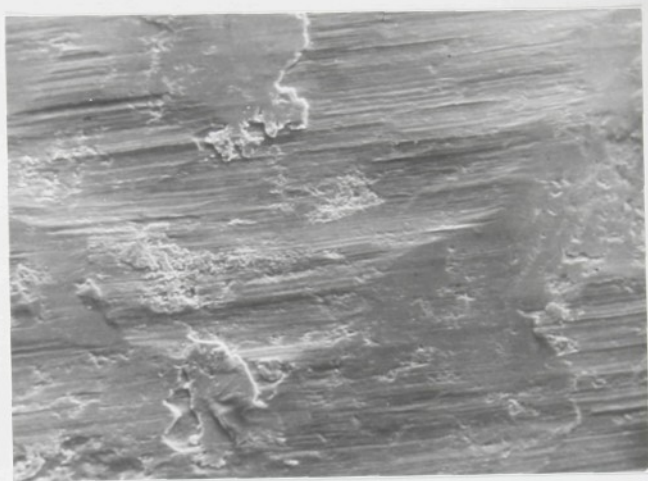
Podíváme-li se na tyto dva materiály, zjistíme, že drsnost R_a je přibližně stejná, ale diametrální odlišnost nalezneme zejména v morfologii povrchu. U materiálu RRSt 14 05 na obr.9.3 je větší počet "vyvýšenin" a "prohlubní" na jednotku délky. Povrch je více členitý, bude na něm tedy lépe ulpívat mazivo a zůstane na povrchu i při zpracování (nesetře se průchodem přes tažné hrany na exponovaných místech). Z hlediska hodnocení textury povrchu jde o povrch s převážně izotropní strukturou, která je vhodná pro tažení karosářských výlisků.

Zatímco materiál 11 305.21 viz. obr. 9.2 má povrch celkově méně členitý, bude na něm tedy mazivo ulpívat hůře. Na povrchu plechu jakosti 11 305.21 jsou ve směru válcování patrné stopy od hladicích válců. Jedná se o povrch s anizotropní strukturou.

Na obr. 9.4 a 9.5 je uvedeno srovnání povrchů dvou typů povlaků: Ferozink a elektrolyticky zinkovaného, nanesených na plech odpovídající jakosti 11 305.21 .

Povrch plechu 11 305.21 s povlakem Ferozink v netvářeném stavu znázorňuje obr. 9.4. Z hlediska hodnocení textury povrchu nejsou patrné znaky výrazné anizotropie. Povlak typu Ferozink o tloušťce vrstvy okolo 28 μm zcela překrývá strukturu povrchu základního materiálu ocelového plechu. Je zřejmé, že po žárovém zinkování byl plech dodatečně převálcován. Proto lze na struktuře povrchu odlišit dva morfologicky různé typy povrchů. Místa prohlubní jsou charakterizována členitým povrchem vzniklým v procesu žárového zinkování, zatímco ostatní povrch byl vytvářen až dodatečně při hladicím válcování.

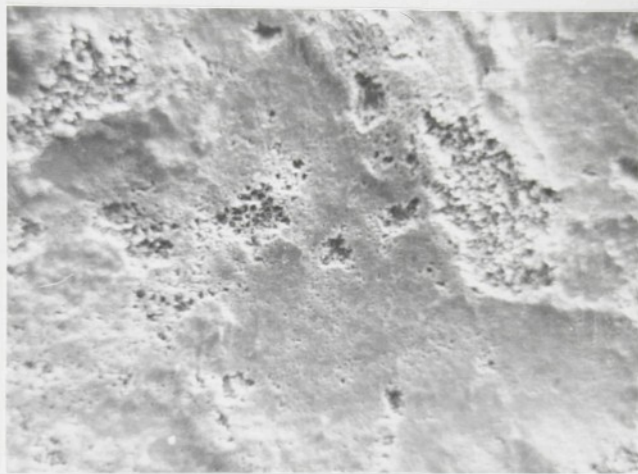
Morfologie povrchu vytvořená elektrolyticky naneseným povlakem Zn viz. obr. 9.5. umožňuje dobré ulpívání mazadla na povrchu plechu. Z hlediska směrové textury se jedná o povrch převážně izotropní. Na povrchu jsou patrné větší nerovnosti, které jsou na základním materiálu plechu vytvářeny hladicími válci. Vrstva povlaku o tloušťce 12 μm není schopna svým vyrovnávacím účinkem tyto nerovnosti zakrýt. Z morfologie povrchu je zřejmé, že plech nebyl po zinkování dodatečně převálcován.



Obr. 9.2 - Morfologie povrchu plechu jakosti 11 305.21,
REM, 500x



Obr. 9.3 - Morfologie povrchu plechu jakosti RRSt 14 05,
REM, 500x



Obr. 9.4 - Morfologie povrchu plechu jakosti 11 305.21
s povlakem Ferozink (FZ), REM, 500x



Obr. 9.5 - Morfologie povrchu plechu jakosti 11 305.21
s povlakem EZ, REM, 500x

9.2. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍHO VÝZKUMU ZMĚN V POVRCHOVÝCH VRSTVÁCH POZINKOVANÝCH PLECHŮ PŘI TVÁŘENÍ.

Experimentální výzkum byl zaměřen na vytvoření původní metodiky hodnocení změn u kovových povlaků při tváření ocelového hlubokotažného plechu s oboustranným žárově naneseným povlakem Fe-Zn Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a ocelového plechu s oboustranným elektrolyticky naneseným Zn povlakem (Sollac, Francie). Povlaky byly nanесeny na plech odpovídající jakosti 11 305.21 (VSŽ a.s. Košice, ČSFR).

Při návrhu provádění experimentálních měření se vycházelo ze zkušeností získaných při řešení dílčího úkolu státního plánu základního výzkumu III-1-6/2-3 "Mezní stavy při zpracování povrchově upravených tenkých ocelových plechů".

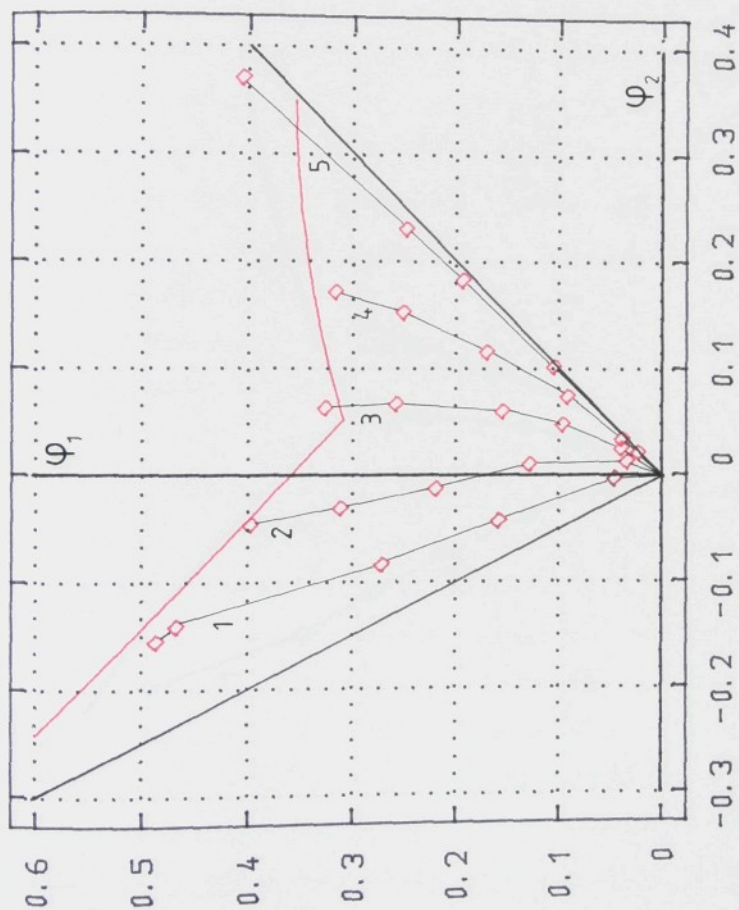
Jako kritérium porušení povlaku byla považována poměrná plocha trhlin v povlaku při daném stavu přetvoření a dané intenzitě přetvoření vztažená ke sledované ploše povlaku. Hodnocení morfologie povlaku pomocí REM a následná digitální analýza získaného obrazu umožňují kvantifikaci porušení ochranného povlaku.

Dosavadní experimenty zahrnují poměrně širokou oblast stavů přetvoření a intenzit deformací, které se mohou vyskytovat při tažení karosářského výlisku. Získané regresní závislosti poměrného porušení povlaku P_{TR} na intenzitě přetvoření pro jednotlivé deformační stopy charakterizují daný povlak. Na základě takto získaných charakteristik rozvoje porušení povlaků lze pomocí matematicko statistických metod porovnávat jejich kvalitu z hlediska odolnosti proti porušování při tváření.

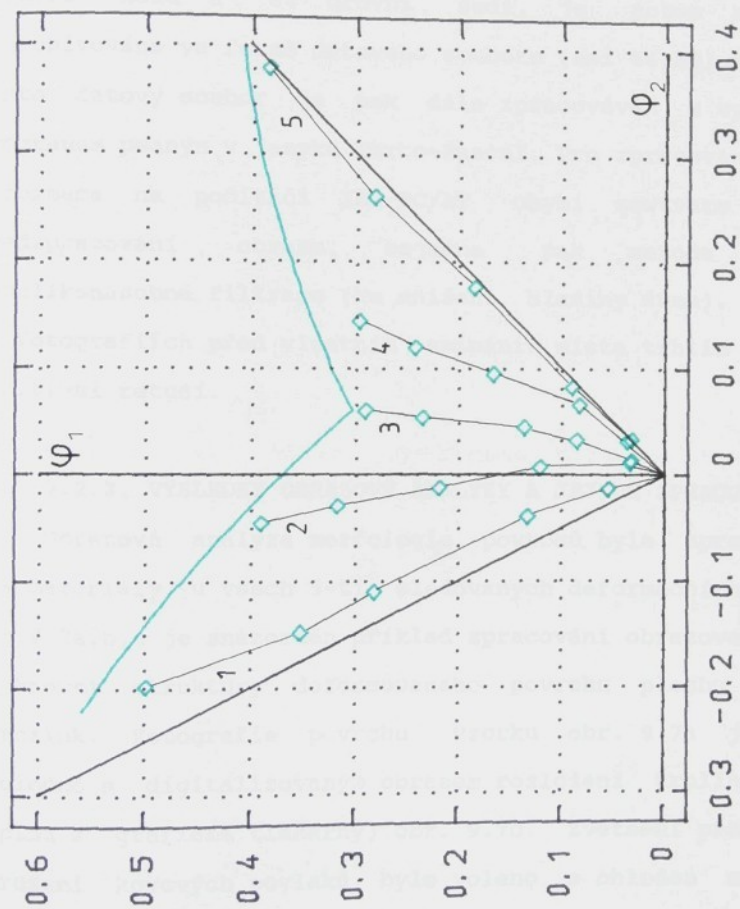
9.2.1. HODNOCENÍ MORFOLOGIE POVRCHU PLECHU PO TVÁŘENÍ POMOCÍ REM

Sledování porušení povlaků Ferozink a elektrolyticky zinkovaného na ocelovém plechu odpovídajícím jakosti 11 305.21 bylo prováděno na rastrovacím elektronovém mikroskopu Tesla BS 301 v oddělení vývoje materiálu a metalurgie s.p. LIAZ Jablonec n.N. Hodnoceno bylo 5 řad vzorků reprezentujících charakteristické stavy přetvoření při tváření vypínáním. Pro daný stav přetvoření je deformační stopa reprezentována vždy 5-ti vzorky s postupně vzrůstající intenzitou deformace povlaku pro povlak Ferozink na obr. 9.6a, pro elektrolyticky nanesený povlak na obr.9.6b v diagramu mezních přetvoření. Pro přípravu vzorků bylo použito zařízení vyvinuté na KPT VŠST Liberec /24/.

Ze zkušebních vzorků po tváření byly vystřiženy vzorky o ϕ 20mm, které se nalepily vodivým tmelem na hliníkové podložky ϕ 21mm pro sledování na REM. Před vlastním prohlížením na REM byly vzorky čištěny v ultrazvukové čističce etanolem. Na povlaky byla před tvářením nanесena deformační síť. U každého vzorku lze tedy stanovit velikoti hlavních deformací a určit intenzitu deformace a poměr hlavních deformací ve sledovaném místě. Při snímkování na REM byla dodržena orientace vzorku tak, aby hlavní deformace působila ve směru vertikálním na fotografiích. S ohledem na charakter vznikajících trhlin, jejich orientaci, tvar a rozevření v návaznosti na užité vlastnosti povlaku např. ztráta ochranné funkce povlaku je výhodné popisovat výskyt trhlin jako procento plochy trhlin vztažené na sledovanou plochu povlaku tzv. P_{TR} [%] při dané intenzitě deformace a stavu přetvoření.



Obr. 9.6a - Hodnoty přetvoření vzorků pro analýzu porušení povlaku
(plech 11 305.21 s povlakem FZ)



Obr. 9.6b - Hodnoty přetvoření vzorků pro analýzu porušení povlaku
(plech 11 305.21 s povlakem EZ)

9.2.2. DIGITALIZACE OBRAZU REM A JEHO VYHODNOCENÍ

Pro hodnocení morfologie povlaků byla aplikována metoda digitalizace obrazu pomocí zařízení spolupracujícího s počítačem typu IBM-PC/AT. Fotografie zhotovené pomocí REM při zvětšení 500 x jsou snímány optickou kamerou a ukládány do operační paměti počítače. Celá obrazová informace s rozlišením 265x265 bodů a 64 úrovní šedi, je potom zaznamenána a archivována ve formě datového souboru (asi 64 kB) na disketě. Tento datový soubor je pak dále zpracováván a vyhodnocován programem psaným v jazyku Turbo-Pascal. Pro zpracování obrazové informace na počítači IBM-PC/AT chybí software pro tzv. předzpracování obrazu, zejména pak metoda postupně několikanásobné filtrace (ke snížení hladiny šumu). Proto byla na fotografiích před vlastním snímáním místa trhlin zvýrazněna pozitivní retuší.

9.2.3. VÝSLEDKY OBRAZOVÉ ANALÝZY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Obrazová analýza morfologie povrchů byla zpracována pro oba materiály u všech 5-ti sledovaných deformačních stop. Na obr.9.7a,b,c je znázorněn příklad zpracování obrazové informace konkrétní struktury deformovaného povrchu plechu s povlakem Ferozink. Fotografie povrchu vzorku obr. 9.7a je uvedena společně s digitalizovaným obrazem rozložení trhlin (ve formě výpisu z grafické tiskárny) obr. 9.7c. Zvětšení pro sledování porušení kovových povlaků bylo voleno s ohledem na možnosti vyhodnocení 500x. Intenzita deformace a poměr hlavních deformací pro konkrétní deformační stopu jsou uvedeny pod fotografií.

Pod digitalizovaným obrazem je uvedena informace o poměrném porušení povlaku P_{TR} [%]. Tato informace je vztažena k určitému prahovému číslu zobrazení trhlin, které získáme z histogramu rozložení šedí všech obrazových bodů obr. 9.7b jako lokální minimum v oblasti temných tónů, předpokladem je správná expozice obrazu z REM.

V příloze č.1 jsou uvedeny fotografie 1 až 25, které reprezentují datové soubory pro plech jakosti 11 305.21 s povlakem Ferozink. Příloha č.2 obsahuje fotografie 1 až 25, pro plech s povlakem elektrolyticky zinkovaným.

Příslušné hodnoty zjištěné po zpracování datových souborů zobrazených v přílohách č.1 a 2, jsou zapsány v tab. 9.1a,1b. Každý z datových souborů má uvedeny hodnoty intenzity deformace, stavu přetvoření, prahového čísla a poměrného porušení povlaku P_{TR} .

Pro naměřené hodnoty poměrného porušení povlaku plechu byly u jednotlivých deformačních stop sledovány regresní závislosti P_{TR} [%] na intenzitě deformace.

Pro zpracování výsledků byl zvolen lineární model ve tvaru

$$y_i = a_K * x_i + b_K + \delta_K \quad (9.1)$$

kde a_K, b_K jsou výběrové regresní koeficienty

δ_K je (chyba regrese) má rozdělení $N(0, \sigma^2)$ pro $k=1,2$.

Těsnost lineární korelační závislosti se posuzovala podle výběrového korelačního koeficientu $r(x,y)$

$$r(x,y) = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{(n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) * (n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}} \quad (9.2)$$

všechny sumace jsou od $i = 1, \dots, n$.



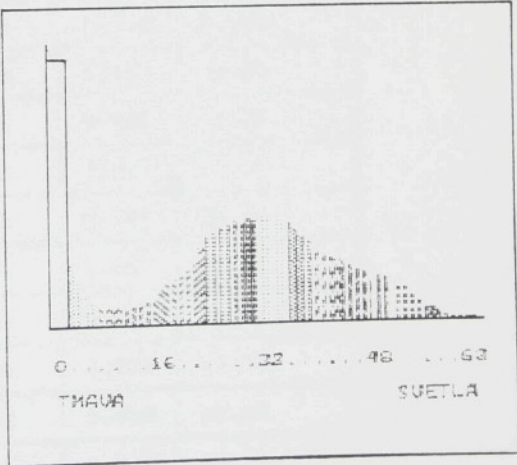
Obr. 9.7c - REM23.dat,
 $P_{TR} = 20.08\%$



Obr. 9.7a - Povlak FZ,
 $m_{\varphi}=-0.122, \varphi_i=0.246, REM\ 500x$



Obr. 9.7b - Určení prahového
soubor REM23.dat



číslo pro konkrétní datový

Tab. 9.1a - Vybrané datové soubory plechu jakosti
11 305.21 s povlakem Ferozink (FZ)

jméno soub.	φ_i	práh	m_φ	P_{TR} [%]
REM11.dat	0.051	18	-0.313	4.10
REM12.dat	0.163	22	-0.313	10.94
REM13.dat	0.277	28	-0.313	19.18
REM14.dat	0.479	36	-0.313	34.15
REM15.dat	0.496	36	-0.313	34.30
REM21.dat	0.047	18	-0.122	2.11
REM22.dat	0.154	16	-0.122	10.41
REM23.dat	0.246	16	-0.122	20.08
REM24.dat	0.343	22	-0.122	20.67
REM25.dat	0.434	32	-0.122	24.06
REM31.dat	0.043	10	0.223	3.95
REM32.dat	0.147	26	0.223	9.47
REM33.dat	0.221	26	0.223	14.74
REM34.dat	0.343	28	0.223	25.92
REM35.dat	0.417	30	0.223	33.55
REM41.dat	0.072	10	0.567	2.81
REM42.dat	0.165	14	0.567	10.55
REM43.dat	0.288	28	0.567	19.26
REM44.dat	0.408	30	0.567	25.14
REM45.dat	0.495	34	0.567	26.83
REM51.dat	0.063	12	0.936	5.47
REM52.dat	0.206	20	0.936	17.54
REM53.dat	0.375	20	0.936	28.63
REM54.dat	0.480	28	0.936	31.33
REM55.dat	0.775	36	0.936	41.76

Tab. 9.1b - Vybrané datové soubory pro plech odpovídající
jakosti 11 305.21 s povlakem EZ

jméno soub.	φ_i	práh	m_φ	P_{TR} [%]
SEM11.dat	0.061	6	-0.313	0.52
SEM12.dat	0.150	8	-0.313	2.10
SEM13.dat	0.308	12	-0.313	5.18
SEM14.dat	0.380	16	-0.313	5.54
SEM15.dat	0.528	14	-0.313	11.32
SEM21.dat	0.037	8	-0.122	0.65
SEM22.dat	0.139	18	-0.122	2.79
SEM23.dat	0.250	16	-0.122	9.33
SEM24.dat	0.361	16	-0.122	12.12
SEM25.dat	0.441	16	-0.122	16.39
SEM31.dat	0.037	4	0.223	1.07
SEM32.dat	0.100	14	0.223	1.27
SEM33.dat	0.161	12	0.223	3.09
SEM34.dat	0.279	16	0.223	4.66
SEM35.dat	0.346	16	0.223	6.54
SEM41.dat	0.037	12	0.567	0.53
SEM42.dat	0.098	12	0.567	1.99
SEM43.dat	0.201	14	0.567	3.43
SEM44.dat	0.298	14	0.567	10.16
SEM45.dat	0.370	12	0.567	14.02
SEM51.dat	0.041	10	0.936	0.54
SEM52.dat	0.108	12	0.936	1.95
SEM53.dat	0.234	18	0.936	5.18
SEM54.dat	0.375	20	0.936	16.24
SEM55.dat	0.548	18	0.936	28.22

Výsledky regresní analýzy jsou uvedeny v následujících tabulkách 9.2a, 2b.

