VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

LEPTANÉ POVRCHOVÉ DEFORMAČNÍ SÍTĚ

Jiří Koudelka

KPT - 078

Vedoucí práce: ing. Viktor Mikeš, Csc. KPT

Konzultant: ing. Zdeněk Buchar KPT

Rozsah práce a příloh

Počet stran 47

Počet příloh

a tabulek 3

Počet obrázků 19

Počet výkresů 0

Počet modelů nebo

jiných příloh 0

Datum 27. 5. 1983

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní

Katedra: tváření a plastů Školní rok: 1982/83

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro s. Jiřího Koudelku

obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Leptané povrchové deformační sítě

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se se způsoby vytváření povrchových deformačních sítí.
2. Navrhněte optimální způsob vytváření leptaných sítí v podmínkách KPT, včetně příslušných zařízení a uspořádání pracoviště.
3. Navrhněte způsob proměřování deformačních sítí a určete přesnost zvolené metody vytváření sítí.
4. Zhodnoťte přednosti a zápory leptané sítě a naznačte její praktické využití.

V 125/83 S

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

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962 - Věstník MŠK XVIII, částka 24 ze dne 31.8.1962 §19 odst. 2 č. 115/53 Sb

KPT-TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Helas, P. : Metodika stanovení diagramů mezních přetvoření. DP, 1982 VŠST Liberec

2. Drastík, F. a kol. : Plastometry a tvařitelnost kovů SNTL, Praha 1977

3. Neubauer, A. - Melle, W. : Messnetzanalyse an Blechformiteilen aus nichrostenden Stahlfeinblechen. Fertigungstechn. und Betr, 31, č. 4, 1981, s. 229 - 232, 294

Vedoucí diplomové práce: Ing. Viktor Mikeš CSc.

Konzultant Ing. Zdeněk Buchar

Datum zadání diplomové práce: konečné zadání 1. 10. 1982

Termín odevzdání diplomové práce: 27.5. 1983

L. S.

Doc.Ing.Jaroslav Imej, CSc.
Vedoucí katedry

Doc.RNDr.Bohuslav Stříž CSc.
Děkan

V Liberci dne 28. 9. 10 82

" Místo-přísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury"

V Liberci, dne 27. 5. 1983

O B S A H

str.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 6

1. ÚVOD 7

2. ZPŮSOBY NANÁŠENÍ DEFORMAČNÍCH SÍTÍ 9

2.1. Potiskování 9

2.1.1. Sítotisk 9

2.1.2. Ofsetový tisk 9

2.1.3. Gumostereotypie 10

2.2. Ryté sítě 10

2.3. Vyjiskřování 11

2.4. Fotografická metoda 11

2.5. Sítě vytvářené fotograficky a leptáním 12

2.6. Elektrochemické leptání 13

3. VOLBA TVARU A VELIKOSTI SÍTĚ 16

4. POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ A NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ 22

4.1. Pracoviště pro nanášení a sušení světlocitlivé emulse 22

4.2. Pracoviště pro osvětlování vzorků 23

4.3. Pracoviště pro vyvolávání, leptání a obarvování .. 23

5. NANÁŠENÍ SÍTĚ NA OCELOVÝ PLECH 26

5.1. Příprava vzorku 26

5.2. Nanesení světlocitlivé emulse 27

5.3. Expozice 29

5.4. Vyvolání 29

5.5. Leptání 31

5.6. Barvení 32

6. NANÁŠENÍ SÍTĚ NA HLINÍK A MOSAZ 33

6.1. Nanášení sítě na hliníkový plech 34

6.2. Nanášení sítě na mosazný plech 34

7. VLIVY VYSKYTUJÍCÍ SE PŘI ZPRACOVÁNÍ SCR 37
7.1. Vliv teploty žíhání světlocitlivé emulse na mechanické vlastnosti ocelového plechu KOHAL 20 ... 37
7.2. Vliv délky osvitu 39
7.3. Vliv doby leptání 40
8. ZPŮSOB PROMĚŘOVÁNÍ 42
9. HODNOCENÍ METODY 44
10. ZÁVĚR 45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ε	.....	absolutní chyba
n	.....	počet měření
t	.....	tabulková hodnota /2/
KPT	.....	Katedra tváření a plastů
UF	.....	ultrafialový
KCH	.....	Katedra chemie a zušlechťování
SCR	.....	světlocitlivý roztok
ss	.....	stejnosměrný
H_2O	.....	destilovaná voda
CrO_3	.....	kysličník chromový
NaF	.....	fluorid sodný
H_3PO_4	.....	kyselina fosforečná
HNO_3	.....	kyselina dusičná
NaOH	.....	hydroxid sodný
NH_3	.....	amoniak
$Cu(NO_3)_2$	.....	dusičnan mědnatý
Rm	.....	mez v pevnosti v tahu
Ax	.....	tažnost pro zkoušku tahem

1. ÚVOD

V současném období rozvoje našeho národního hospodářství, má rozhodující vliv na budování rozvinuté socialistické společnosti vytvoření dokonalé materiálně technické základny.

Pro strojírenství, jakožto základní článek dynamického rozvoje československé ekonomiky, to především znamená důsledné využívání nejproduktivnějších a nejefektivnějších technologií, které vycházejí z nejnovnějších poznatků vědy. Mezi tyto technologie můžeme bezesporu zařadit tváření, zejména pak plošné tváření kovů, které je charakterizováno vysokou produktivitou práce, minimálním odpadem a značnou členitostí výlisků. Velmi výrazně roste podíl technologie tažení výlisků nepravidelných tvarů. Aby se tento technologický proces ještě zefektivnil, aby bylo dosaženo optimálních výsledků, je potřeba odstranit na minimum příčiny neopravitelných zmetků. Proto je nutné pečlivě sledovat plastické vlastnosti kovů. To ovšem znamená a vyžaduje mít k dispozici vhodné zkušební metody a vhodná měřící zařízení. K tomuto účelu se už řadu let s úspěchem využívá metoda deformačních sítí. Deformační sítě, které se skládají z jednoduchých, jednoznačně definovaných geometrických elementů, se nanášejí na rovné přístřihy plechu a po jejich tváření se vyhodnocují. Pomocí nich můžeme snadno stanovit přetvoření a na základě mezního přetvoření můžeme vytvořit diagramy mezního přetvoření, což je jeden ze způsobů vyhodnocení stupně využití plasticity. Znalost těchto diagramů nám pomůže zabránit vzniku trhlin na výliscích, které jsou vlastně příčinou zmetkovitosti v lisovnách. Tato problematika se týká především výrobků vznikajících při hlubokém tažení. Vysoká náročnost této

technologie s sebou přináší i zvýšené nároky na použité deformační sítě. Musí se dbát na to, aby se nanesený rastr vyznačoval dokonalou adhezí a dobrou čitelností. Tyto požadavky plně uspokojuje leptanou síť. Pro vytvoření takovéto sítě se osvědčila fotografická leptací metoda, která dovoluje použití dostupných fotografických materiálů vyráběných výhradně v ČSSR.

Cílem této práce je navržení metodiky nanášení povrchových deformačních sítí fotografickou leptací metodou. Byl kladen důraz na to, aby navržená metodika co nejlépe vyhovovala podmínkám praxe.

2. ZPŮSOBY NANÁŠENÍ DEFORMAČNÍCH SÍTÍ

2.1. Potiskování

2.1.1. Sítotisk

Jednoduché pomůcky pro ruční tisk jsou průhledná folie s přesně narýsovanou sítí zvoleného typu a velikostí, rámeček s jemnou síťkou. Po napnutí tkaniny na rámeček se oka tkaniny slepí 8 % roztokem kyseliny mravenčí a fotograficky se kresba přenese na emulsi síťky. V neosvětlených místech se citlivá vrstva síťky fotochemicky zpracuje tak, aby obrysy kresby propouštěly barvu roztíranou na rubu síťky.

Při použití sítotisku se obvykle setkáváme s vadami potisku způsobenými špatnou technikou nanášení a roztírání barvy na síťce a posuvem síťky při zvedání. Porušený a nestejný nános barvy může být způsoben znečištěním síta nebo nečistým a nerovným povrchem plechu.

Odolnost proti otěru lze zvyšovat nástřikem tenké vrstvy průhledného nitrolaku.

Potřeby jsou běžně dosažitelné. Potíže jsou pouze s opatřováním vhodné síťky.

2.1.2. Ofsetový tisk

Metoda ofsetového tisku z kovových matric t. zv. suchý ofset. Potřebné zařízení pro ruční manipulaci se skládá ze zinkové matrice, tiskařského válečku a barvou pro ofset. Matrice se běžně vyrábí leptáním po přenesení kresby fotograficky. Při práci nejdříve nalijeme barvu

na rovnou desku. Potom válečkem barvu rovnoměrně rozetřeme na povrch desky. Vrstvu barvy z této desky (většinou skleněné) přeneseme na vyvýšeniny matricové desky očištěným válečkem. Matrici pak obtiskneme na materiál dokonale odmaštěný, který má přiměřenou drsnost povrchu.

Vady, ke kterým může dojít při nanášení, obvykle souvisí se špatnou přípravou barvy a ~~se~~ špatnou technikou přenášení barevné vrstvy tiskařským válečkem.

2.1.3. Gumostereotypie

Základem je použití pryžového razítka ze speciální vrstvené pryže. Vrstva barvy se na razítko přenáší tiskařským válečkem. Kolébavým pohybem se obraz přenáší razítkem na odmaštěný povrch vzorku.

Vady vznikají hlavně použitím nevhodné a nesprávně připravené barvy. Při nesprávném tlaku může snadno docházet k deformaci tisku nebo k rozmáznutí.

Odolnost tisku můžeme zvýšit nastříkáním ochranné vrstvy průhledného laku.

2.2. Ryté sítě

Princip je přemísťování nebo odebírání materiálu z povrchu vzorku. Tvar vrypu je určen tvarem nástroje a jeho pohybem. Správné značení sítí se získá odebráním třísky,nikoliv pouhým vtlačováním nástroje. Tato technika je velmi pracná.

Ryté sítě jsou velmi dobře čitelné. Z hlediska vrubového účinku bylo prokázáno, že vrypy do hloubky 0,015 mm na

povrchu hlubokotažných plechů tloušťky 0,8 mm, neměly zjistitelný vliv na výsledky materiálových i technologických zkoušek (zkouška tahem a hloubením). / 1 /
Chyby mohou nastat jedině následkem nepřesnosti práce a otupením rycího nástroje.

2.3. Vyjiskřování deformačních sítí

Tento způsob využívá zkušeností elektroerozivního obrábění kovů. K vyjiskření slouží elektrody vhodného tvaru se zakončením ve tvaru mezikruží pro kruhové sítě. Operace probíhá ve vaně s petrolejem. Umístění elementu se řídí plošným posuvem ve dvou směrech na sebe kolmých s přesností nastavení vzdálenosti 0,01 mm.
Pracovní podmínky jsou určeny kmitočtem pracovním napětím a proudem.
Použití je při vysoké přesnosti podmíněno velice nákladným zařízením a skutečností, že do vany s petrolejem nelze zpravidla umístit rozměrné vzorky.

