

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

zaměření tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření kovů a plastických hmot

CHARAKTER PORUŠENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY POVRCHOVĚ UPRAVENÉHO
PLECHU PO TVÁŘENÍ

Lenka SLAVÍČKOVÁ

DP - ST - 309

Vedoucí práce: Ing. Jan Jungwirt, KPT, VŠST

Konzultant: Ing. František Beran, KPT, VŠST

Rozsah práce

Počet stran	73
Počet tabulek	2
počet obrázků	25
počet příloh	2

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONŮ)

pro **Lenku Slavíčkovou**obor **strojírenská technologie**

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

Název tématu: **Charakter porušení povrchové vrstvy
povrchově upraveného plechu po tváření**

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte možné typy povrchových úprav plechů určených pro tváření.
2. Seznamte se s metodami zkoušek jakosti povrchových úprav materiálu vč. posuzování porovistosti.
3. Seznamte se s metodami přípravy metalografických vzorků, vč. vzorků pro elektronovou mikroskopii.
4. Navrhněte metodiku posuzování porušení plastickým lomen v podmínkách zkoušky tahem.

V 242 / 87 S

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

KPT/TP

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

Lenka Klavíčlová

V Liberci dne 11. května 1987

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$r_{0,45,90}$	... /1/	... součinitel normálové anizotropie ve směrech $0^{\circ}, 45^{\circ}, 90^{\circ}$ vzhledem na směr válcování
γ_L	... /1/	... přirozená deformace ve směru délky
γ_b	... /1/	... přirozená deformace ve směru šířky
γ_s	... /1/	... přirozená deformace ve směru tloušťky
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	... /MPa/	... hlavní normálové napětí ve směrech 1, 2, 3
$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$	... /1/	... přirozená deformace ve směrech 1, 2, 3
n	... /1/	... exponent zpevnění
r	... /1/	... součinitel normálové anizotropie plastických přetvoření
R_m	... /MPa/	... mez pevnosti
l_0	... /mm/	... závislost na vzdálenosti od lomu v hodnotách před deformací
d_0	... /mm/	... průměr deformačních kroužků
x	... /mm/	... vzdálenost od místa lomu
t	... /mm/	... vzdálenost od místa styku povrchové vrstvy se základním materiálem
s	... /mm/	... místní tloušťka
σ	... /mm/	... pravděpodobná úchylka
HV	... /1/	... tvrdost podle Vickerse
Zn	... /1/	... zinek
Cl	... /1/	... chlór
Fe	... /1/	... železo
Al	... /1/	... hliník
PD	...	... plastická deformace

OBSAH

- 1.0.0. Úvod
- 2.0.0. Povrchové úpravy plechů určených k tváření
 - 2.1.0. Volba ochranných povlaků
 - 2.2.0. Pokovování v roztavených kovech
 - 2.3.0. Plechy s povrchovou vrstvou na bázi zinku
 - 2.4.0. Zkoušky jakosti povrchových úprav
- 3.0.0. Procesy v průběhu tváření kovů
 - 3.0.1. Zpevňování kovů
 - 3.0.2. Odpevňování kovů
 - 3.0.3. Průvodní a následné jevy při zpevnění
- 3.1.0. Metody měření plasticity
- 3.2.0. Tahová zkouška
 - 3.2.1. Zkušební trhací stroje
- 4.0.0. Metody zkoumání struktur
 - 4.0.1. Makroskopické pozorování
 - 4.0.2. Mikroskopické pozorování
- 4.1.0. Příprava metalografických výbrusů
- 5.0.0. Deformační sítě
 - 5.0.1. Geometrický tvar výchozích elementů
 - 5.0.2. Požadavky kladené na deformační sítě
- 5.1.0. Metody vytváření deformačních sítí
 - 5.1.1. Rytí deformačních sítí
 - 5.1.2. Popis speciálního rycího zařízení
 - 5.1.3. Vymezení použitelnosti vytváření rytých deformačních sítí
- 5.2.0. Vyhodnocení plastické deformace pomocí metody deformačních sítí po zkoušce tahem
 - 5.2.1. Výsledky zkoušek plechu jakosti 11 305.21
 - 5.2.2. Vyhodnocení plastometrických vlastností plechů

- 6.0.0. Výsledky zkoušek
- 6.1.0. Měření mikrotvrdostí
- 6.2.0. Metalografické hodnocení klasickou optickou mikroskopií
- 7.0.0. Diskuze k výsledkům provedených zkoušek
- 8.0.0. Závěr
- 9.0.0. Seznam použité literatury

1.0.0 ÚVOD

Rozhodující úlohu v československém národním hospodářství má v současné době jeho progresivní rozvoj. Ten musí vycházet z nejnovějších vědeckých poznatků, aby bylo možné zavádět do výroby nové poznatky technického pokroku. Z tohoto hlediska připadá velmi důležitá úloha výrobě plechů a jeho spotřebě.

Použití plechů je důležité zejména ve strojírenství. Způsobuje změnu materiálové základny zpracovatelských odvětví efektivnějším využitím kovu, tedy snížením vlastní hmotnosti výrobků. To je důležité zejména v ČSSR, která jako vyspělý průmyslový stát, jednak vyváží vysoký podíl produktů strojírenské výroby, a jednak také musí většinu základních surovin dovážet. Zvyšující se výroba plechů však přináší nevyhnutelnost zdokonalení existujících technologií výroby plechů.

Objektivní posuzování tvářitelnosti plechů pro technologii zpracování má stále větší význam. Přitom problematika zkoušení a posuzování je zvláštní v tom, že u plechů nelze provádět zkoušky na libovolném tvaru vzorků vzhledem k malému rozměru tloušťky. Materiál plechu nelze nahradit jinou formou polotovaru, protože kvalitu určuje výrobní způsob včetně povrchových vlastností i zvláštního stavu struktury.

Obor, který se zabývá studiem plasticity je nazýván plastometrií a ten se může zabývat nejen studiem kvality plastických deformací tělesa jako vzorku, ale i napěťových poměrů (silové stránky procesů) při různých teplotách, studiem fyzikální podstaty vzniku změn a kritických stavů. Je známo mnoho metod zkoušení plastických vlastností materiálů, které jsou často nazývány názvem zařízení tzv. plastometrů a ty opět určují i vlastní metodiku zkoušení v jednotlivých případech.

Pro zkoušení plechů lze použít ke studiu právě z důvodu tvaru zkušebních vzorků pouze zkoušky prováděné na univerzálních strojích pro zkoušky kovových materiálů (používá se zkouška tahem s různými alternativními obměnami) a zkoušky technologických vlastností plechů se zvláštní úpravou metodiky (zkouška lámavosti - ČSN 42 04 01, hloubením - ČSN 42 04 06 a 42 04 07, zkouška anizotropie tažením kalíšků - ČSN 42 04 09). Výčet možností aplikovaných na plechy můžeme uzavřít připomínkou na zvláštní metody zkoušení plastických deformací v principu rozdělené na metody zkoumání na povrchu a měření v objemu.

Na univerzálním zkušebním stroji se provádí zkoušky tahem způsobem podle ČSN 42 04 10 se stanovením pevnosti v tahu, meze kluzu, tažnosti a kontrakce. Zvláštním vyhodnocením lze též určovat hodnotu tzv. exponentu zpevnění n a hodnotu součinitele normálové anizotropie plastických přetvoření r . Při zkouškách v různých směrech v ploše vzhledem ke směru válcování můžeme též sledovat plošnou anizotropii všech dílčích hodnot.

S využitím techniky vyznačení deformačních povrchových sítí jsem se pokusila studovat plastické deformace v průběhu zkoušky tahem též v oblasti vyšších intenzit plastického přetvoření.

Výsledkem bylo komplexní vyhodnocení plasticity v podmínkách zkoušky tahem. Tato metodika poskytuje základ metodiky zkoumání vlastností plechů s povrchovými vrstvami a může se stát významným základem studia plechů, které pro moderní zpracování slibují nové a perspektivní vlastnosti hotových výrobků.

2.0.0 POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLECHŮ URČENÝCH K TVÁŘENÍ

Kovové materiály se stýkají během svého zpracování i během provozu s různými látkami tuhými, kapalnými nebo plynými, které s nimi mohou chemicky reagovat a tím poškodit jejich povrch. Běžné technické materiály se stýkají nejčastěji s normální atmosférou, vodou, párou a s atmosférami průmyslových pecí. Při posuzování chemické odolnosti určitého materiálu si všímáme hlavně účinků uvedených prostředí.

Účinky prostředí na kovové materiály se projeví buď jako chemická koroze, nebo jako elektrochemická koroze. Typickým příkladem chemické koroze je oxidace, při níž vzniká přímá chemická reakce mezi kovovým povrchem a okolním prostředím. Elektrochemická koroze vzniká jen za přítomnosti elektrolytu. Při chemické i elektrochemické korozi se vytvoří na povrchu materiálu vrstva, která je nepropustná plynými molekulami při chemické korozi, případně ionty při elektrochemické korozi. Je-li tato povrchová vrstva porézní nebo když snadno odprýská, může reakce mezi kovem a okolním prostředím pokračovat tak dlouho, až se poruší veškerý materiál.

Proto, aby nedocházelo k porušení materiálu, byly vynalezeny technologické způsoby ochrany kovů v souvislosti s bádáním o podstatě koroze.

Boj proti všem druhům koroze se děje různým způsobem:

- a) přísadou jiných kovů k méně ušlechtilým kovům
- b) tím, že učiníme prostředí méně působivé, méně korozní
- c) používáním povlaků různého druhu
- d) anodickou ochranou

2.1.0 VOĽBA OCHRANNÝCH POVLAKŮ NA KOVECH

Povlaky zabráňujeme, aby se kov stýkal s prostředím, které ho narušuje. Povlaky dělíme na kovové a nekovové. Kovové povlaky - jde o povlaky méně ušlechtilých kovů na kovech ušlechtilejších.

Nekovové povlaky - jsou to chemické a elektrochemické způsoby jimiž se vytvářejí na kovech neorganické ochranné vrstvy.

Při navrhování povrchové úpravy se řídíme kritérii, které závisí na povaze výrobku:

- 1) jakému účelu má sloužit povrchová úprava
- 2) zda povrchová úprava je provedena pro zlepšení mechanických vlastností výrobku
- 3) náklady při povrchové úpravě

Galvanické povlaky

Nejjednodušším příkladem galvanického pokovování je vytlačování ušlechtilejšího kovu z roztoku jeho soli kovem méně ušlechtilým. Vložíme-li zinek do roztoku olovnaté soli, rostou na něm stromečkovité krystaly olova. Pozinkovaný plech pomědíme ponořením do roztoku síranu měďnatého. Abychom dosáhli tlustšího povlaku na základním kovu, vedeme elektrický proud vodným roztokem soli kovu.

Na negativním pólu, katodě se vylučuje kov z iontového stavu do kovového a vodík, na anodě pak, kladném pólu, vybíjejí se anionty, rozpouští se anoda nebo se vylučuje kyslík. Kovy vyloučené na katodě nejsou nikdy čisté.

Galvanické pozinkování

Elektrolyty jsou alkalické lázně, slabě kyselé a velmi kyselé. Dále jsou lázně, které dávají matné nebo lesklé povlaky. Hlavní součástí alkalických elektrolytů je zinek ve formě kyanidových komplexních solí, dále louhy a kyanidy alkalické. Kyselé lázně obsahují síran zinečnatý, kyselinu sírovou, přísady ke zvýšení vodivosti a k udržení kyselosti lázně.

Lesku lázně se dosáhne organickými i neorganickými přísadami do lázní. Velmi kyselá lázeň obsahuje dle Taintonova způsobu síran zinečnatý a značné množství volné kyseliny sírové a pracuje s nerozpustnými anodami.

Zinek se dodává u Taintonova způsobu vylouhováním produktů obsahujících kysličník zinečnatý. Přítomnost ušlechtilých kovů je zvláště pro lesklé lázně u Taintonovy lázně škodlivá a jejich větší množství mohou vylučování zinku v kyselých lázních zcela zamezit. Anody jsou z elektrolytického zinku. Dále se používají lázně pyrofosfátové, pro pozinkování drátů a ocelových pásů lázně kyselé.

2.2.0 POKOVOVÁNÍ V ROZTAVENÝCH KOVECH

Pro tento způsob pokovování se nejčastěji používá zinek, cín, olovo a hliník jako ochranná vrstva na oceli. Povlaky mají být pokud možno bez pórů.

Pozinkování v roztaveném zinku

Pozinkování je nejrozšířenější způsob ochrany oceli proti korozi namáčením v roztaveném kovu.

Před pozinkováním se předměty, plechy, pásy upravují mořením, před nímž lze zařadit odmašťování. Moří se v kyselině sírové 6 + 10 %, teplé 70 + 80 °C, 10 + 20 minut, nebo v kyselině solné 17 + 20 %, studené. Při moření se přidávají do mořidel úsporná mořidla (inhibitory), které mají zmenšit ztrátu kovu, snížit spotřebu kyseliny a zabránit vnikání vodíku do základního kovu. U nás byl zaveden dibenzylsufoxid (DBS), který úplně zabraňuje vnikání vodíku do základního kovu. Vynořené předměty se zbavují oplachováním zbytků kyseliny. Přesto zůstávají na povrchu oceli zbytky solí Fe, které jsou nesnadno rozpustné ve vodě. Tyto soli by bránily reakci mezi ocelí a roztaveným zinkem. Proto se odstraňují z povrchu základního kovu tavidly, které podporují smáčení povrchu předmětu snížením povrchového napětí roztaveného zinku.

Tavidlo se nanáší na povrch předmětu dvěma způsoby:

1) při tzv. mokrému způsobu ponořujeme předměty do pozinkovací lázně vrstvou roztaveného tavidla, které plove na jejím povrchu

2) při suchém pozinkování se namáčejí předměty do tavidla, vysouší se v sušicí peci a se zaschlým tavidlem se ponoří do roztaveného zinku.

Základní látkou tavidla je chlorid zinečnatý nebo chlorid amonný, do něhož se přidávají anorganické a organické látky. Pro použití tavidel je důležité takové složení pozinkovací lázně :

obsahuje-li při pozinkování zinek asi 0,1 + 0,2 % hliníku, lze použít jen suchého způsobu. Přísada hliníku zabráňuje reakci mezi Fe a Zn, tvoří se sloučenina Fe Al_3 vlivem větší afinity Al k Fe. Proto je mezivrstvička Fe Zn_7 tenká nebo mizí vůbec. V pozinkovací lázni se tvoří tzv. tvrdý Zn, sloučenina FeZn_7 , která zhoršuje jakost zinkového povlaku a je příčinou ztrát Zn při pozinkování.

Tvorba tvrdého Zn závisí na : způsobu moření, oplachování, teplotě a složení pozinkovací lázně, způsobu vytápění pozinkovací vany, rychlosti průchodu předmětů, plechů, pásů lázní. Výrobní zařízení a technologie při pozinkování jsou u všech druhů materiálů podobné:

- moří se v mořicích kádích
- pozinkuje se ve vanách ze železa ARMCO nebo z kotlových plechů CI nebo z plechů z oceli BO-I, LOF

Vany se vytápějí plynem nebo elektricky. Vany ze šamotového materiálu se vytápějí nízkofrekvenční indukcí. Vkládání plechů do pozinkovací lázně se provádí pomocí strojního zařízení.

Zinkový povlak se může upravovat nátěrem nebo pasivací fosfátováním nebo chromátováním. Také lze namáčet pozinkované předměty do roztoku chloridu, dusičnanu, síranu, octanu měďnatého a vyloučí se na méně ušlechtilém Zn ušlechtilá Cu. Povlak se může nanášet i galvanicky.

Vady při pozinkování

Při pozinkování se setkáváme s těmito typy vad:

- 1) stékání zinku z plechu
- 2) vznik krupičnatého povrchu
- 3) tvoření zebrovitých pásů
- 4) slévání zinku na povrchu
- 5) odlupování zinkového povlaku

ad 1)

Stékání zinku z plechu se vykládá tak, že zůstanou-li zbytky kyslíčnicků na některých místech povrchu oceli, nenastane na těchto místech reakce mezi železem a zinkem a netvoří se na železe pevně lpějící sloučeniny železa se zinkem. Teprve až se všechen kyslíčnick zinkem zredukuje, může se na Fe vytvořit přílnavá vrstva tvrdého zinku.