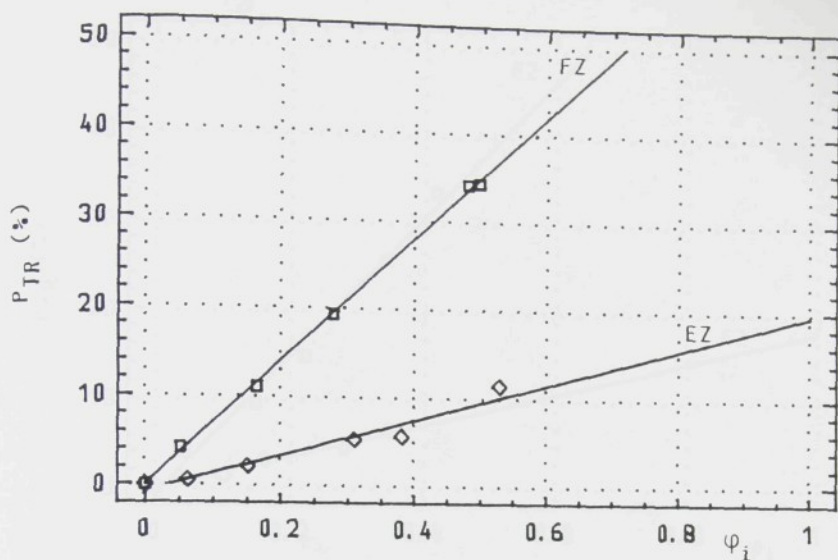
Tab. 9.2a - Výsledky regresní analýzy závislosti P_{TR} na intenzitě deformace pro povlak FZ.

def. stopa	m_φ	b_1	a_1	$r(x,y)$
1	-0.313	0.0426	69.8597	0.9990
2	-0.122	0.8862	58.8338	0.9696
3	0.223	-0.6825	78.3310	0.9940
4	0.567	0.2297	58.2716	0.9887
5	0.936	3.6212	54.2405	0.9753

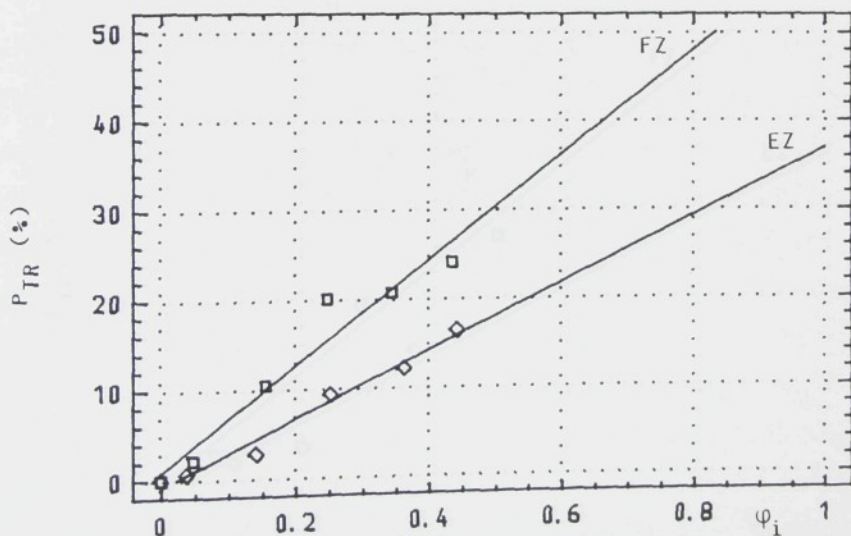
Tab. 9.2b - Výsledky regresní analýzy závislosti P_{TR} na intenzitě deformace pro povlak EZ.

def. stopa	m_φ	b_2	a_2	$r(x,y)$
1	-0.313	-0.7252	20.3034	0.9738
2	-0.122	-0.8417	37.6562	0.9894
3	0.223	0.0007	17.9825	0.9886
4	0.567	-1.2439	37.3394	0.9619
5	0.936	-2.6122	51.8312	0.9728

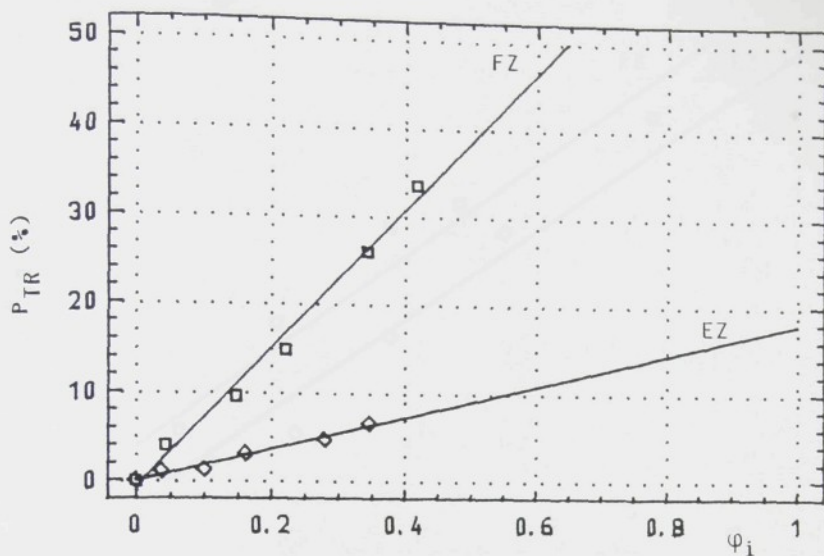
Dále jsou na obr. 9.8-12 uvedeny graficky vztahy mezi intenzitou deformace (nezávislá proměnná) a poměrným porušením povlaku P_{TR} [%] (závislá proměnná). Pro porovnání jsou v jednom obrázku uvedeny obě regresní závislosti společně tj. pro povlak ferozink a povlak elektrolyticky zinkovaný vždy pro konkrétní deformační stopu tj. poměr hlavních deformací.



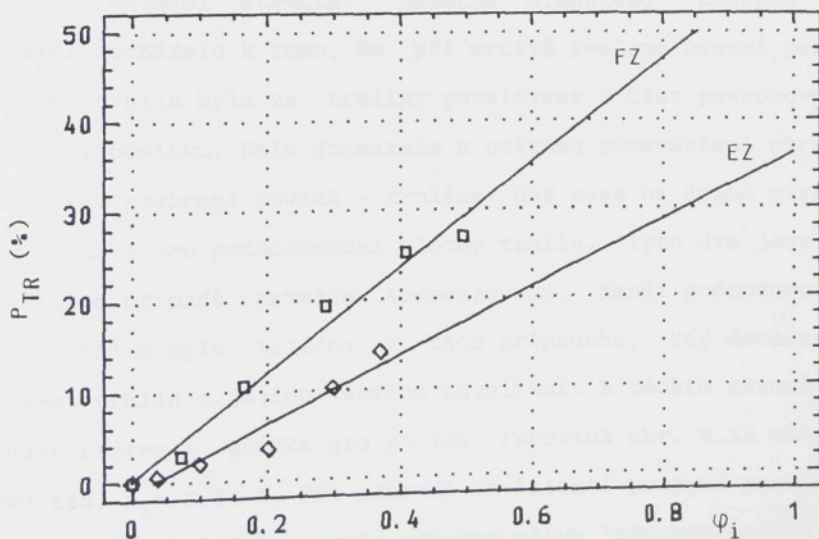
Obr. 9.8 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink a elektrolytický zinkovaného pro deformační stopu č.1



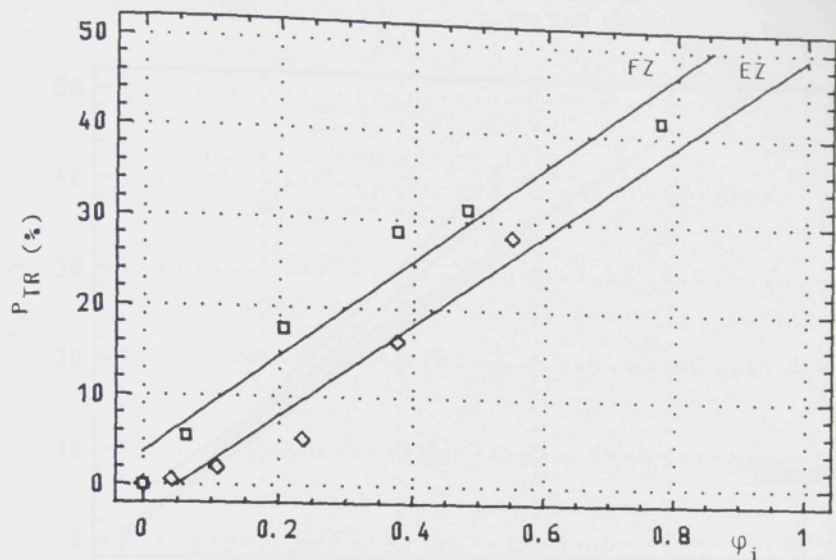
Obr. 9.9 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink a elektrolytický zinkovaného pro deformační stopu č.2



Obr.9.10 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink a elektrolyticky zinkovaného pro deformační stopu č.3

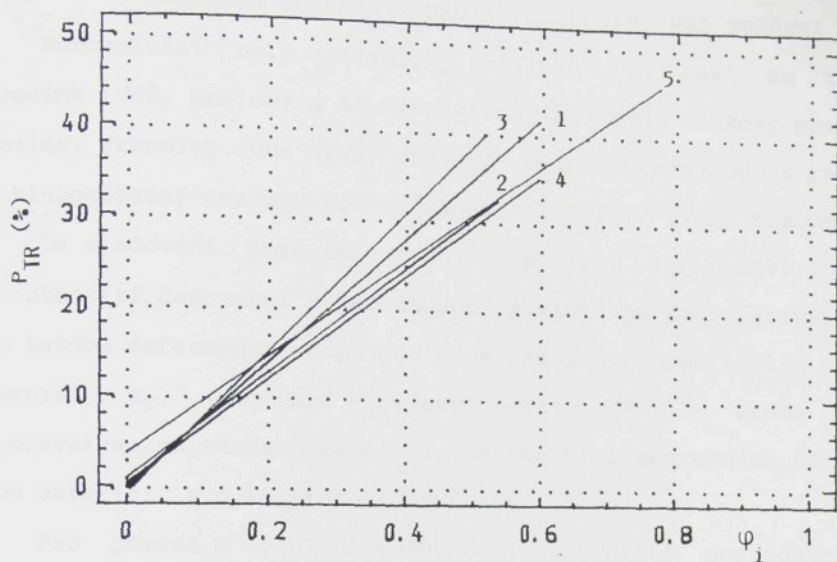


Obr.9.11 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink a elektrolyticky zinkovaného pro deformační stopu č.4

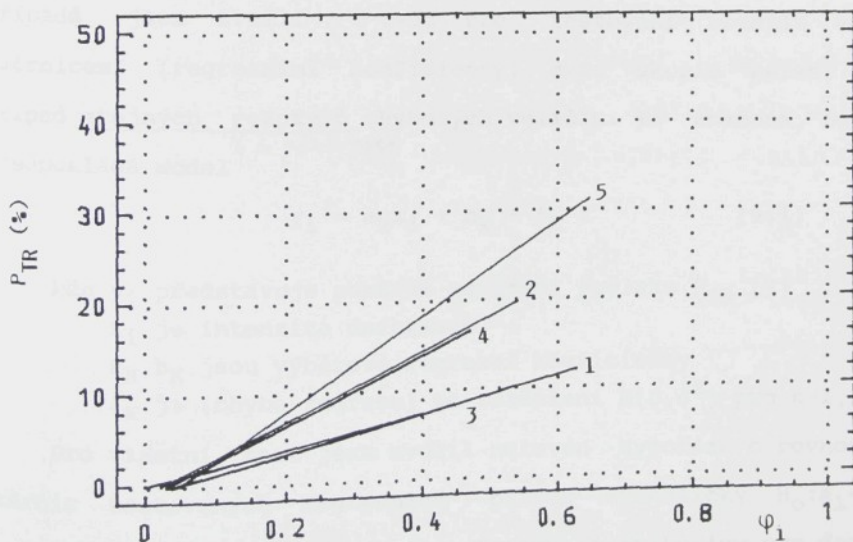


Obr.9.12 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink a elektrolyticky zinkovaného pro deformační stopu č.5

Při snímání struktur poměrně členitého povrchu po deformaci docházelo k tomu, že při určité zvolené úrovni prahu zobrazení trhlin byla za trhliny považována i část povrchových nerovností povlaku. Dále docházelo k učitému přesvětlení okrajů trhlin tzn. rozhraní povlak - trhlina. Což zase na druhé straně vedlo k určitému podhodnocení plochy trhlin. Tyto dva jevy se ve většině případů navzájem kompenzovaly. Menší podhodnocení plochy trhlin bylo zejména v těch případech, kdy docházelo k větvení trhlin a jejich většímu rozšíření. Z těchto důvodů se posunula regresní přímka pro povlak Ferozink obr. 9.12 směrem nahoru tzn. $b_1 = 3.62 \%$. Při náhradě závislosti poměrné porušení povlaku na intenzitě regresní přímkou vlivy "přesvětlení" hran trhlin a určité "zašumění" vlivem členitosti povrchu postihují regresní koeficienty b_1, b_2 . V ideálním případě budou $b_1, b_2 = 0$.



Obr.9.13 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink pro deformační stopu č.1-5.



Obr.9.14 - Porovnání rozvoje porušení povlaku elektrolýtický zinkovaného pro deformační stopu č.1-5.

9.2.4. POROVNÁVACÍ TESTY PRO HODNOCENÍ KVALITY POVLAKŮ Z HLEDISKA ODOLNOSTI PROTI PORUŠOVÁNÍ PŘI TVÁŘENÍ

Porovnávání byly podrobeny povlaky na bázi Zn typu Ferozink (VSŽ, Košice) a elektrolyticky nanášený zinkový povlak (Sollac, Francie). Oba druhy povlaků byly nanесeny oboustranně na hlubokotažný ocelový plech jakosti 11 305.21 (VSŽ, Košice).

Ze sledování poměrného porušení povlaku P_{TR} v závislosti na intenzitě deformací u zkoumaných povlaků je tedy patrné, že pro každou deformační stopu je náchylnost k tvorbě trhlin dána směrnici a_K , regresní přímky viz. (9.1). Proto se v porovnávacích testech zaměřuji na směrnici regresních přímek obou materiálů pro konkrétní deformační stopu.

Pro přesné a exaktní rozhodnutí o kvalitě posuzovaných povlaků je vhodné použít matematicko statistické metody, konkrétně metody pro testování statistických hypotéz. V daném případě jsem zvolil t-test pro testování rozdílu mezi směrnici (regresními koeficienty) dvou skupin měření pro případ stejných rozptylů chybových veličin. To znamená, že se předpokládá model

$$y_i = a_K x_i + b_K + \delta_K ; \quad (9.1)$$

kde y_i představuje poměrné porušení povlaku P_{TR} [%]

x_i je intenzita deformace.

a_K, b_K jsou výběrové regresní koeficienty

δ_K je (chyba regrese) má rozdělení $N(0, \sigma^2)$ pro $k=1,2$.

Pro vlastní test jsem zvolil nulovou hypotézu o rovnosti směrníc testovaných regresních přímek symbolicky $H_0: a_1 = a_2$ a alternativní hypotézu $H_1: a_1 \neq a_2$. Testovací kritérium pro danou hypotézu /50, 56/ je ve tvaru

$$t = \frac{(a_1 - a_2) \cdot \sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{({}^1m_{11} + {}^2m_{11}) \cdot ({}^1Q + {}^2Q)}} ; \quad (9.3)$$

kde a_1 , resp. a_2 - jsou směrnice regresních přímek,

n_1 , resp. n_2 - jsou počty stupňů volnosti (6),

$${}^1Q = \Sigma(y_i - (a_1 x_i + b_1))^2$$

$${}^2Q = \Sigma(y_i - (a_2 x_i + b_2))^2$$

$${}^1m_{11} - \text{je prvek matice } {}^1M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_1 \end{bmatrix}^{-1}$$

$${}^2m_{11} - \text{je prvek matice } {}^2M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_2 \end{bmatrix}^{-1}$$

Výsledek porovnáváme s kritickou hodnotou Studentova rozdělení $t_{KR}(1-\alpha/2, k)$, kde α je zvolená hladina významnosti testu a $k = (n_1 + n_2 - 2)$ je počet stupňů volnosti. Pro hodnocené povlaky, počet experimentálních měření a hladinu významnosti α je porovnání jednotlivých testovacích kritérií s kritickou hodnotou $t_{KR}(1-0.05/2; 10) = 2.2281$ uvedeno v tab. 9.3 .

Tab. 9.3 - Tabulka výsledků zvoleného testovacího kritéria s porovnáním ke kritické hodnotě testu pro jednotlivé deformační stopy.

def.stopa	a_1 (FZ)	a_2 (E2)	t	rel.	$t_{KR}(0.975; 10)$
1.	69.8597	20.3034	21.4583	>	2.2281
2.	58.8338	37.6562	3.0451	>	2.2281
3.	78.3310	17.9825	13.6848	>	2.2281
4.	58.2716	37.3394	3.3550	>	2.2281
5.	54.2405	51.8312	0.2955	<	2.2281

Z výsledků testovacího kritéria tab. 9.3 vyplývá, že pro většinu stavů přetvoření lze na hladině významnosti $\alpha = 0.05$ nulovou hypotézu o rovnosti směrnic regresních přímek zamítnout. To znamená, že povlak elektrolyticky naneseného Zn (Sollac Francie) vykazuje větší odolnost proti porušování než povlak typu Ferozink (VSŽ, Košice) a to fakticky ve všech sledovaných stavech napjatosti. Pouze pro zvolenou hladinu významnosti $\alpha = 0.05$ nebyl rozdíl zjistitelný u deformační stopy č.5. Tato deformační stopa představuje stav rovnoosého vypínání, který je pro tenké kovové povlaky při namáhání všeobecně nejméně příznivý.

9.2.5 DISKUSE VÝSLEDKŮ EXPERIMENTÁLNÍCH MĚŘENÍ

V souladu s cílem disertační práce byly modelovány stavy přetvoření vypínáním od stavu přetvoření blízkého jednoosému tahu až po dvojosé vypínání. Tyto stavy přetvoření se vyskytují na převážné části povrchu karosářských výlisků.

Výjimku tvoří zejména oblasti, které se charakterem namáhání blíží hlubokému tažení a okrajové části výlisku pod přídržovačem. Uvedené oblasti nelze navrženou metodou vyšetřovat z důvodů značných kontaktních tlaků v místech styku povrchu plechu s nástrojem. Na základě výsledků hodnocení stavu povrchu výlisku v kap. 8 lze předpokládat, že k stavům přetvoření, ke kterým v těchto oblastech dochází, bude hlavním problémem především soudržnost kovového povlaku se základním materiálem a nikoliv porušování jeho celistvosti trhlinami.

Měření prováděná v disertační práci prokázala nepříznivý vliv vypínání na kovový povlak z hlediska jeho porušování. Byly realizovány soubory měření na 5-ti deformačních stopách od $m_{\varphi} = -0.313$ až 0.936 . Deformační stopa je tvořena 5-ti vzorky s postupně vzrůstající intenzitou deformace. Zkušební vzorky plechu byly orientovány tak, že směr válcování byl vždy kolmý na směr působení hlavního přetvoření φ_1 . Z výsledků měření vyplývá, že poměrné porušení povlaku $P_{TR} [\%]$ je při daném stavu přetvoření prioritně závislé na intenzitě přetvoření.