2.4. Fotografická metoda

Principem je nanesení emulse citlivé na světlo na povrch vzorku. Po vyvolání získáme kresbu, která je tvořena obnaženým plechem, v místech, která nebyla při exposici osvětlena. Můžeme získat pozitivní i negativní obraz podle toho, jaký obraz jsme použili na průhledném originálu ke kopírování. Samostatné použití fotografické metody je jen omezené. Hlavní význam je v použití pro přípravu deformačních sítí před leptáním.

2.5. Sítě vytvářené fotograficky a leptáním

Principem této metody je nanesení emulse citlivé na světlo na povrch vzorku. K tomu se používá technika podobná způsobu zhotovení matrice pro ofsetový tisk. Lesklé a hladké povrchy vzorků se musí před zpracováním upravit tak, aby byly vyhovující. Při nanášení vrstev se pracuje v ochraném žlutém světle. Tloušťka citlivých vrstev by neměla přesáhnout 0,01 mm. Síť se přenáší na emulsi kopírováním z průhledného originálu osvětlením obloukovou lampou nebo výbojkou. Po vyvolání získáme kresbu, která je tvořena obnaženým povrchem v místech, která nebyla při expozici osvětlena. Můžeme tedy získat negativní nebo pozitivní obraz podle toho, jaký obraz jsme použili na průhledném originálu ke kopírování. Při zpracování mohou vzniknout závady, které souvisí s podstatou přípravy a dalšího zpracování vrstvy citlivé na světlo. Hlavním významem je použití pro přípravu deformačních sítí před leptáním.

Chemické leptání je reálné v kombinaci s fotografickým způsobem přenášení obrazu deformační sítě na vzorek. Síť se leptá roztokem kyseliny dusičné. Kyselina se nanáší na povrch vzorku tampóny nebo ponořením do kyseliny. Po dobu působení kyseliny se ocel naleptá do hloubky několika μm. Při delší době působení může leptadlo narušovat ochranou vrstvu želatiny, což má za následek zejména zhoršení okrajů čar. Zbytek leptadla a želatinových vrstev se odstraní oplachem proudící vodou.

Naleptáním se získá kresba s dobře znatelným okrajem.

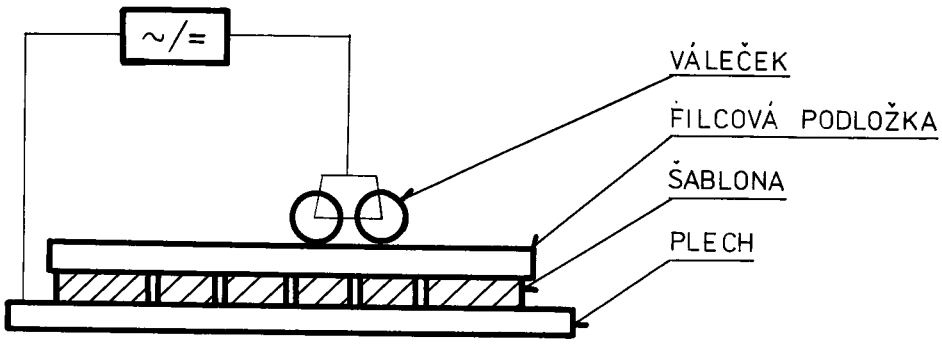
2.6. Elektrochemické leptání

Metoda je založena na principu elektrolytického leptání povrchu plechů v místech, kde styk s elektrolytem umožňuje šablona, obdobně jako u sítotisku.
Vedení proudu skrz elektrolyt (roztok kyseliny, zásady nebo soli ve vodě)je vždy spojené s odlučováním části elektrolytu na elektrodě. Při tom se odlučují kladně ionizované molekuly (na př. kovy, vodík) na katodě. Na anodě se odlučují záporně ionizované molekuly (na př. chlór).
Elektrolyticky odlučované množství látek m závisí na elektrochemickém ekvivalentu A toho elementu, který se odlučuje, na velikosti proudu I a na čase působení elektrického proudu t. Tato závislost je vyjádřena Faradayovým zákonem

$$m = A.I.t \qquad (2.1)$$

Kvalita vytvářené sítě tímto způsobem je určena u jednotlivých elektrolytů, velikostí proudu a hlavně časem působení.
Zařízení k elektrochemickému nanášení rastru si vyžaduje jako zdroj proudu nízkonapěťový zdroj, který může dodávat jak střídavý tak stejnosměrný proud. Jako elektroda se používá plech, na kterém se mají vyrábět sítě a jako protielektroda slouží pohyblivý ocelový válec (obr. 1). Při použití této metody se musí na plech nejdříve položit šablona, která obsahuje deformační síť. Běžně se používají kruhové šablony. Šablona má za úkol oddělit vyznačené oblasti od těch, které nemají být označené.
Filcová podložka, nasáklá elektrolytem, tlustá (1÷5) mm se položí na šablonu. Výběr elektrolytu závisí na materiálu,

který se má označit. Váleček používaný jako protielektroda se používá v různých provedeních. Nejjednodušší je varianta válečku s držadlem, kterým se plech ručně přejede. Protože není možné dosáhnout rukou absolutně rovnoměrný pohyb, nebude leptání vlivem různých hustot proudu rovnoměrné, takže tato metoda je vhodná jen pro rychlé leptání s velkými kroužky nebo čtverečky.



obr. 1. Schéma elektrochemického nanášení sítí

Značné zlepšení představuje válečková elektroda s vlastním pohonem. V její ose je elektromotorový pohon s převodovkou a se spojkou. Na základě tohoto provedení se dá docílit rovnoměrné hustoty proudu na celé ploše šablony. Podle použité šablony se musí volit odpovídající rychlost odvalování. Tato rychlost leží v oblasti (0,5 ÷ 2) m/min. /2/ Hloubka zaleptání leží v oblasti nejnižších prohlubní drsnosti plechu. Při připojení ss napětí se dá způsobit odstranění malé vrstvy plechu nebo dojde k přidání materiálu na plech. To závisí na polaritě elektrod. Elektrochemická metoda se hodí pro své jednoduché a rychlé použití zvláště pro potřeby praxe. Je možno tuto metodu považovat z hlediska jednoduchosti a rychlosti při práci za nejdokonalejší a nejuniversálnější.

Metoda elektrolytického leptání slibuje velmi perspektivní použití. Vzniká kombinací sítotisku a leptáním a vlastně slučuje dobré stránky těchto způsobů. Zatím však existuje praktická aplikace pouze s použitím speciálního zařízení zahraniční výroby, a to je pro naše podmínky nevýhodou. Chceme-li dosáhnout optimálních výsledků v podmínkách KPT, tak jsme nuceni použít fotografické leptací metody. Je to metoda sice velmi pracná, méně produktivní, ale svými výsledky se dá srovnávat s metodou elektrolytického leptání. Problematika vytváření takovéto sítě je popsaná v následujícím výkladu.

3. VOLBA TVARU A VELIKOSTI SÍTĚ

V průběhu tváření se určuje ze změn pravidelné sítě stav plastických přetvoření i podmínky, které tento stav způsobily.

Z hlediska geometrického tvaru elementu, který tvoří pravidelným opakováním síť, je možno soustavy rozdělit do těchto skupin:

- síť se čtvercovými elementy - čtvercová
- síť s kruhovými elementy - kruhová
- síť kombinovaná s elementy čtvercovými a kruhovými
- síť s elementy jinými než čtvercovými nebo kruhovými

V celkovém uspořádání lze elementy různě kombinovat.

Parametrem sítě nazýváme charakteristický rozměr elementu, t. j. strany čtverce nebo průměr kružnice. Velikost parametru záleží na účelu, ke kterému mají výsledky zkoušek sloužit, a na technických možnostech způsobů, kterými se vyznačení sítě provádí. Účel použití a podmínky rozhodují při volbě nejvhodnější metody a způsobu zobrazení deformační sítě.

Volba záleží na těchto požadavcích:

1. Deformační síť vytvořená na nástřihu musí co nejméně ovlivňovat podmínky tření mezi nástroje a plechem. Je zřejmé, že vliv vytvořené sítě na technologické podmínky tažení bude závislý na velikosti tvářecích sil.
2. Vytvořením deformační sítě nesmí být narušen povrch plechu do té míry, aby se projevil vrubový účinek, který by mohl způsobit posunutí mezních hodnot přetvoření k nižším hodnotám. Citlivost na vrubový účinek, při daném tvaru a rozměru vrubu, bude záviset zcela jednoznačně na

tloušťce plechu, jeho mikrostruktuře a stavu napjatosti.

3. Dostatečná plasticita sítě, t. j. její schopnost velkých plastických přetvoření bez vážnějších následků na její čitelnost. Míra obtížnosti splnění tohoto požadavku je dána maximálními stupni přetvoření, kterých je u výlisků dosahováno.
4. Velmi důležitá je odolnost deformační sítě proti otěru. Splnění tohoto požadavku určuje míru čitelnosti sítě po tváření. Celkově lze říci, že čím větší jsou nároky na odolnost proti otěru, tím jsou větší měrné tlaky mezi plechem a nástrojem.
5. Odolnost proti používaným mazivům. Maziva by svým účinkem neměla snižovat čitelnost sítě po deformaci.
6. Velmi důležitým požadavkem je rozměrová a tvarová přesnost vyznačené sítě v návaznosti na volbu jejího parametru.
7. Jednoduchost a malá pracnost metody vyznačení deformační sítě.

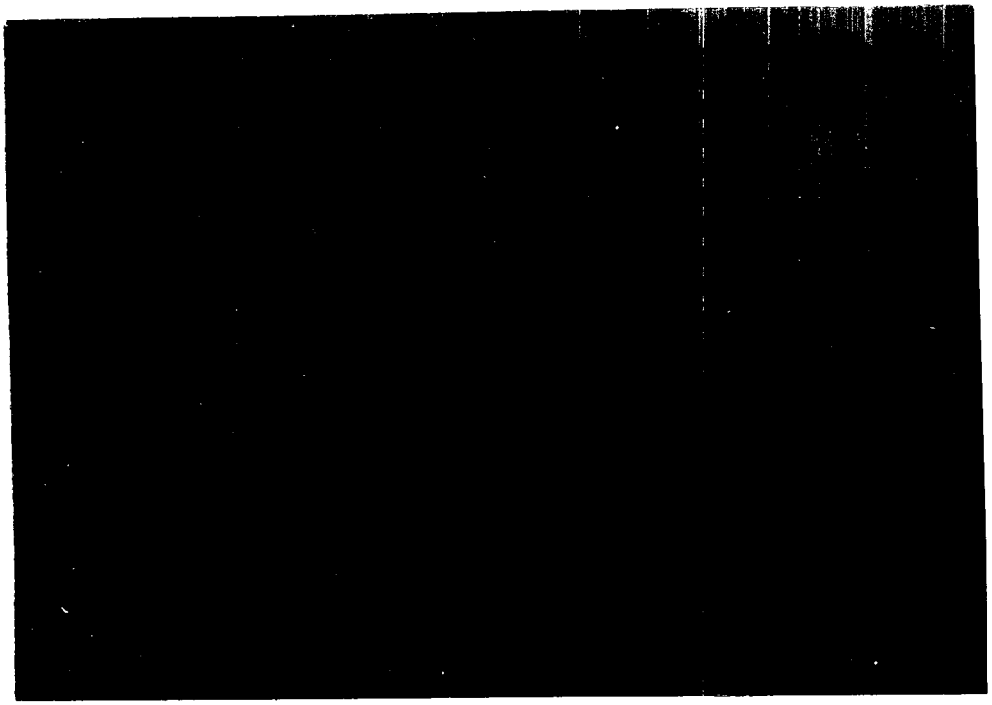
Literatura /2/ uvádí, že početní vyhodnocení deformačních sítí potvrdila, že průměr elementu pro kruhové sítě má být (2÷3)mm. Menší průměry jsou pro vyhodnocování zmetků nepřesné, protože není možné měření deformační sítě v hraniční oblasti trhliny s dostatečnou přesností.
Větší nejsou schopny rozlišit malá místa s větší deformací.