2.3.0 PLECHY S POVRCHOVOU VRSTVOU NA BÁZI ZINKU (Výrobky japonské fy. Kawasaki steel corp.)

Již v předcházející části jsem se zmínila o tom, že zinek jako ochranná vrstva na oceli se používá velmi často. Této skutečnosti využila i společnost Kawasaki steel corporation. Společnost patří mezi světové výrobce, kteří udržují krok se světovým vývojem. Platí to i o jejích výrobcích z oblasti upravených ocelových plechů.

Povrchové úpravy v této oblasti lze rozdělit do třech skupin:

- a) vrstvy zinku a slitin zinku nanášené elektrogalyvanicky
- b) vrstvy zinku a slitin zinku nanášené ponorem do roztavené lázně
- c) speciální vrstvy (s obsahem polymerů)

Vyráběné plechy s povrchovými úpravami

Společnost Kawasaki nabízí několik značek povrchových vrstev, které mají širokou aplikaci v použití na různé základní materiály a následně v užití pro nejrůznější nasazení v obecné technice.

Rozdělení dle výše uvedeného třídění povrchových úprav:

ad a) RIVER ZINC

Je to elektrogalyvanicky vyloučený povlak Zn, nanášený na plechy zatepla i zastudena válcované.

RIVER HI ZINC

Je to elektrogalyvanicky vyloučený povlak slitinou Zn a Ni, nanesený na plechy zatepla a zastudena válcované.

ad b) RIVER Z

Je to žárově nanášený zinek ponorem do roztavené lázně, nanášený na plechy zatepla i zastudena válcované.

RIVER ALLOY

Je to žárově nanášená slitina Zn - Fe ponorem do roztavené lázně na plechy zastudena i zatepla válcované.

ad c) ZINCROMETAL

Je speciální povrchová úprava tvořená dvouvrstvým systémem. Na speciálně očištěnou ocel se nanáší DACROMET, což je disperze kovového prášku a vodního roztoku obsahující jako hlavní složku kyselinu chromu. Po tepelném zpracování v peci je nanášen ZINCROMET, což je speciální látka tvořená vysokomolekulárním polymerem s vysokým obsahem zinkového prášku. Opět se vrstva podrobuje tepelnému zpracování.

Zkušební metody a testy

- a) zkoušky mechanických vlastností - zejména zkouška tahem
- b) zkoušky přílnavosti povrchové vrstvy - mřížkový test, Erichsenova zkouška, zkouška přehybem
- c) zkoušky tvářitelnosti - kalíšková zkouška
- d) zkoušky korozní odolnosti
- e) testy svařitelnosti, zejména při bodovém odporovém svařování

Typické aplikace

Plechy s povrchovými vrstvami odolnými korozi se používají dle údajů výrobce pro aplikace zejména dle zpracovatelských a užitných vlastností.

Použití je zejména ve stavitelství, elektrotechnických aplikacích na kryty a skříně zařízení, v kancelářských aplikacích - nábytek, automobilový průmysl a ostatní aplikace.

2.4.0 ZKOUŠKY JAKOSTI POVRCHOVÝCH ÚPRAV

Tloušťka povrchových vrstev je určována metodami zpočívajícími na základním principu. Mezi tyto metody lze zařadit:

a) zkouška snímací, hmotnostní a plynoměrná.

Vrstva povrchových úprav se chemicky odleptá v roztoku vhodné kyseliny. V některých případech s přídavkem proti působení rozpouštění základního materiálu. Vyhodnocení se provádí hmotnostně, tím že se stanoví hmotnostní úbytek na vzorku velikosti 1 dm^2 a ze známé hodnoty měrné hmotnosti kovu se vypočte tloušťka povrchových vrstev.

Množství kovu povrchové úpravy lze stanovit z množství vodíku, které při procesu rozpouštění vzniká. V těchto případech se používá zvláštní skleněná aparatura. Metoda se nazývá plynoměrná. Praktické použití plynoměrné metody je vhodné pro zkoušky pokovení drátů a drobných součástek, u kterých lze vyhodnotit kvalitu povrchových úprav stanovením množství kovu na jeden výrobek.

b) metody kapkové, které zpočívají na principu chemického odleptávání povrchové vrstvy vhodným roztokem kyseliny. Ve vhodném roztoku kyseliny může být obsažen přídavek, který signalizuje ukončení leptacího procesu. Výsledek se vyhodnocuje stanovením doby, po kterou leptadlo působí nebo podle počtu kapiček, které jsme museli nanést pro účel chemického odleptání.

c) proudové metody odleptávání povrchové úpravy zpočívají na principu vedení proudu chemického odleptávacího prostředku na zkoušené místo. Tloušťka povrchové vrstvy se stanoví určením doby potřebné k odleptání. Předností této metody je obnova chemického prostředku v procesu odleptání.

d) stanovení tloušťky vrstev na principu využití měření magnetických a elektrických.

Měření se provádí zvláštními přístroji. Lze ovšem použít pouze v případech, kdy zkoušíme povrchové vrstvy nemagnetické na základních materiálech feromagnetických nebo v případech, kdy se feromagnetické vlastnosti od sebe výrazně liší. Elektrické metody lze používat v případech, kdy zkoušíme nekovové povlaky na elektricky vodivých materiálech.

e) přímé metody metalografické zpočívají v přípravě metalografického výbrusu s řezem kolmým k povrchu nebo s řezem provedeným pod určitým úhlem. Tloušťka se vyhodnocuje přímým měřením na klasickém metalografickém mikroskopu nebo s použitím elektronové mikroskopie.

Metoda metalografická je ustanovena v ČSN.

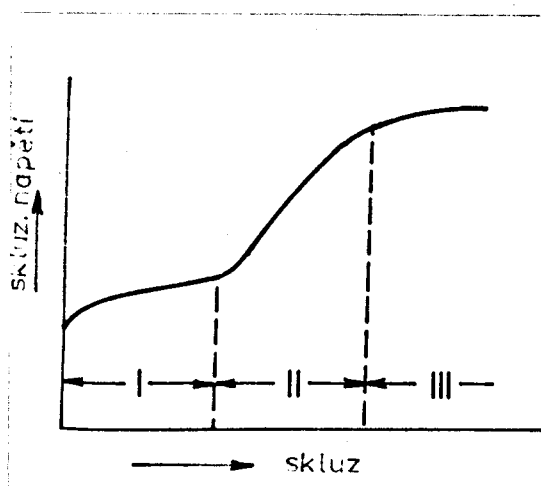
Je klasifikována jako metoda rozhodčí, protože metody ostatní stanovují tloušťku vždy pouze s omezenou přesností. Je to metoda, která jako jediná může stanovit místní stav tloušťky na povrchových nerovnostech.

3.0.0 PROCESY V PRŮBĚHU TVÁŘENÍ KOVŮ

V průběhu tváření kovů (plastické deformaci) probíhají obecně 2 procesy, jejichž míra uplatnění je závislá na teplotě a čase. Je to zpevnění a odpevnění.

3.0.1 ZPEVNĚVÁNÍ KOVŮ

Zpevnění kovů se projevuje vzrůstajícím odporem materiálu s rostoucí intenzitou přetvoření. Obecně lze říci, že podíl odpevnění je velmi malý při teplotách $T \leq 0,3 T_{\text{tav}}$. V takovém případě hovoříme o tváření za studena, jeho výrazným průvodním jevem je zpevnění. Při zpevnění dochází ke zvyšování některých mechanických vlastností jako je např. tvrdost a pevnost.



3.1

Obr. Křivka zpevnění monokrystalu kovu s kubickou plošně centrovanou mřížkou

Jelikož k plastickému přetvoření dochází především pohybem dislokací, znamená to, že se dislokace s rostoucím přetvořením stále obtížněji pohybují a vznikají. Z praktického hlediska je závislost skluzové napětí - skluz určující pro stanovení tvářecích sil.

Oblast I

K tomu, aby došlo k plastickému přetvoření, je nutné překročit napětí na mezi průtažnosti resp. mezi kluzu tj. realizovat pohyb dislokací. Potřebné napětí je tím větší, čím větší množství poruch brání jejich pohybu. Významný je vliv Cottrelových atmosfér, vznikajících hromaděním bodových poruch v okolí dislokací. Ty pak brání dislokaci v pohybu a k jejímu uvolnění je třeba zvýšeného napětí.

Po překročení meze kluzu dojde k pohybu dislokací v nejvýhodnějších rovinách a směrech bez překonávání větších překážek. S rostoucím přetvořením vzrůstá hustota dislokací a tím i napěťové pole v primárních skluzových systémech, které brání dalšímu pohybu dislokací. Důsledkem je aktivace sekundárních skluzových systémů. V tomto okamžiku nastává přechod do oblasti II.

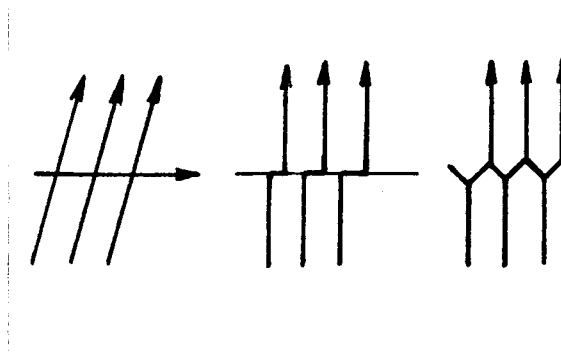
Oblast II

Jakmile je aktivován další skluzový systém, dochází k silné interakci mezi dislokacemi primárního a sekundárního skluzového systému. V této souvislosti hovoříme o tzv. totálním přetvoření. To se projeví výrazným zpevněním, které je důsledkem působení dislokačního lesa, Lommerových - Cottrelových bariér a dislokačních skoků. Napětí potřebné k realizaci přetvoření lze v této oblasti ztotožnit s napětím nutným k aktivaci Frank - Readových zdrojů a potřebným k pohybu dislokací.

Tomuto brání:

- a) pole napětí dislokačního lesa
- b) napětí dalekého dosahu dislokací nakupených za Lommerovými - Cottrelovými bariérami
- c) odpor vyvolaný dislokačními skoky při vzájemném prolínání dislokací

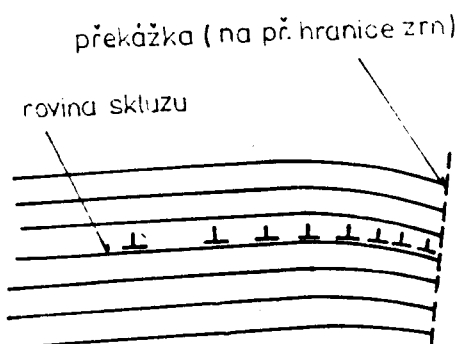
Model dislokačního lesa je schematicky znázorněn na obr. 3.2



Obr. 3.2 Vznik dislokační sítě interakcí dislokací

Dislokační zdroje mohou pracovat za předpokladu, že napětí je dostatečně velké k tomu, aby vzniklé dislokace mohly protnout dislokace lesa a překonaly jeho napěťové pole. Při vhodné orientaci lesa jím mohou být zachyceny. Hustota lesa v průběhu plastického přetvoření vzrůstá a tím roste i odpor proti pohybu vzniklých dislokací. Vnější projevem je zpevňování.

Model "pile - up" předpokládá, že některé dislokace z F - R zdrojů se mohou zastavit před nějakou překážkou např. Lommerovou - Cottrelovou bariérou a další se pak za nimi nakupí. Při pokračujícím přetvoření roste počet bariér, až je nakonec každý zdroj jimi obklopen.



Obr. 3.3 Hranové dislokace na hranicích zrn

Zpevnění je v tomto případě způsobeno napětím dalekého rozsahu.

Teorie dislokačních skoků předpokládá, že skoky na šroubových dislokacích mohou bránit jejich pohybu a jejich počet roste s rostoucí hustotou dislokací a s aktivací sekundárních skluzových systémů.

Z uvedeného je zřejmé, že na zpevnění v oblasti II se podílí všechny tři popsané mechanismy.

Oblast III

Vlivem vysokého napětí v závěru oblasti II jsou postupně překonávány překážky pohybu dislokací vzniklé v uvedené oblasti II.

3.0.2 ODPEVNĚVÁNÍ KOVŮ

Odpevňování, tedy částečné nebo úplné odstranění příčin zpevnění, může probíhat od teploty $T > 0,3 T_{\text{tavení}} [K]$. Při teplotách $T \geq 0,7 T_{\text{tavení}} [K]$ je podíl odpevnění tak velký, že se mechanické a fyzikální vlastnosti kovů v průběhu tváření v podstatě nemění a vliv zpevnění je tedy téměř okamžitě rušen odpevněním. V takovém případě hovoříme o tváření za tepla.

Z přecházející kapitoly vyplývá, že v průběhu tváření za studena dochází v mřížce k akumulaci značné deformační energie a tvářený materiál je z hlediska daného stavu termodynamicky nestabilní. Důsledkem je snaha po návratu do stavu s nižší volnou energií. K tomuto ději obecně nemůže dojít samovolně, ale pouze při vyšších teplotách cestou tepelně aktivovaných dějů. Je to např. tehdy, chceme-li zařadit další tvářecí operaci bez nebezpečí vyčerpání plasticity materiálu anebo vyžadujeme-li optimální fyzikální vlastnosti např. elektrickou vodivost.

Obecně proces odpevnění směřuje k tomu, aby byly kovu vráceny jeho původní vlastnosti. V takovém případě je nutno realizovat ohřev na teplotu $T > 0,3 T_{\text{tavení}} [K]$. K odpevnění, tj. odstranění stavu po plastickém přetvoření dochází těmito základními procesy:

- a) zotavením
- b) rekrytalizací (primární)
- c) sekundárním růstem zrn

Zotavení

Je charakteristické změnami v uspořádání dislokací způsobem vedoucím ke snížení deformační energie mřížky. Tento děj je realizován především šplháním a interakcí dislokací. Jedním z nejdůležitějších zotavovacích pochodů je polygonizace, při které se seskupují dislokace stejného znaménka. Důležitým pochodem při zotavování je vzájemné přibližování a anihilace dislokací opačného znaménka.

Z hlediska mechanických vlastností je zotavení provázené poměrně malým snížením tvrdosti a přetvárné pevnosti. Zvyšuje se odolnost proti korozi a schopnost k plastickému přetvoření.

Rekrystalizace

Při rekrystalizaci vzniká nová struktura téže fáze. Při primární rekrystalizaci je původní deformovaná struktura zcela nahrazena nedeformovanou strukturou. Polygonizace je nutným pochodem předcházejícím rekrystalizaci.

Průběh rekrystalizace závisí na těchto faktorech:

- 1) na velikosti přetvoření, které předcházelo rekrystalizaci

S rostoucí mírou přetvoření roste i termodynamická nestabilita kovu, čím se snižuje rekrystalizační teplota a pro přetvoření nad 25 % se ustálí na tzv. minimální rekrystalizační teplotě. Je to teplota, při níž úplná rekrystalizace proběhne za jednu hodinu. Tuto teplotu je možno u většiny kovů stanovit z absolutní teploty tavení dle vztahu:

$$T_{\text{rekryst.}} = 0,4 T_{\text{tavení}} [K].$$

Velikost zrna po rekrystalizaci závisí též na stupni přetvoření. S rostoucím stupněm přetvoření dochází k aktivaci stále rostoucího počtu skluzových systémů, vzrůstá počet míst vhodných pro nukleaci zárodků nové struktury a tím se bude velikost zrna zmenšovat. Existují však kritické stupně tváření, kdy dojde ke zhrubnutí zrna (je to stupeň přetvoření 4 + 12% a nad 95%).