Pro naměřené hodnoty poměrného porušení povlaku plechu byly u jednotlivých deformačních stop sledovány regresní závislosti $P_{TR} [\%]$ na intenzitě deformace. Pro zpracování výsledků byl zvolen lineární model (9.1). Výběrový regresní koeficient a_K určuje náchylnost k porušení kovového povlaku při tváření, která byla při prováděných měřeních reprezentována poměrným porušením povlaku $P_{TR} [\%]$. Výběrový regresní koeficient b_K stanovuje poměrné porušení povlaku $P_{TR} [\%]$ pro nulovou intenzitu deformace, tzn. v netvářeném stavu. Těsnost lineární korelační závislosti se posuzovala podle výběrového korelačního koeficientu $r(x,y)$ viz. (9.2).

Výsledky regresní analýzy pro jednotlivé deformační stopy a jsou uvedeny v tab. 9.2a, 2b. Výběrový korelační koeficient $r(x,y)$ se u jednotlivých závislostí pohybuje od 0.96 do 0.99, což potvrzuje vhodnost volby lineárního modelu. Hodnoty b_K se pohybují v rozmezí zhruba -2.6 až $+3.6\% P_{TR}$, to odpovídá předpokladu, že sledovaný povlak byl ve výchozím (netvářeném) stavu bez poškození.

V případě porovnávání regresních analýz u obou materiálů pro dané stavy přetvoření obr. 9.8-12 je patrné, že pro stejnou hodnotu intenzity přetvoření má povlak typu Ferozink (FZ) při všech sledovaných stavech přetvoření vyšší hladinu $P_{TR}[\%]$ než povlak elektrolyticky zinkovaný (EZ).

Výsledky testovacího kritéria tab. 9.3 potvrdily, že povlak elektrolyticky naneseného Zn (Sollac Francie) vykazuje větší odolnost proti porušování při tváření než povlak typu Ferozink (VSŽ, Košice) a to fakticky ve všech sledovaných stavech napjatosti. Pouze pro zvolenou hladinu významnosti $\alpha = 0.05$ nebyl rozdíl zjištěitelný u deformační stopy č.5. Tato deformační stopa představuje stav rovnoosého vypínání, který je pro kovové povlaky při namáhání všeobecně nejméně příznivý.

Pro oba hodnocené materiály byl také zjišťován vliv stavu přetvoření na poměrné porušení povlaku $P_{TR}[\%]$. U povlaku typu Ferozink (FZ) obr. 9.13 nebyl vliv stavu přetvoření na $P_{TR}[\%]$ z polohy deformačních stop jednoznačný. Pravděpodobně to bylo způsobeno částečným odlupováním povlaku z povrchu základního materiálu během tváření. Povlak elektrolyticky zinkovaný (EZ) měl lepší soudržnost se základním materiálem a během zkoušek nedocházelo k odlupování povlaku z povrchu plechu. Na obr. 9.14 můžeme sledovat vliv stavu přetvoření na $P_{TR}[\%]$. Deformační stopa č.5 je umístěna nejvýše a odpovídá předpokladu, že podmínky rovnoosého tahového namáhání jsou pro kovové povlaky jednoznačně nejméně příznivé. Následující deformační stopy č.2 a 4. mají hodnoty a_K téměř stejné. Nejníže jsou na obr. 9.14 umístěny deformační stopy č.1 (blízka jednoosému tahu) a deformační stopa č.3.

Výsledky prováděného výzkumu byly podkladem pro návrh vhodné mechanické zkoušky pro hodnocení a posuzování kvality kovových povlaků tenkých ocelových plechů určených na výrobu karosářských výlisků.

Jedním z důležitých požadavků při volbě vhodného typu mechanické zkoušky byla reprodukovatelnost zkoušky u výrobce i odběratele plechu a minimální časová náročnost.

Zkouška musí splňovat podmínku rovinnosti zkušebního vzorku v místě sledování porušení povlaku. Alespoň jeden z volných povrchů zkušebního tělesa se nesmí při zkoušce v sledovaném místě dostat do přímého kontaktu se zkušebním nástrojem. Provádění zkoušky by nemělo být ovlivněno dalšími parametry např. drsností a stavem povrchu plechu.

Uvedené důvody vedly k rozhodnutí využít zkoušku tahem dle ČSN 42 0310, jako nejrozšířenější mechanickou zkoušku tenkých ocelových hlubokotažných plechů, kterou je možné při jistém zjednodušení a s určitými omezeními aplikovat přímo u zpracovatele plechů s kovovými povlaky.

Za hlavní nedostatek navrhované zkoušky lze považovat to, že zkouška modeluje pouze jednoosé tahové namáhání.

Naproti tomu má navrhovaná zkouška řadu výhod pro posuzování kvality kovových povlaků z hlediska jejich porušování při tváření:

- možnost jednoznačně definovat oblast rovnoměrné plastické deformace vzorku,
- je splněna podmínka rovinnosti zkušebního vzorku,
- sledovaný povrch nepřichází do přímého kontaktu se zkušebním nástrojem,

- pokud je zkušební zařízení vybaveno průtahoměrem, není nutné na zkušební vzorky nanášet deformační síť.

Zkouška se provádí na strojích určených pro zkoušku tahem, které jsou velmi rozšířené a snadno dostupné u výrobců i zpracovatelů plechu.

9.2.6. NÁVRH METODIKY ZKOUŠENÍ KOVOVÝCH POVLAKŮ NA ODOLNOST PROTI PORUŠOVÁNÍ PŘI TVÁŘENÍ

Tento návrh stanovuje metodiku zkoušení kvality povlaku z hlediska odolnosti proti porušování u tenkých ocelových plechů s kovovými povlaky za podmínek jednoosého tahového namáhání při teplotě $20 \pm 10^\circ\text{C}$.

I. OZNAČENÍ A DEFINICE

1. Výsledkem zkoušky je závislost poměrného porušení povlaku na intenzitě deformace ve formě regresní přímky.

2. Tato závislost se používá pro posouzení kvality různých povlaků z hlediska jejich odolnosti proti porušování při tváření. Pro posouzení kvality je použit t-test pro testování rozdílu mezi směnicemi (regresními koeficienty) dvou skupin měření pro případ stejných rozptylů chybových veličin. To znamená, že se předpokládá model:

$$Y_i = a_k x_i + b_k + \delta_k ; \quad (1)$$

kde δ_k (chyba regrese) má rozdělení $N(0, \sigma^2)$ pro $k = 1, 2$.

3. Pro vlastní test je použita nulová hypotéza o rovnosti směnic testovaných regresních přímek symbolicky $H_0: a_1 = a_2$ a alternativní hypotézu $H_1: a_1 \neq a_2$. Testovací kritérium pro danou hypotézu je uvedeno ve tvaru:

$$t = \frac{(a_1 - a_2) * \sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{(1_{m11} + 2_{m11}) * (1_Q + 2_Q)}} ; \quad (2)$$

kde a_1 , resp. a_2 - jsou směrnice regresních přímek,

n_1 , resp. n_2 - počet měření,

$$^1Q = \Sigma(y_i - (a_1x_i + b_1))^2$$

$$^2Q = \Sigma(y_i - (a_2x_i + b_2))^2$$

$$^1m_{11} - \text{je prvek matice } ^1M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_1 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$^2m_{11} - \text{je prvek matice } ^2M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_2 \end{bmatrix}^{-1}$$

všechny sumace jsou od $i = 1, \dots, n_{1/2}$.

4. Výsledek testu porovnáváme s kritickou hodnotou Studentova rozdělení $t_{KR}(1-\alpha/2, k)$, kde α je zvolená hladina významnosti testu a $k = (n_1 + n_2 - 2)$ je počet stupňů volnosti.

II. PODSTATA ZKOUŠKY

5. Zkouška spočívá v jednoosém tahovém zatěžování zvoleného počtu zkušebních tyčí předepsanou rychlostí, v intervalu zahrnujícím oblast rovnoměrné plastické deformace.

III. ZKUŠEBNÍ TYČE

6. Tvar a rozměry zkušební tyče jsou dle ČSN 42 0435 čl.6.

7. Pro odběr zkušebních vzorků platí ČSN 42 0305.

IV. ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

8. Jako zkušební zařízení se používají stroje pro zkoušku tahem, pokud vyhovují ČSN 42 0310.

9. Zkušební zařízení pro měření délky zkušební tyče musí mít dělení stupnice 0.01 mm s možností odhadu na 0.005.

Tab.1 - Označení a definice k oddílu I.

Označení	Jednotky měření	Definice
a_o	mm	Počáteční tloušťka zkoušené části zkušební tyče
b_o	mm	Počáteční šířka zkoušené části zkušební tyče
L_t	mm	Celková délka zkušební tyče
L_c	mm	Zkoušená délka zkušební tyče
L_o	mm	Počáteční měřená délka zkušební tyče
L	mm	Okamžité trvalé prodloužení měřené délky zkušební tyče po okamžitém zatížení
F	N	Okamžité zatížení zkušební tyče
φ		Okamžitá skutečná deformace po okamžitém zatížení $\varphi = \ln(L/L_o)$
ε		Poměrné prodloužení $\varepsilon = (L-L_o)/L_o$
φ_i		Intenzita deformace po okamžitém zatížení pro podmínky zkoušky $\varphi_i = \varphi$
P_{TR}	%	Poměrné porušení povlaku po odlehčení
P_{TR20}	%	Poměrné porušení povlaku po odlehčení při prodloužení zkušebního tělesa o 20%
a_1, a_2		směrnice regresních přímek,
n_1, n_2		počet měření
α		hladina významnosti testu
k		počet stupňů volnosti. $k = (n_1 + n_2 - 2)$
t		hodnota testu
t_{KR}		kritická hodnota Studentova rozdělení

V. PROVEDENÍ ZKOUŠKY A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

10. Před zkouškou kvality povlaků se musí experimentálně určit maximální rovnoměrná deformace dle ČSN 42 0435 čl.17.

11. Před zkouškou se měří počáteční měřená délka L_0 zkušební tyče.

12. Závislost " poměrného porušení povlaku - intenzita deformace " se měří v oblasti rovnoměrné plastické deformace v intervalu 0.05 do maximální rovnoměrné deformace. Měřený interval se rozdělí minimálně na pět přibližně stejných úseků.

13. Když se v průběhu závislosti "okamžité zatížení - okamžité prodloužení " vyskytne Lüdersova deformace, interval měření musí být až za její hodnotou.

14. Rychlost zatěžování zkušební tyče musí být v rozmezí od $3 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ do $30 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$.

15. Jednotlivé zkušební tyče musí být osově symetricky upnuté v čelistích zkušebního stroje a plynule zatěžované na jednotlivé hodnoty intervalu měření.

16. Místo pro sledování poměrného porušení povlaku musí být v ose zkušební tyče v oblasti měřené části tyče, bez zjevných apriorních defektů např. škrábance, trhlinky.

17. Pro sledování poměrného porušení povlaku se doporučuje zvětšení 500x.

18. Z definice intenzity deformace vyplývá, že se pro podmínky jednoosého tahového zatěžování bude rovnat skutečné trvalé deformaci.

A. METODIKA STANOVENÍ ZÁVISLOSTI POMĚRNÉHO PORUŠENÍ POVLAKU NA
INTENZITĚ DEFORMACE

19. Před zkouškou se změří počáteční měřená délka L_0 zkušební tyče.

20. Okamžité zatížení F a okamžité trvalé prodloužení L po odlehčení se určí grafickou metodou dle ČSN 42 0436 čl.22, dále platí ustanovení dle ČSN 42 0436 čl.23, 24.

21. Hodnota okamžité skutečné deformace φ se vypočítá ze vztahu uvedeného v tab. 1, dále platí ustanovení čl.18.

22. Poměrné porušení povlaku se stanovuje na obrazovém analyzátoru jako podíl plochy trhlin ku celkové sledované ploše krát 100 v procentech po odlehčení, dále platí čl.17.

23. Směrnice regresních přímek a_1, a_2 se vypočítají dle vztahu /3/ použitím metody nejmenších čtverců, přičemž za regresní funkci je zvolená přímka /1/ čl.2,

$$y_i = a_k x_i + b_k + \delta_k ; \quad (1)$$

kde $y_i = P_{TR}$

$$x_i = \varphi_i ,$$

potom směrnice regresních přímek;

$$a_{1/2} = \frac{n_{1/2} \Sigma(x_i y_i) - \Sigma(x_i) \Sigma(y_i)}{n_{1/2} \Sigma(x_i^2) - (\Sigma x_i)^2} ; \quad (3)$$

kde $n_{1/2}$ jsou počty měření potřebné ke zhotovení regresních přímek,

všechny sumace jsou od $i = 1, \dots, n_{1/2}$.

24. Počet potřebných měření $n_{1/2}$ pro hodnocené povlaky se doporučuje stejný.

25. Výpočtový vztah pro konstanty b_1 , b_2 je následující:

$$b_{1/2} = \frac{\Sigma(Y_i) - a_{1/2} \Sigma(x_i)}{n_{1/2}} ; \quad (4)$$

kde sumace jsou od $i = 1, \dots, n_{1/2}$.

B. METODIKA STANOVENÍ P_{TR20}

26. Návrh stanovuje hodnotu poměrného porušení povlaku P_{TR20} při 20 % prodloužení měřené délky zkušební tyče, tzn. poměrné prodloužení $\varepsilon = 0.2$.

27. Nepřímo lze vyjádřit hodnotu P_{TR20} z regresní závislosti poměrného porušení povlaku na intenzitě přetvoření. Hodnota skutečného přetvoření $\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$. Dále platí čl.18.

28. Přímé stanovení hodnoty P_{TR20} se doporučuje na trhacích strojích vybavených průtahoměrem. Minimálně 5 zkušebních vzorků se zatěžuje až do okamžiku dosažení poměrného prodloužení 20 % za podmínek stanovených v čl.13,14,15. Stanoví se hodnoty P_{TR20} postupem dle čl.17,22. Výsledná hodnota P_{TR20} se vypočte jako aritmetický průměr všech měření.

C. METODIKA POSOUZENÍ KVALITY RŮZNÝCH POVLAKŮ Z HLEDISKA JEJICH ODOLNOSTI PROTI PORUŠOVÁNÍ PŘI TVÁŘENÍ

29. Při posuzování kvality různých povlaků z hlediska jejich odolnosti proti porušování při tváření se postupuje dle čl.2,3 a 4.

30. Kritickou hodnotu Studentova rozdělení $t_{KR(1-\alpha/2,k)}$, pro daný počet měření, tomu odpovídající počet stupňů volnosti ustanovený v čl.4. a zvolenou hladinu významnosti testu najdeme v ČSN 01 0250 v tabulkách na str.76,77.

31. Doporučuje se hladina významnosti testu $\alpha = 0.05$.

VI. ZKUŠEBNÍ PROTOKOL

Ve zkušebním protokolu je nutno uvést:

- značku materiálu, nebo označení zkušebních tyčí
- interval rovnoměrných deformací, ve kterém bylo měření poměrného porušení povlaku prováděno
- počet měření pro stanovení závislosti " poměrného porušení povlaku - intenzita deformace "
- výsledky zkoušek podle čl. 23, 24 pro stanovení regresní závislosti " poměrného porušení povlaku - intenzita deformace "
- hodnota poměrného porušení povlaku P_{TR20} při 20 % prodloužení měřené délky zkušební tyče
- výsledky zkoušek podle čl. 3, 4 pro stanovení t a t_{KR}
- výsledek testu kvality hodnocených povlaků na základě čl.4.
- podmínky měření, pokud byly odlišné od doporučených, pro čl.17, 24, 31

VYSVĚTLIVKY

K oddílu A:

Příklad stanovení závislosti poměrného porušení povlaku na intenzitě deformace podle metodiky A pro ocelový plech odpovídající jakosti 11 305.21 s povlakem Ferozink určený pro hluboké tažení.

Tab.2 - naměřené hodnoty:

č.měř.	φ_i	$P_{TR} [\%]$	$\varphi_i \cdot P_{TR}$
1	0.000	0.00	0.000
2	0.056	2.58	0.144
3	0.154	5.17	0.796
4	0.201	9.03	1.815
5	0.273	11.19	3.054
6	0.323	14.64	4.728
Σ	1.007	42.61	10.537

Postup výpočtu:

a) $\Sigma(x_i) = 1.007$ viz. tab. 2;

b) $\Sigma(x_i^2) = 0.246$

c) $(\Sigma x_i)^2 = 1.014$

d) $\Sigma(y_i) = 42.61$ viz. tab. 2

e) $\Sigma(x_i y_i) = 10.537$ viz. tab. 2

f) $\Sigma(x_i) \Sigma(y_i) = 42.908$

g) směrnice regresní přímky a_1 ;

$$a_1 = \frac{n_1 \Sigma(x_i y_i) - \Sigma(x_i) \Sigma(y_i)}{n_1 \Sigma(x_i^2) - (\Sigma x_i)^2};$$

$$a_1 = \frac{6 * 10.537 - 42.908}{6 * 0.246 - 1.014};$$

$$a_1 = 43.969$$

h) konstanta b_1 ;

$$b_1 = \frac{\Sigma(y_i) - a_1 \Sigma(x_i)}{n_1} ;$$

$$b_1 = \frac{42.61 - 43.969 * 1.007}{6} ;$$

$$b_1 = -0.277$$

i) regresní přímka závislosti poměrného porušení povlaku na intenzitě deformace má tvar ;

$$y_i = 43.969x_i - 0.227 ;$$

K oddílu B:

Příklad určení poměrného porušení povlaku Ferozink FZ (VSŽ Košice) P_{TR20} při 20 % prodloužení měřené délky zkušební tyče nepřímo dle čl.27.