Aby byla zajištěna dostatečná přesnost a snížena možnost chyby při kopírování na minimum, tak byla vytvořena deformační síť na průhledném originálu následující metodou. Jako základ byla použita mateční síť s kruhovými elementy uspořádanými v rozích rovnostranných trojúhelníků s průměrem elementu 10 mm, nanesená kružítkem na bílý podklad černou

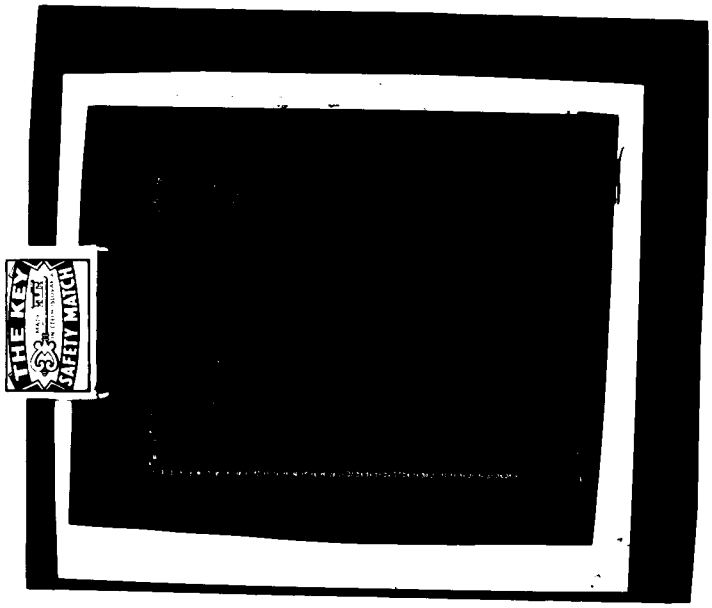
tuší (obr. 2.). Z této sítě byly fotografickou cestou vytvořeny dva vlastní průhledné originály (folie), zmenšením na průměr elementu asi 2,5 mm (obr. 3.).
Krabička od zápalek na obr. 3. a 4. slouží k porovnání velikosti sítě před a po zmenšení. Obě folie byly proměřeny (tab. 1.) a na základě statistického vyhodnocení byly stanoveny střední velikosti vnitřních okrajů elementů jednotlivých folií a příslušná chyba měření /5/.

Tabulka 1.

č. měř	folie 1 / mm /	folie 2 / mm /	č. měř.	folie 1 / mm /	folie 2 / mm /
1	2,5292	2,4311	16	2,5082	2,4539
2	2,5914	2,4298	17	2,4980	2,4361
3	2,5076	2,4309	18	2,5080	2,4376
4	2,5420	2,4189	19	2,5238	2,4611
5	2,5182	2,4382	20	2,5302	2,4547
6	2,5222	2,4644	21	2,4950	2,4405
7	2,5026	2,4496	22	2,5000	2,4688
8	2,5180	2,4514	23	2,4682	2,4537
9	2,5082	2,4607	24	2,5182	2,4474
10	2,5116	2,4546	25	2,5246	2,4702
11	2,4988	2,4578	26	2,5000	2,4681
12	2,5082	2,4568	27	2,4792	2,4602
13	2,5106	2,4647	28	2,5114	2,4638
14	2,5270	2,4377	29	2,5164	2,4583
15	2,5122	2,4453	30	2,5068	2,4460



obr. 2. Mateční síť



obr. 3. Průhledný originál

Statistické vyhodnocení tab. 1.

Střední průměr elementu folie 1 : $\bar{d}_{F1} = 2{,}5099$ mm

Střední průměr elementu folie 2 : $\bar{d}_{F2} = 2{,}4504$ mm

Směrodatná odchylka : $S_{F1} = 0{,}0152$ mm

$S_{F2} = 0{,}0133$ mm

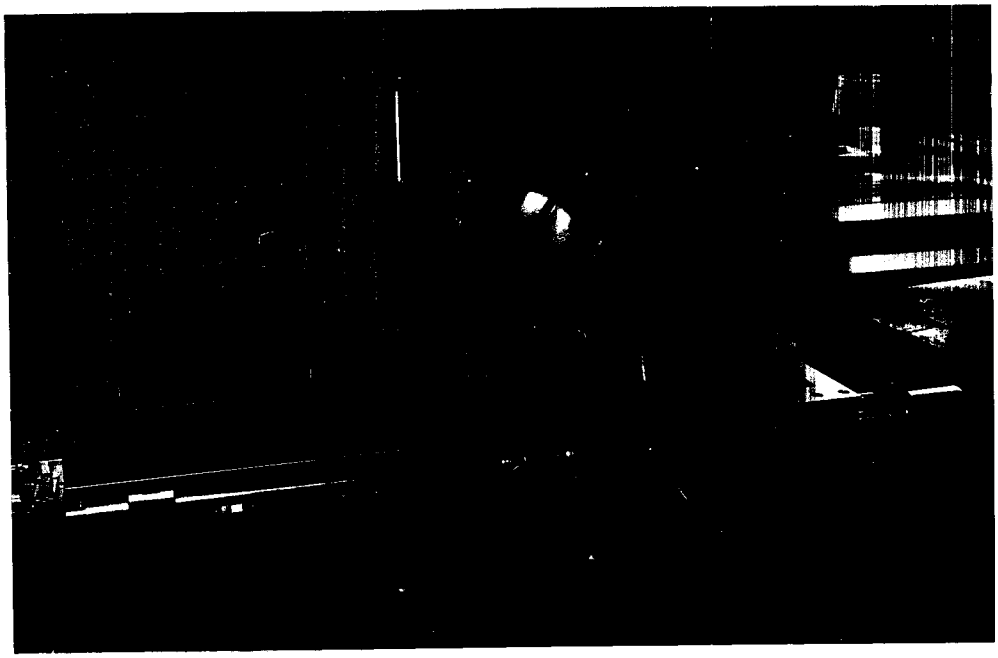
Absolutní chyba měření byla stanovena podle vzorce:

$$\varepsilon = \pm t_v \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (3.1.)$$

Potom výsledné hodnoty velikosti elementů pro jednotlivé folie jsou:

$$d_{F1} = 2{,}5099 \pm 0{,}0057 \text{ mm} \qquad (3.2.)$$

$$d_{F2} = 2{,}4504 \pm 0{,}0050 \text{ mm} \qquad (3.3.)$$



obr. 4. Abbého délkoměr

Měření byla provedena na Abbého délkoměru (obr. 4.).

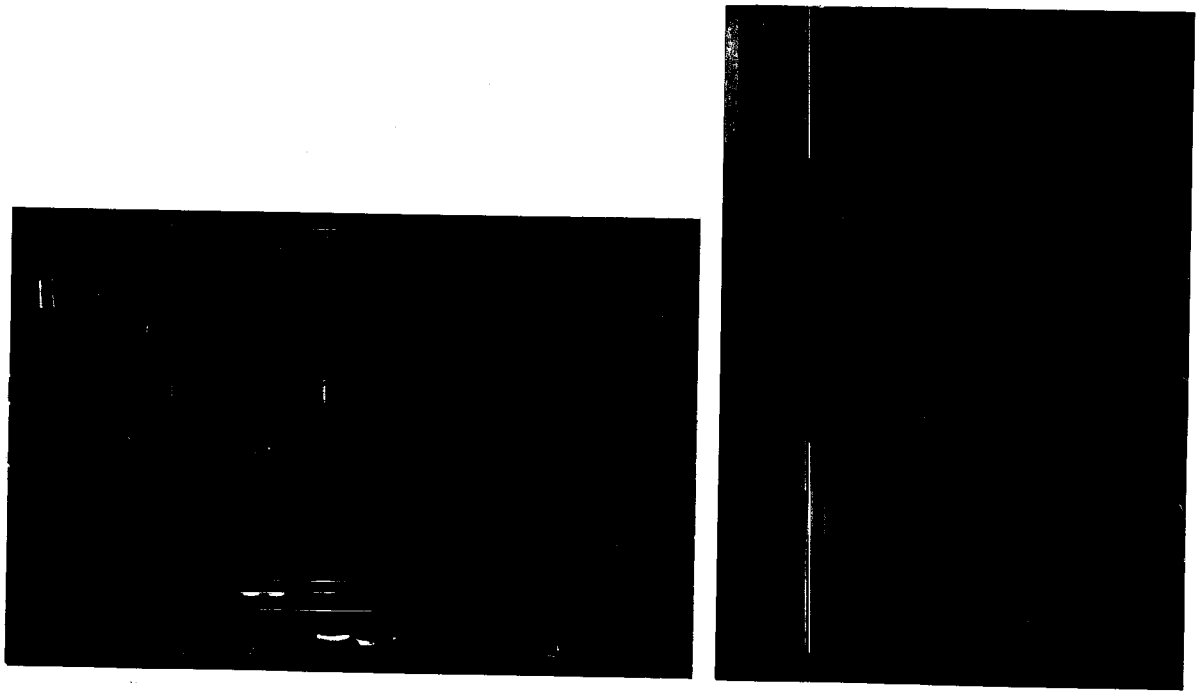
Z naměřených hodnot je jasně vidět, že fotografickým zmenšováním se dá vytvořit poměrně přesná síť. Ovšem porovnáním výsledných hodnot velikostí elementů je patrné, že nemůžeme dosáhnout touto metodou vytvoření dvou úplně rovnocenných průsvitných originálů. Tuto skutečnost musíme brát v úvahu při dalším hodnocení.

4. POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ A NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ PRACOVIŠTĚ

Pro zajištění optimální produktivity práce a technologické čistoty procesu vytváření deformačních sítí, bylo nutno vytvořit vhodné pracoviště s příslušným zařízením. Vzhledem ke specifickým požadavkům byla vytvořena tři pracoviště.