2) na teplotě

S rostoucí teplotou exponenciálně roste i rychlost rekrystalizace a tedy se zmenšuje čas potřebný k její realizaci. Na charakter struktury po rekrystalizaci má značný vliv stupeň přetvoření a teplota. Proto jsou sestavovány tzv. rekrystalizační diagramy.

3) na chemickém složení kovu

Na průběh a podmínky rekrystalizace má vliv i chemické složení (např. čistota kovu). Lze konstatovat, že s rostoucí čistotou kovu rekrystalizační teplota klesá.

Sekundární růst zrn

Uskutečněním primární rekrystalizace byla původní tvářená struktura nahrazena v úplném rozsahu strukturou novou. Sekundární růst zrn lze vysvětlit na základě tendence tvářeného materiálu ke snížení celkové energie a to na základě minimalizace plochy hranic zrn. Tento proces se uplatní při výdrži na rekrystalizační teplotě po ukončení primární rekrystalizace. Hranice zrn se pak napřimují, malá zrna se zmenšují a větší rostou. Tato sekundární rekrystalizace se uplatňuje při vyšších stupních přetvoření, vyšší rekrystalizační teplotě a je nežádoucí.

3.0.3 PRŮVODNÍ A NÁSLEDNÉ JEVY PŘI ZPEVNĚNÍ

Změna mechanických vlastností a struktury

Zpevňování materiálu při tváření za studena má zásadní vliv na jeho mechanické vlastnosti. Lze jej charakterizovat zvýšením tvrdosti nebo změnou veličin, zjišťovaných při zkoušce tahem. Ze strukturního hlediska dochází k deformaci zrn v návaznosti na realizovanou změnu tvaru tvářence. Tato skutečnost bude mít vliv na směrovost mechanických vlastností tvářeného kovu (anizotropii). Hovoříme pak v této souvislosti o tzv. deformační textuře.

Tvárný lom

Při pokračujícím plastickém přetvoření dochází v určitém stadiu k porušení homogenity tohoto procesu a plastická deformace se stává lokalizovanou (krček na zkušební tyči při zkoušce tahem). V takovém místě pak dochází poměrně rychle k vyčerpání schopnosti k dalšímu plastickému přetvoření a tedy k tvárnému lomu. Vysvětlení tohoto děje podává skutečnost, že dislokace při vysokém stupni přetvoření vytváří systém dutinových poruch. Jednotlivé dutiny jsou spojeny stále slabšími můstky. Při dosažení kritického stupně přetvoření dochází k porušení můstků a lomu. Popsaný proces úzce souvisí s heterogenitou plastického přetvoření v poslední fázi tváření před lomem. Příčinou mohou být povrchové nerovnosti a vnitřní vady materiálu.

Deformační stárnutí

Při tváření kovů za studena dochází v závislosti na čase ke změnám jejich mechanických vlastností. Základním procesem tohoto charakteru je deformační stárnutí. Je způsobeno interakcí intersticiálně uložených cizích atomů v mřížce (u ocelí především dusíku a uhlíku) s dislokacemi a uskutečňuje se v následujících epatách:

- a) vytváření tzv. Cottrelových atmosfér (interakcí) podél dislokací
- b) přeskupení cizích atomů do samostatných zón okolo dislokací (Guinier - Prestonovy zóny)
- c) nukleace precipitátů (nitridů, karbidů)
- d) růst precipitátů

Průběh stárnutí bude závislý na množství přítomných cizích atomů a na teplotě. Lze jednoznačně konstatovat, že se tvárnost materiálu vlivem deformačního stárnutí zhoršuje. Eliminaci nežádoucího vlivu stárnutí na tvárnost je možno uskutečnit v zásadě dvojím způsobem:

- 1) snížením obsahu dusíku v oceli a dále přidáním takových prvků do oceli, k nimž mají dusík a uhlík větší afinitu než k dislokacím
- 2) renovací

Vliv tváření za studena a následné rekrytalizace na strukturu

Tvářením za studena a následnou rekrytalizací je možno výrazně ovlivnit vlastnosti materiálu. Je možno dosáhnout zjemnění struktury a tím zlepšení mechanických vlastností, zejména pevnostních. Vhodnou volbou podmínek a stupně přetvoření lze získat materiál s výrazně směrovými vlastnostmi danými krystalografickou texturou. Této možnosti je využíváno při výrobě hlubokotažných ocelových plechů.

Typickým jevem u ocelí tvářených za studena a rekrytalizačně žíhaných je tzv. rádkovitost struktury. Tvářením s jedním převládajícím směrem deformace dochází ke směrovému uspořádání jednotlivých krystalů, jejich protažení a orientaci ve směru působení vnější síly. Současně se deformují i případné vměstky či jiné nekovové fáze ve struktuře. Jsou-li dostatečně tvárné, protahují se ve směru tváření, jsou-li křehké, rozdrťí se a jejich částčky se seřadí rovněž ve směru hlavní deformace.

Tak vměstky získávají buď vláknité nebo řádkovité uspořádání. Výsledkem pak je charakteristická deformační strukturní textura materiálu. Rekrytalizačním žíháním lze tuto texturu měnit. Výsledkem je zejména u vícefázových struktur uhlíkových ocelí řádkovité uspořádání feritu a perlitu (resp. cementitu).

3.1.0 METODY MĚŘENÍ PLASTICITY

Metody měření plasticity lze rozdělit na metody pro posuzování vnitřní a na metody měření na povrchu zkoumaných vzorků.

Měření deformace na povrchu

1. Měření metodou povrchových sítí.

Vyznačení deformačních sítí je provedeno pravoúhle a rovnoběžně (čtvercová síť). Na povrchu metalografického výbrusu se deformační síť vyznačí rytím, s parametrem vzdálenosti $d_0 = 0,25$ a s parametrem menším. Sítě po deformaci se vyhodnocují přesným proměřením. Zároveň lze metodou posuzovat heterogenitu deformací v případech, kdy čáry vyznačující síť protínají hranice zrn, případně přecházejí přes hranice heterogenně vyloučených fází ve struktuře materiálu. Hodnocení heterogenity deformací se posuzuje na fotografiích struktur při zvětšení (100 + 1 000) násobném.

2. Měření deformace na povrchu s použitím mikroskopické interference světla.

Vzorek se připraví broušením a leštěním jako povrch metalografického výbrusu a po příslušné deformaci vzorku se zjišťuje tvar a hloubka povrchových nerovností vzniklých plastickou deformací. Pro zkoušky se používají speciální interferenční mikroskopy pro posuzování povrchových nerovností.

3. Technika proužkové struktury

Jestliže vytvoříme na povrchu strukturu rovnoběžných proužků v průsvitné povrchové vrstvě, dochází při posuvu po plastické deformaci základního materiálu k interferenci odraženého světla. Tohoto jevu je využíváno ke stanovení plastické deformace v základu, podobně jako při použití mikroskopických interferometrů. K vytvoření různých obrazů dochází při směru rovnoběžném nebo kolmém proužkové struktury. Ke směru jednoosého napětí nebo ke směru deviátoru napětí dochází k vytvoření různých obrazů také. Metodu je možno využívat i pro modelování napětí v blízkosti prasklin při studiu tvorby poruch.

4. Vyhodnocování metodou povrchových vrstev s vlastnostmi fotoelasticimetrickými

Povrch vzorků, na který byla nanесena transparentní vrstva vhodné jakosti se osvětluje monochromatickým světlem polarizovaným. Po průchodu a odrazu povrchovou vrstvičkou, světlo prochází analyzátozem (polarizačním filtrem). Výsledek se zjišťuje analýzou obrazců vyznačujících místa, ve kterých dochází k interferenci světla.

Měření deformace v objemu

1. Využití difrakce rentgenového záření v povrchových vrstvách studovaných vzorků.

Vlivem napětí nebo plastické deformace dochází u polykrystalických kovových materiálů ke změnám interferenčních obrazců. Nejčastěji se používá metoda odrazová, a proto proniknutí záření při různých podmínkách dopadu může dosáhnouti hodnot několika desetin mm. Protože difrakci dosahujeme pouze za určitých podmínek, je nutno zkoumat materiál ocelí pouze v podmínkách určitého monochromatického záření rentgenky, tj. zdroje s anodou kobaltovou.

2. Metoda měření tvrdostí

Vlastní měření se provádí stanovením mikrotvrdosti dle ČSN 42 03 75. Pro vyhodnocení je důležité určení kalibrační závislosti mezi hodnotou mikrotvrdosti a intenzitou plastické deformace.

3. Technika deformačních sítí

Podobně jako na povrchu vzorku lze vytvořit deformační síť na vhodných řezech vzorků a tyto lze vyhodnocovat po plastické deformaci a po rozebrání. Stav deformace podle druhu plastického přetvoření se musí vyhodnocovat ještě ve třetím rozměru, pro který máme k dispozici v některých případech provedený řez a možnosti vyhodnocení mikroskopickou interferencí a jinými metodami. Zákonitost stálosti objemu při konečném vyhodnocení plastické deformace platí pouze pro případy, kdy směry hlavních deformací jsou známy a kdy v metodice zkoušek volíme vhodnou orientaci rovin při dělení vzorku při přípravě zkoušek.

4. Vnitřní vyznačení deformačních sítí

V podstatě lze použít zejména u kovových materiálů se strukturou tuhého roztoku s dobrou rozeznatelností hranic zrn. V této metodě se srovnává rozměr zrn struktury před deformací a po deformaci vzorku. Průměrná velikost zrn se stanovuje kvantitativním vyhodnocením průsečíkovou metodou alespoň ve dvou řezech na sebe kolmých. Při znalosti hlavních směrů, deformace lze vyhodnocovat pomocí vzorových struktur a komparačního mikroskopu. Vzorové struktury můžeme vyhodnocovat zvláštními experimenty.

5. Metoda posuzování kvality a kvantity dislokací zjištěných naleptáním struktur na řezu.

Zkouškami tohoto typu byly prakticky provedeny snímky struktur křemíkových ocelí s 3% Si. Metalografické výbrusy byly připraveny elektolytickým leštěním a leptáním.

Zkouškami bylo zjištěno, že při plastické deformaci do 1% poměrné deformace vznikají v materiálu pouze ojedinělé a jednotlivé shluky dislokací. Při deformacích větších byly zjištěny ve struktuře stopy kluzných čar a počet shluků dislokací se úměrně zvětšoval.

6. Přímé zjišťování dislokací

Lze provádět s použitím transmisní elektronové mikroskopie a lze používat i rentgenové difrakce.

Možno konstatovat, že přímé metody zjišťování stavu a rozložení jsou metodou univerzální, vhodnou prakticky pro celou stupnici intenzit deformací. Naproti tomu výše popsané metody lze aplikovat v určitých konkrétních podmínkách.

3.2.0 TAHOVÁ ZKOUŠKA

Z mechanických zkoušek je nejpoužívanější tahová zkouška. Zkušební metoda je založena na principu působení vnějších sil na zkoušený materiál s cílem zjistit a kvantitativně vyjádřit zkoušenou vlastnost. Povaha vnějších sil při mechanických zkouškách je ⁹mechanická. Reakce zkoušeného materiálu na působení vnějších sil je dána vzájemnou interakcí 4 základních činitelů:

- zatížení
- zkušebního tělesa
- materiálu zkušebního tělesa
- ostatních podmínek zkoušky

Ostatní podmínky zkoušky jsou dány především zkušební teplotou a obklopujícím prostředím.

Zkouškou tahem lze na jedné zkušební tyči zjistit čtyři normované základní mechanické vlastnosti, a to:

- pevnost v tahu
- mez kluzu
- tažnost
- kontrakci

Kromě těchto základních vlastností se speciálním postupem dají zjistit:

- modul pružnosti
- mez úměrnosti
- konvenční mez pružnosti

Diagram, který zaznamenává zkušební (trhací) stroj, charakterizuje průběh odporu zkoušeného materiálu proti deformaci a porušení a nazývá se tahový (zatěžovací) diagram.

Tento může být zobrazen ve čtyřech formách:

- a) v absolutních hodnotách (záznam trhacího stroje) $F - \Delta L$
- b) v poměrných hodnotách konvenčních veličin $- \sigma - \epsilon$
- c) v poměrných hodnotách skutečných veličin $- \bar{\sigma} - \bar{\epsilon}$
- d) v poměrných hodnotách skutečných veličin $- \bar{\sigma} - \bar{\mu}$

Zkušební tyč je upnuta do čelistí zkušebního stroje. Zkušební tyč se zatěžuje osovou silou, přičemž v ní vznikne normální napětí ve směru síly F a smykové napětí, které má maximální hodnotu v rovině skluzu. Při tahové zkoušce se teoreticky předpokládá rovnoměrné rozložení napětí po průřezu tyče. Ve skutečnosti by tento předpoklad platil pouze u materiálu, který je izotropní. V kovových materiálech jsou jednotlivá zrna uspořádána náhodně, a proto mají v různých směrech různé mechanické vlastnosti. Z toho vyplývá, že toto tvrzení ve skutečnosti nemůže platit. Osová síla je pomalu rostoucí a ^aztěžuje zkušební těleso až do porušení celistvosti. Velikost vyvozeného normálního napětí v tělese je dána vztahem:

$$R = \frac{F}{S_0}$$

To je smluvní hodnota, protože neuvažujeme změnu průřezu zkušební vzorku během zatěžování.

Skutečné celkové prodloužení je dáno vztahem:

$$\Delta L = L_n - L_0$$

Poměrné prodloužení je dáno vztahem:

$$\epsilon = \frac{L_n - L_0}{L_0}$$

V případě, když sledujeme prodloužení vzorku, zjistíme, že do počátku vytvoření krčku je deformace rovnoměrná, a potom pokračuje jen v místě krčku. Měřítkem tvárnosti je prodloužení tyče po přetržení a to se určuje podle vzorce:

$$A = \frac{L_n - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

A - tažnost

L_0 - počáteční délka zkušební vzorku

L_n - délka zkušební vzorku po přetržení

3.2.1 ZKUŠEBNÍ TRHACÍ STROJE

V současnosti se trhací stroje vyrábějí nejen pro tahové zkoušky, ale v takovém vyhotovení, aby se daly použít i pro zkoušky na tlak a ohyb. Dodávají se většinou s množstvím pří-
davných zařízení pro možnost upnutí různých a různě velkých
zkušebních těles. Takové stroje nazýváme univerzální trhací
stroje.

Podle polohy osy namáhání zkušební tyče je dělíme na
vertikální a horizontální. Většinou se používají stroje verti-
kální.

Podle způsobu zatěžování je možno trhací stroje rozdělit
na mechanické (vřetenové) a hydraulické. Pro zatížení pod
200 kN se vyrábějí většinou mechanické, nad 200 kN pak
hydraulické.

Části trhacího stroje:

- a) vlastní rám (stojan) stroje, kterým se přenáší zatě-
žující síla ze zatěžovacího zařízení na zkušební tyč
- b) zatěžovací zařízení, kterým se mění elektrická ener-
gie přiváděná do stroje na mechanickou, která se spot-
řebuje na zatížení a deformaci zkušebního tělesa
- c) zařízení na měření a záznam síly
- d) zařízení na měření a záznam deformace
- e) ovládací zařízení

Mechanické zatěžovací zařízení může být vřetenové nebo
pákové. Vřetenové zatěžovací zařízení se skládá z jednoho nebo
dvou šroubových vřeten s maticí, z převodu a pohonu (obvykle
elektromotorem).

Výhodami mechanického zatěžovacího zařízení je vyšší tuhost,
samosvornost, možnost udržování konstantního zatížení, konstan-
tní polohy nebo rychlosti pohybu příčnicku atd. Nevýhodami jsou
větší setrvačné hmoty a tím setrvačnost, což neumožňuje rychlé
změny zatížení, střídavé zatěžování a podobně.

Pro měření síly se používají siloměry, které mohou být:

- mechanické
- mechanicko-elektrické
- hydraulicko-mechanické
- hydraulicko-elektrické

Starší trhací stroje byly ovládány ručně, ale požadavky na průběh zkoušky si v současné době vyžádaly přechod na automatické řízení průběhu zkoušky. Některé firmy již dodávají stroje s malým řídicím počítěčem, nebo stroje upravené tak, že mohou být spojené s řídicím počítačem "on-line".