Postup výpočtu:

a) Určíme intenzitu přetvoření odpovídající poměrnému prodloužení 20 % měřené délky zkušební tyče ze vztahu

$\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$; kde $\varphi = \varphi_i$ pro jednoosý tah.

$$\varphi = \ln(1.2) = 0.182$$

b) Dosadíme do závislosti poměrného porušení povlaku na intenzitě deformace určené v oddílu A, která má tvar;

$$y_i = 43.969x_i - 0.227 ;$$

potom

$$P_{TR20} = 43.969 * 0.182 - 0.227$$

$$P_{TR20} = 7.78 \%.$$

K oddílu C:

Příklad posouzení kvality povlaků Ferozink FZ (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a elektrolyticky nanášeného EZ (Sollac, Francie) z hlediska jejich odolnosti proti porušování při tváření

Postup výpočtu:

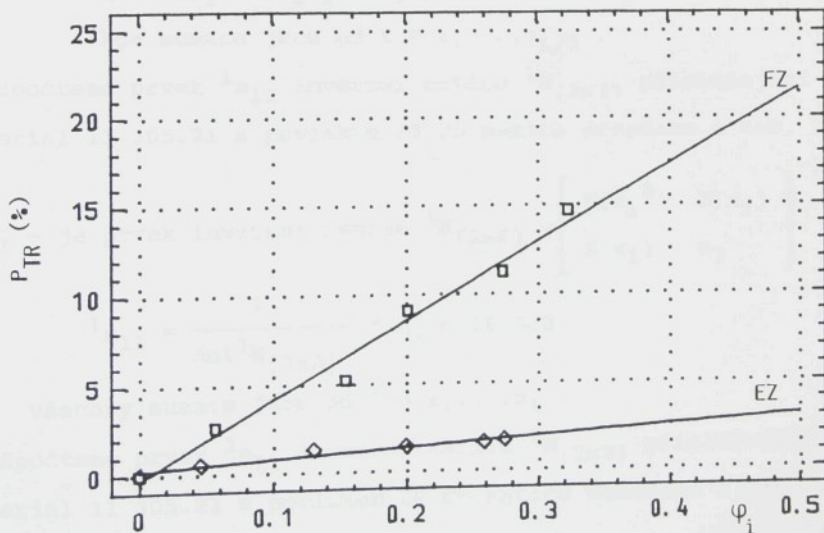
a) Výpočtem dle metodiky A získáme regresní závislosti poměrného porušení povlaku na intenzitě deformace pro oba posuzované materiály obr.1

materiál 11 305.21 s povlakem FZ

$$y_i = 43.969x_i - 0.227 ;$$

materiál 11 305.21 s povlakem EZ

$$y_i = 5.657x_i + 0.219 ;$$



Obr.1 - Porovnání rozvoje porušení povlaku Ferozink (FZ) a elektrolyticky zinkovaného (EZ) při jednoosém namáhání za podmínek stanovených zkouškou.

b) Testovací kritérium pro danou hypotézu je uvedeno ve tvaru:

$$t = \frac{(a_1 - a_2) * \sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{(1_{m11} + 2_{m11}) * (1_Q + 2_Q)}} ;$$

kde $a_1 = 43.969$, resp. $a_2 = 5.657$ - jsou směrnice regresních přímek,

$n_1 = 6$, resp. $n_2 = 6$ - počet měření,

c) Z tab. 2 a z výsledků regresní analýzy dle metodiky A dosadíme do vztahů pro výpočet 1_Q pro povlak FZ a 2_Q pro povlak EZ.

materiál 11 305.21 s povlakem FZ

$$1_Q = \Sigma(y_i - (a_1 x_i + b_1))^2 = 2.988$$

materiál 11 305.21 s povlakem EZ

$$2_Q = \Sigma(y_i - (a_2 x_i + b_2))^2 = 0.170$$

kde sumace jsou od $i = 1, \dots, n_{1/2}$.

d) Spočteme prvek 1_{m11} inverzní matice $1M_{(2 \times 2)}$ příslušející pro materiál 11 305.21 s povlakem FZ do matice dosadíme z tab. 2

$$1_{m11} - \text{je prvek inverzní matice } 1M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_1 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$1_{m11} = \frac{1}{\det 1M_{(2 \times 2)}} * n_1 = 15.782$$

všechny sumace jsou od $i = 1, \dots, n_1$.

e) Spočteme prvek 2_{m11} inverzní matice $2M_{(2 \times 2)}$ příslušející pro materiál 11 305.21 s povlakem EZ do matice dosadíme z tab. 2

$$2_{m11} - \text{je prvek inverzní matice } 2M_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} \Sigma(x_i^2) & \Sigma(x_i) \\ \Sigma(x_i) & n_2 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$^2m_{11} = \frac{1}{\det^2 M_{(2 \times 2)}} * n_2 = 12.969$$

všechny sumace jsou od $i = 1, \dots, n_2$.

f) Spočteme hodnotu testovacího kritéria ze vztahu /3/

$$t = \frac{(a_1 - a_2) * \sqrt{n_1 + n_2 - 2}}{\sqrt{(^1m_{11} + ^2m_{11}) * (^1Q + ^2Q)}} ;$$

$$t = \frac{(43.969 - 5.657) * \sqrt{6 + 6 - 2}}{\sqrt{(15.782 + 12.969) * (2.988 + 0.170)}} ;$$

$$t = 12.7146 .$$

g) Z tabulek v ČSN 01 0250 na str.76, 77 určíme kritickou hodnotu Studentova rozdělení $t_{KR}(1-\alpha/2, k)$, kde $k = (n_1 + n_2 - 2)$.

$$t_{KR}(1-0.05/2; 10) = t_{KR}(0.975; 10) = 2.2281 .$$

h) Pro hodnocené povlaky, počet experimentálních měření a hladinu významnosti α je porovnáme výsledek testovacího kritéria s kritickou hodnotou $t_{KR}(1-0.05/2; 10) = 2.2281$ uvedeno v tab.3.

Tab. 3 - Tabulka výsledku zvoleného testovacího kritéria s porovnáním ke kritické hodnotě testu pro zkoušku kvality povlaků

poč.měř.	a_1 (FZ)	a_2 (E2)	t	rel.	$t_{KR}(0.975; 10)$
6	43.969	5.657	12.7146	>	2.2281

i) Z výsledků uvedených v tab. 3. pro daný počet měření je možné na hladině významnosti $\alpha = 0.05$ nulovou hypotézu o rovnosti směrnic regresních závislostí poměrného porušení

povlaku na intenzitě deformace pro oba posuzované materiály zamítnout. To znamená, že povlak elektrolyticky zinkovaný (Sollac, Francie) vykazuje větší odolnost proti porušování než povlak typu Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR).

DODATEK

Související čs. normy

ČSN 42 0302 Názvy, označení a jednotky

ČSN 42 0305 Ocel. Braní a zpracování zkušebních vzorků pro mechanické zkoušení

ČSN 42 0310 Zkouška tahem

ČSN 42 0435 Zkouška součinitele normálové anizotropie

ČSN 42 0436 Zkouška exponentu deformačního zpevnění

ČSN 10 0250, 52, 53 Statistické metody v průmyslové praxi

9.3 RENTGENOVÁ MIKROANALÝZA POVLAKŮ

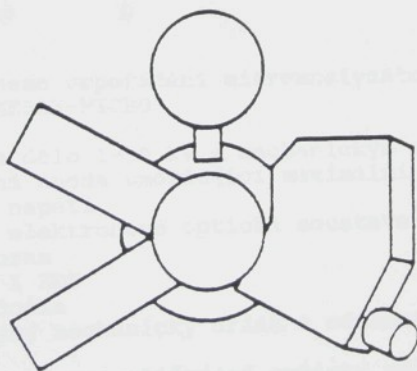
Metoda rentgenové mikroanalýzy vznikla spojením elektronového mikroskopu a rentgenové spektrální analýzy. Tato moderní metoda nedestruktivního charakteru, umožňuje na jednom zkoumaném vzorku nejenom zobrazit povrch pomocí mikroskopu, ale provést i prvkovou mikroanalýzu pomocí spektroskopie charakteristického rentgenového záření /48/.

Rentgenová mikroanalýza, zvaná často jako elektronová mikrosonda /49/, je založena na využití interakce úzkého svazku (0.2 až 1 μm) urychlených elektronů (5 až 50 keV) s atomy vzorku. Elektrony pronikají vzorkem do hloubky řádově 1 μm , což má za následek vznik celého souboru fyzikálních jevů použitelných pro analýzu vzorku - vzniká také rtg. záření.

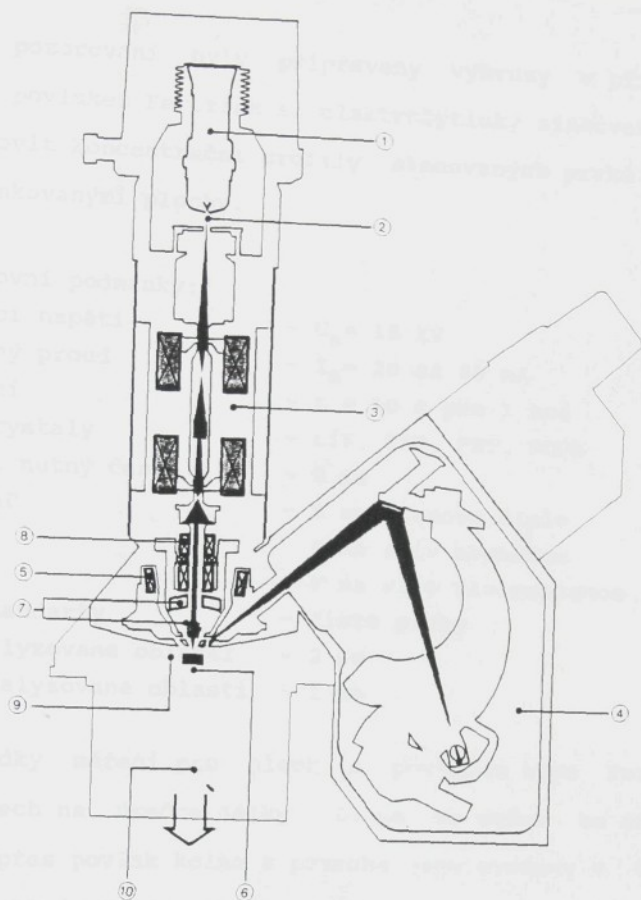
Prvková mikroanalýza vyžaduje určení vlnové délky nebo energie charakteristického vlnového záření. K určení vlnové délky slouží ohyb rentgenového záření na krystalech (vlnové disperzní analýza), k určení energie energiově disperzní analýza, provedená obvykle pomocí polovodičových detektorů. S pomocí krystalových spektrometrů lze pak zaznamenat průběh rtg. spektra (závislost intenzity rtg. záření na vlnové délce). Podle Braggova zákona je pak možné na základě poloh charakteristických čar určit přítomné prvky - tzv. kvalitativní analýza. Zpravidla nás nezajímá pouze informace o kvalitativním složení vzorku, tj. určení prvků, z nichž je vzorek složen, ale i kvantitativní informace o procentuálním zastoupení jednotlivých prvků ve vzorku. Porovnáním relativních intenzit charakteristických čar na vzorku a na referenčním materiálu (standartu) lze pak určit (po aplikaci korekčního postupu ZAF) koncentrace příslušných prvků - tzv. kvantitativní analýza.

Elektronové mikrosondy jsou koncipovány jako rastrovací elektronové mikroskopy vybavené navíc spektrometry pro vlnové-disperzní a energiově-disperzní analýzu rentgenového záření, které vzniká v místě dopadu primárního elektronového svazku. Energový spektrometr bývá montován jeden, vlnové-disperzní spektrometry bývají zabudovány v počtu vyšším až tři.

Kvantitativní analýzu vzorků plechů s kovovými povlaky Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a elektrolyticky zinkovaným (Sollac, Francie) byla provedena na pracovišti SVÚM Praha na mikroanalyzátoru CAMEBAX-MICRO (Francie) plně automatizovaném a řízeném mikropočítačem PDP 11/23. Zařízení je vybaveno třemi vlnové disperzními spektrometry a jedním energiově disperzním spektrometrem, systém KEVEX. Na obr. 9.15 je schematické uspořádání spektrometrů. Obr. 9.16 představuje celkové schema zařízení mikroanalyzátoru CAMEBAX-MICRO.



Obr. 9.15 - Schematické uspořádání 2 vertikálních a 1 nakloněného WDS a 1 EDS



Obr.9.16 - Schema uspořádání mikroanalyzátoru
CAMEBAX-MICRO

- 1) Elektronové dělo 1-50 kV s mechanickým centrováním
- 2) Nastavitelná anoda umožňující maximální světelnost při různém napětí.
- 3) Tríčočková elektronové optická soustava s proudovým stabilizátorem
- 4) Až 3 WDS a 1 EDS
- 5) Tvarovací čočka
- 6) Vysoce přesný mechanický držák a odnímatelná komora vzorku
- 7) Koaxiální vysoce rozlišující optický mikroskop
- 8) SEM rastrovací cívky
- 9) Vakuově oddělená mezikomůrka pro vkládání vzorků do průměru 40 mm
- 10) Vysoce výkonná vakuová aparatura

Pro pozorování byly připraveny výbrusy v příčném řezu plechu s povlakem Ferozink a elektrolyticky zinkovaným. Cílem bylo stanovit koncentrační profily sledovaných prvků v příčném řezu pozinkovanými plechy.

Pracovní podmínky:

Urychlovací napětí	- $U_a = 15 \text{ kV}$
Absorbovaný proud	- $I_a = 20 \text{ až } 60 \text{ nA}$
Doba měření	- $t = 10 \text{ s}$ pro 1 bod
Použité krystaly	- LiF, TAP, PET, ODPb
Korekce na nutný čas	- $2 \mu\text{s}$
Korekce ZAF	- Z na atomové číslo A na vliv absorpce F na vliv fluorescence
Použité standarty	- čisté prvky
Průměr analyzované oblasti	- $2 \mu\text{m}$
Hloubka analyzované oblasti	- $1 \mu\text{m}$

Výsledky měření pro plech s povlakem typu Ferozink na 25-ti bodech na úsečce délky $50 \mu\text{m}$ ve směru ze základního materiálu přes povlak kolmo k povrchu jsou uvedeny v tab. 9.5. Na obr. 9.17 je uveden obsah sledovaných prvků v hmotnostních procentech. Velmi názorný je obr. 9.18, kde je společně uveden průběh Zn, Fe a Al. Rozhraní leží v bodě č.10, tloušťka vrstvy Zn se zvýšeným obsahem Al se pohybuje okolo $28 \mu\text{m}$.

Výsledky měření pro plech s povlakem elektrolyticky zinkovaným na 20-ti bodech na úsečce délky $20 \mu\text{m}$ jsou uvedeny v tab. 9.6. Koncentrační profily pro jednotlivé sledované prvky jsou znázorněny na obr. 9.19. Na společném průběhu Zn, Fe a Al obr. 9.20 je opticky viditelné rozhraní v bodě č.9, což odpovídá tloušťce zinkového povlaku se zvýšeným obsahem Al okolo $12 \mu\text{m}$.

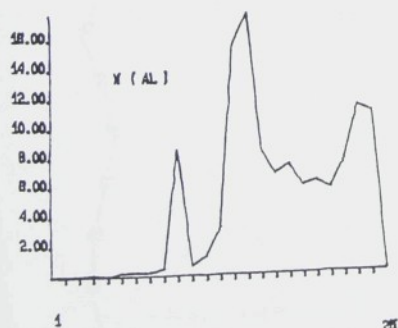
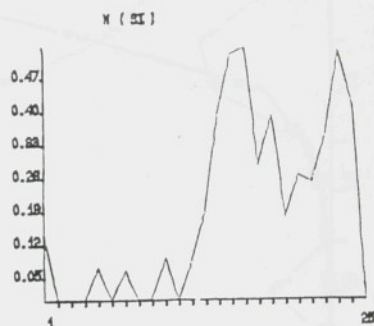
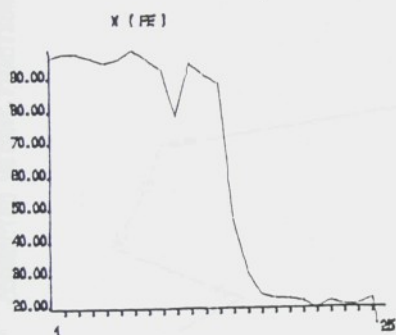
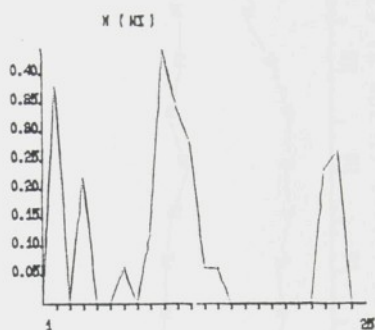
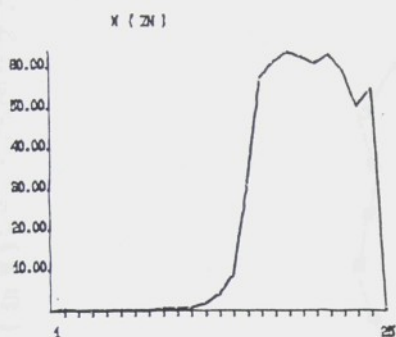
Tab. 9.5 - Obsah sledovaných prvků v hmotnostních procentech (plech 11 305.21 FZ)

NO.	ZN	NI	FE	SI	AL	TOT
1	0.000	0.000	76.042	0.141	0.000	76.183
2	0.435	0.378	97.471	0.000	0.009	98.293
3	0.000	0.000	97.393	0.000	0.066	97.459
4	0.054	0.220	96.042	0.000	0.153	96.470
5	0.000	0.000	94.483	0.072	0.025	94.580
6	0.163	0.000	95.756	0.000	0.253	96.172
7	0.054	0.063	98.563	0.064	0.271	99.016
8	0.054	0.000	95.808	0.000	0.237	96.100
9	0.489	0.126	92.535	0.002	0.477	93.629
10	0.494	0.443	78.549	0.090	3.547	88.123
11	0.761	0.346	94.884	0.000	0.634	96.625
12	1.739	0.283	91.166	0.085	1.273	94.545
13	3.917	0.063	88.678	0.187	3.217	96.061
14	8.870	0.062	46.859	0.396	15.531	71.718
15	31.510	0.000	30.757	0.521	17.723	80.511
16	57.391	0.000	23.880	0.535	3.468	90.273
17	61.355	0.000	22.554	0.287	5.770	90.966
18	63.932	0.000	22.402	0.392	7.422	94.148
19	62.737	0.000	21.756	0.178	5.933	90.603
20	61.138	0.000	19.404	0.267	6.260	87.069
21	63.434	0.000	21.756	0.252	5.705	91.147
22	59.435	0.235	20.418	0.353	7.630	88.071
23	50.707	0.267	20.388	0.528	11.369	83.259
24	54.967	0.000	22.244	0.421	10.924	88.556
25	0.164	0.000	0.103	0.000	0.116	0.382

Tab. 9.6 - Obsah sledovaných prvků v hmotnostních procentech (plech 11 305.21 EZ)

NO.	ZN	NI	FE	SI	AL	TOT
1	0.000	0.000	97.338	0.117	0.593	98.048
2	0.000	0.000	97.976	0.000	0.000	97.976
3	0.000	0.059	98.594	0.025	0.035	98.714
4	0.000	0.029	97.058	0.000	0.009	97.096
5	0.000	0.264	97.401	0.090	0.132	97.887
6	1.325	0.088	90.590	0.210	4.866	96.879
7	1.835	0.000	92.602	0.703	3.719	99.058
8	2.394	0.059	89.399	0.180	4.112	96.144
9	2.750	0.176	91.276	0.203	4.485	98.891
10	22.476	0.000	13.432	0.415	17.367	53.692
11	52.046	0.000	8.185	0.703	11.334	82.267
12	60.223	0.227	9.795	0.453	12.469	83.158
13	59.427	0.136	9.398	0.490	11.610	81.061
14	43.659	0.089	2.167	0.597	13.134	59.646
15	38.001	0.238	1.020	0.522	10.290	50.072
16	9.452	0.091	0.815	0.142	2.829	13.328
17	6.145	0.114	0.661	0.240	0.804	7.963
18	7.281	0.000	0.264	0.208	0.712	8.666
19	3.437	0.000	0.350	0.243	0.513	4.543
20	0.836	0.000	0.218	0.092	0.171	1.317

CORRECTED WEIGHT FRACTIONS (in %)



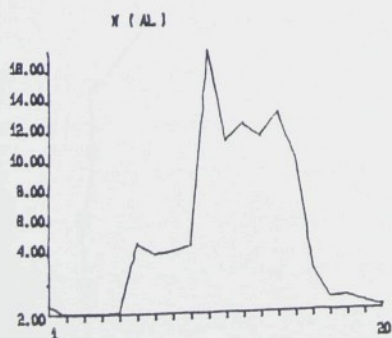
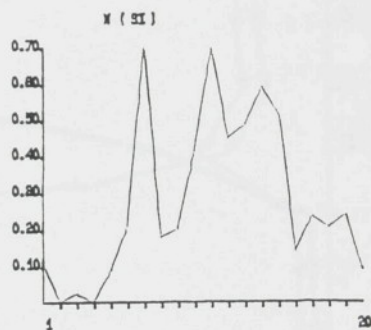
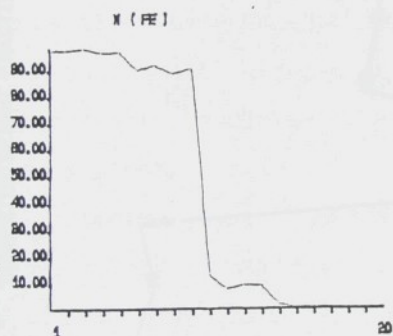
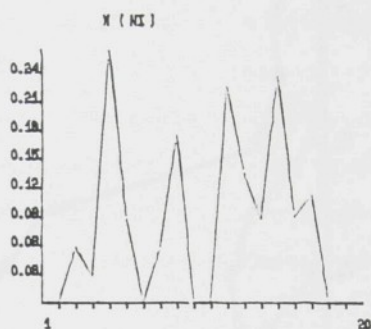
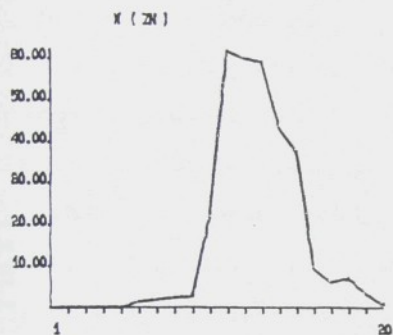
Obr. 9.17 - Koncentrační profily sledovaných prvků
(plech jakosti 11 305.21 s povlakem FZ)