4.1. Pracoviště pro nanášení a sušení světlocitlivé emulse

Při nanášení světlocitlivé emulse je nutno pracovat v ochranném žlutém světle. K tomuto účelu byla využita již instalovaná digestoř s vlastním žlutým osvětlovacím tělesem (obr. 5.a).



a b

obr.5. Pracoviště pro nanášení světlocitlivé emulse

Ochrana před působením denního světla je zajištěna odhrnovatelným závěsem přes okénko a čelo digestoře (obr. 5. b).

Toto pracoviště zajišťuje dostatek prostoru pro pohodlnou práci jednomu pracovníkovi.

Sušení vzorků a vytvrzování emulse se provádí v sušárně na plasty (obr. 6.), která je umístěna ve stejné místnosti. Pro maximální využití sušárny byl vyroben speciální stojánek, do kterého se může uložit 34 kruhových přístřihů (obr. 7.).

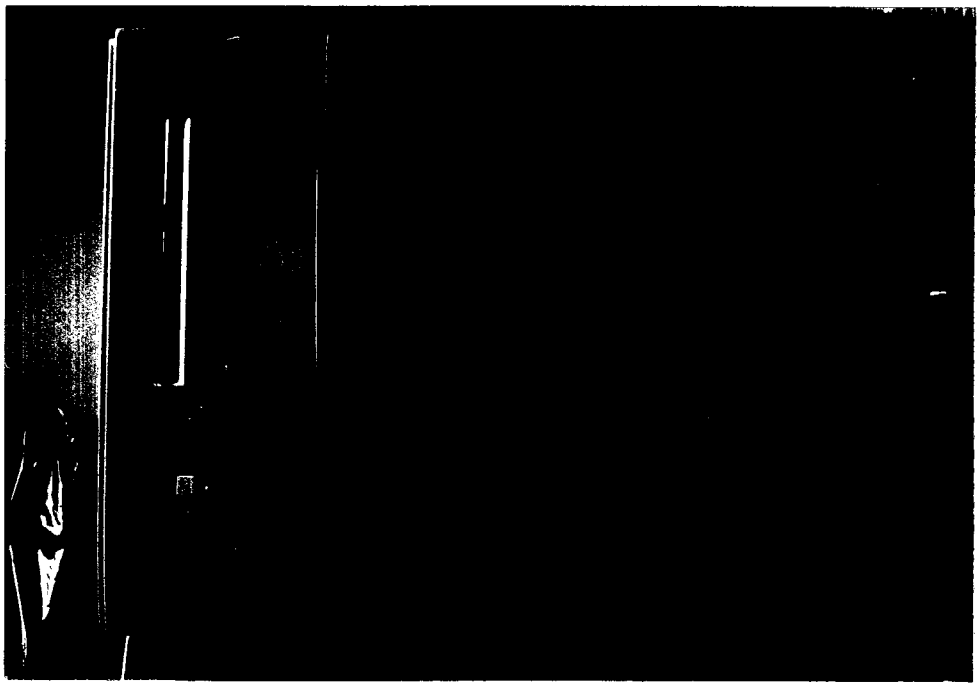
4.2. Pracoviště pro osvětlování vzorků

Pracovní stůl (obr. 8. a, b) se skládá ze dvou částí. První (levá) část je tvořena rámem, závěsem, vlastním zdrojem žlutého světla, místem pro jednoho pracovníka, přepínacím ventilem, manometrem a zakládacím vakuovým rámem (obr. 13).
V pravé části je stavitelná UF osvětlovací lampa, tvořena dvěma rtuťovými výbojkami a vypínači. Obě části jsou od sebe odděleny sololitovou deskou, která je součástí rámu. Ve spodní části desky je malý otvor, kterým dochází přesouvání vakuového rámu se vzorky pod UF lampu. Přesouvání rámu zajišťuje vedení, které je součástí pracovního stolu. Přesnému ustavení vakuového rámu pod UF lampu napomáhá doraz.
Pod pracovním stolem je umístěn motor s vývěvou a zásobníkem vakua. Schéma rozvodu vakua je uvedeno na obr. 9.

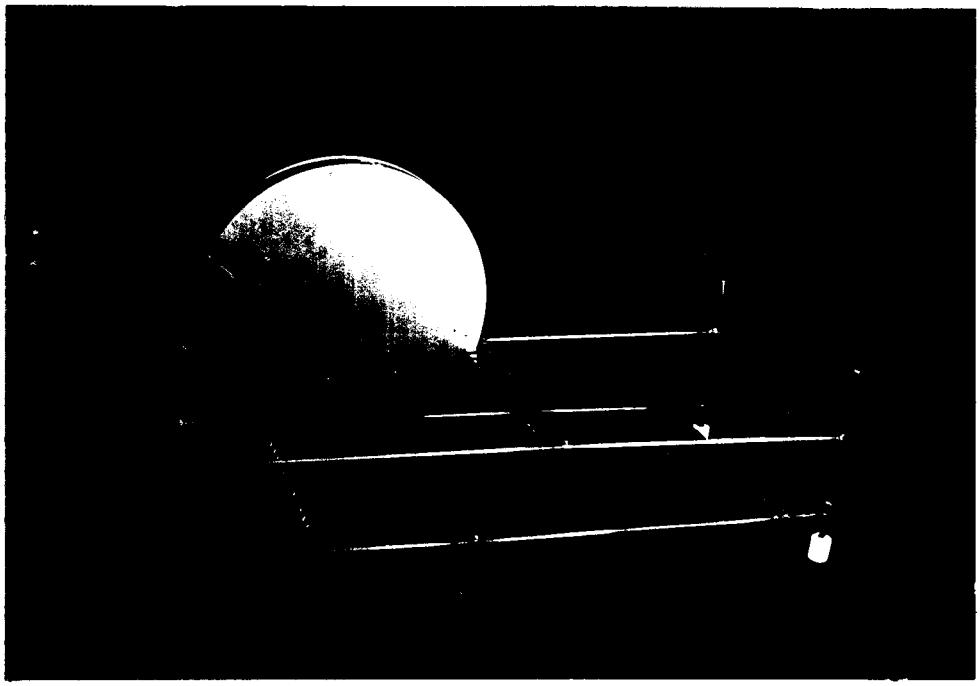
4.3. Pracoviště pro vyvolávání, leptání a obarvování

Toto pracoviště je opatřeno pouze fotografickými miskami, pracovním stolem s výlevkou a běžnými laboratorními potřebami.

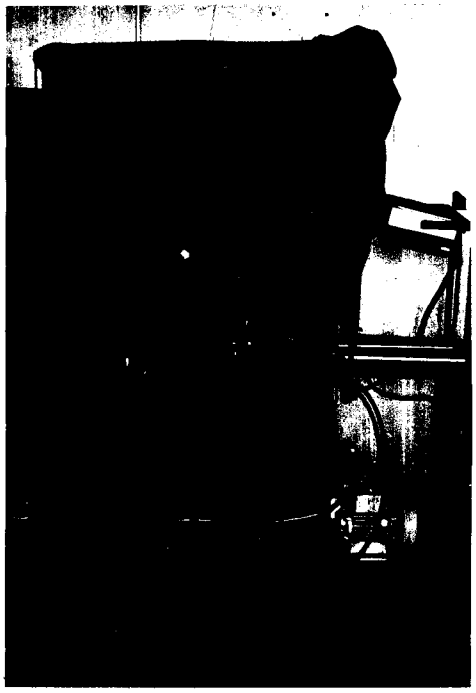
Všechna tři pracoviště byla umístěna v jednotlivých místnostech laboratoří KPT.