4.0.0 METODY ZKOUMÁNÍ STRUKTUR

Ke studiu struktury jako projevu krystalové stavby na lomu nebo vyleštěné ploše vzorku slouží makroskopické pozorování a optická nebo elektronová mikroskopie. Makroskopické vyšetřování umožňuje pouze posouzení poměrně hrubých detailů struktury. Podrobný rozbor struktury lze provést jen mikroskopickými metodami. K zjišťování krystalové struktury, kterou nelze zachytit v žádném případě optickými metodami, se používá difrakce vhodného záření na mřížce. zkoušeného kovu.

4.0.1 MAKROSKOPICKÉ POZOROVÁNÍ

Makroskopické pozorování používáme pro posouzení povrchových vad, lomových ploch a makrostruktury. Ke studiu makrostruktury je nutno zhotovit výbrus a strukturu vhodným způsobem zviditelnit.

Příprava výbrusu záleží většinou v obroušení a hrubém vyleštění. K vyvolání makrostruktury se používá leptadel s delší dobou působení, která vyvolávají hloubkové leptání. K hloubkovému leptání ocelí a litin se používá 50% kyseliny solné. Tímto leptáním lze zviditelnit hrubší vady, mecelistvosti, vycezeniny, trhliny a větší vměstky. Také lze takto určit hloubky cementovaných, nitridovaných a kalených vrstev.

Vhodnými leptadly lze vyvolat jemnější podrobnosti makrostruktury, např. dendritickou, odmišení fosforu, makroskopické rozložení sirníků i strukturu svarových spojů.

V tomto případě je třeba výbrus vyleštit. Fosforové a sirnikové segregace v oceli se projeví hnědým zabarvením na světlém pozadí leptadlem podle Heyna. Sirnikové segregáty a jejich rozdělení v ingotech lze zachytit Baumannovými etisky. Podobnými postupy můžeme vyvolat též makrostrukturu neželezných kovů, podle jejichž chemické povahy volíme vhodná leptadla.

4.0.2 MIKROSKOPICKÉ POZOROVÁNÍ

Přípava vzorku.

Vzorek, odebraný z vhodného místa, vyžaduje pracovní úpravu, při níž nesmí dojít k tepelnému nebo mechanickému ovlivnění mikrostruktury. Pracnost přípravy roste s velikostí vzorku. Proto se volí vzorky malé s plochou výbrusu asi do 5 cm². Menší vzorky se k usnadnění dalšího zpracování naopak preparují zalitím nebo zalisováním do hmoty vhodných vlastností. Pro velmi drobné vzorky (dráty, plechy) je preparace nezbytná a dovoluje umístit v jednom výbrusu větší počet vzorků. Po vybroušení na sadě smirkových papírů se vzorek leští mechanicky, elektrolyticky nebo chemicky. Některé detaily lze pozorovat na vyleštěném výbrusu bez dalšího zviditelňování. Ostatní detaily struktury je nutno vyvolat leptáním.

Leptání.

Leptáním vhodně volenými leptadly se různě ovlivňují jak rozdílné strukturní složky, tak jednotlivé krystaly téže složky, podle krystalografické orientace vzhledem k rovině výbrusu. Projeví se to různým světelným tónováním. Hovoříme o plošném leptání.

Některá leptadla napadají oblast rozhraní zrn intenzivněji než vlastní zrno. Děje se tak vlivem nečistot vyloučených na hranicích. Zrn i vlivem většího množství poruch mřížky v této oblasti. Takových leptadel se používá k vyvolávání hranic zrn.

Rozšířené je leptání elektrolytické. Dochází při něm k selektivnímu rozpouštění určitých strukturních složek. Děj je závislý na použitém elektrolytu, proudových a napěťových podmínkách. Elektrolyticky lze vyvolat i strukturu slitin, které chemickým leptáním nelze naleptat.

Optická metalografická mikroskopie.

Na rozdíl od biologických preparátů, které se studují průchodem světla, je nutno výbrusy pozorovat v odraženém světle. Tomu je přizpůsobena konstrukce metalografických mikroskopů. Část světla vysílaného zdrojem se odráží od planparalelního skla nebo hranolu, projde objektivem a dopadá kolmo na povrch výbrusu. Odražené paprsky se vracejí objektivem. Část světla se odráží zpět do zdroje, část prochází do okuláru. V tomto případě jeví se rovné odrážející plochy výbrusu světlé, prohlubně, rýhy a nerovnosti, které světlo neodrazí do objektivu, jsou tmavší. Tomuto systému říkáme pozorování ve světelném poli.

Jestliže dopadá světlo na výbrus šikmo, odrážejí se paprsky od roviny výbrusu mimo objektiv. Tyto plochy se jeví v okuláru tmavé. Nerovnosti odrazí alespoň část světla do objektivu a jsou světlé. Toto uspořádání jmenujeme pozorováním v tmavém poli.

Objektiv mikroskopu na rozdíl od lupy dává skutečný obraz předmětu. Ten se buď pozoruje okulárem, nebo se může promítnout na matnici nebo na fotografickou desku. Zvětšení mikroskopu udává, kolikrát se pozorovaný předmět zdá být větší než pouhým okem z normální vzdálenosti 250 mm. Počítá se s ohniskovou vzdáleností objektivu a okuláru. Nejsnadněji se zjistí ze zvětšení cejchovního měřítka promítnutého na matnici. (zvětšení až 1 500 : 1).

Rozlišovací schopnost objektivu je závislá na hodnotě jeho číselné apertury dle vztahu:

$$d = \lambda / A$$

d ... rozlišovací schopnost μm (nejmenší vzdálenost dvou bodů, které jsou při pozorování od sebe ještě jasné rozlišitelné)

λ ... vlnová délka světla použitého k osvětlení vzorku μm

A ... číselná apertura

$$A = n \cdot \sin \alpha$$

n ... index lomu prostředí mezi objektivem a pozorovaným výbrusem

α ... poloviční otvorový úhel objektivu

Apertura může být zvýšena vyšším indexem lomu prostředí, k čemuž se používá nejčastěji cedrového oleje. Speciální objektivy pro tento účel se nazývají imerzní.

Elektronová mikroskopie.

Větší rozlišovací schopnost a tím i účinné zvětšení umožňuje elektronový mikroskop. Světelné paprsky jsou tu nahrazeny svazkem elektronů, jimž je možno přiřadit vlnovou délku řádově 0,05 Å. Elektronová optika je tvořena elektrostatickými nebo elektromagnetickými čočkami. Princip zobrazování je stejný jako ve světelném mikroskopu. Zvětšený reálný obraz předmětu se pozoruje buď na fluorescenčním stínítku, nebo se zachycuje na fotografickou desku.

Na elektronových mikroskopech lze pozorovat předmět výhodně jen v uspořádání na průchod. Elektrony jsou při průchodu hmotou rozptylovány tím víc, čím větší je její atomová hmotnost. Svazek elektronů v elektronových mikroskopech s urychlovacím napětím do 90 kV nemá dostatek energie, aby pronikl velmi tenkým kovovým vzorkem. Proto se u takových mikroskopů pracuje s tenkými blánami organických látek, z nichž se vytvoří negativní otisk všech detailů povrchu výbrusu. Někdy se zhotovují i pozitivní otisky, nejčastěji uhlíkové. Teprve otisky se pozorují v elektronovém mikroskopu.

Otisk (replika) má podle reliéfu povrchu výbrusu v různých místech různou tloušťku, která různě rozptyluje elektrony. Místa o větší tloušťce se jeví proto na obraze tmavší, tenká místa otisku propustí více elektronů a jeví se světlejší. Pro zvýšení kontrastu obrazu se obvykle otisky zesilují napařením vrstvičky kovu ve vakuu, kterým se stanou místa pokrytá vrstvou kovu neprůhledná pro elektronový svazek.

Výhodné jsou i extrakční otisky, které nejen kopírují povrch, ale zachycují v sobě i jemné disperzní částice ze struktury. Této techniky se používá i ke studiu lomových ploch.

Vývoj elektronového mikroskopu a pozorovací techniky umožňuje v poslední době i přímé prozařování tenkých kovových řezů elektronovým paprskem. Pracuje se bez otisků a jde o transmisní elektronovou mikroskopii.

4.1.0 PŘÍPRAVA METALOGRAFICKÝCH VÝBRUSŮ

Při zjišťování kvality povrchových vrstev je třeba zhotovit metalografické výbrusy s řezem kolmým a šikmým k povrchu. Elektronová mikroskopie se provádí ve vysokém vakuu, a proto ne každá zalévací hmota je vhodná. V rámci mé přípravy jsme vyzkoušeli metodu přípravy výbrusu zalévání do chemicky tvrditelných pryskyřic (epoxi 1 200).

Metalografické vzorky se zalévají do ocelových kroužků s vnitřním průměrem 22 mm. Potřebné výšky 1 + 5 mm. Ocelové kroužky jsou řezem rozděleny na tvar písmene C. K oddělení epoxidové pryskyřice od kroužků a podložky lze použít slabý povlak separačního prostředku.

Vlastnosti pužité epoxidové pryskyřice:

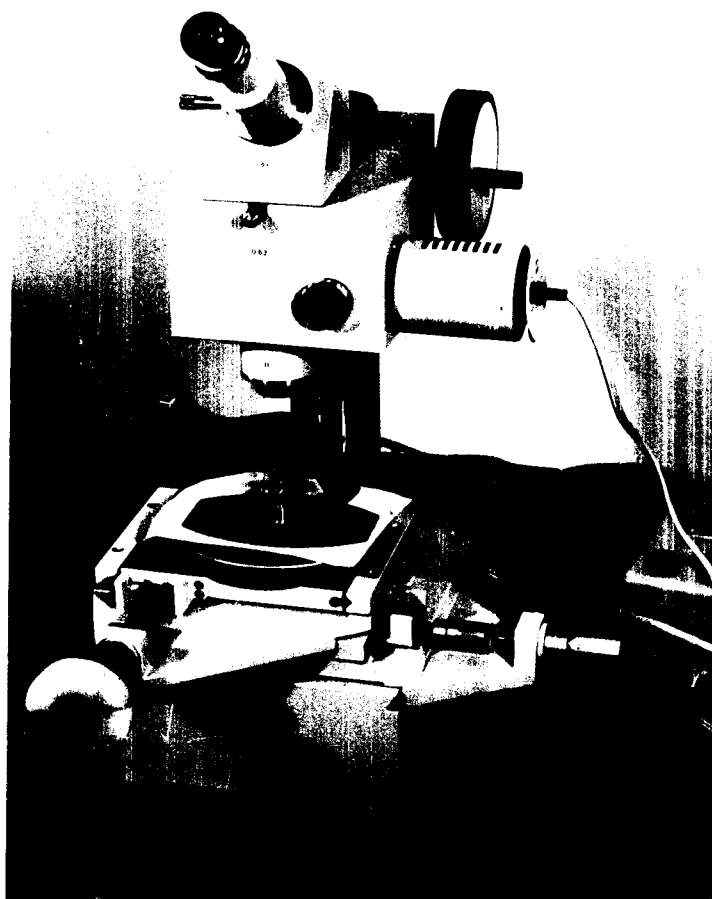
- mají zajistit použitelnost ve vysokém vakuu, zajistit spolehlivé adhezní spojení se zaléványými díly a umožnit případné nanášení povrchové vrstvy zlata iontovým naprášením k získání elektrické vodivosti preparátu. (V návrhu metodiky byly rozměry výbrusu přizpůsobeny rozměrům vkladacího zařízení rastrovacích elektronových mikroskopů TESLA).

Další příprava metalografických výbrusů spočívá v broušení a leštění roviny. Protože malé rozměry výbrusů se nehodí pro přímé zpracování, byl navržen přípravek s magnetickým přidržováním preparátu.

Metodika přípravy metalografických výbrusů pro zjišťování jakosti povrchu.

Principem nového zjišťování kvality vrstev je příprava metalografických výbrusů zalitím do epoxidových pryskyřic. Elektronová mikroskopie na řezech kolmých a šikmých k povrchu dovolí jemné rozlišení všech fází.

Výbrusy lze použít pro vyznačení vtisků mikrotvrdosti. Dle uhlopříčky vtisku zjištěné na fotografii mikrostruktur se provede konečné vyhodnocení mikrotvrdostí. Velké rozlišovací schopnosti fotografií a velká hloubka ostroty dovolí precizní vyhodnocení a podrobné poznání vlivu implantace cizích materiálů.



Obr. 4.1 Döhlenský mikroskop

5.0.0 DEFORMAČNÍ SÍŤE

Pro studium deformací při tváření bylo v této práci použito metody deformačních sítí. Princip této metody spočívá v tom, že na plech před lisováním nanese deformační síť a po lisování vyhodnocujeme její přetvoření. To umožní studium rozložení deformací a analýzu napjatosti v jednotlivých místech zkušebního tělesa.

5.0.1 GEOMETRICKÝ TVAR VÝCHOZÍCH ELEMENTŮ

Z hlediska geometrického tvaru výchozího elementu je možno deformační síť rozdělit do dvou základních skupin:

- a) síť s čtvercovými elementy
- b) síť s kruhovými elementy
- c) síť s kombinovanými elementy

Použitelnost sítí s čtvercovými elementy je v podstatě omezena na případy, kdy můžeme předem stanovit směry hlavních přetvoření. To znamená nanést síť tak, aby směry stran nebo úhlopříček byly s těmito směry totožné. To je velmi důležité z hlediska vyhodnocování, protože v opačném případě se stane proměřování i výpočet obtížný. Z uvedeného důvodu se s výhodou ke studiu plastického přetvoření používá síť s kruhovými elementy. V takovém případě není nutné předem znát směry hlavních napětí a hlavních přetvoření. Ty jsou určeny směry os elips, ve které se obecně výchozí kruhové elementy přetvoří.

5.0.2 POŽADAVKY KLADEŇ NA DEFORMAČNÍ SÍŤ.

Do této skupiny požadavků na deformační síť jsou zařazeny ty, jejichž splnění zaručí srovnatelnost mezi podmínkami deformace těles bez deformační sítě a těles opatřených deformační sítí.

Jsou to:

1) Deformační síť nesmí ovlivnit hodnoty dosažených přetvoření a jejich rozložení na výlisku, tj. nesmí být ovlivněny technologické podmínky.

2) Vytvořením deformační sítě nesmí být narušen povrch plechu do té míry, aby byla ovlivněna jeho tvářitelnost. V tomto případě jde především o následný 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, mikrostruktuře plechu a stavu napjatosti.

3) Parametr deformační sítě musí být volen tak, abychom mohli pracovat s konečnými hodnotami přetvoření a mohli pro stanovený stav napjatosti a daný materiál určit například mezní hodnoty velkých plastických přetvoření.

Požadavky kladné na deformační síť z hlediska vyhodnocování.

Do této skupiny požadavků kladených na deformační síť je možno zařadit:

1) Možnost spolehlivé opakovatelnosti pokusu daného dílu za stejných podmínek.

2) Dostatečnou plasticitu sítě, tj. její schopnost velkých plastických přetvoření bez vážných násleků na její čitelnost. Míra obtížnosti splnění tohoto požadavku je závislá na maximálním stupni lokálního přetvoření tělesa.

- 3) Dalším důležitým požadavkem je odolnost proti otěru. Míra splnění tohoto požadavku určuje opět čitelnost sítě po přetvoření. Obtíže se splněním tohoto požadavku se většinou objevují při zpracování plechů větší tloušťky.
- 4) Odolnost proti užívaným mazadlům. Mazadla nesmí svým působením snižovat čitelnost sítě po tváření.
- 5) Velmi důležitým hlediskem pro vyhodnocování deformačních sítí je přesnost vytvořené sítě a jednoduchost jejího vytváření.

5.1.0 METODY VYTVÁŘENÍ DEFORMAČNÍCH SÍTÍ

Jsou to především tyto způsoby:

1. Potiskování
 - a) sítotisk
 - b) ofsetový tisk
 - c) gumosterotypie
2. Rytí
3. Fotografická metoda
4. Chemické leptání
5. Elektrochemické leptání
6. Vyjiskřování

5.1.1 RYTÍ DEFORMAČNÍCH SÍTÍ

Princip této metody spočívá v tom, že element deformační sítě vytvoříme přemístěním nebo odebráním materiálu na povrchu nebo v rovině řezu vzorku.