CORRECTED WEIGHT FRACTIONS (in %)



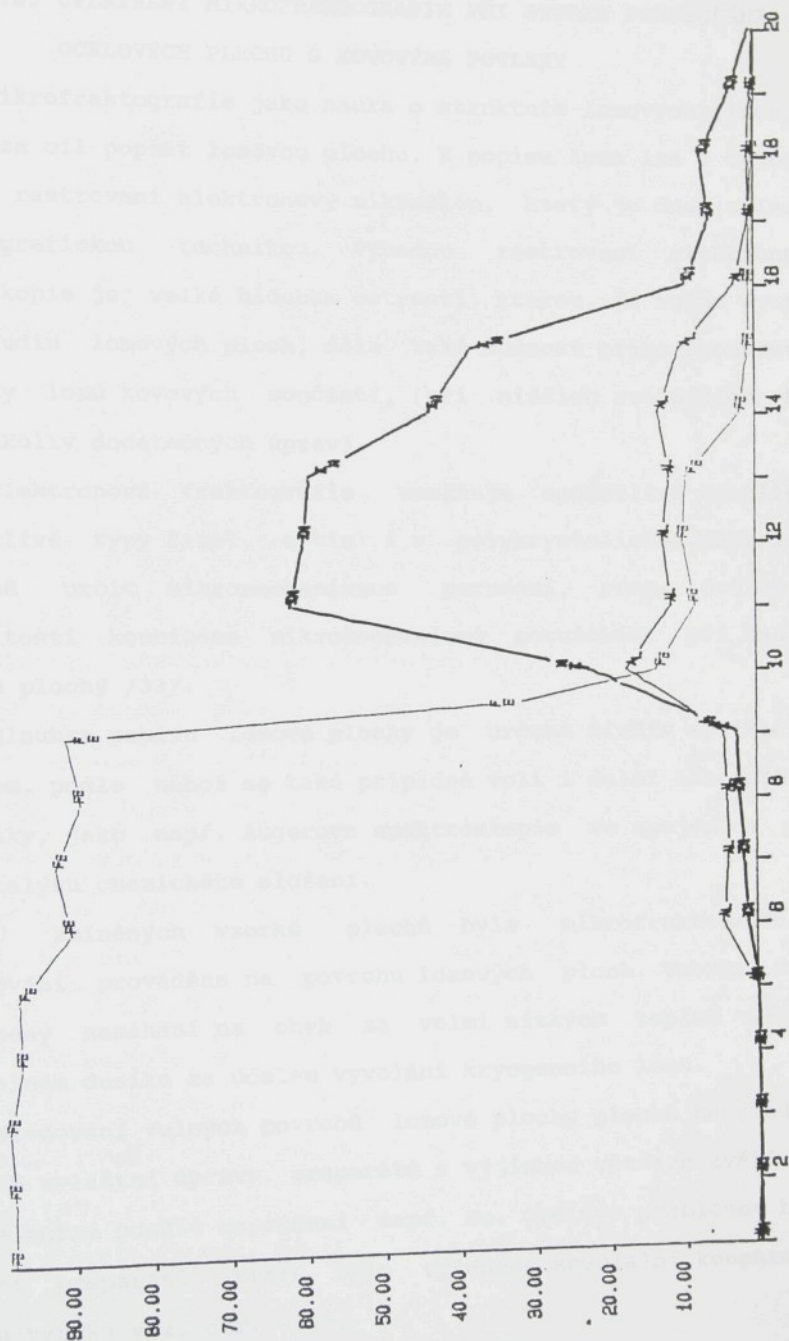
Obr. 9.18 - Koncentrační profily - společný průběh Fe, Zn, Al (plech 11 305.21 FZ)

CORRECTED WEIGHT FRACTIONS (in %)



Obr. 9.19 - Koncentrační profily sledovaných prvků
(plech jakosti 11 305.21 s povlakem EZ)

CORRECTED WEIGHT FRACTIONS (in %)



Obr. 9.20 - Koncentrační profily - společný průběh Fe, Zn, Al (plech 11 305.21 EZ)

9.4. UPLATNĚNÍ MIKROFRAKTOGRAFIE PŘI STUDIU PORUŠOVÁNÍ OCELOVÝCH PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY

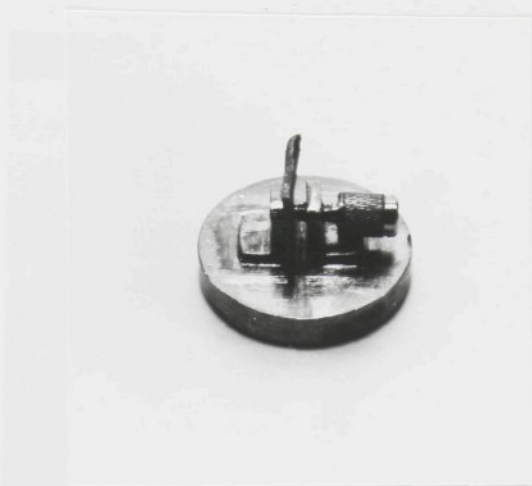
Mikrofraktografie jako nauka o struktuře lomových ploch si klade za cíl popsat lomovou plochu. K popisu lomu lze s výhodou použít rastrovací elektronový mikroskop, který je dnes základní fraktografickou technikou. Výhodou rastrovací elektronové mikroskopie je velká hloubka ostrosti, kterou je možno využít při studiu lomových ploch, dále také možnost přímo pozorovat povrchy lomů kovových součástí, (při nižších zvětšeníh bez jakýchkoliv dodatečných úprav).

Elektronová fraktografie umožňuje spolehlivě rozlišit jednotlivé typy faset, a tím i v polykrystalickém materiálu lokálně určit mikromechanismus porušení, resp. definovat zákonitosti kombinace mikromechanismů porušování při tvorbě lomové plochy /33/.

Hloubka popisu lomové plochy je určena širším aplikačním záměrem, podle něhož se také případně volí i další laboratorní techniky, jako např. Augerova spektroskopie ve spojení s REM pro analýzu chemického složení.

U zmíněných vzorků plechů byla mikrofraktografická pozorování prováděna na povrchu lomových ploch. Vzorky byly podrobeny namáhání na ohyb za velmi nízkých teplot -196°C v kapalném dusíku za účelem vyvolání kryogenního lomu.

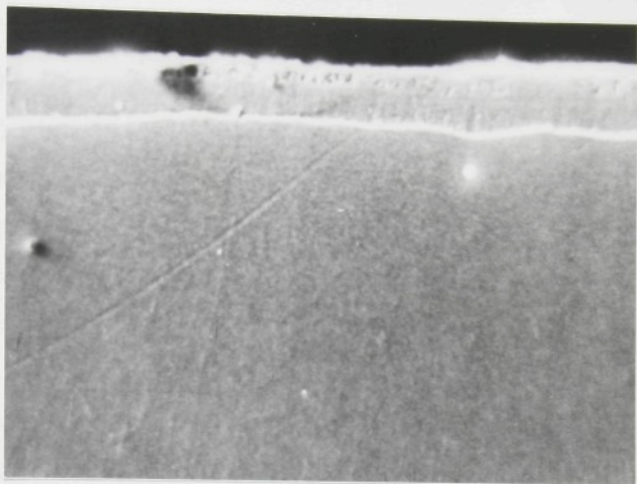
Sledování volných povrchů lomové plochy plechů nevyžaduje pro REM zvláštní úpravy preparátů s výjimkou větších zvětšení, kde je nutné použít naprášení např. Au. Určitým problémem bylo upínání preparátů, které bylo vyřešeno speciální konstrukcí držáku vzorku viz. obr. 9.21.



Obr.9.21 - Konstrukční úprava držáku pro sledování volných povrchů lomových ploch tenkých plechů.

Hlavním důvodem použití kryogenních lomů při sledování struktur materiálů plechů s kovovými povlaky na bázi Zn byla nutnost současného zviditelnění struktur feritu základního materiálu a struktur v zinkovém povlaku. Při zhotovení klasického metalografického výbrusu a použití leptadla NITAL 3% brání zinkový povlak naleptání feritu a sám se pokryje vrstvou korozních produktů. Vyplyvá to z toho, že v korozním článku Fe-Zn má zinek funkci tzv. obětované anody a chrání ocel, která je elektrochemicky ušlechtlejší viz. obr. 9.22.

Těmto potížím se lze vyhnout, použijeme-li k přípravě preparátu metody tzv. kryogenního lomu, krátce "kryolomu". Tuto metodu jsem použil ve své práci při studiu charakteristik mezních stavů ocelových plechů s kovovými povlaky na bázi zinku a jeho slitin.



Obr. 9.22 - Plech s povlakem Ferozink v základním, netvářeném stavu /57/, metalografický výbrus, leptáno 3% NITAL, 500x, REM.

Při použití přípravy preparátů kryolomem se odstraní potíže vznikající u klasických metalografických výbrusů: se zalévací hmotou, podbroušení okrajů vzorků a zejména mikrokoroze na povrchu preparátu. Preparáty připravené kryolomem nepotřebují leptadla ke zviditelnění struktury materiálu, protože fasety zrn jsou na povrchu kryolomu dobře čitelné. Do zvětšení okolo 2500x nepotřebují takto připravené preparáty ocelových plechů i plechů s kovovými povlaky úpravu povrchu naprášením kovové vrstvy. Pro zvětšení nad 2500x lze doporučit před vlastním pozorováním naprášení kovové vrstvy např. Au. Příprava preparátu je ve srovnání s klasickým metalografickým výbrusem podstatně rychlejší a méně pracná. Kryolomem získáváme vysoce čistý povrch preparátu, který je pro pozorování na REM velmi důležitý.

9.4.1 APLIKACE TECHNIKY KRYOGENNÍHO LOMU PŘI HODNOCENÍ PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY POMOCÍ REM

Výhody techniky kryogenního lomu byly popsány v předcházející kapitole. Její aplikace na ocelové plechy není náročná, ale ve srovnání s klasickou metalografií má jistá specifika pro čtení lomových struktur. U ocelových plechů se jedná o materiál s nízkým obsahem uhlíku asi do 0.06 %C, s přísadami mikrolegujícími prvky. Jde o polykrystalický materiál, jehož matrice je tvořena feritickým zrnem. Tvar velikost a orientace feritických zrn struktury materiálu je výsledkem hutního procesu při výrobě plechů těchto jakostí.

Způsob nanášení kovového povlaku může zásadním způsobem ovlivnit strukturu základního materiálu ocelového plechu a bude hrát rozhodující úlohu při tvorbě struktury vlastního povlaku.

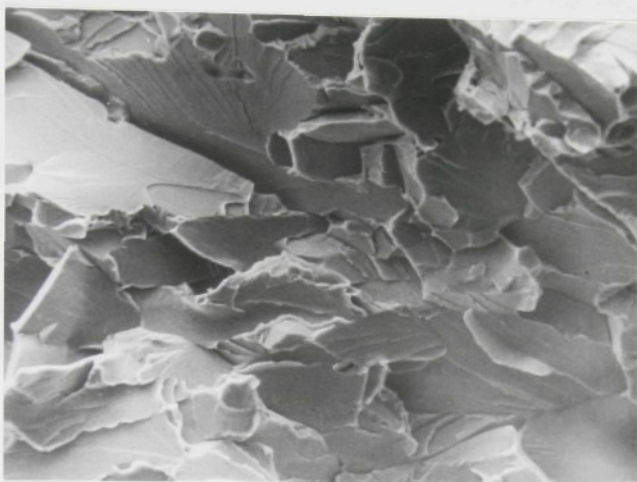
Z hlediska fraktografie lze říci, že při štěpném porušení za velmi nízkých teplot bude u těchto struktur docházet převážně k transkrystalickému štěpení. Štěpné fasety ze kterých se povrch lomu skládá mají převážně orientaci {100} α -Fe, jejich velikost odpovídá velikosti feritického zrna. Orientace štěpných faset k povrchu lomu je v tomto případě převážně statisticky náhodným procesem. Čelo postupující trhliny v případě kryolomu v polykrystalickém materiálu interaguje s objemem o velikosti asi poloviny feritického zrna. V případě snížení koheze na hranicích zrn může přednostně docházet k štěpení interkrystalickému, které potom sleduje hranice zrn.

Technikou kryogenního lomu byly připraveny preparáty pro pozorování pomocí REM z materiálu jakosti 11 305.21, ocelového hlubokotažného plechu (VSŽ a.s. Košice, ČSFR), RRSt 14 05,

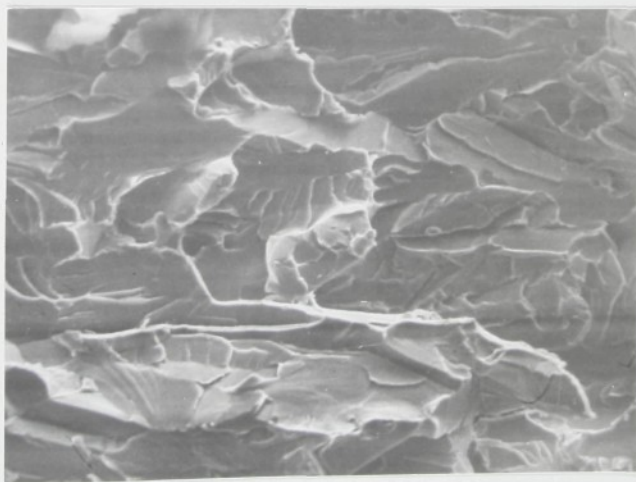
a plechů odpovídajících jakosti 11 305.21 s povlakem Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a s povlakem elektrolyticky zinkovaným (Sollac, Francie). V případě ocelového hlubokotažného plechu se bude jednat o rozdíly ze zpracování plechů obdobné jakosti u různých výrobců. U plechů s kovovými povlaky se bude sledovat vliv konkrétního způsobu nanášení povlaku na vlastnosti základu, který je v obou případech stejný, odpovídající jakosti 11 305.21 (VSŽ a.s. Košice, ČSFR). Dále se u povlaků bude jednat o způsob krystalizace, orientaci a tvar zrn ve vrstvě povlaku, které jsou na povrchu kryolomů dobře čitelné.

Na obr. 9.23 a 9.24 jsou povrchy kryolomů ocelového plechu jakosti RRSt 14 05 a jakosti 11 305.21. Lom probíhá v obou případech ve směru válcování. Při srovnání obou materiálů je patrné, že štěpné fasety feritických zrn plechu 11 305.21 jsou více protáhlé ve směru válcování než u materiálu RRSt 14 05, který má tvar zrn pravidelnější, ale místně se vyskytují i větší komplexy, vzniklé srůstáním více zrn.

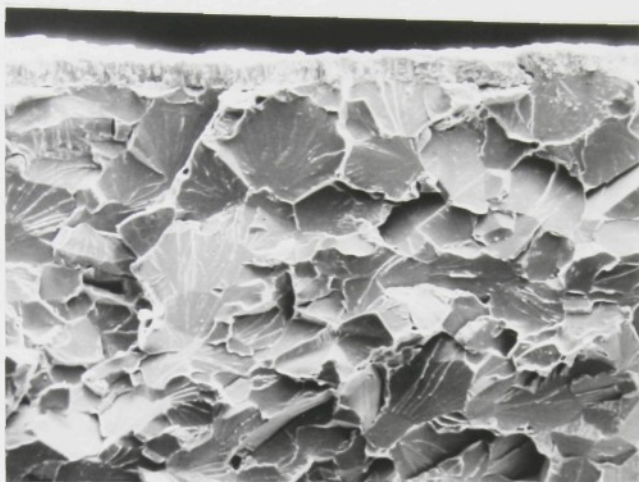
Na obr. 9.25 je povrch kryolomu plechu jakosti 11 305.21 s oboustranným povlakem EZ. Lom byl veden kolmo na směr válcování. Je patrné, že způsob nanášení povlaku výrazně neovlivnil strukturu základního materiálu. Štěpné fasety transkrystalického porušení feritických zrn zasahují až k vrstvě elektrolyticky nanešeného zinkového povlaku. Tloušťka vrstvy povlaku je rovnoměrná asi 12 μm a povlak má dobrou soudržnost se základním materiálem.



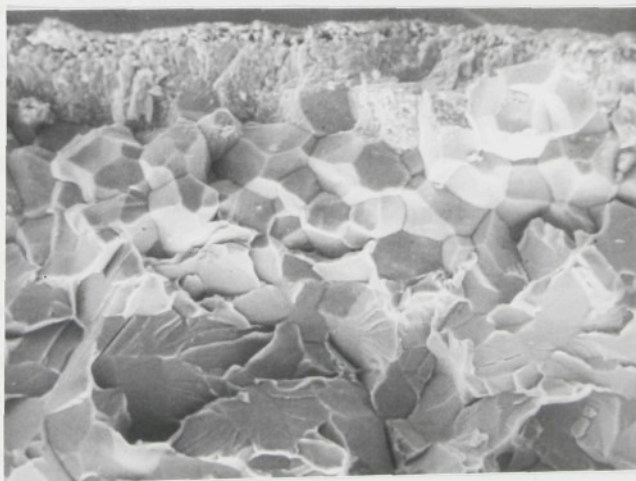
Obr.9.23 - Kryogenní lom ocelového hlubokotažného plechu jakosti RRSt 14 05, 1000x, REM



Obr.9.24 - Kryogenní lom ocelového hlubokotažného plechu jakosti 11 305.21, 1000x, REM



Obr.9.25 - Kryogenní lom ocelového hlubokotažného plechu odpovídajícího jakosti 11 305.21 s povlakem EZ, 1000x, REM



Obr.9.26 - Kryogenní lom ocelového hlubokotažného plechu odpovídajícího jakosti 11 305.21 s povlakem FZ, 1000x, REM

Na obr. 9.26 je zobrazen povrch kryogenního lomu ocelového hlubokotažného plechu tl. 0.7 mm s oboustranným povlakem Ferozink. Zhotovený lom postupuje kolmo k rovině plechu.

Na povrchu kryolomu můžeme při zvětšení 1000x dobře rozlišit 3 základní pásma:

1) Vrstva povlaku Fe-Zn, který byl získán principem oboustranného žárového pozinkování a následným difúzním žiháním. Tloušťka povlaku je značně proměnná, pohybuje se okolo 28 μm . Lom zde postupuje převážně interkrystalicky po hranicích sloupkových zrn převládající fáze δ_1 , které jsou kolmé k povrchu. Fáze δ_1 je intermetalická elektronová sloučenina s hexagonální mřížkou se složením FeZn_7 , která obsahuje 7-12% železa. Obdobný charakter má i porušení povlaku při tváření za normálních teplot. Vrstva slitinového povlaku Fe-Zn je velmi křehká a není schopna snést bez porušení deformace, kterými je materiál v průběhu tváření namáhán.

2) Vrstva základního materiálu, která byla výrazně ovlivněna difuzí zinku. Toto pásmo má tloušťku asi 2x větší než vlastní povlak. Lom zde postupuje převážně po hranicích polyedrických zrn feritu základního materiálu, tedy interkrystalicky. Snížená koheze na hranicích zrn feritu je zapříčiněna přednostní difuzí zinku po hranicích zrn do základního materiálu v průběhu vytváření povlaku. Během tváření za normálních teplot dochází k vytváření velkého množství mikrotrhlin v tomto pásmu. Tyto trhlinky postupují z povlaku a pokračují po hranicích zrn. Při vyšších deformacích dochází i k odlupování kusů povlaku se zhluky povrchových zrn feritu. Převážná většina těchto mikrotrhlin se zabrzdí v následujícím

třetím pásmu. Některé pak mohou vést v průběhu tváření k nežádoucí místní kontrakci a předčasnému vzniku lomu a tím k porušení tvářené součásti.

3) Pásmo základního materiálu - oblast transkrystalického štěpení polyedrického feritu.

Na závěr lze konstatovat, že podrobný mikrofraktografický rozbor kryogenního lomu u plechů s kovovými povlaky umožňuje velmi rychle a efektivně objasnit příčiny některých potíží vznikajících při zpracování těchto materiálů.