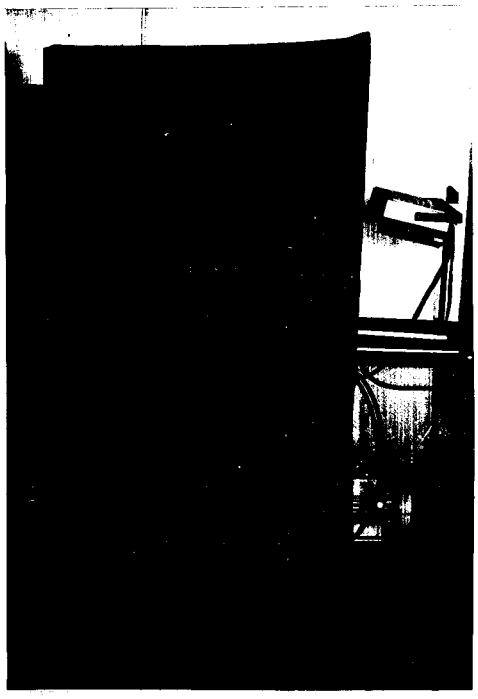


obr. 6. Sušárna na plasty



obr. 7. Stojánek pro kruhové nástřihy

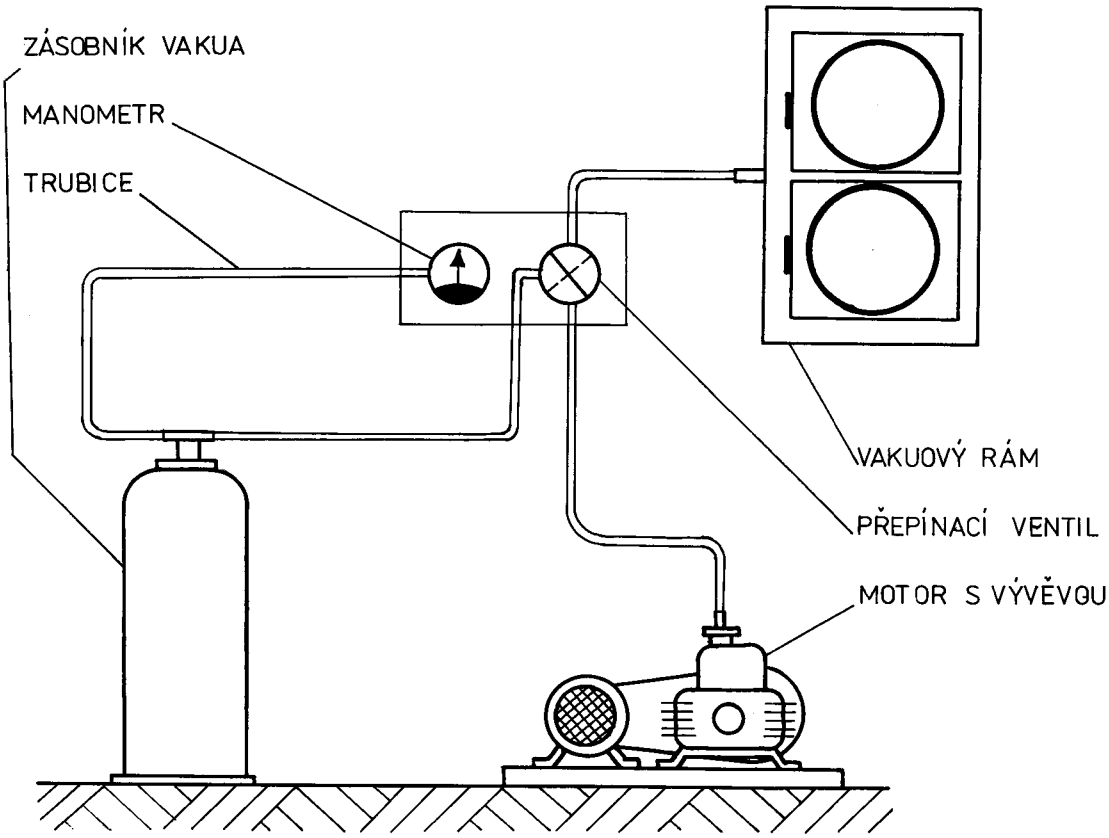




obr. 8. a

obr. 8. b

Osvětlovací pracoviště



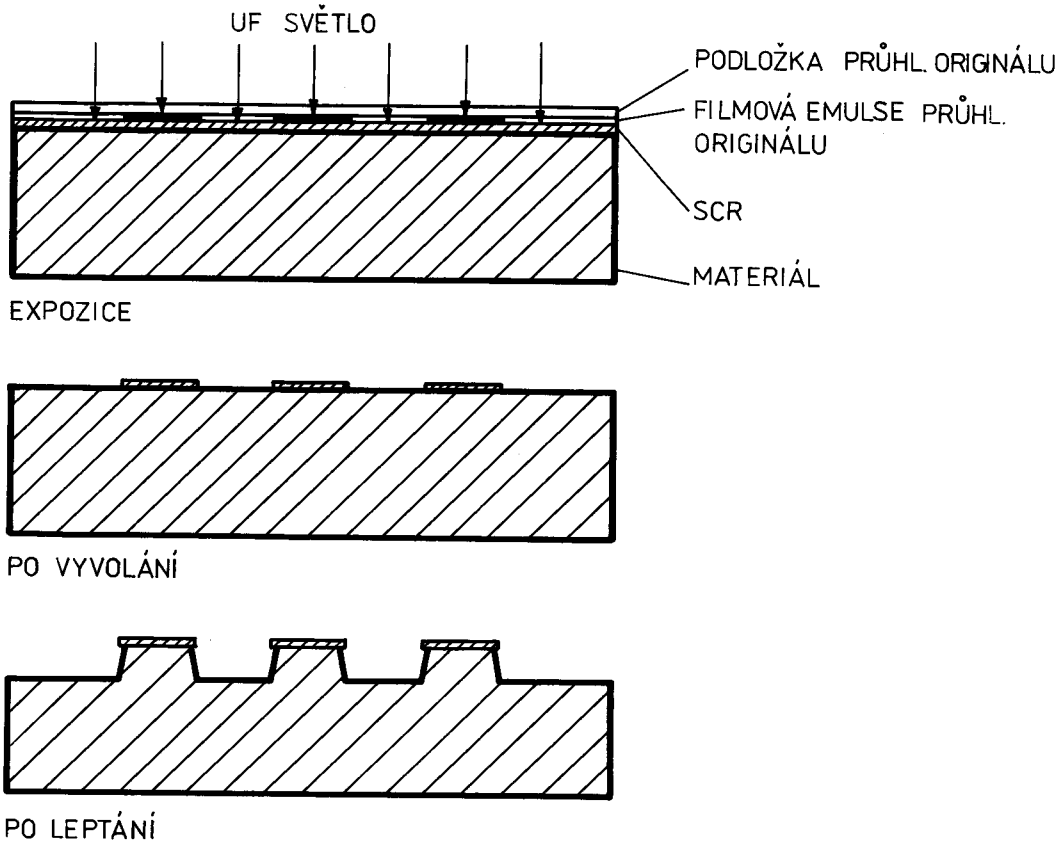
obr. 9. Schema rozvodu vakua

5. NANÁŠENÍ SÍTĚ NA OCELOVÝ PLECH

V této kapitole je uveden postup při nanášení deformačních sítí na ocelový plech. Nanášení bylo provedeno na kruhovém nástřihu z ocelového tenkého plechu KOHAL 20 ČSN 42 0127.

5.1. Příprava vzorku

Povrch, který má být ovrstven světlocitlivým roztokem, musí být dokonale suchý, odmaštěný a zbavený ostatních nečistot. Velice účinný a rychlý postup je čištění povrchu chemickými prostředky. Nejlépe se odmaštění povrchu provádí v trichlorethylenu nebo v čistém benzinu. Po dokonalém osušení je povrch připraven pro další operaci.



obr. 10. Schema funkce pozitivně pracujícího SCR

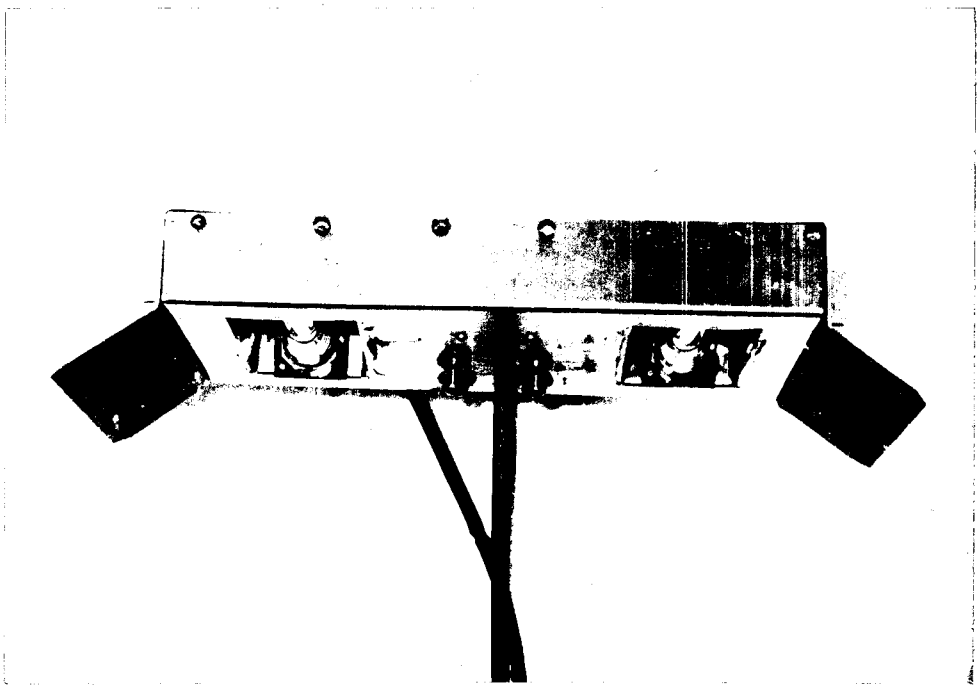
5.2. Nanesení světlocitlivé emulse

Byl použit pozitivně pracující (obr. 10.) světlocitlivý roztok SCR - 5, výrobek LACHEMA, n. p. Brno (obr. 11.), který je charakterizován snadným a rychlým zpracováním, vysokou rozlišovací schopností a několikaletou stabilitou.

Požadavkem je, aby nanesený tenký film byl homogenní, rovnoměrný bez prasklin a mechanických nečistot.
Nanesení bylo provedeno štětcem na předem připravený povrch. Protože technologie nanášení štětcem není nejdokonalejší, tak podle údajů výrobce /6/ je nutné, pro zajištění patřičné homogenity a tlouštky nanesené vrstvy, emulsi ředit v poměru 1 : 1 acetonem. Po nanesení světlocitlivého roztoku je nutno nechat nástřih opřený ve svislé poloze, aby přebytečná emulse stekla z povrchu vzorku.
Po ovrstvení je ovšem třeba světlocitlivou vrstvu před dalším zpracováním zbavit zbytků rozpouštědla sušením 10÷30 minut. Sušení se provádí při teplotě 60÷80 °C v sušárně (obr. 6.). Před vložením do sušárny naskládáme vzorky na stojánek (obr. 7.) a necháme vrstvu oschnout 5÷10 minut na vzduchu, aby nedošlo ke zvrásnění povrchu rychlým odpařením rozpouštědla. Nedostatečné vysušení může způsobit podstatné snížení citlivosti, případně obtíže při vyvolávání.

Místo nanášení štětcem by bylo mnohem produktivnější použití stříkací pistole. Také síla vrstvy by byla mnohem rovnoměrnější.
Ovrstvování se provádí na speciálním pracovišti (viz. kap. 4.1.).

obr. 11. Adjustace fotografických materiálů



obr. 12. UF lampa

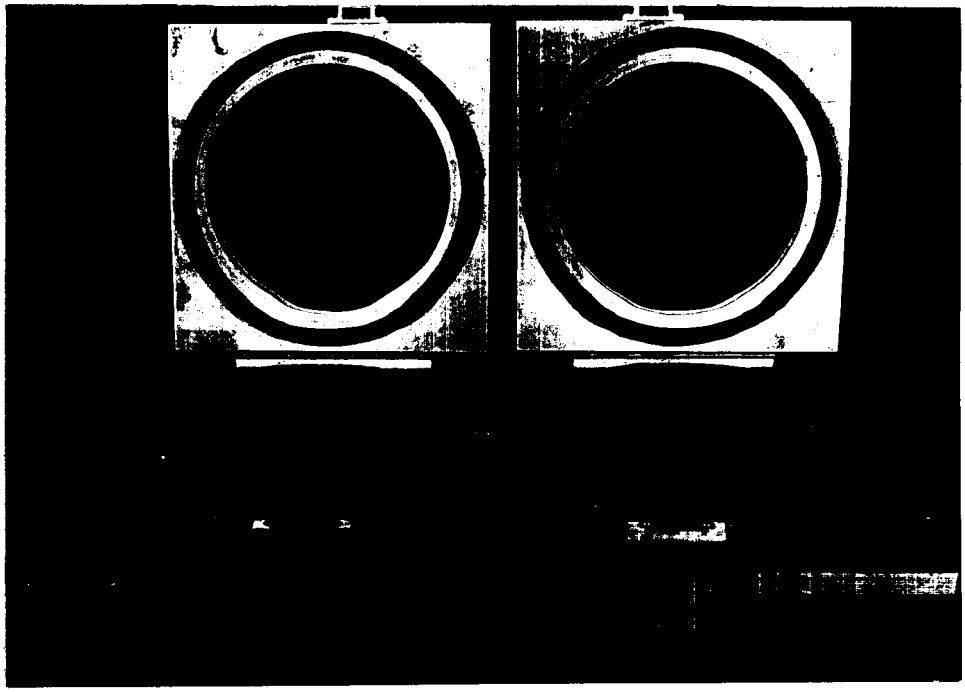
5.3. Expozice

Spektrální citlivost světlocitlivého roztoku se pohybuje v rozmezí 300÷400 nm s maximem kolem 360 nm. Expozici je proto třeba provádět zdrojem světla s bohatým obsahem ultrafialových paprsků.