Je to metoda pracná, ale za to značně přesná.

Metody vytváření rytých sítí:

- a) klasické rytí, kterým uděláme vryp daného rozměru a tvaru, tvořící element sítě
- b) odebráním materiálu v rámci celé plochy elementu daného průměru do zvolené hloubky
- c) odebrání materiálu tak, aby element byl tvořen "čarou" dané šířky a do zvolené hloubky

Deformační sítě s kruhovými elementy tvořenými vrypem, lze zhotovit použitím kružidla, v případě sítě se čtvercovými elementy pak pravítka a rýsovací jehly. Důlčikováním středů je výhodné provést odpruženým hrotem na souřadnicové vrtačce nebo frézce. Tím dosáhneme dostatečné přesnosti.

Použijeme-li pro rytí nabroušené kružidlo, je vryp tvořen jednak vrubem v základním materiálu, jednak materiálem vytlačeným do okolí tohoto vrubu. Takto vytvořená síť je dobře čitelná i když vrub v základním materiálu není příliš hluboký. Čitelnost se však rychle snižuje při velkém plastickém přetvoření a namáhání na oteř.

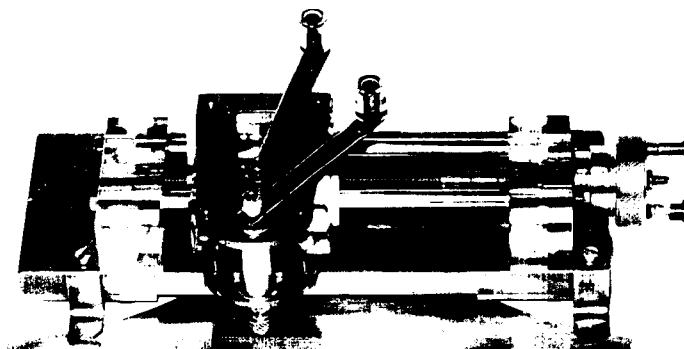
Při užití metody přesného rytí deformačních sítí je nutné, aby hloubka rysek podstatně nepřesahovala povrchové mikronerovnosti a byla v souladu s rozměrem tloušťky. Dlouhodobé provádění zkoušky tahem s vyznačováním sítě orýsováním prokazuje možnost splnění této podmínky. U přesných způsobů rytí lze očekávat pravděpodobnou chybu proměřovaných rozměrů v mezích $\pm (0,01 + 0,001)$ mm.

Rytí tedy předpokládá maximální přesnost vyhodnocování. Pro vyznačování precizních rytých deformačních sítí bylo zhotoveno na katedře KPT speciální rycí zařízení pro vyznačování elementů malých kruhových rozměrů.

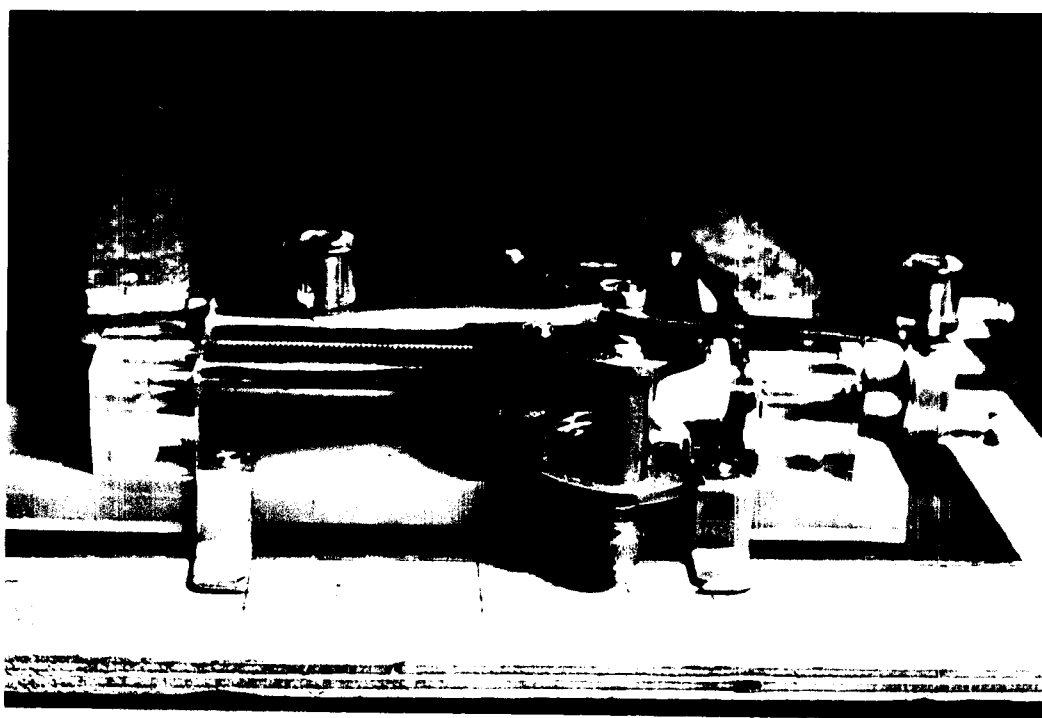
5.1.2 POPIS SPECIELNÍHO RYCÍHO ZAŘÍZENÍ

Základová deska má rozměr 190x55 mm a tvoří též s připojenými hranoly stojánek pro posuvné těleso a další části zařízení. Posuvné těleso nese pružinové závěsy, které svým průhybem vyvozují přitlačnou sílu rydla a současně udržují rydlo ve směru kolmém na povrch vzorku. Vodicí tyč slouží k vedení posuvného tělesa, jehož uložení je provedeno v pouzdrech z plastické hmoty (teflex) tak, aby tolerance uložení mohly být provedeny bez pohybových vůlí. Pohybový šroub má stoupání závitu 1 mm, aby otáčením řídicího kolečka o jednu otáčku posunulo těleso o 1 mm. Ručním pohybem řídicího kolečka se nastavuje vzdálenost středů kruhových elementů v síti. Vřeteno rydla se svislou osou otáčení je rovněž uloženo v pouzdrech z teflexu a na konec vřetena se do upínací hlavičky připevňuje vlastní rycí nástroj s výstředností určující jmenovitý průměr elementů sítě d_0 . Vřeteno se otáčí jemně ručním pohybem páčkou. Přístroj je doplněn zvedacím zařízením, které pracuje na principu vačky, ovládané páčkou. Ke kompletu zařízení patří třmeny pro upnutí na pracovní desku a pro upínání vzorků plechů.

Vlastní rydlo bylo zatím ostřeno do tvaru čočkového klínu s vrcholovým úhlem asi 120° . Základní hodnota d_0 byla proto odvozována od středu stopy, kterou rydlo vytvářelo. Je to při daném uspořádání hodnota, která není teoreticky ovlivňována přitlačnou silou rydla. Jmenovitou hodnotu d_0 kroužků lze změnit výměnou vlastního rycího nástroje.



Obr. 5.1 Speciální rycí přípravek

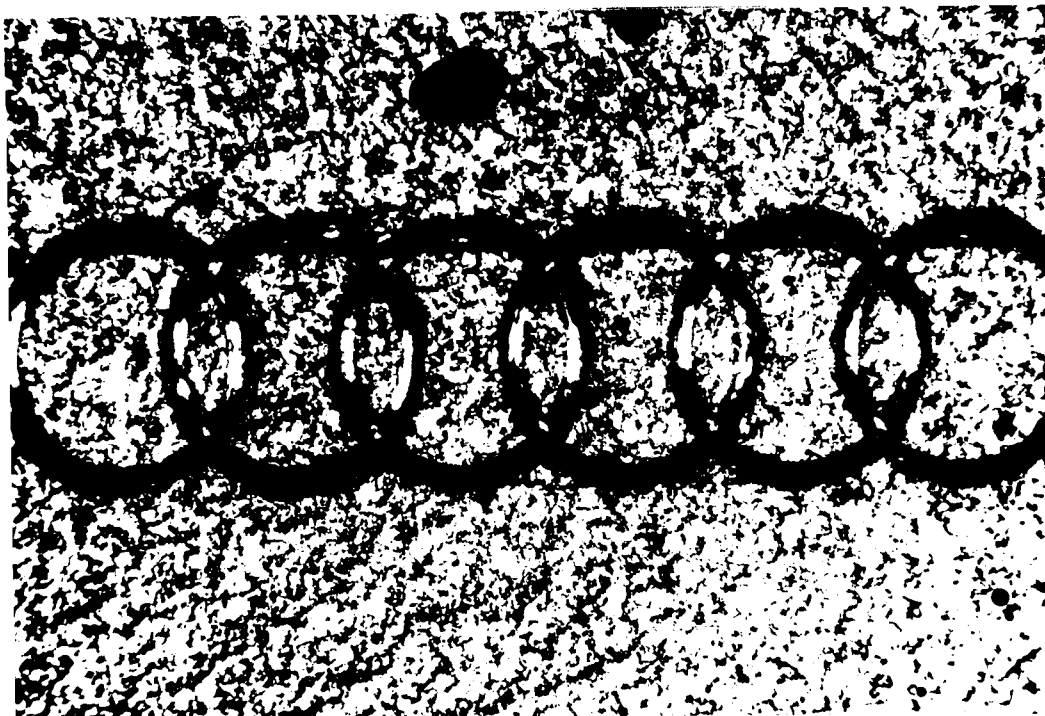


Obr. 5.2 Speciální rycí přípravek

5.1.3 VYMEZENÍ POUŽITELNOSTI VYTVÁŘENÍ RYTÝCH DEFORMAČNÍCH SÍTÍ

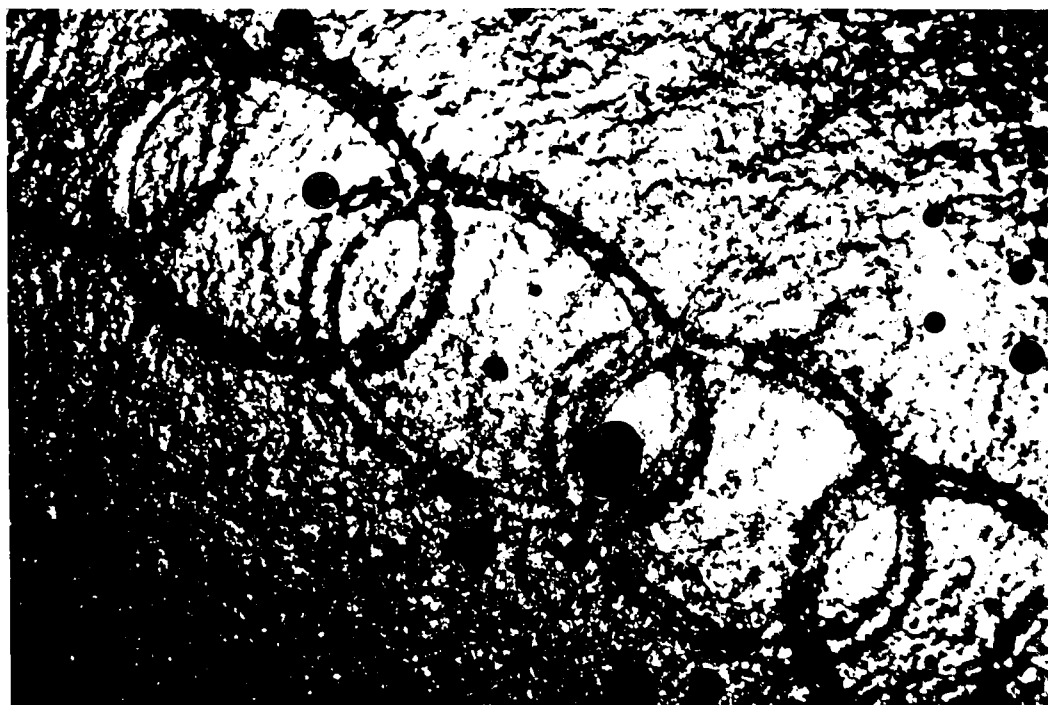
Z hlediska použitelnosti je metoda vytváření rytých sítí mnohem univerzálnější než metody ostatní. Z hlediska potřebného vybavení, neužíváme-li speciálních přípravků, je bezesporu metodou nejméně náročnou. Určitou nevýhodou je poměrně značná pracnost. Dále je nutno počítat s tím, že povrch materiálu narušujeme vruby. To platí u materiálů a způsobů namáhání citlivých na vruby a u tenkých plechů.

Rytých deformačních sítí je vhodné použít při tažení výlisků z plechů v těch případech, kdy postačí vytvoření omezeného počtu elementů a netrváme na možnosti celkové vizuální orientace.



Obr. 5.3 Nedeformovaná síť

300x



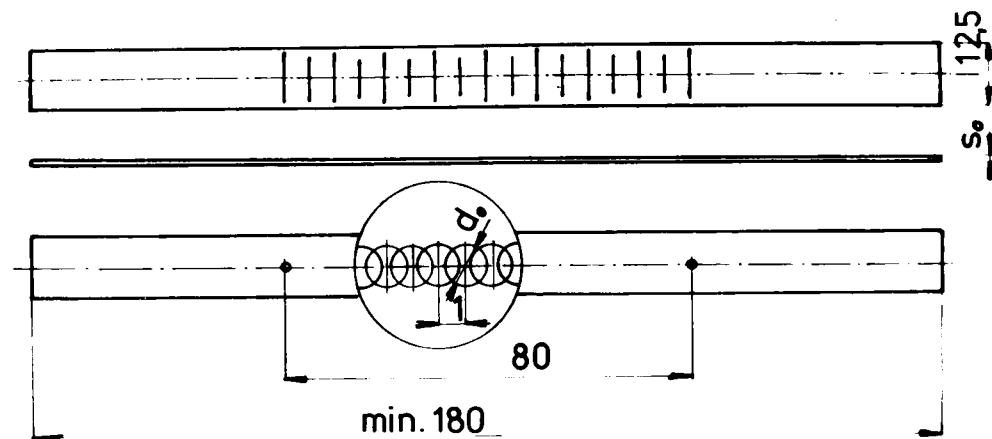
Obr. 5.4 Deformovaná síť

300x

5.2.0 VYHODNOCENÍ PLASTICKÉ DEFORMACE POMOCÍ METODY DEFORMAČNÍCH SÍTÍ PO ZKOUŠCE TAHEM

Zkouška tahem byla provedena dle ČSN 42 03 10 na plochých zkušebních tyčích šířky 12,5 mm materiálu jakosti 11 305.21 tloušťky 0,8 mm.

Na zkušební vzorky byla pomocí speciálního rycího zařízení nanесena přesně rytá kruhová síť s roztečí středů 1 mm. Tato nedeformovaná síť byla proměřena na dílenském mikroskopu. Vzorky byly odebrány pod úhly 0° , 45° , 90° vzhledem na směr válcování. Náčrsek zkušební tyče připravené ke zkoušce tahem je na obr. 5.5.