10. ZÁVĚR

Zaměření práce vychází ze současných potřeb automobilového průmyslu v Československu. Souvisí s využitím plechů s kovovými povlaky ve výrobě karoserií. Disertační práce byla orientována na hlubší zkoumání užitných vlastností těchto materiálů.

Ve své práci jsem vycházel z komplexního přístupu k problematice hodnocení povrchových vrstev těchto materiálů z hlediska metod hodnocení integrity povrchu. Hodnocení integrity povrchu v sobě zahrnuje změny, které nastaly v povrchové vrstvě při tváření. Práce je soustředěna do oblasti primárních metod hodnocení integrity povrchu, v užším zaměření pak na rozvoj porušování povlaku při tváření.

Experimentální výzkum byl započat v roce 1989 v rámci výzkumného úkolu III-1-6/2-3, kde jsem se zabýval hodnocením morfologie povrchu plechu s povlakem Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR).

Hodnocení morfologie povlaku pomocí REM a následná digitální analýza získaného obrazu umožňuje kvantifikaci porušení ochranného povlaku při tváření. Jako kritérium kvality povlaku jsem volil závislost poměrného porušení povlaku na intenzitě přetvoření při daném stavu přetvoření. Vyvinutou metodiku jsem experimentálně ověřil na plechu jakosti 11 305.21 s povlakem Ferozink (VSŽ a.s. Košice, ČSFR) a plechu stejné jakosti s povlakem elektrolyticky zinkovaným (Sollac, Francie).

Provedené experimenty zahrnují širokou oblast stavů a intenzit přetvoření, které se vyskytují při tažení výlisků nepravidelných tvarů. Z výsledků experimentálních měření je

patrné, že poměrné porušení povlaku je prioritně závislé na intenzitě přetvoření. Z porovnání obou materiálů vyplývá, že pro stejnou hodnotu intenzity přetvoření má povlak typu Ferozink ve všech sledovaných stavech přetvoření vyšší hladinu poměrného porušení povlaku než povlak elektrolyticky zinkovaný.

Vliv stavu přetvoření na porušení povlaku není jednoznačný pro povlak typu Ferozink, u kterého během tváření docházelo k částečnému odlupování povlaku z povrchu plechu. U povlaku elektrolyticky zinkovaného, který má dobrou přilnavost, došlo k výraznému projevu vlivu stavu přetvoření na porušení povlaku. Potvrdil se teoretický předpoklad, že pro kovové povlaky je nejméně příznivé namáhání vypínáním, zejména pak stav přetvoření blízký vypínání rovnoosému.

Práce původně vycházela z potřeb zpracovatelů plechů s kovovými povlaky. Získané výsledky však poskytují potřebné informace a podněty také výrobcům těchto materiálů. Široký přístup k hodnocení plechů s kovovými povlaky z hlediska morfologie povrchu, porušování povlaku při tváření za různých stavů přetvoření, rentgenová analýza kovových povlaků, rozbory mikrofraktografických snímků plechů s kovovými povlaky atd. lze prakticky uplatňovat pouze u výrobce. Aplikované metody zkoušení materiálů najdou uplatnění zejména při vývoji plechů s kovovými povlaky a vzájemném porovnávání kvality kovových povlaků u plechů určených především pro výrobu karosářských výlisků. Předpokladem pro provádění těchto náročných zkoušek materiálů je vybavenost laboratoří potřebným zařízením.

Na základě výsledků měření byla navržena metodika zkoušení a porovnávání kvality kovových povlaků ocelových plechů. Jde o

metodiku technicky i časově náročnou, kterou je možné aplikovat pouze v laboratorních podmínkách. Zpracovatelům plechů s kovovými povlaky se v disertační práci doporučuje s určitým omezením aplikace zkoušky tahem pro hodnocení a porovnávání kvality kovových povlaků při tváření. Práce jednoznačně vymezuje použití zkoušky z hlediska kvalitativního i kvantitativního.

Navržená metodika umožňuje kvantifikaci porušování povlaku při tváření, poskytuje výrobcům i zpracovatelům konkrétní informace o kvalitě povlaku zpracovávaného plechu s ohledem na užité vlastnosti výlisku.

PODĚKOVÁNÍ

Na závěr celé práce bych chtěl poděkovat svému školiteli Prof. Ing. J. Tmějovi, CSc a Prof. Ing. V. Mikešovi, CSc vedoucímu katedry tváření a plastů na VŠST v Liberci za veškerou pomoc poskytnutou během vědecké přípravy.

Zároveň děkuji celému kolektivu katedry za pochopení a konkrétní dílčí pomoc zejména při vypracování závěrečné práce.

Zvláště bych chtěl na tomto místě poděkovat za účinnou pomoc a pochopení Ing. L. Soprovi z odboru vývoje materiálu a metalurgie, s.p. LIAZ Jablonec nad Nisou, kde mi bylo umožněno provedení převážné většiny prací na REM.

Dále tímto děkuji pracovníkům a.a.s. Škoda Mladá Boleslav, zejména pak z OTK v lisovně za pomoc při provádění praktických zkoušek lisování i za cenné připomínky a konzultace prováděné v rámci dlouhodobé spolupráce.

Petr Hrbáč

LITERATURA

- /1/ BAUDRY, G.-GENNAI, V.-PRUVOST, F.: Market trends for precoated steel sheets in Western Europe. Seminar on the economic and technological aspects of the protection of steel against corrosion
United Nations - Economic commission for Europe, Genf, Schweiz, 7.-11.5. 1984.
- /2/ HRBÁČEK, P.: Rozbor podmínek vzniku zmetků při tažení tenkých plechů při výrobě automobilu, Diplomová práce, VŠST Liberec, 1986.
- /3/ HASIL, F.: Kovové povlaky. In Sborník "Technologie úprav a ochrany proti korozi", Dům techniky ČS VTS Praha, 1984.
- /4/ ALBRECHT, J., aj.: Stav techniky při výrobě žárových povlaků. Stahl und Eisen, 1987, č.21, s.31-37.
- /5/ ISHIKARA, K., aj.: Moderní linka firmy Sumitomo pro elektrolytické pozinkování pásů. Iron and Steel Engineer, 1984, č.12, s.28-34.
- /6/ JASOVSKÝ, F., aj.: Použitie pozinkovaného plechu pre výroby náročnou tváriteľnosťou. Hutnícké listy, 1985, č.1, s.19-25.
- /7/ ISHIHARA, S., aj.: Transactions ISIJ, 23, 1983, č.11, s.897-912
- /8/ KOENITZER, J., aj.: Stahl und Eisen, 104, 1984, č.8, s.43-48.
- /9/ PASTRŇÁK, Z.-PIVODA, P.: Výhledy výroby plechů s povrchovou pravou pro karoserie osobních automobilů. Hutnícké listy, 1986, č.2, s.93-101.

- /10/ PIVODA,P.-PASTRŇÁK,Z.: Vývoj povrchové úpravy plechů pro karoserie automobilů. Koroze a ochrana materiálu, 1986, č.2, s.33-40.
- /11/ NEUMANN,H.: Odporová svařitelnost ocelových plechů s povlaky na bázi zinku a slitin zinku. VŠST Liberec, 1989.
- /12/ ILKOVIČ,D.: Fyzika II. SNTL, Praha, 1973.
- /13/ DIETZ,R.: Der Korrosionsschutz am Pkw unter besonderer Berücksichtigung des Zinks. Blech Rohre Profile, 37, 1990, č.1, s.38-42.
- /14/ DIETZ,R.: Der Korrosionsschutz am Pkw unter besonderer Berücksichtigung des Zinks. Blech Rohre Profile, 37, 1990, č.2, s.94-97.
- /15/ FERGUSON,N.T.: Multizicrox - zlepšený vícevrstvý elektrolyticky pozinkovaný ocelový plech. Iron and Steel Engineer, 64, 1987, č.6, s.35-39.
- /16/ SAMWAYS,N.L.: Linka pro elektrolytické pozinkování pásů s roční kapacitou 700 000 t firmy Double Eagle. Iron and Steel Engineer, 63, 1986, č.7, s.25-30.
- /17/ HERINGER,H.K.: Blech, Rohre, Profile, 25, 1978, č.12, s.613-616.
- /18/ HERINGER,H.K.: Sheet Metal Industries, 1979, č.10, s.898-905.
- /19/ MIURA,N. aj.: Transactions ISIJ, 23, 1983, č.11, s.913-922.
- /20/ HIDEJIRO,A.: Nipon Steel Technical Report, 1981, č.18, s.72-91.
- /21/ VELES,P.: Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov. ALFA/SNTL, Praha 1985.

- /22/ HUMAYUN, A.: Roll-forming of prepainted metal-coated sheet steels. Sheet Metal Industries, 1987, č.5, s.218-220.
- /23/ JASOVSKÝ, F.-ALEXY, M.: Výroba a vlastnosti plechov s povlakom ferozink. In: Zborník V. vedeckotechnická konferencia pri príležitosti 30.výročí VSŽ, Košice 1989, s.193-205.
- /24/ 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, VŠST Liberec, 1989.
- /25/ Zinc Coated Steel Sheet. Second International Conference on Zinc Coated Steel Sheet, (Sborník z konference v Římě 1988), Zinc Development Association, 1989.
- /26/ ŠEJNOHOVÁ, J.: Vliv podmínek přetváření na vlastnosti povrchově upravených tenkých plechů. Diplomová práce, VŠST Liberec, 1989.
- /27/ BLAŠČÍK, F.-POLÁK, K.: Teória tvárnenia. ALFA/SNTL, Praha, 1985.
- /28/ HULÍNSKÝ, V.-JUREK, K.: Zkoumání látek elektronovým paprskem. SNTL Praha, 1982.
- /29/ HRIVNÁK, I.: Elektronová mikroskopia ocelí. VEDA Bratislava, 1986.
- /30/ PUŠKÁR, A.: Medzné stavy materiálov a súčastí. VEDA, Bratislava, 1989.
- /31/ PLUHAŘ, J.-PUŠKÁR, A.-KOUTSKÝ, J.-MACEK, K.-BENEŠ, V.: Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu. SNTL, Praha, 1987.
- /32/ JEŽEK, J.-VOBOŘIL, J.: Elektronová metalografie jemnozrnných fází. Academia, 1972.

- 33/ KOUTSKÝ, J. - JANDOŠ, F. - KAREL, V.: Lomy ocelových částí. SNTL, Praha, 1976.
- 34/ JANDOŠ, F.: Úvod do problematiky hodnocení lomových ploch. (Sborník "Lomy ocelových výrobků"), Plzeň 1978.
- 35/ Fraktografia '87, 9. celoštátna fraktografická konferencia (Sborník z konference - Tatranské Matliare 1.- 3.12.1987 I. a II. díl), Dom techniky ČSVTS, Žilina, 1987.
- 36/ Fraktografia '89, 10. celoštátna fraktografická konferencia (Sborník z konference - Zlatá Idka 10.- 12.10.1989 I. a II. díl), Dom techniky ČSVTS, Košice, 1989.
- 37/ KEELER, S.P. : Predicting forming limits. Understanding sheet-metal formability, part 4. Sheet Metal Industries, 48, 1971, č.8.
- 38/ TOMLENOV, A.D. : Plastičeskoje naprjažennoe sostojanie i ustojčivosť processa vytažki detalej složnoj formy. In.: Voprosy obrabotki metallov davleniem, AN SSSR, 1959.
- 39/ TMĚJ, J. - BUCHAR, Z. - MIKEŠ, V. - MORAVCOVÁ, Z. : Aplikace experimentální metody KPT VŠST Liberec při určování diagramu mezních přetvoření plechu KOHAL EXTRA. Výzkumná zpráva. VŠST Liberec, 1984.
- 40/ BUCHAR, Z.: Diagramy mezních přetvoření tenkých hlubokotažných plechů. Kandidátská disertační práce, VŠST Liberec, 1987.
- 41/ TMĚJ, J. a kol.: Modelování rovinných stavů napjatosti a analýza přetvoření ve vztahu k tažení výlisků z povrchově upravených plechů. Zpráva úkolu III-1-6/2-3, VŠST Liberec, 1987.

- /42/ TMĚJ, J. a kol. : Mezní stavy při zpracování povrchově upravených tenkých ocelových plechů tažením. Zpráva úkolu III-1-6/2-3, VŠST Liberec, 1990.
- /43/ TMĚJ, J. - HRBÁČEK, P.: Využití diagramu mezních přetvoření při tažení karosářských výlisků. In "Sborník vědeckých prací VŠST v Liberci", sv.XXI, 1988.
- /44/ NEJEDLÝ, P.: Vznik trhlin z hlediska mechanismu plastického lomu. Diplomová práce, VŠST Liberec, 1986.
- /45/ BLAŽEJ, Š. - ŠLESÁR, M.: Mechanizmy tvárneho lomu. In: "Predikce mechanických vlastností na základě strukturních charakteristik.", Nové Město na Moravě, 1985.
- /46/ BUMBÁLEK, B.-ODVODY, V.-OŠŤÁDAL, B.: Drsnost povrchu. SNTL, Praha, 1989.
- /47/ MACHEK, V.: Tenké ocelové pásy a plechy válcované zastudena. SNTL, Praha, 1987.
- /48/ GRICOVÁ, M.: Metody analýzy materiálů. ES ČVUT Praha, 1989.
- /49/ HŮLEK, Z.: Metody studia povrchů pevných látek. ES ČVUT Praha, 1983.
- /50/ HÁTLE, J. - LIKEŠ, J.: Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. SNTL Praha, 1972.
- /51/ PRŮŠEK, J. a kol.: Hodnocení jakosti a účinnosti protikoročních ochran strojírenských výrobků. SNTL, Praha, 1985.
- /52/ TMĚJ, J. - MIKEŠ, V. - BUCHAR, Z.: Mezní stavy při tažení výlisků. Strojírenská výroba, 37, 1989, č. 10, s. 50-56.
- /53/ ČSN 10 0250, 52, 53: Statistické metody v průmyslové praxi.

- /54/ Fraktografia '91, 11. fraktografické dni Vojtecha Karela (Sborník z konference - Herľany) 1.- 3.10. 1991, Dom techniky ČSVTS, Košice, 1991.
- /55/ TMĚJ, J. - MIKEŠ, V. - HRBÁČEK, P.: Primäre Bewertung der Integrität von Blechoberflächen mit Metallüberzug, 8. vědecké sympozium TU Dresden - VŠST Liberec, 1991.
- /56/ ANDĚL, J.: Matematická statistika, SNTL, Praha, 1978.
- /57/ HRBÁČEK, P.: Charakteristika mezních stavů při tváření povrchově upravených plechů, /písemný referát k odborné zkoušce/, VŠST Liberec, říjen 1990.
- /58/ BENEŠ, F a kol.: Oceli, I. Zkušební metody a jakostní charakteristiky, sv.2, Praha, 1982.
- /59/ HEBÁK, P. - HUSTOPECKÝ, J.: Průvodce moderními statistickými metodami. SNTL, Praha, 1990.
- /60/ PROCHÁZKA, V. - SEDLÁČEK, V.: Měření mikrotvrdosti tenkých otěruvzdorných povlaků. Kovové materiály, 28, 1990, č.4, s. 457-469.
- /61/ Plechy v automobilovom priemysle, (Zborník z medzinárodnej konferencie), Tatranské Matliare, 26. a 27.11 1991.
- /62/ ČSN 42 0310 Zkouška tahem
- /63/ ČSN 42 0435 Skúška súčiniteľa normálovej anizotropie
- /64/ ČSN 42 0436 Skúška exponenta deformačného spevnenia
- /65/ ČSN 42 0406 Zkouška hloubením plechů a pásů podle Erichsena.
- /66/ ČSN 01 4451 Drsnost povrchu, Základní charakteristiky a číselné hodnoty.
- /67/ ČSN 03 8156 Kovové a nekovové anorganické povlaky, Destruktivní metody měření tloušťky.

/68/ ČSN 03 8162 Elektrolyticky vyloučené kovové povlaky,

Metoda stanovení vnitřního napětí.

/69/ ČSN 03 8159 Měření mikrotvrdosti kovových povlaků.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Ing. Petr Hrbáček

CHARAKTERISTIKY MEZNÍCH STAVŮ PŘI TVÁŘENÍ OCELOVÝCH
PLECHŮ S KOVOVÝMI POVLAKY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Kandidátská disertační práce

svazek 2

příloha k U 267

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Číslo a název vědního oboru

23-07-9 Strojírenská technologie

Odborné vedení: Prof. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Liberec, listopad 1991

O B S A H :

strana

PŘÍLOHA 1	1-13
PŘÍLOHA 2	1-13
PŘÍLOHA 3	1- 6

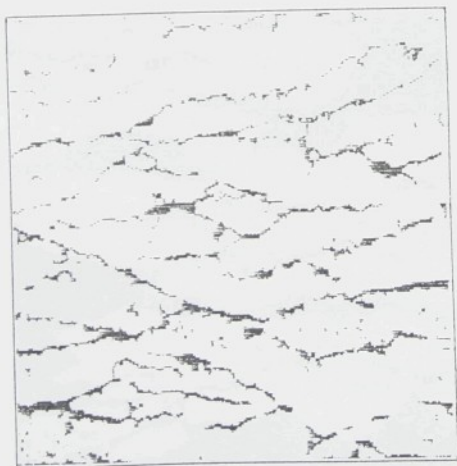
VYBRANÉ FOTOGRAFIE POVLAKU FZ S DATOVÝMI SOUBORY



REM11.dat, PTR = 4.10%



Obr.[1] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.313, \varphi_1 = 0.051, \text{REM } 500\times$



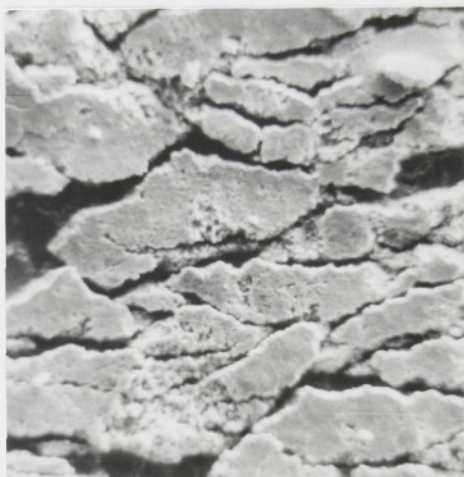
REM12.dat, PTR = 10.94%



Obr.[2] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.313, \varphi_1 = 0.163, \text{REM } 500\times$



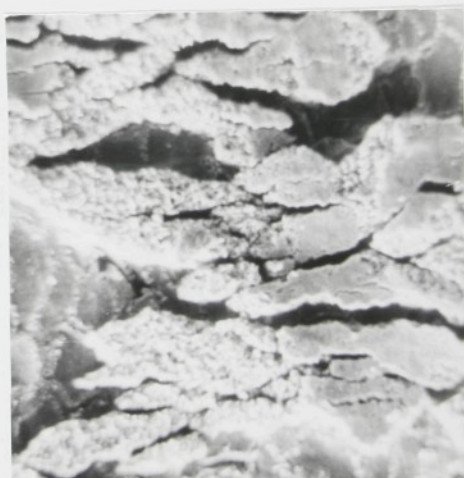
REM13.dat, PTR = 19.18%



Obr.[3] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.313$, $\varphi_t = 0.277$, REM 500x



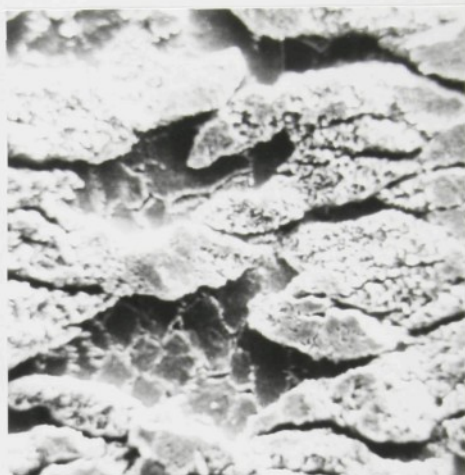
REM14.dat, PTR = 34.15%



Obr.[4] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.313$, $\varphi_t = 0.479$, REM 500x