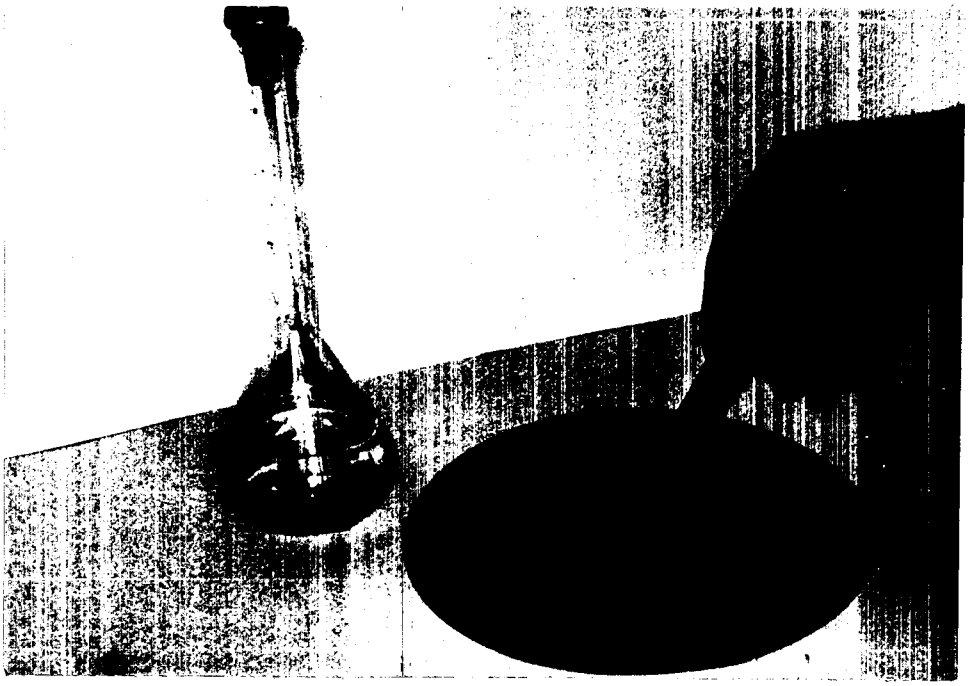
K osvětlování byla použita lampa se dvěma středotlakými rtuťovými výbojkami, každá o výkonu 250 W (obr. 12.). Pro dokonalou reprodukci je třeba dosáhnout dokonalého kontaktu průhledného originálu (obr. 3.) se světlocitlivou vrstvou nanesenou na povrch přístřihu. Umožní to použití vakuového rámu (obr. 13.), který navíc zabrání přímému styku kyslíku se světlocitlivou vrstvou během expozice, což by mohlo způsobit snížení citlivosti. Optimální expoziční doba byla stanovena experimentálně, zkoumáním několika různě dlouhých expozic ovrstvené podložky. Pohybuje se v rozmezí 4-8 minut. V případě nepostačující expozice neobdržíme totiž na vzorku po vyvolání žádný obraz, při silné přeexpozici se snižuje rozlišovací schopnost.
Expozice se provádí na pracovišti uvedeném v kapitole 4.2.

5.4. Vyvolání

Při tomto procesu je z povrchu odstraněna část světlocitlivé vrstvy v místech, která mají být leptána. Dosáhne se toho ponořením vzorku na 45÷90 sekund do vývojky pro SCR-5 (obr. 11.), která se před použitím musí zředit destilovanou vodou v poměru 1 : 1 . Zbytečné prodlužování vyvolávací doby snižuje sílu vrstvy a tím i její odolnost v leptu, zejména na hranách , což se projeví snížením hranové ostrosti.



obr. 13. Vakuový rám



obr. 14. Způsob leptání

Odstranění vrstvy musí být dokonalé, jinak při leptu dochází k poruchám na místech, kde vrstva nebyla dokonale odstraněna a došlo k zaschnutí jejích zbytků. Vyvolávání se proto provádí dvoustupňově t. j. po vlastním vyvolání následuje oplach čerstvou vývojkou a potom omytí pod proudem vody.
Je vhodné světlocitlivou vrstvu obarvit pomocí barviva pro SCR, které přidáváme přímo do světlocitlivého roztoku. Tím vzniká možnost vizuální kontroly procesu vyvolávání.
Po vyvolání výrobce doporučuje, pro zajištění dokonalé odolnosti vůči leptadlu, emulzi vytvrzovat asi 10 minut při teplotě 140 °C. Výsledky však ukázaly, že emulze velice dobře odolává vůči leptadlu i bez vytvrzování. Proto postačí běžné sušení po dobu asi 10 minut nad topným tělesem, jehož teplota byla naměřena okolo 70 °C, nebo v sušárně (obr. 6.).

5.5. Leptání

Při dalším zpracování slouží zbylá vrstva po vyvolání jako ochrana vůči leptadlu. Podle doporučení výrobce světlocitlivé emulse /6/ byla k leptání použita ředěná kyselina dusičná (10 %). Doba leptání byla stanovena experimentálně (viz. kapitola 7.3.) na 10÷15 s. Postup při leptání je na obr. 14.
Aby bylo leptáno pouze místo, kde má být vyznačena deformační síť, byl použit k vymezení tohoto místa těsnící tmel COLORPLAST, výrobce Matador, n. p. Bratislava, který se vyznačuje vysokou odolností vůči leptadlům. Po nalití kyseliny do takto vymezeného prostoru musí být použita dřevěná roztěrka, která nám zajišťuje rovnoměrné rozložení kyseliny po celé ploše a tedy i rovnoměrné leptání. Po stanovené době leptání

se leptací lázeň vylije a provede se opláchnutí pod proudící vodou a sundání těsnícího tmelu.
Po osušení můžeme přistoupit k barvení.

5.6. Barvení

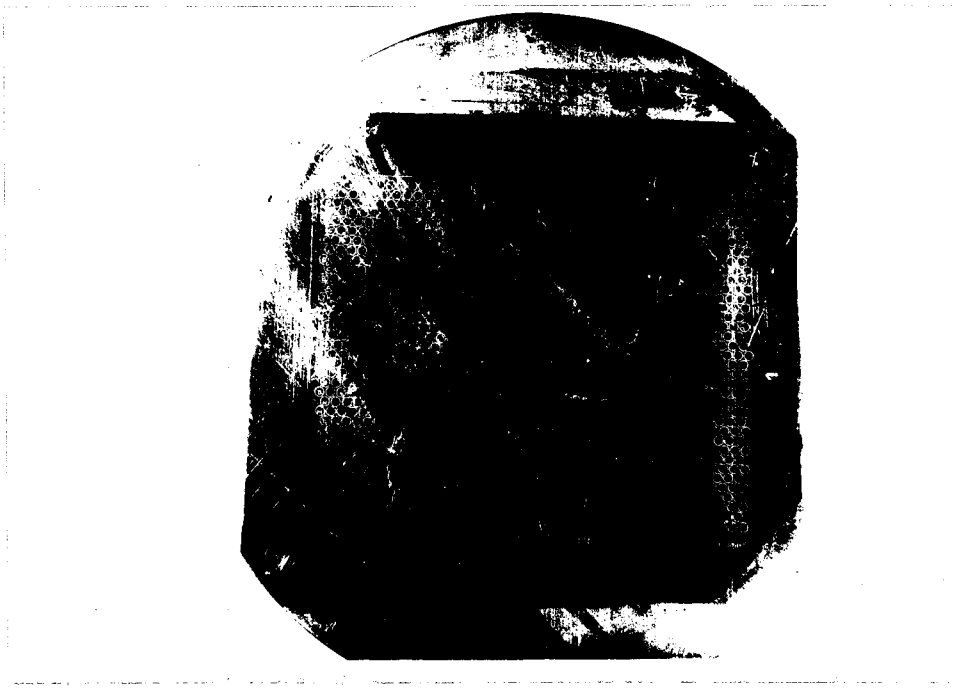
Jelikož takto leptáním připravená síť je po tváření v měřícím zařízení prakticky nečitelná, můsíme tuto síť zviditelnit.
To můžeme provést použitím bez oplachového odrezovacího prostředku ODREZOVAČE T, výrobku Chemy, n. p. Pardubice, který nanášíme na dobře vysušený povrch vzorku štětcem nebo tampony. Po zaschnutí má obarvená síť černou barvu a vzorek je připraven k lisování.

Světlocitlivý roztok i pomocné chemikálie na zpracování obsahují organická rozpouštědla - hořlaviny I. nebo II. třídy a proto je třeba při jejich zpracování dodržet bezpečnostní předpisy platící pro tyto látky.
Zároveň je třeba dodržovat bezpečnostní předpisy při práci s kyselinami a zásadami v procesu vyvolávání a leptání.

6. NANÁŠENÍ SÍTĚ NA HLINÍK A MOSAZ

Potřeby praxe nás nutí získávat nejen znalosti plastických změn při tváření v ocelovém plechu, ale také znalosti plastických změn pro jiné materiály, ze kterých se běžně výrobky z plechu vyrábějí. Mezi takovéto výrobky patří také hliníkové a mosazné výlisky.

Mosaz nám navíc může sloužit jako výborný srovnávací materiál, protože při výrobě mosazného plechu válcováním nevzniká anizotropie, která se u jiných válcovaných materiálů běžně vyskytuje.



obr. 15. Síť nanesená na hliníkovém přístřihu

6.1. Nanášení sítě na hliníkový plech

Postup přípravy vzorku, nanesení světlocitlivé emulse, expozice a vyvolání je stejný jako u přípravy ocelového nástřihu (viz. kapitola 5.1., 5.2.,5.3., 5.4.). Po vyvolání se provede oplach ve vodě a potom se vzorek ponoří do lázně, která chemickou reakcí s povrchem hliníkového plechu vytvoří oxidovou vrstvu (obr. 15) v místech, kde byla emulse osvětlena UF lampou. Tato vrstva se již nemusí dále upravovat a vzorek je připraven pro tažení.

Složení oxidační lázně :

CrO_3 ..... 7 g

NaF ..... 3,5 g

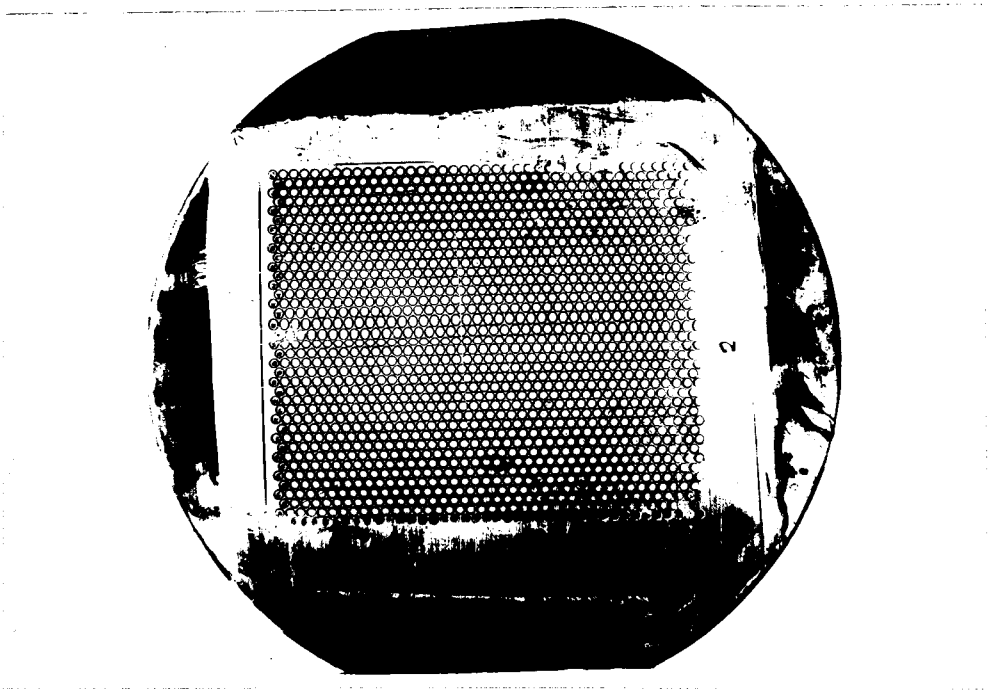
H_3PO_4 (80%) ..... 40 ml

Složky rozpustit do 1 l destil. vody.