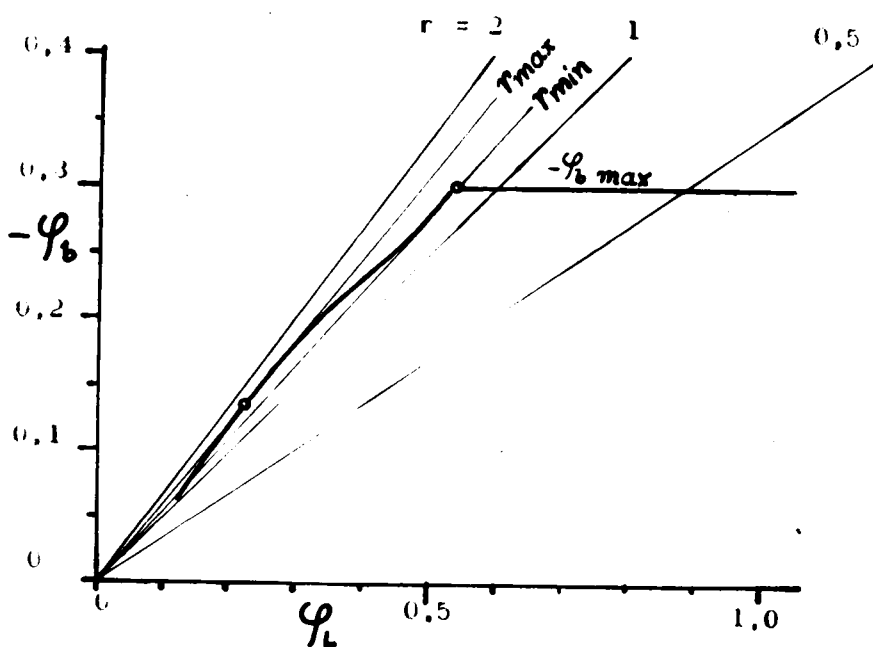


Obr. 5.5

Vyhodnocení plastických deformací bylo provedeno průměrným rozměrů deformovaných elementů po přerušení zkoušky tahem nebo po skončení přetržení.

Po přetržení lze výpočtem stanovit průběh deformací ve třech hlavních směrech jako funkci vzdálenosti od lomu. Deformace ve směru tloušťky φ_s byla stanovena výpočtem z předpokladu platnosti zákona stálosti objemů při plastických deformacích.

Po přetržení tyče jsem sledovala závislost $\varphi_L = f'(l_0)$, $-\varphi_b = f''(l_0)$, $-\varphi_s = f'''(l_0)$. Symbol l_0 značí závislost na vzdálenosti od lomu v hodnotách před deformací. Při zkouškách na plochých zkušebních tyčích se hodnota φ_L s přibližováním k místu lomu plynule zvětšuje. Podobnou závislost musí mít i hodnota $-\varphi_s$. Pouze hodnota $-\varphi_b$ se bude plynule měnit v dostatečně veliké vzdálenosti od lomu. Závislost $-\varphi_b$ na hodnotách φ_L pro jakost plechu 11 305.21 je naznačena na obr.5.6



Obr. 5.6

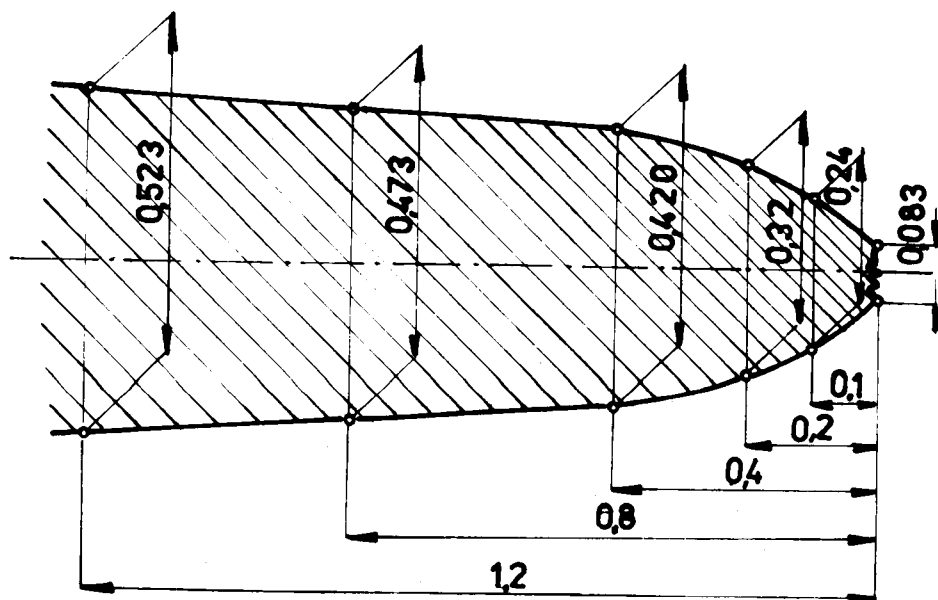
Průběh funkce $-\mathcal{J}_b$ je v první a druhé fázi vývoje zcela plynulý. Z definice hodnoty r vyplývá:

$$r = \frac{\mathcal{J}_b}{\mathcal{J}_s} = \frac{\mathcal{J}_b}{-\mathcal{J}_s' - \mathcal{J}_b}$$

$$\mathcal{J}_b = \mathcal{J}_s \cdot \frac{r}{r-1}$$

Znamená to, že pro hodnoty $r = \text{konstanta}$ vyhovují poměry přímo zjištěných deformací svazku přímek procházejících počátkem systému souřadnic. Tečna křivky zjištěné závislosti deformací procházející počátkem vyjadřuje hodnotu $r_{\max}$ součinitele dosaženého při zkoušce plechu a tento bod rozděluje oblast podle kvality plastických deformací právě na dvě fáze kritickou hodnotou $\mathcal{J}_s'$ (oblast růstu a poklesu r). Po dosažení maximální hodnoty $-\mathcal{J}_{b\max}$ nastává kvalitativní změna plastických deformací. Při platnosti zákonitostí stélého objemu tvářeného materiálu důsledkem dalšího zvětšování $\mathcal{J}_s$ musí být pouze růst hodnoty $-\mathcal{J}_s$. Hodnoty $\mathcal{J}_s'$, $r_{\max}$, $\mathcal{J}_s \text{ krit.}$, $-\mathcal{J}_{b\max}$ je možné považovat za důležité hodnoty vyjadřující plasticitu zkoumaného materiálu.

Protože metoda deformačních sítí nemůže stanovit z důvodu konečného rozměru d_p deformační sítě stav deformací v přímé blízkosti lomové plochy, byla k posouzení stavů ještě použita přímá metoda stanovení deformací $\mathcal{J}_s$. Byl připraven podélný řez zkušební tyče, kolmo k povrchu a na řezu při ověřeném zvětšení obrazu byly měřeny místní tloušťky s v závislosti na vzdálenosti od lomu l . Na obr. 5.7 je náčrtek rekonstrukce profilu zkoumaného ocelového plechu tloušťky 0,8 mm ve směru válcování.



Obr. 5.7

V tabulce 1 jsou v přehledu naměřené a vypočtené hodnoty.

Tabulka 1

Č.m	Hodnoty naměřené		Hodnoty vypočtené			
	$l[\text{mm}]$	$s[\text{mm}]$	φ_1	$-\varphi_2$	$-\varphi_3$	r
1.	0	0,093	2,152	0,300	2,452	0,139
2.	0,10	0,240	1,204	0,300	1,504	0,249
3.	0,20	0,320	0,916	0,300	1,216	0,328
4.	0,40	0,420	0,644	0,300	0,944	0,466
5.	0,80	0,473	0,526	0,300	0,826	0,570
6.	1,20	0,523	0,425	0,300	0,725	0,705

Po zakreslení těchto výsledků do diagramu obdržíme úplný stav plastických deformací až do okamžiku porušení celistvosti.

5.2.1 VÝSLEDKY ZKOUŠEK PLECHU JAKOSTI 11 305.21

Zkoušky na plechu jakosti 11 305.21 tloušťky 0,8 mm byly provedeny ve třech směrech. Po přetržení zkušebních tyčí byly zjišťovány hlavní deformace φ_1 a φ_2 v závislosti na vzdálenosti l od lomových ploch. Závislosti hodnot $-\varphi_2 = f(\varphi_1)$ jsou na obr. 5.8, 5.11, 5.14, 5.17, 5.20. Na obr. 5.9, 5.12, 5.15, 5.18, 5.21 jsou zakresleny průběhy hodnot součinitele normálové anizotropie r na hodnotě deformace φ_1 . V oblasti velmi blízké lomům byly výsledky doplněny hodnotami zjištěnými přímou metodou. Je patrné, že výsledky zjištěné různými metodami vzájemně plynule navazují.

Na obr. 5.10, 5.13, 5.16, 5.19 a 5.22 jsou závislosti hodnot $\varphi_1 = f(l)$. (Příloha 1).

5.2.2 VYHODNOCENÍ PLASTOMETRICKÝCH VLASTNOSTÍ PLECHŮ

Z hlediska vlastností zkoumaného plechu jakosti 11.305.21 lze konstatovat, že metoda zkoumání kvality plastických deformací s využitím přesně rytých deformačních sítí i metoda přímého stanovení deformací ve směru tloušťky na podélném řezu zkušebních tyčí přináší nové poznatky. Je patrné, že hodnota součinitele normálové anizotropie deformací r se od počátku do určité intenzity zcela plynule mění a sice tak, že hodnota nejdříve roste, dosahuje maximální hodnoty a dále plynule klesá.

Ke kvalitativním změnám plastických deformací dochází u plechů jakosti 11 305.21 teprve po dosažení kritických hodnot podélného přetvoření $\varphi_2 = 0,50 + 0,60$ podle směru zkušební tyče.

Protože další plastická deformace probíhá za podmínky $\varphi_2 = \text{konstanta}$, je zřejmé za předpokladu platnosti zákona stálostí objemů, že prodloužení ve směru délky má za následek změnu tloušťky. Znamená to, že tato fáze plastických vlastností probíhá pod vlivem kontinuity tvářeného tělesa, které svými vlastnostmi brání porušení plastickým lomem. Zkouška takhem nakonec končí porušením celistvosti plastickým lomem vzniklým rozšířením necelistvostí.

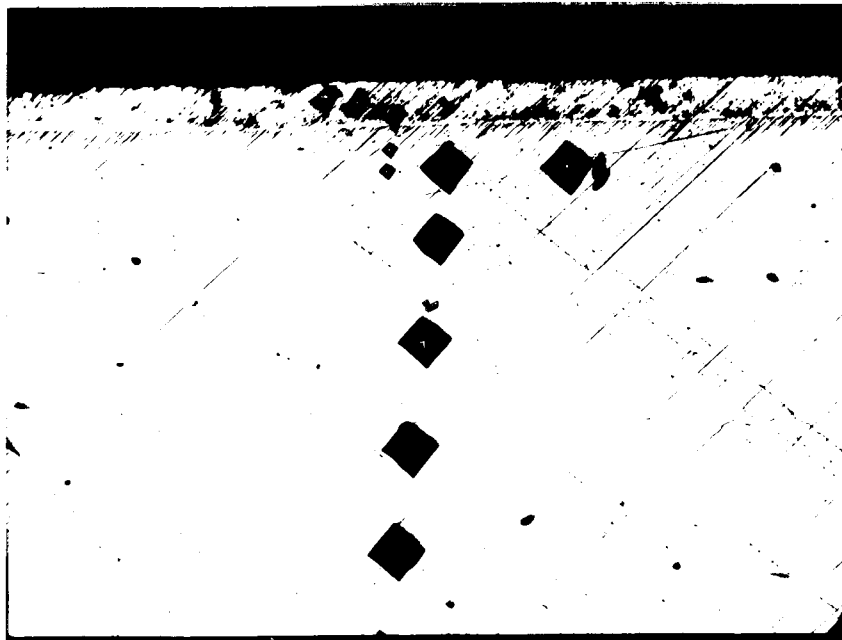
6.0.0 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

6.1.0 MĚŘENÍ MIKROTVRDOSTÍ

Fázovou analýzu povrchových vrstev a změn struktury základního materiálu můžeme posuzovat podle stavu tvrdosti. Protože tloušťka povrchových vrstev je poměrně malá, tvrdosti posuzujeme podle mikrotvrdotí dle ČSN 42 03 75.

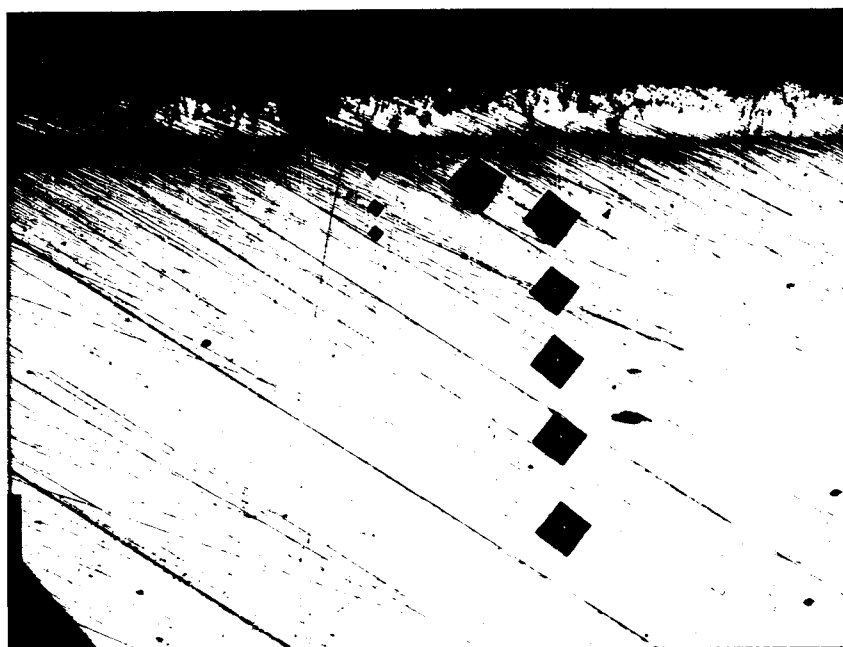
U materiálu vzorků žárově pozinkovaných plechů jsem zhotovila metalografické výbrusy v řezu podélném s rovinou kolmou k povrchu a měřila jsem mikrotvrdoti v povrchové vrstvě i v základním materiálu v různé vzdálenosti od roviny styku povrchové vrstvy se základem. Měřila jsem tvrdosti HV 004 (to je mikrotvrdot při použití vnikací síly 0,04 N) v základním materiálu ocelového plechu a tvrdosti HV 0008 (to je mikrotvrdot při použití vnikací síly 0,008 N) jsem měřila v povrchových vrstvách i v přímé blízkosti v základním materiálu oceli.

Místa s naměřenými tvrdostmi (metalografický výbrus byl nenaleptaný) jsme fotografovali při zvětšení 300 násobném na přístroji NEOPHOT II. Zjištěné tvrdosti se stanovením polohy jednotlivých měření jsem použila k sestavení diagramu stavu tvrdosti v závislosti na vzdálenosti od místa styku. Stav zjištěných výsledků je patrný na fotografiích a diagramech. Na obr. 6.1 + 6.4 jsou mikrofotografie povrchových vrstev s naměřenými vtisky mikrotvrdotí následujících vzorků plechu ve stavu před plastickou deformací.