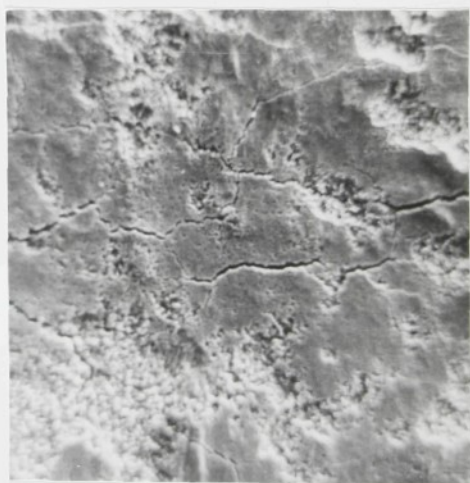
REM15.dat, PTR = 34.30%



Obr.[5] - Povlak FZ,
 $m_p = -0.313$, $\varphi_1 = 0.496$, REM 500x



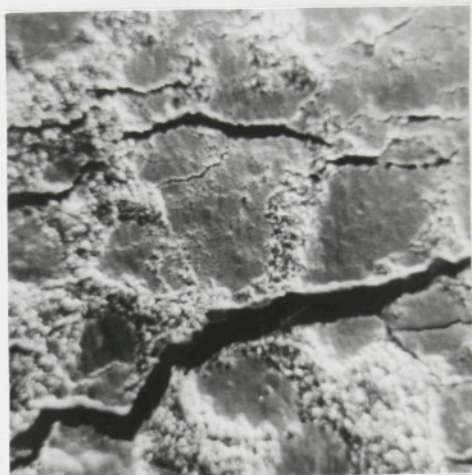
REM21.dat, PTR = 2.11%



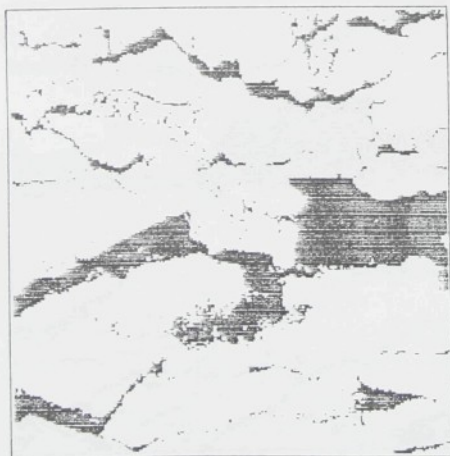
Obr.[6] - Povlak FZ,
 $m_p = -0.122$, $\varphi_1 = 0.047$, REM 500x



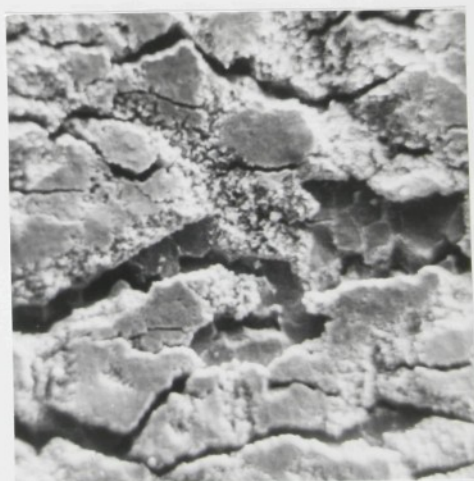
REM22.dat, PTR = 10.41%



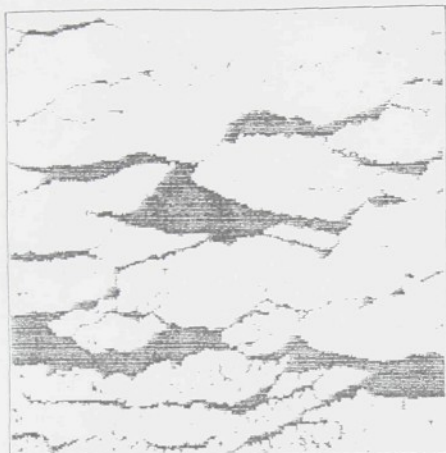
Obr.[7] - Povlak FZ,
 $m_p = -0.122$, $\varphi_t = 0.154$, REM 500x



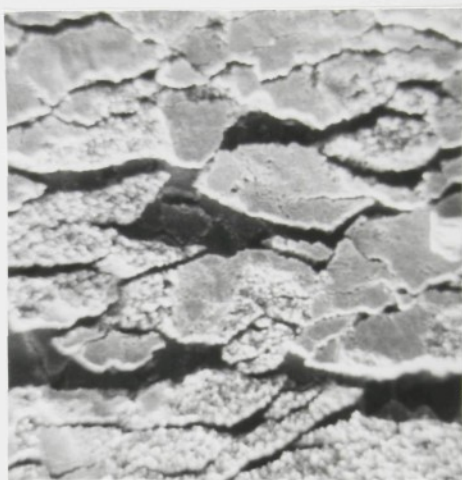
REM23.dat, PTR = 20.08%



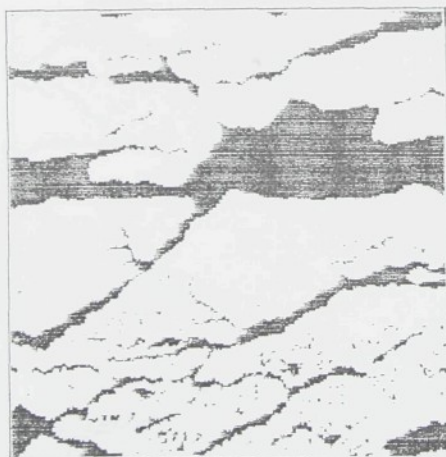
Obr.[8] - Povlak FZ,
 $m_p = -0.122$, $\varphi_t = 0.246$, REM 500x



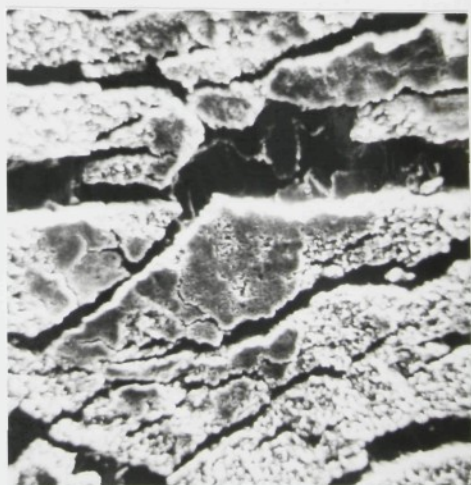
REM24.dat, P_{TR} = 20.67%



Obr.[9] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.122$, $\varphi_1 = 0.343$, REM 500x



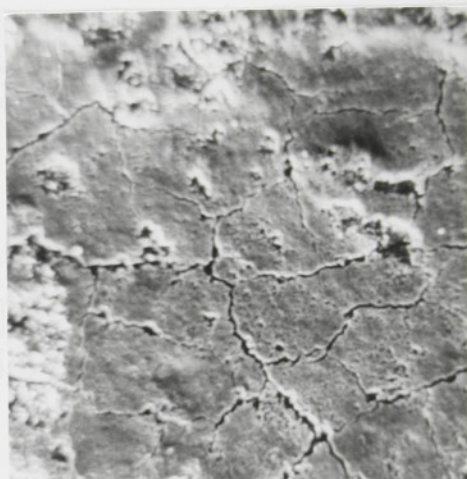
REM25.dat, P_{TR} = 24.06%



Obr.[10] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.122$, $\varphi_1 = 0.434$, REM 500x



REM31.dat, PTR = 3.95%



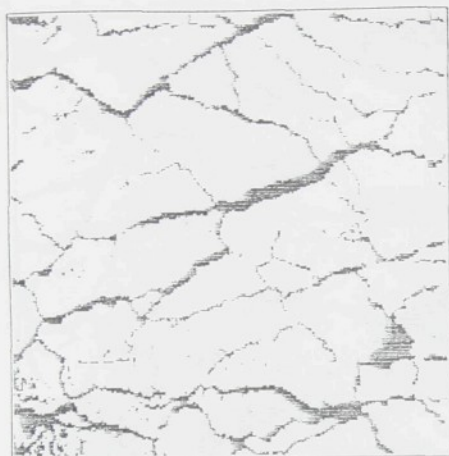
Obr.[11] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.223$, $\varphi_1=0.043$, REM 500x



REM32.dat, PTR = 9.47%



Obr.[12] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.223$, $\varphi_1=0.147$, REM 500x



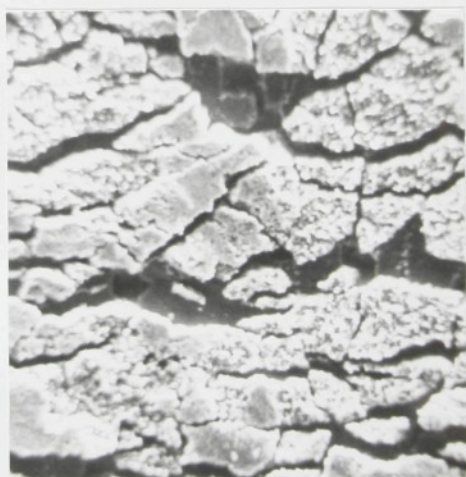
REM33.dat, PTR = 14.74%



Obr.[13] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.223$, $\varphi_1=0.221$, REM 500x



REM34.dat, PTR = 25.92%



Obr.[14] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.223$, $\varphi_1=0.343$, REM 500x



REM35.dat, $P_{TR} = 33.55\%$



Obr.[15] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi}=0.223$, $\varphi_1=0.417$, REM 500x



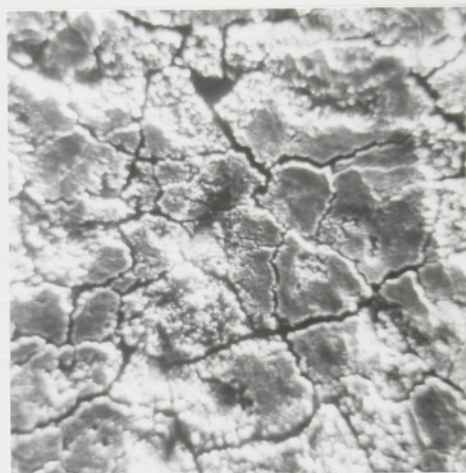
REM41.dat, $P_{TR} = 2.81\%$



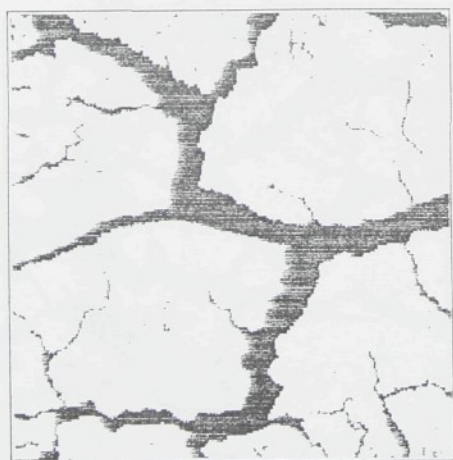
Obr.[16] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi}=0.567$, $\varphi_1=0.072$, REM 500x



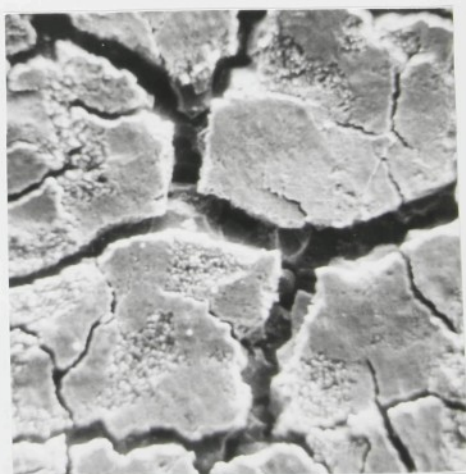
REM42.dat, $P_{TR} = 10.55\%$



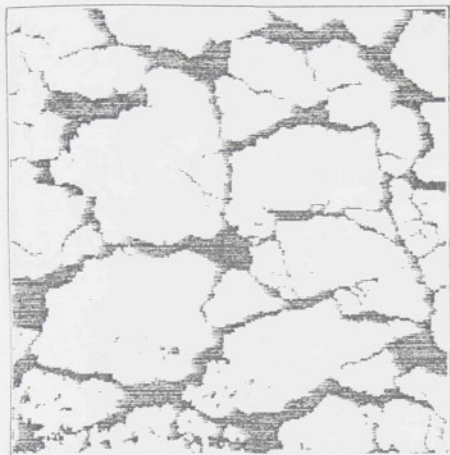
Obr.[17] - Povlak FZ,
 $m_{\phi}=0.567$, $\phi_1=0.165$, REM 500x



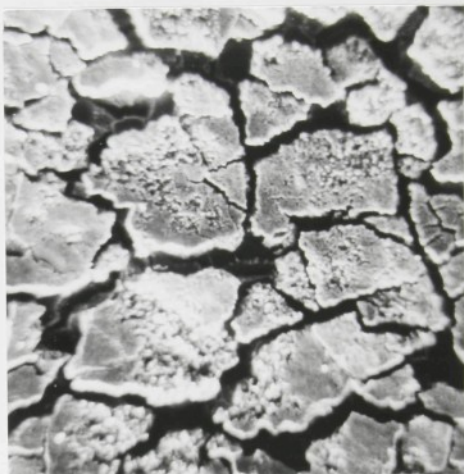
REM43.dat, $P_{TR} = 19.26\%$



Obr.[18] - Povlak FZ,
 $m_{\phi}=0.567$, $\phi_1=0.288$, REM 500x



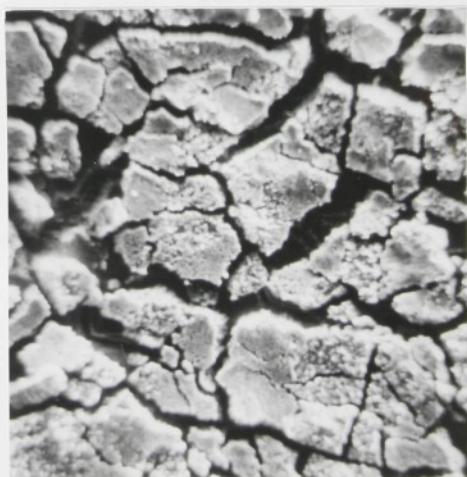
REM44.dat, PTR = 25.14%



Obr.[19] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.567$, $\varphi_1=0.408$, REM 500x



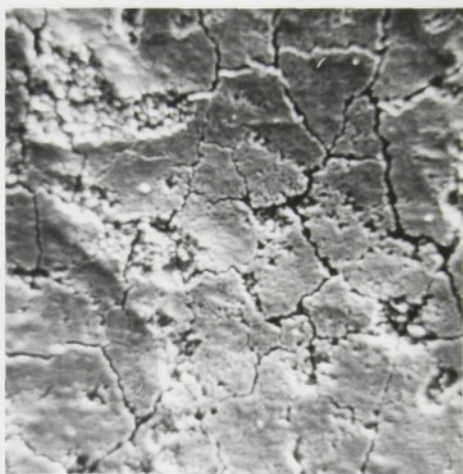
REM45.dat, PTR = 26.83%



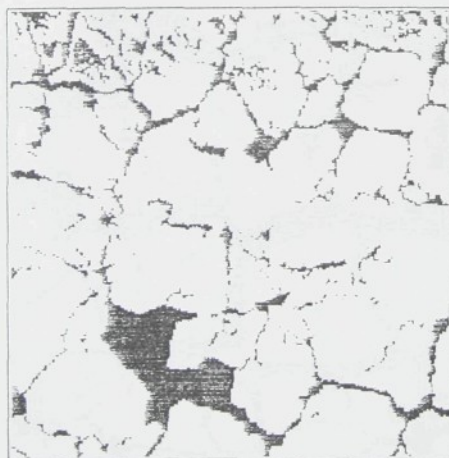
Obr.[20] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.567$, $\varphi_1=0.495$, REM 500x



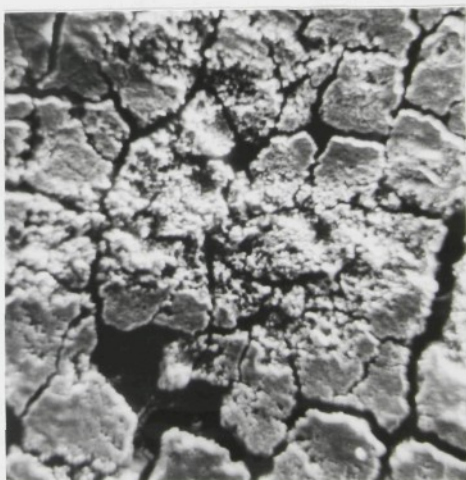
REM51.dat, PTR = 5.47%



Obr.[21] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.936$, $\varphi_1=0.063$, REM 500x



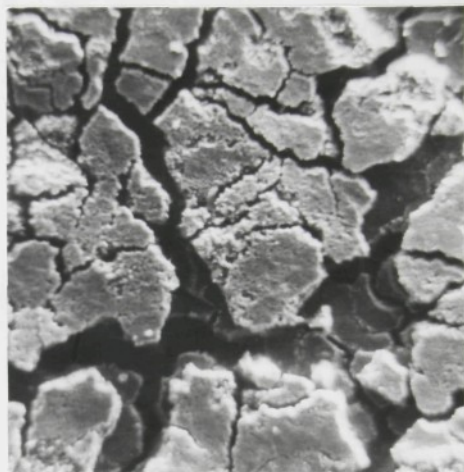
REM52.dat, PTR = 17.54%



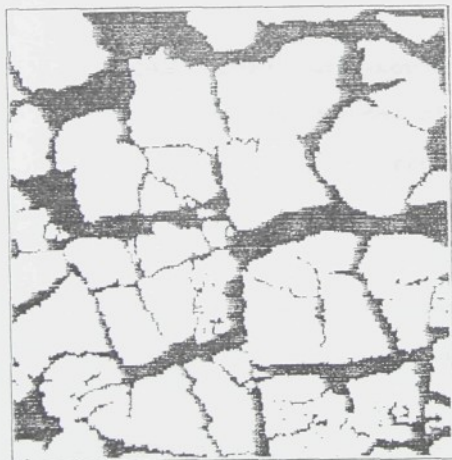
Obr.[22] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.936$, $\varphi_1=0.206$, REM 500x



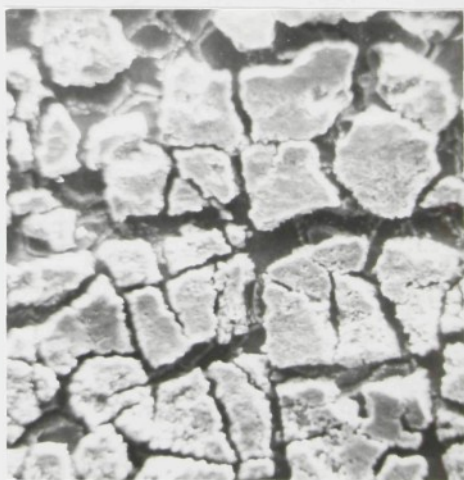
REM53.dat, PTR = 28.63%



Obr.[23] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.936$, $\varphi_1=0.375$, REM 500x