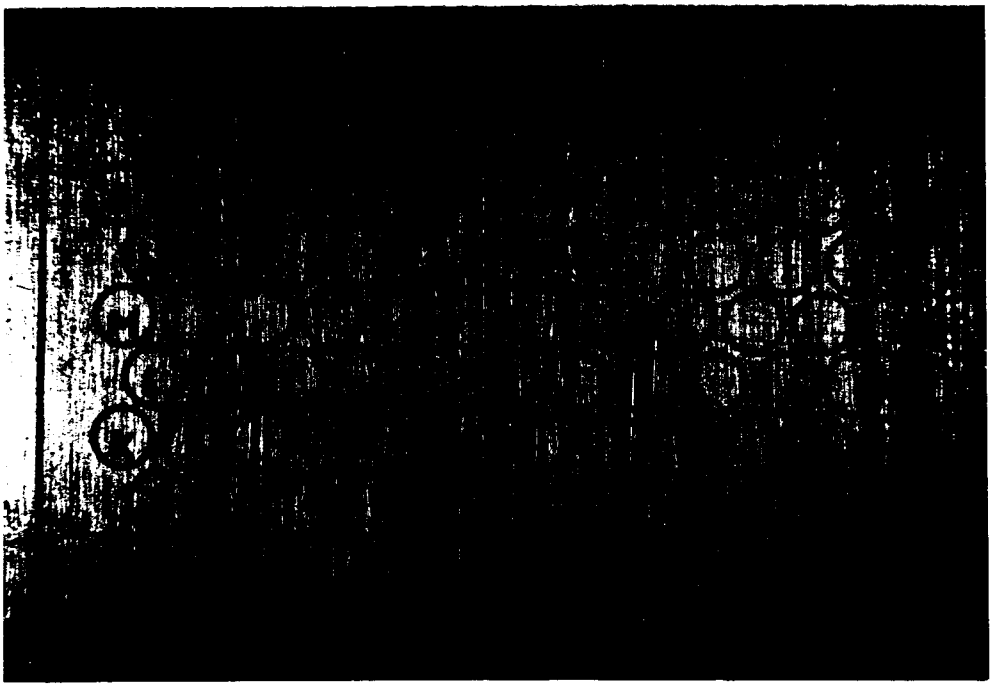
Oxidace probíhá za normální teploty po dobu 10 minut. Barva z oxidované vrstvy tedy deformační sítě je světle-zelená.

6.2. Nanášení sítě na mosazný plech

Postup přípravy vzorku, nanesení světlocitlivé emulse, expozice a vyvolání je opět stejný jako u přípravy ocelového nástřihu (viz. kapitola 5.1., 5.2., 5.3., 5.4.). Po vyvolání se provede naleptání ve zředěné HNO_3 (5%) po dobu 10 s. Potom se opět provede oplach ve vodě. Po opláchnutí následuje ponoření do barvící lázně.



obr. 16. Síť nanesená na mosazný přístřih



obr. 17. Detailní pohled na obarvenou síť na mosazném přístřihu (zvětšeno 2,5 x)

Barvící lázeň má následující složení:

H_2O ..... 500 ml

NH_3 ..... 500 ml

$Cu(NO_3)_2$ ..... 100 g

Barvící lázeň nechá se působit na vzorek za normální teploty po dobu 1 minuty. Po vytažení z lázně se vzorek nechá okapat a usušit. Barva takto připravené sítě je černá (obr.16.). Detailní pohled je potom na obr. 17.

7. VLIVY VYSKYTUJÍCÍ SE PŘI ZPRACOVÁNÍ SCR

Při výrobě deformační sítě existuje řada vlivů, které ovlivňují její kvalitu nebo přesnost způsobu vyhodnocování. Přesným postihnutím a respektováním těchto vlivů, můžeme vytvořit podmínky pro zajištění stejné kvality deformační sítě i při opakované produkci.

7.1. Vliv teploty žíhání světlocitlivé emulse na mechanické vlastnosti ocelového plechu KOHAL 20

Podle údajů výrobce /6/ je vhodné pro zajištění odolnosti emulse v leptu tuto emulsi vytvrzovat při teplotě 140 °C po dobu 10 minut.
Následující zkouška měla dokázat, že tato teplota nemá žádný vliv na mechanické vlastnosti daného materiálu.
Zkouška se provádí na čtyřech sadách vzorků. Každá sada obsahovala tři zkušební tyčinky pro zkoušku tahem. Na každou sadu se nechala po dobu 10 minut působit různě velká teplota (tab. 2 .) v sušárně na plasty (obr. 6.). Průřez tyčinky byl změřen posuvným měřítkem.
Průběh zkoušky na trhacím zařízení byl zaznamenán na záznamovém papíře (obr. 18.).

Porovnáním naměřených výsledků z tabulky 2 je patrné, že vytvrzování emulse při teplotě 140 °C nebude mít negativní vliv na vlastnosti daného ocelového plechu.
Přestože vliv teploty nebyl pozorován, praktické zkoušky ukázaly, že vytvrzování emulse není nutné t. zn., že odolnost emulse v leptu se nesníží když se provede pouze sušení (viz kapitola 5.2.)

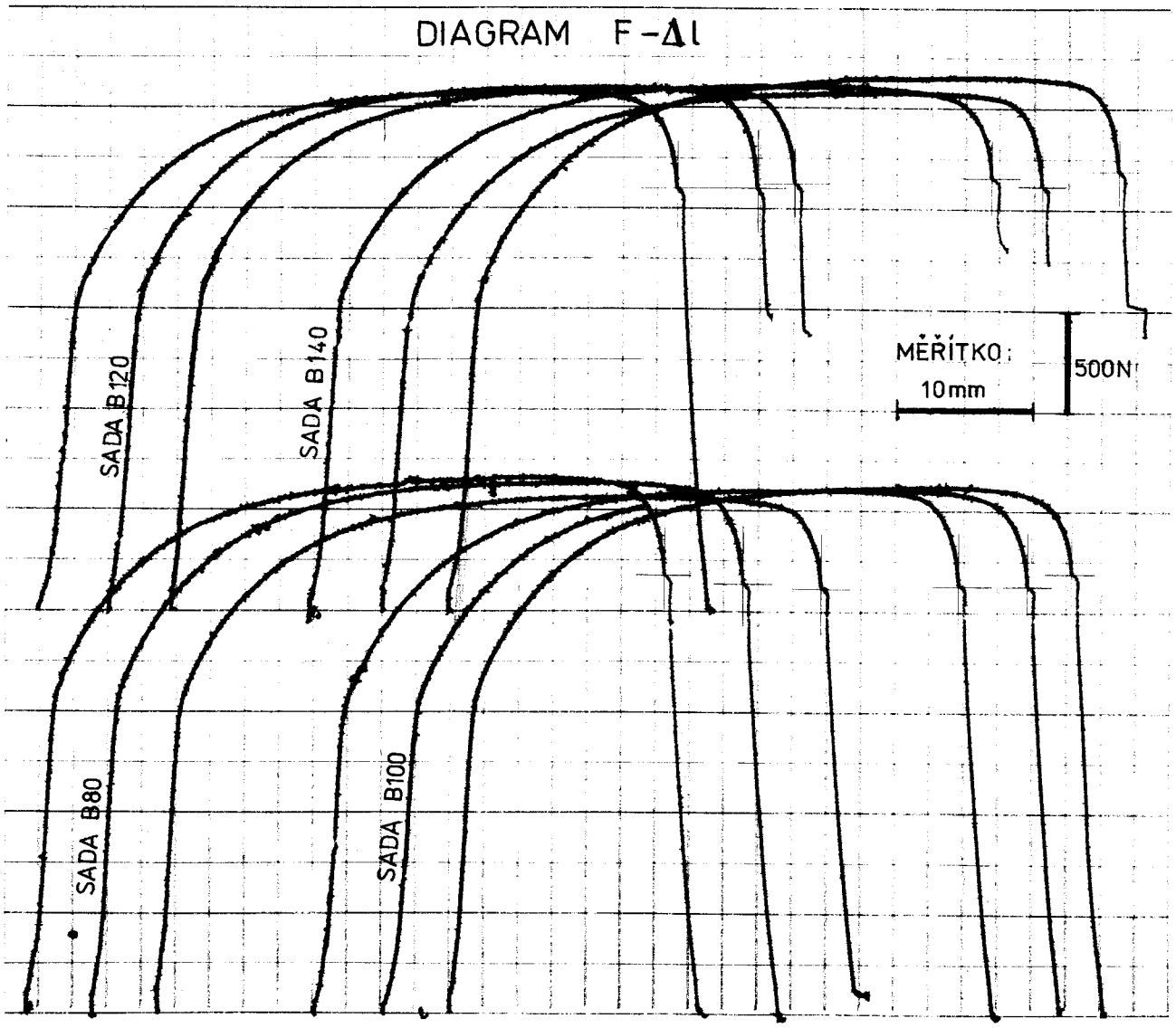
Tabulka 2.

	Sada B 80 - žíhací teplota 82 °C			
Vzorek	B 80 1	B 80 2	B 80 3	$\overline{B\ 80}$
F_{MAX} /N/	2655	2555	2635	2615
R_m /N mm/	–	–	–	301,61
Δ l /mm/	46,75	47,25.	48,25	47,42
Ax /%/	–	–	–	52,69

	Sada B 100 - žíhací teplota 99 °C			
Vzorek	B 100 1	B 100 2	B 100 3	$\overline{B\ 100}$
F_{MAX} /N/	2600	2600	2610	2603,33
R_m /N mm/	-	-	-	300,27
Δ l /mm/	47	47	45,5	46,5
Ax /%/	-	-	-	51,67

	Sada B 120 - žíhací teplota 123 °C			
Vzorek	B 120 1	B 120 2	B 120 3	$\overline{B\ 120}$
F_{MAX} /N/	2565	2585	2600	2583,33
R_m /N mm/	-	-	-	297,96
Δ l /mm/	46,5	47,25	45,00	46,25
Ax /%/	-	-	-	51,39

	Sada B 140 - žíhací teplota 143 °C			
Vzorek	B 140 1	B 140 2	B 140 3	$\overline{B\ 140}$
F_{MAX} /N/	2620	2560	2630	2603,33
R_m /N mm/	-	-	-	300,27
Δ l /mm/	49,5	48	48,75	47,75
Ax /%/	-	-	-	53,06



obr. 18 Záznam tahové zkoušky

7.2. Vliv délky osvitu

Expoziční doba závisí v podstatě na intenzitě světla použitého zdroje a síle světlocitlivé vrstvy.
Jelikož intenzita světla je dána výkonem výbojky a pevným nastavením vzdálenosti této výbojky od emulse a síla světlocitlivé vrstvy je dána ředěním emulse a použitou

technologii nanášení (viz kapitola 5.2.), můžeme tyto hodnoty považovat za konstantní. Optimální délka expozice byla stanovena experimentálně pomocí několika různě dlouhých expozic ovrstveného materiálu a vyhodnocením kvality obrazu po vyvolání. V případě nepostačující expozice nebyl po vyvolání obdržen žádný obraz, při silné přeexpozici se snižuje rozlišovací schopnost. Optimální expoziční doba byla na základě této zkoušky stanovena 4 ÷ 8 minut.