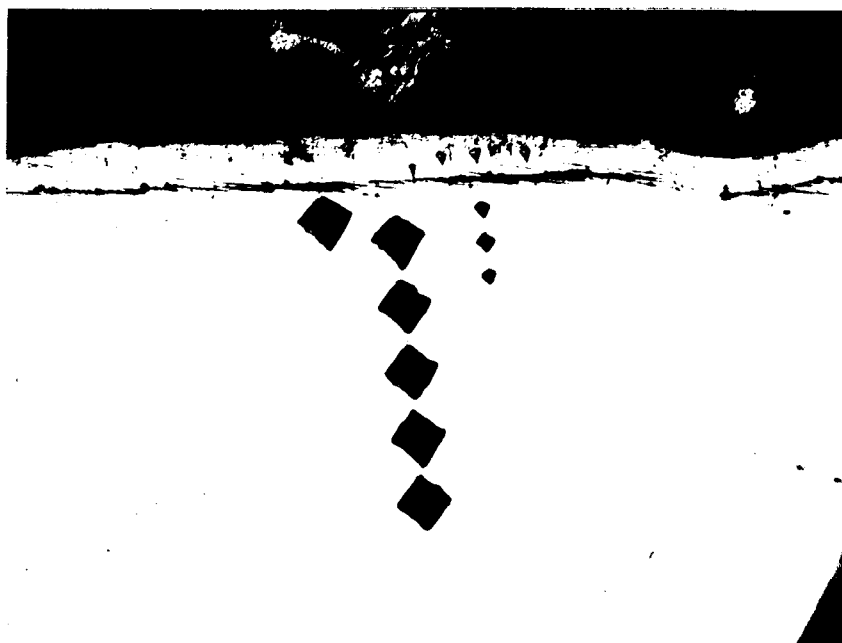
Obr. 6.1 Vzorek Z/00 před PD

300x



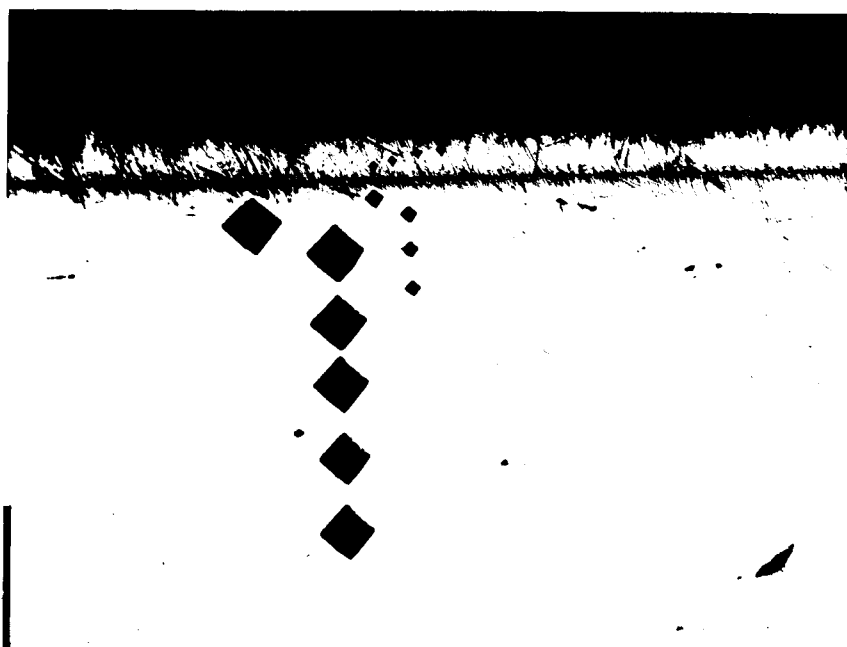
Obr. 6.2 Vzorek Z/10 před PD

300x



Obr. 6.3 Vzorek Z/20 před PD

300x



Obr. 6.4 Vzorek Z/30 před PD

300x

Tabulka 2

Č. obr.	označení vzorku	místní tloušťka Zn vrstvy [μm]
1	Z/00	20
2	Z/10	23,3
3	Z/20	20
4	Z/30	26,6

Zjištěné průběhy tvrdostí jsou zaneseny v diagramech na obr. 6.5 a obr. 6.6. Místa, ve kterých byla stanovena tvrdost HV 004 jsou v diagramech označena +, místa, ve kterých byla naměřena tvrdost HV 0008 jsou v diagramech označena o. Metodou grafického vyrovnaní (dělením vzdálenosti dvou sousedících stanovení) byl vyšetřen přibližný průběh tvrdostí v základních materiálech i v povrchových vrstvách ovlivněný použitým způsobem žíhání. (*Příloha 2*).

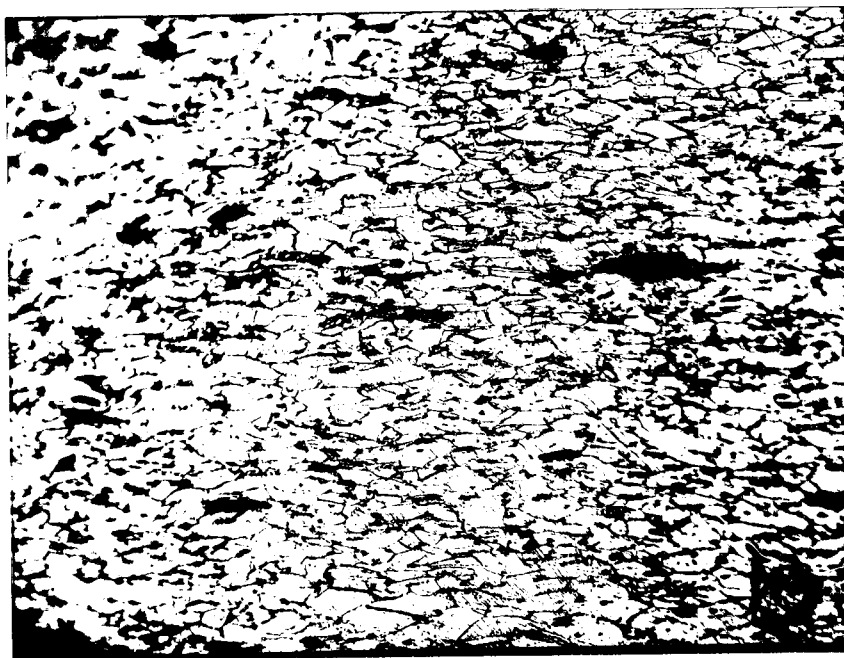
U vybraných vzorků jsem posuzovala mikrostruktury a stav mikrotvrdostí na podélných řezech zkušebních tyčí po zkoušce tahem. U materiálu vzorku Z/00 a Z/30 byl zjištěn následující stav struktur.

Vzorek Z/00 po plastické deformaci zkoušky tahem.

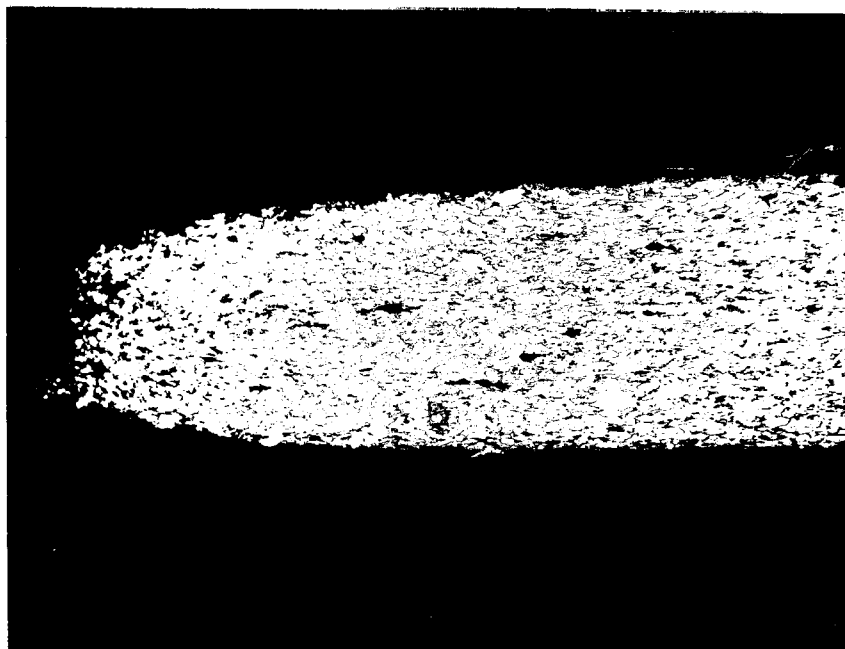
Bylo zjištěno, že celistvost povrchové vrstvy zinku ve vzdálenosti $\geq$ větší než 3,5 mm od místa lomu není narušena plastickou deformací základu. Tloušťka této vrstvy je však menší ve smyslu zjištěných plastických deformací. Vrstva ve vzdálenosti menší než 3,5 mm je porušena prasklinami, které vytvářejí póry.

Ve vzdálenosti menší než 0,5 mm od lomové plochy časté narušení celistvosti způsobuje oddělování částíček povrchové vrstvy od základního materiálu.

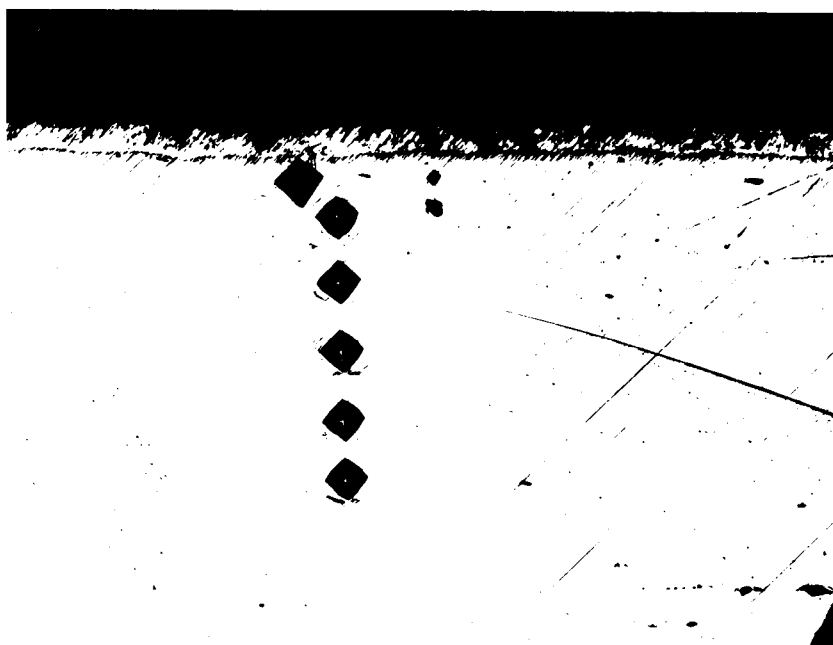
Na obr. 6.7 je fotografie mikrostruktury povrchové vrstvy z místa vzdáleného asi 4 mm od místa lomu zkušební tyče. Je patrné, že tloušťka vrstvy po plastické deformaci je asi $(11,6 + 13,3) \mu\text{m}$. Vrstva zinku zůstává celistvá. Ze srovnání výsledků s výsledky vzorku Z/00 před plastickou deformací vyplývá, že plastická deformace základního materiálu ocelového plechu měla za následek zpevnění. Zvýšení tvrdosti plastickou deformací zinkové vrstvy není prokazatelné.



Obr. 6.7 Vzorek Z/00 po PD (300x)



Obr. 6.8 Vzorek Z/00 po PD (100x)



Obr. 6.9 Vzorek Z/00 po PD

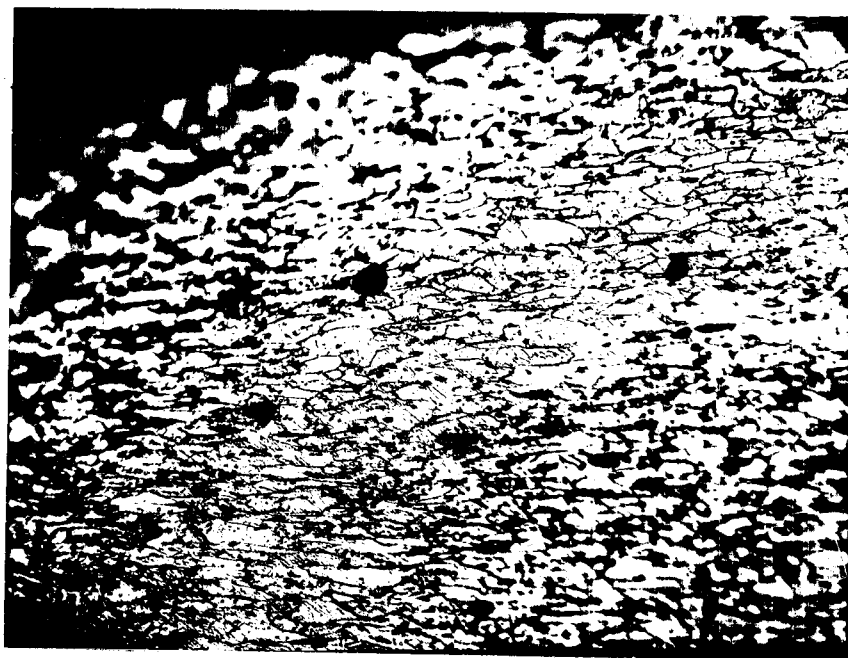
300x

10

Vzorek Z/30 po plastické deformaci zkoušky tahem.

Celistvost zinkové vrstvy tohoto vzorku je po plastické deformaci základního materiálu narušena.

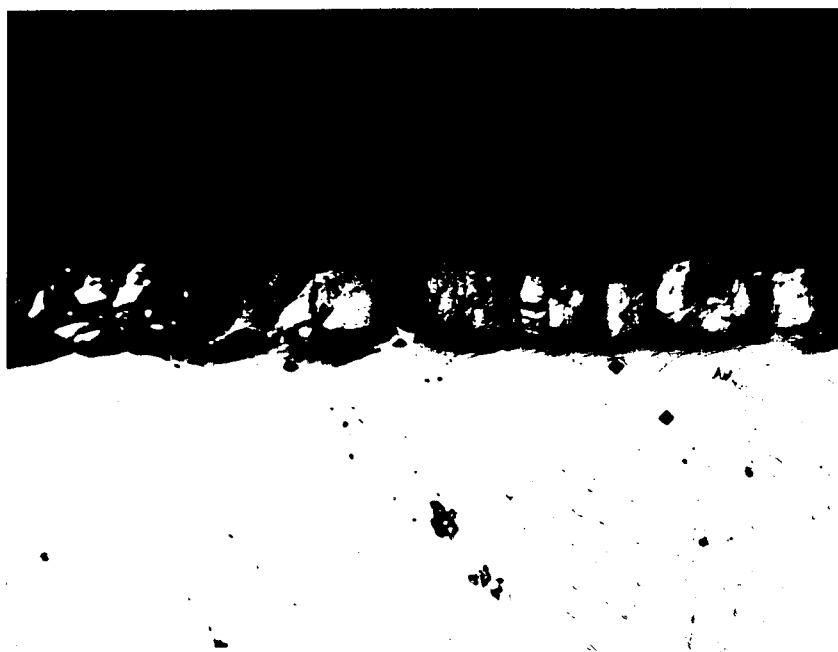
Narušení se projevilo i v místech vzdálených od místa lomu. Také bylo zjištěno, že místní tloušťka vrstvy zinku zkušební tyče po zkoušce tahem je větší než u všech ostatních vzorků. Na obr. 6.10 je fotografie mikrostruktury povrchové vrstvy zinku z místa vzdáleného od lomové plochy 3,5 mm. Na fotografii je vidět rozrušení zinkové vrstvy. Zinková vrstva se rozrušila na drobné částčky, které se samovolně od povrchu oddělily. Na obr. 6.12 jsou patrné stopy vtisku HV 0008. Měřením bylo potvrzeno u částček zinkové vrstvy v přímé blízkosti styku se základním materiálem HV 0008 = 550 + 600. Z fotografie též vyplývá, že místní tloušťka zinkové vrstvy plasticky deformované zkušební tyče je $33,3 \pm 40 [\mu\text{m}]$.



Obr. 6.10 Vzorek Z/30 po PD (300x)



Obr. 6.11 Vzorek Z/30 po PD (100x)



Obr. 6.12 Vzorek Z/30 po PD

300x

6.2.0 MIKROSTRUKTURY

Za pomoci svého konzultanta jsme připravili metalografické výbrusy zalitím do epoxidové pryskyřice chemicky tvrditelné. Protože jsme původně předpokládali možnost hodnocení struktur na rastrovacím mikroskopu TESLA, upravili jsme výbrusy do tvaru kotoučků průměru 27 mm a tloušťky (2 + 4) mm. Dále jsem metalografické výbrusy postupně brousila a leštila. Pro uchopení výbrusů jsem používala přípravek držáku s magnetickým přichycením. Po naleptání zinkové vrstvy tato vrstva svými chemickými vlastnostmi brání naleptání struktury základní oceli. Proto bylo nutné zhotovit metalografické výbrusy též ze vzorků, u kterých byla zinková vrstva odstraněna chemicky odleptáním v 10% roztoku kyseliny chlorovodíkové (HCl). Struktury zinkových vrstev jsem tedy sledovala na výbrusech nenaleptaných. Mikrostruktury základních materiálů vzorků po různém tepelném zpracování a vzorků zkušebních tyčí po zkoušce tahem jsem leptala 3% roztokem kyseliny dusičné.

Vzorky Z/00 až Z/30 před plastickou deformací.