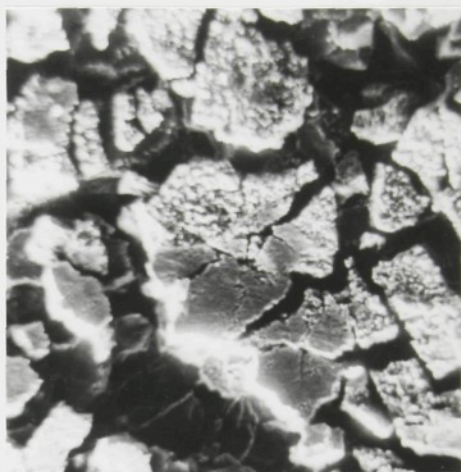
REM54.dat, PTR = 31.33%



Obr.[24] - Povlak FZ,
 $m_\varphi=0.936$, $\varphi_1=0.480$, REM 500x



REM55.dat, $P_{TR} = 41.76\%$



Obr.[25] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.775$, REM 500x

Způsob označování vzorků : např. : REM23.dat

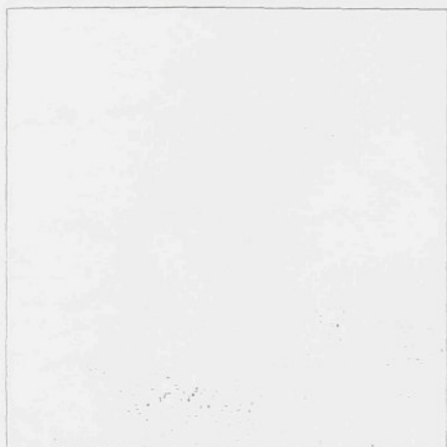
2 - deformační stopa čísla (1 až 5) /obr. 9.6a/

pro 1.. $m_{\varphi} = -0.313$
 2.. $m_{\varphi} = -0.122$
 3.. $m_{\varphi} = 0.223$
 4.. $m_{\varphi} = 0.567$
 5.. $m_{\varphi} = 0.936$

3 - intenzita přetvoření φ_1 čísla (1 až 5) se

vzrůstající intenzitou přetvoření

VYBRANÉ FOTOGRAFIE POVLAKU EZ S DATOVÝMI SOUBORY



SEM11.dat, Ptr = 0.52%



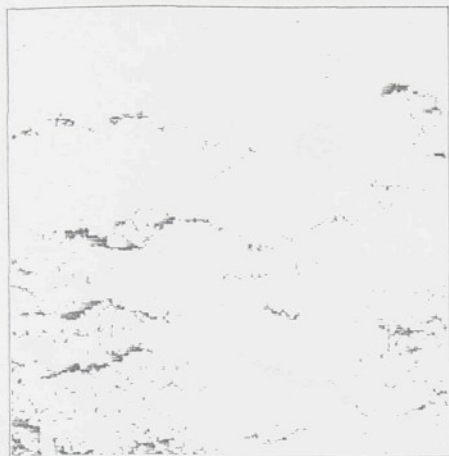
Obr. [1] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.313$, $\varphi_1 = 0.061$, REM 500x



SEM12.dat, Ptr = 2.10%



Obr. [2] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.313$, $\varphi_1 = 0.150$, REM 500x



SEM13.dat, PTR = 5.18%



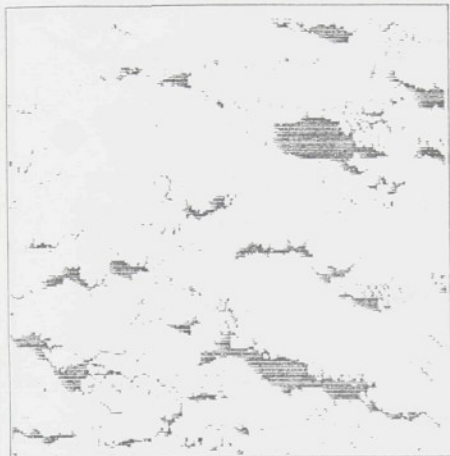
Obr.[3] - Povlak EZ,
 $m_q = -0.313$, $\varphi_1 = 0.308$, REM 500x



SEM14.dat, PTR = 5.54%



Obr.[4] - Povlak EZ,
 $m_q = -0.313$, $\varphi_1 = 0.380$, REM 500x



SEM15.dat, $P_{TR} = 11.32\%$



Obr.[5] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.313, \varphi_1 = 0.528, REM\ 500\times$



SEM21.dat, $P_{TR} = 0.65\%$



Obr.[6] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.122, \varphi_1 = 0.037, REM\ 500\times$



SEM22.dat, $P_{TR} = 2.79\%$



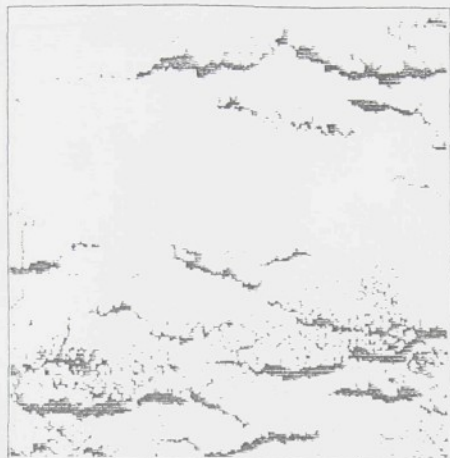
Obr.[7] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.122, \varphi_1 = 0.139, REM\ 500\times$



SEM23.dat, $P_{TR} = 9.33\%$



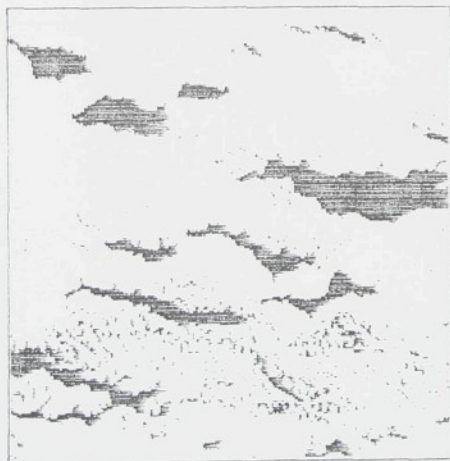
Obr.[8] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.122, \varphi_1 = 0.250, REM\ 500\times$



SEM24.dat, PTR = 12.12%



Obr.[9] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.122, \varphi_1 = 0.361, \text{REM } 500\times$



SEM25.dat, PTR = 16.39%



Obr.[10] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.122, \varphi_1 = 0.441, \text{REM } 500\times$



SEM31.dat, PTR = 1.07%



Obr.[11] - Povlak EZ,
 $m_p=0.223$, $\varphi_1=0.037$, REM 500x



SEM32.dat, PTR = 1.27%



Obr.[12] - Povlak EZ,
 $m_p=0.223$, $\varphi_1=0.100$, REM 500x



SEM33.dat, PTR = 3.09%



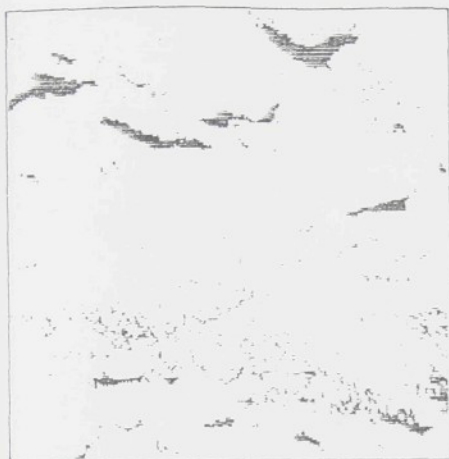
Obr.[13] - Povlak EZ,
 $m_p=0.223$, $\varphi_1=0.161$, REM 500x



SEM34.dat, PTR = 4.66%



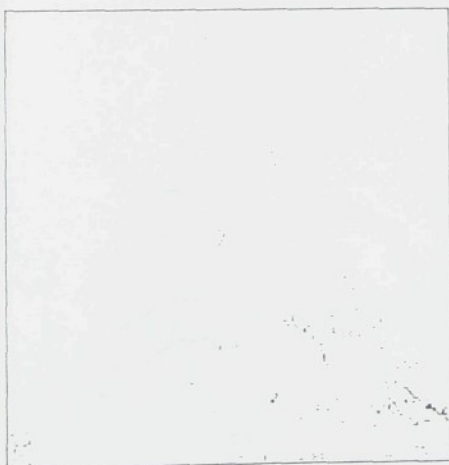
Obr.[14] - Povlak EZ,
 $m_p=0.223$, $\varphi_1=0.279$, REM 500x



SEM35.dat, PTR = 6.54%



Obr.[15] - Povlak EZ,
m_p=0.223, φ₁=0.346, REM 500x



SEM41.dat, PTR = 0.53%



Obr.[16] - Povlak EZ,
m_p=0.567, φ₁=0.037, REM 500x



SEM42.dat, PTR = 1.99%



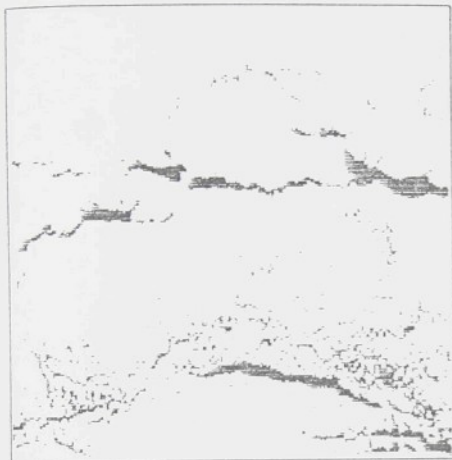
Obr.[17] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.567$, $\varphi_1=0.098$, REM 500x



SEM43.dat, PTR = 3.43%



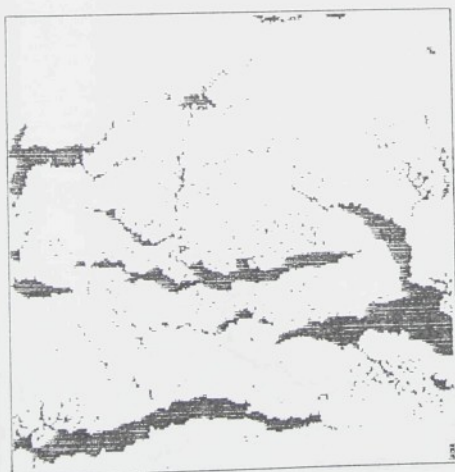
Obr.[18] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.567$, $\varphi_1=0.201$, REM 500x



SEM44.dat, PTR = 10.16%



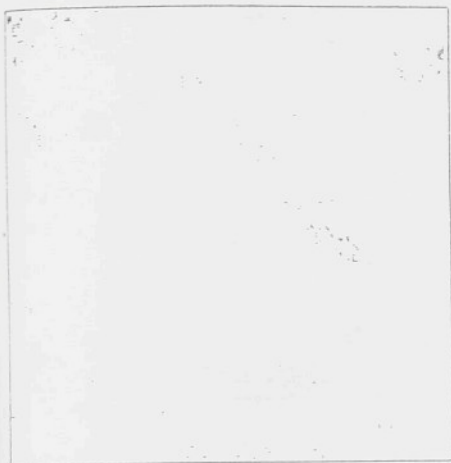
Obr.[19] - Povlak EZ,
 $m_\varphi=0.567$, $\varphi_1=0.298$, REM 500x



SEM45.dat, PTR = 14.02%



Obr.[20] - Povlak EZ,
 $m_\varphi=0.567$, $\varphi_1=0.370$, REM 500x



SEM51.dat, PTR = 0.54%



Obr.[21] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.041$, REM 500x



SEM52.dat, PTR = 1.95%



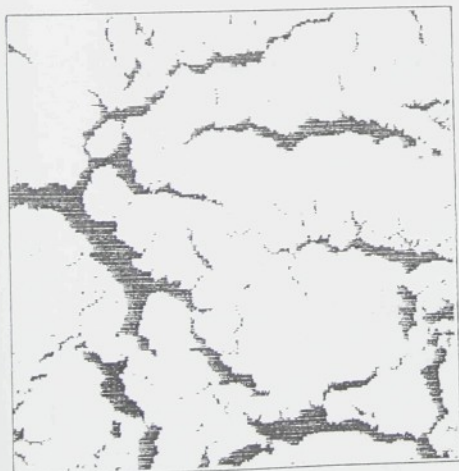
Obr.[22] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.108$, REM 500x



SEM53.dat, PTR = 5.18%



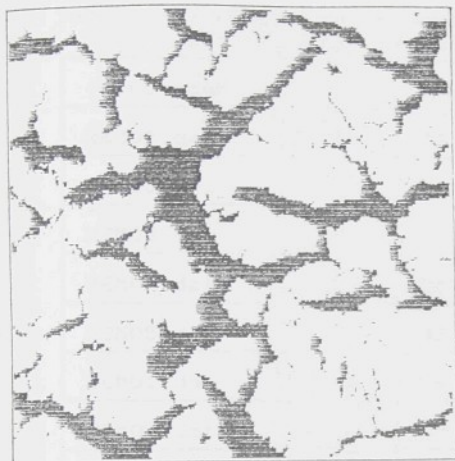
Obr.[23] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.234$, REM 500x



SEM54.dat, PTR = 16.24%



Obr.[24] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.375$, REM 500x



SEM55.dat, Prr = 28.22%



Obr.[25] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi}=0.936$, $\varphi_1=0.548$, REM 500x

Způsob označování vzorků : např.: SEM23.dat

2 - deformační stopa čísla (1 až 5) /obr. 9.6b/

pro 1.. $m_{\varphi} = -0.313$
 2.. $m_{\varphi} = -0.122$
 3.. $m_{\varphi} = 0.223$
 4.. $m_{\varphi} = 0.567$
 5.. $m_{\varphi} = 0.936$

3 - intenzita přetvoření φ_1 čísla (1 až 5) se
 vzrůstající intenzitou přetvoření

VYBRANÉ FOTOGRAFIE POVLAKU FZ, EZ S DATOVÝMI SOUBORY
PŘI NAMÁHÁNÍ JEDNOOŠÝM TAHEM - příloha ke kap.9.2.6

Tab. 1 - Vybrané datové soubory pro povlaky FZ, EZ
při namáhání jednoošým tahem

jméno soub.	ψ_i	práh	m_φ	PTR [%]
REM01.dat	0.056	32	-0.500	2.58
REM02.dat	0.154	30	-0.500	5.17
REM03.dat	0.201	32	-0.500	9.03
REM04.dat	0.273	32	-0.500	11.19
REM05.dat	0.323	32	-0.500	14.64
SEM01.dat	0.045	18	-0.500	0.54
SEM02.dat	0.130	14	-0.500	1.27
SEM03.dat	0.199	26	-0.500	1.39
SEM04.dat	0.258	24	-0.500	1.57
SEM05.dat	0.274	22	-0.500	1.69

Způsob označování vzorků : např. : REM03.dat

0 - deformační stopa

pro 0.. $m_\varphi = -0.500$

3 - intenzita přetvoření ψ_i čísla (1 až 5) se

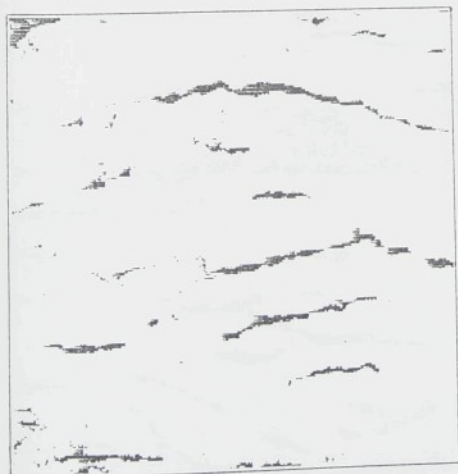
vzrůstající intenzitou přetvoření



REM01.dat, $P_{TR} = 2.58\%$



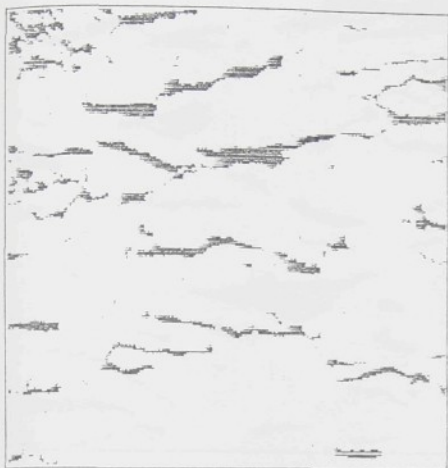
Obr. [1] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.500, \varphi_1 = 0.056, REM\ 500\times$



REM02.dat, $P_{TR} = 5.17\%$



Obr. [2] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.500, \varphi_1 = 0.154, REM\ 500\times$



REM03.dat, PTR = 9.03%



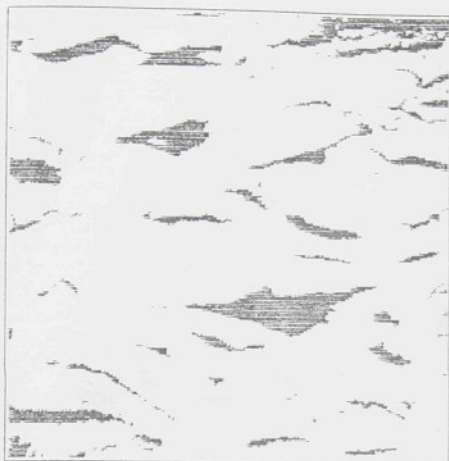
Obr.[3] - Povlak FZ,
 $m_\varphi = -0.500$, $\varphi_1 = 0.201$, REM 500x



REM04.dat, PTR = 11.19%



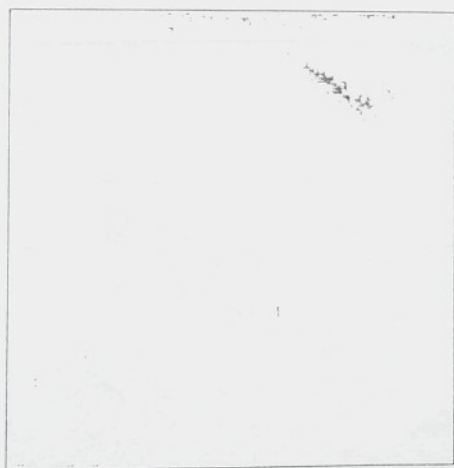
Obr.[4] - Povlak FZ,
 $m_\varphi = -0.500$, $\varphi_1 = 0.273$, REM 500x



REM05.dat, PTR = 14.64%



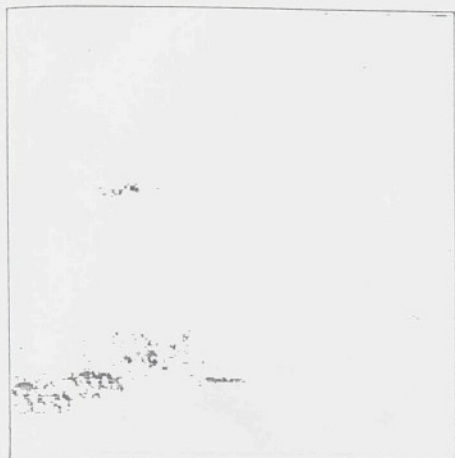
Obr.[5] - Povlak FZ,
 $m_{\varphi} = -0.500$, $\varphi_1 = 0.323$, REM 500x



SEM01.dat, PTR = 0.54%



Obr.[6] - Povlak EZ,
 $m_{\varphi} = -0.500$, $\varphi_1 = 0.045$, REM 500x



SEM02.dat, PTR = 1.27%



Obr.[7] - Povlak EZ,
 $m_y = -0.500$, $\varphi_1 = 0.130$, REM 500x



SEM03.dat, PTR = 1.39%



Obr.[8] - Povlak EZ,
 $m_y = -0.500$, $\varphi_1 = 0.199$, REM 500x



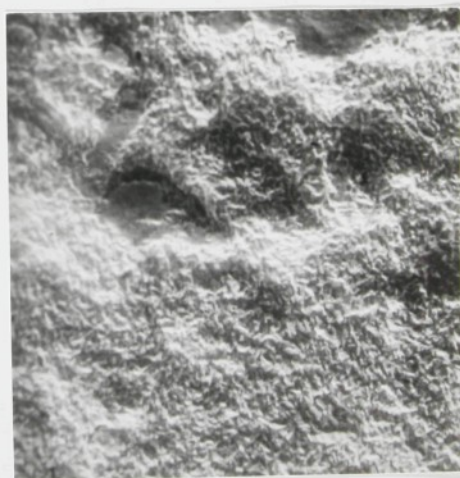
SEM04.dat, PTR = 1.57%



Obr.[9] - Povlak EZ,
 $m_p = -0.500$, $\varphi_1 = 0.258$, REM 500x



SEM05.dat, PTR = 1.69%



Obr.[10] - Povlak EZ,
 $m_p = -0.500$, $\varphi_1 = 0.274$, REM 500x