7.3. Vliv doby leptání

Doba leptání má značný vliv na přesnost vyhodnocování fotografické metody i vlastní průběh tažení.
K leptání byla použita podle údajů výrobce SCR /6/ KNO_3 (10 %). Byl zkoumán vliv této kyseliny po určité době leptání. Doba leptání se prováděla 10, 15, 30 a 60 s. Směrem k vyšším časům leptání se vliv podleptání projevoval, v podmínkách rovinné napjatosti, stále více směrovosti trhliny, což představuje šíření trhliny v místě leptu podél hranic jednotlivých kružnic sítě. Navíc u vyšších časů leptání docházelo k porušování emulse na okrajích kružnic, což vedlo ke špatné čitelnosti sítě. Jako optimální se jevil nejnižší čas leptání, tedy 10 s, který obstál jak v kvalitě leptu, tak v podmínkách rovinné napjatosti. Tato síť byla před tvářením důkladně proměřena (tab. 3.) na Abbého délkoměru (obr. 4.) a statisticky vyhodnocena. Absolutní chyba byla spočítána podle vztahu (3.1.). K vytvoření této sítě bylo použito průhledného originálu FOLIE č. 1, jejíž průměr elementu je dán (3.2.).

Tabulka 3.

č. měření	deska 10	č. měření	deska 10
1	2,4888	16	2,4764
2	2,4688	17	2,4710
3	2,4587	18	2,4723
4	2,4784	19	2,4679
5	2,4808	20	2,4765
6	2,4994	21	2,4555
7	2,4534	22	2,4714
8	2,4683	23	2,4629
9	2,4580	24	2,4938
10	2,4707	25	2,4753
11	2,4627	26	2,4954
12	2,4909	27	2,4751
13	2,4810	28	2,4880
14	2,4499	29	2,4796
15	2,4773	30	2,4818

Statistické vyhodnocení tabulky 3.:

Střední průměr elementu: $\bar{d}_{10} = 2,4743$

Směrodatná odchylka: $S_{10} = 0,0115$

Výsledná hodnota průměru elementu na vzorku

při leptání 10 s: $d_{10} = 2,4743 \pm 0,0043$ (7.1.)

8. ZPŮSOB PROMĚŘOVÁNÍ

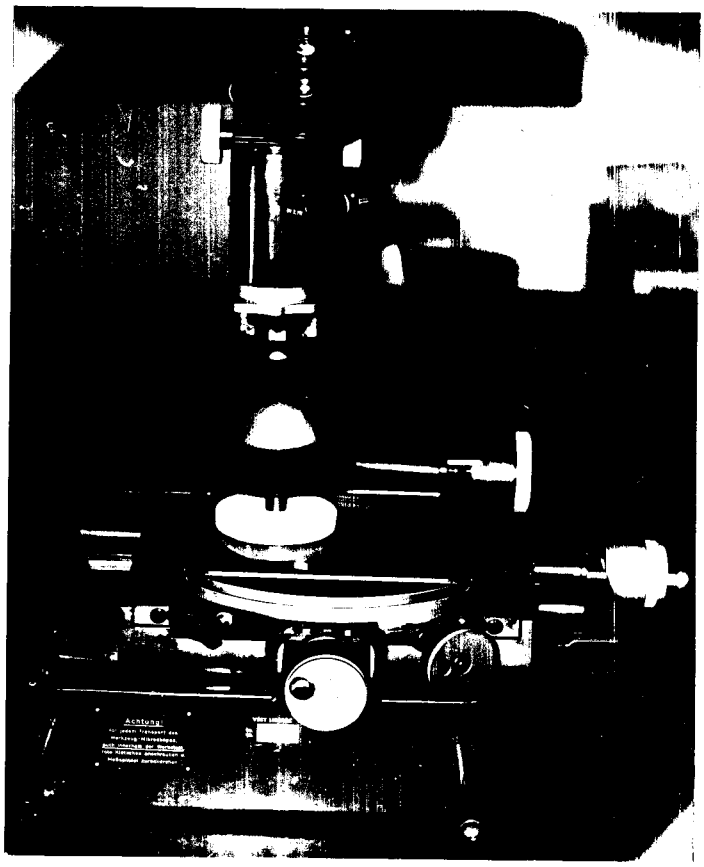
Proměřování deformačních sítí po tváření bylo provedeno na dílenském délkoměru (obr. 19.). Tvářený plech se posadí do speciálního stojánku, aby byla zajištěna konstantní vzdálenost jednotlivých proměřovaných elementů od objektivu. Cílem je zjištění přetvoření ve směrech hlavních os elipsy a vedlejších os elipsy φ potom:

$$\varphi_1 = \ln \frac{2a}{d} \qquad \varphi_2 = \ln \frac{2b}{d} \tag{8.1.}$$

a - poloměr hlavní osy elipsy

b - poloměr vedlejší osy elipsy

d - průměr výchozí kružnice



obr. 19. Dílenský délkoměr

Při zjišťováná diagramů mezních přetvoření bylo pro tažení použito půlkulatého tažníku o poloměru 40 mm. Při vyhodnocování se tedy dopouštíme jisté chyby, která je tím větší, čím je přetvoření větší, protože na vzorku dochází k zaoblení povrchu. Na dílenském délkoměru odečítáme délku úsečky 2a. Skutečná délka měřená po oblouku l je zvětšená o rozdíl δ. Tento rozdíl činí:

$$\delta = \widehat{\varphi} \cdot r - 2a \qquad (8.2.)$$

$$\sin\frac{\varphi}{2} = \frac{a}{r} \qquad (8.3.)$$

pro 2a = 4 mm δ = 0,0017, což je 0,04 % skutečné délky l

pro 2a = 2 mm δ = 0,0002, což je 0,01 % skutečné délky l

Další chyby, které se při měření dopouštíme je proměřování nejbližšího celého elementu v místě trhliny. Pro empirické určení diagramu mezních přetvoření v místě trhliny je chyba, při vyhodnocování vedlejších elementů zanedbatelná. Literatura /3/ uvádí, že porovnáním hlavní osy elipsy v trhlině a v místě vedlejšího nejbližšího nepoškozeného elementu, dává pro maximální stupeň přetvoření gradient změny tvaru blízko Ø.

9. HODNOCENÍ METODY

Deformační síť nanesená touto metodou neovlivňuje podmínky tření mezi nástrojem a plechem. Zjištěním optimální doby leptání, byla eliminována možnost vzniku vrubového účinku. Nanesená síť je dostatečně plastická a je schopná velkých plastických přetvoření. Zaleptání způsobuje vynikající odolnost proti otěru, je tedy schopna přenášet velké měrné tlaky mezi plechem a nástrojem. Tato odolnost se projevuje i ve vztahu k mazivům, které svým účinkem nesnižují její čitelnost po deformaci. Síť je rozměrově a tvarově velmi přesná.
Metoda vyznačování sítě je pracná a časově poměrně náročná, ale může se provádět pomocí snadno dostupných materiálu na snadno dostupném zařízení.

Z této obecné charakteristiky je patrné, že přesnost vyrobené sítě je vyvážena pracností. Tato metoda je zatím v podmínkách KPT nejdokonalejším způsobem vyznačování deformačních sítí.

11. ZÁVĚR

Závěrem lze říci, že technika nanášení zaleptaných sítí je složitější než ostatní používané metody. Dostáváme však výsledky zkoušek i tam, kde to bylo doposud vyloučené na př. u hlubokého tažení. Zaleptané sítě se dají jen obtížně poškodit, což s přesnější metodou vyhodnocování povede jistě k dalším praktickým aplikacím této metody.

V průmyslu, kde se zpracovávají plechy, se velmi často vyskytuje případ, kdy ve snaze vyloučit zmetkovitost se používají dražší značky plechů. Analýza pomocí deformačních sítí je vhodná zkušební metoda, která nám z množství sortimentu materiálu vybere ten materiál, který je z hlediska tváření ještě použitelný, ale je přitom levnější.
Analýza nám také umožní určení maximální kritické změny tvaru v prototypové výrobě součástí z plechu a kontrolu výlisků v sériové výrobě. Tím se dají určovat vlivy nástrojů a mazadel na průběh změny tvaru při plošném tváření materiálu. Vhodným tvarem nástroje je potom možné odstranit kritické oblasti zatížení ve výliscích tak, že výrobek se dá zhotovit bez mezioperačního žíhání s nízkým vlastním pnutím.

Tím však ještě nejsou vyčerpány všechny možnosti praktické aplikace této metody, která se vyznačuje vysokým technologickým obsahem informací a velikým hospodářským významem.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

/1/ Drastík, F. - Elfmark, J. a kol.: Plastometry a tvařitelnost kovů. SNTL, Praha 1977

/2/ Kúbert, M.: Aufbringen und Auswerten von Messrasten. Werkstatt und Betrieb, 113, 1980, č. 7, str. 483 - 486

/3/ Neubauer, A. - Melle, W.: Messnetzanalyse an Blechformteilen aus nichtrostenden Stahlfeinblechen. Fertigungstechnik und Betrieb, 31, 1981, č. 4, str. 229 -232

/4/ Šanovec, J. - Potužáková, V. - Roller, J.: Zaleptané sítě k zjišťování intenzity přetvoření při tváření zastudena. Strojírenská výroba, 1973, č. 2, str. 104 - 106

/5/ Jenčík, J. - Kuhn, L.: Technická měření ve strojírenství. SNTL, Praha 1982

/6/ Firemní literatura: Světlocitlivé roztoky, Lachema, n. p. Brno.

/7/ Ruml, V.: Moderní úpravy kovového povrchu. Práce, Praha 1959

Na tomto místě bych rád poděkoval za pedagogické vedení a cenné připomínky s. ing. Zdeňku B u c h a r o v i z KPT a za odbornou pomoc s. Doc. ing. Jaroslavu B o š k o v i, Csc. z KCH při řešení diplomového úkolu.

V Liberci, dne 27. 5. 1983

Jiří Koudelka