Bylo zjištěno, že struktura základního ocelového plechu žárově pozinkovaného je feritická. Obsahuje nekovové nečistoty typu kyslíčnicků a sirníků. Nekovové vměstky jsou v některých místech soustředěny a tvoří řádkovité celky. Malé množství uhlíku v oceli je vyloučeno ve formě cementitu na hranicích zrn i uvnitř zrn tuhého roztoku. Ve strukturách je také vyloučený terciální cementit na hranicích tuhého roztoku. Množství cementitu odpovídá průměrnému obsahu uhlíku do 0,1%. Tuhý roztok struktury nevykazuje po válcování zastudena u žádného vzorku závažnější stav zpevnění. Povrchové vrstvy základního materiálu mají průměrnou velikost zrna tuhého roztoku trochu větší než má struktura v jádru průřezu.

Průměrná velikost zrna tuhého roztoku v povrchových vrstvách je asi $(30 + 40) \mu\text{m}$ a v jádru průřezu je asi $20 \mu\text{m}$. Na obr. 6.13 je fotografie struktury z podélného řezu kolmo k povrchu vzorku Z/00 před plastickou deformací.



Obr. 6.13 Vzorek Z/00 před PD (nital)

300x

Na obr. 6.14 je fotografie struktury vzorku Z/30 před plastickou deformací. Pokud srovnáme fotografie struktury vzorku Z/00 a Z/30 (obr. 6.13 a 6.14) je patrné, že při žíhání základní materiál oceli se znatelně nezměnil. Vliv difuze zinku do povrchu oceli také není znatelný.



Obr. 6.14 Vzorek Z/30 před PD (nital)

300x

Struktury základu vzorků Z/10 a Z/20 před plastickou deformací jsou stejné jako na předchozích fotografiích.

Při sledování struktur základního materiálu po plastické deformaci bylo zjištěno, že plastická deformace základu při změnách stavu žíhání zkoušených vzorků se prakticky nemění. Toto bylo potvrzeno sledováním profilů podélných řezů v přímé blízkosti lomových ploch. Plastický lom jsem posuzovala stanovením počtu viditelných dutin (kavitů). Bylo zjištěno, že větší množství kavitů je u všech vzorků soustředěno pouze na oblast poslední fáze rozvoje plastických deformací zkušebních tyčí před vznikem plastického lomu (tj. pro jednotlivé případy zkušebních vzorků do vzdálenosti 2,8 a 3,2 mm).

Ve větších vzdálenostech od lomové plochy se kavity vyskytují ojediněle. Na fotografiích mikrostruktur v různých vzdálenostech od lomové plochy je znatelný deformovaný tvar krystalitů tuhého roztoku. Tento stav krystalitů tuhého roztoku je přiměřený stavům místních plastických deformací.

Na obr. 6.8 je fotografie profilu zkušební tyče po zkoušce tahem vzorku Z/00 (povrchová vrstva zinku je odstraněna chemickým odleptáním). Na fotografii jsou místa kavitů při malém zvětšení špatně znatelná. V přímé blízkosti lomů je znatelné patrné narušení dutinami. Na obr. 6.7 je fotografie mikrostruktury z podélného řezu se středem ve vzdálenosti 0,36 mm od místa lomu. Je patrné, že deformace zrn tuhého roztoku odpovídá vysoké deformaci γ . Kavity jsou nejvíce soustředěny v blízkosti hranic zrn tuhého roztoku.

Na obr. 6.11 je fotografie profilu zkušební tyče vzorku Z/30 po plastické deformaci. Stav kavit před vznikem plastického lomu se skoro neliší od stavu u vzorku Z/00. Na obr. 6.10 je fotografie struktury z profilu vzorku Z/30 po plastické deformaci ze vzdálenosti asi 0,30 mm od lomové plochy. Je to opět struktura se základním tuhým roztokem po velké plastické deformaci. Kavity jsou převážně umístěny na hranicích zrn tuhého roztoku

7.0.0 DISKUSE

Vlastnosti vzorků po různém tepelném zpracování byly stanoveny na základě provedení zkoušek mikrotvrdosti a přímého zjištění stavu mikrostruktury. Původní záměr zjištění struktur na elektronovém rastrovacím mikroskopu nemohl být splněn z důvodů osobních změn v obsluze mikroskopu na pracovišti Katedry nauky o textilních materiálech VŠST Liberec.

Přesto lze provedené zkoušky považovat za zkoušky poskytující základní informaci o změnách jakosti plechů pozinkovaných při použitých podmínkách žíhání. Bylo zjištěno, že ocelový plech pozinkovaný běžné jakosti, který byl použit ke zkouškám, byl vyroben z ocelového plechu běžné jakosti. Po žárovém pokovení je základ těchto plechů jemnozrný, bez známek zpevnění po válcování zastudena. Povrchová vrstva je nepatrně ovlivněna difuzí zinku do povrchových vrstev. Tloušťka zinkového povlaku je přibližně 20,0 μm . U některých vzorků může však místní tloušťka být až 40 μm (viz. vzorek Z/30 po zkoušce tahem).

Zkouškami plastických vlastností plechů s povrchovými vrstvami jsme zjistili, že vrstva zinku na plechu v dodaném stavu (vzorek Z/00) má povrchovou vrstvu jen nepatrně ovlivněnou nasycením železa. Dále bylo zjištěno, že při zkoušce plasticity je vrstva zinku schopna sledovat plastickou deformaci základu. Tento stav může být výsledkem přídavků hliníku. Hliník se používá k omezení vzájemné difuze uvažované dvojice kovů. Z uvedených důvodů lze považovat zkoušený vzorek pozinkovaného plechu za materiál s dobře provedeným žárovým pozinkováním. Možnost využití plechu ke tváření je omezená z důvodů charakteristiky základního materiálu. Dále bylo prokázáno, že při žíhání pozinkovaných plechů na teplotu 415 °C nedošlo k dalšímu nasycení ocelového plechu zinkem z povrchové vrstvy. Bylo však prokázáno sycení povrchové vrstvy železem. To se projevilo změnou plasticity.

Největší změny byly sledovány v oblastech deformací po překročení meze pevnosti. Výsledky zkoušek vzorků Z/00, Z/10 a Z/20 charakterizují vliv zinkových vrstev na jakost plechu při obměnách vlastností povrchových vrstev.

Bylo prokázáno, že změny jakosti povrchových vrstev ovlivňují plasticitu v oblasti různých intenzit deformací. Zda některé změny mohou být využívány při různém zpracování plechů, prokazují pouze zkoušky určené k posouzení technologických vlastností.

Způsoby zjišťování struktur v návaznosti na vlastnosti deformací poskytují důležité informace o podstatě vzniku plastických lomů. Při zkoušce tahem na plochých zkušebních tyčích bylo prokázáno, že konečná fáze plastických deformací před porušením probíhá bez dalšího růstu hlavní deformace ve směru šířky zkušební tyče. To znamená, že materiálové vlastnosti se dále nepodílí přímo na pokračování vzniku lomu. Počátek poslední fáze vzniku lomu proto považujeme za kritický stav. Tento kritický stav určuje možnosti technologicky využitelné tvářitelnosti.

8.0.0 ZÁVĚR

Provedené zkoušky prokázaly vhodnost studia plasticity zkouškou tahem a možnost využití metody zjišťování plastických deformací s použitím povrchových deformačních sítí vyznačených přesným rytím.

Studium struktur možno zatím považovat z důvodu omezeného rozsahu zkoušek za informativní výsledek. Bylo prokázáno, že spojení studia plasticity právě s ostatními zkouškami metalografickými mohou přinést nové poznatky hlavně při studiu vlastností plechu s povrchovými vrstvami.

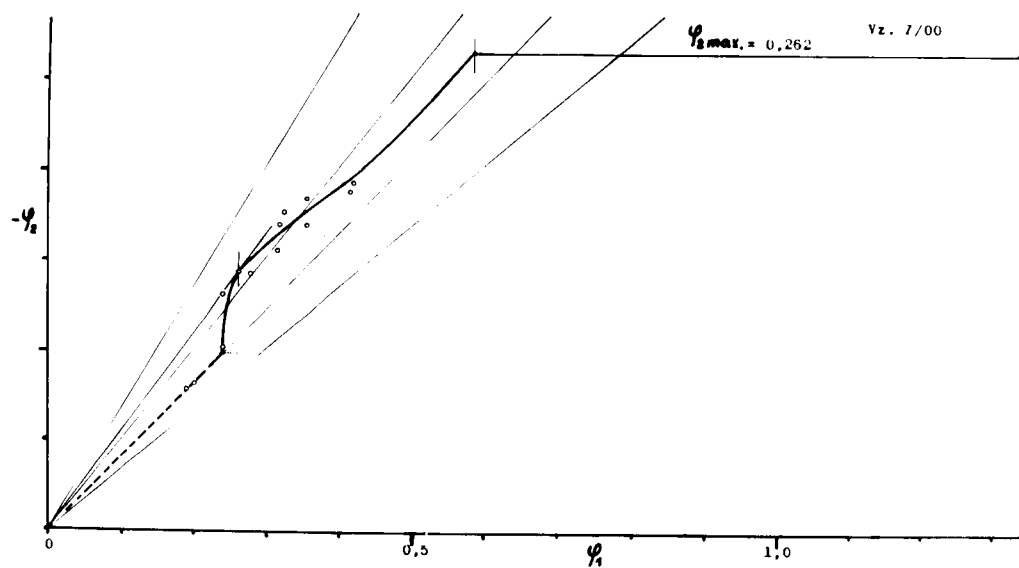
9.0.0 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ Tměj, J., Mikeš, V.: Teorie tváření. Skripta VŠST Liberec
1981
- /2/ Pluhař, J., Korrita, J.: Strojírenské materiály. SNTL
Praha 1982
- /3/ Drastík, F., Elfmark, J.: Plastometry a tvářitelnost kovů.
SNTL Praha 1977
- /4/ ČSN 42 03 10. Zkouška tahem. ÚNM Praha 1970
- /5/ Čabelka, J.: Mechanická technológia. Bratislava 1967
- /6/ Teindl, J.: Základy pokovování v roztavených kovech.
SNTL Praha 1963
- /7/ Korecký, J.: Povrchové zušlechťování kovů. Praha 1957
- /8/ Minister, Z.: Základy praktické metalografie. SNTL Praha 1958
- /9/ ČSN 42 03 75. Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse.

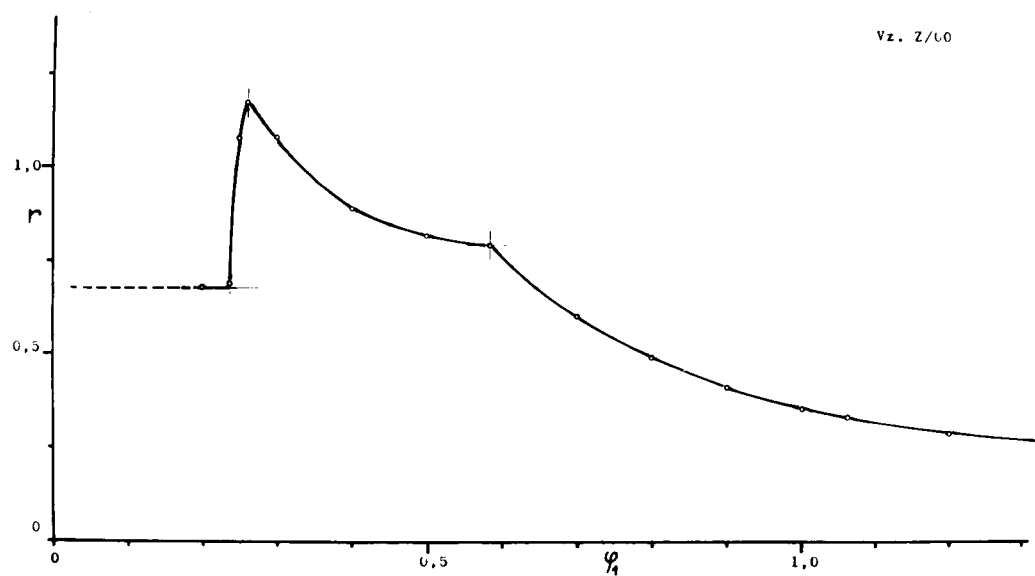
Závěrem bych chtěla poděkovat vedoucímu diplomové práce s.Ing. Jungwirtovi a stejně tak bych chtěla poděkovat svému konzultantovi s.Ing. Beranovi za cenné rady, které mi poskytl v průběhu vypracování mé diplomové práce.

Lenka Hanáčková

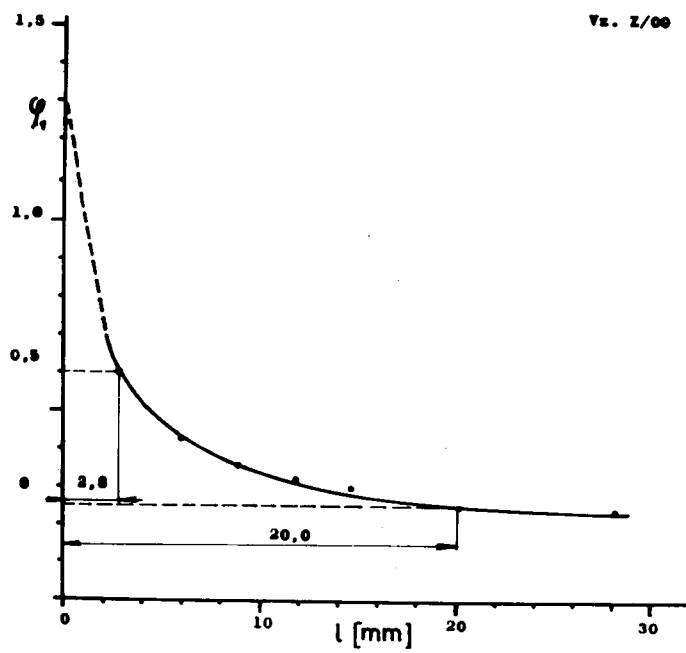
V Liberci 11. května 1987



Obr. 5.8

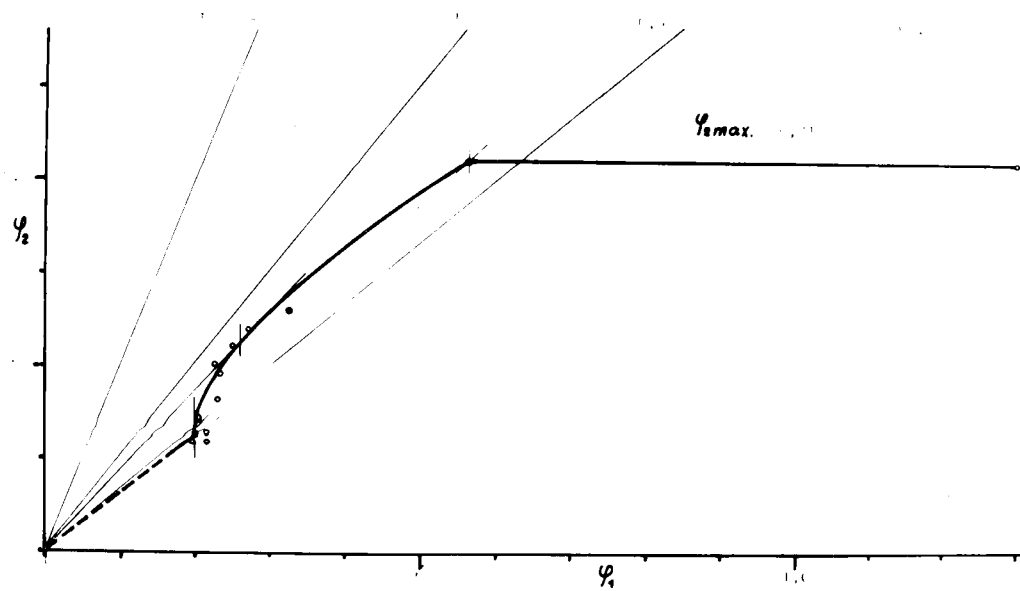


Obr. 5.9

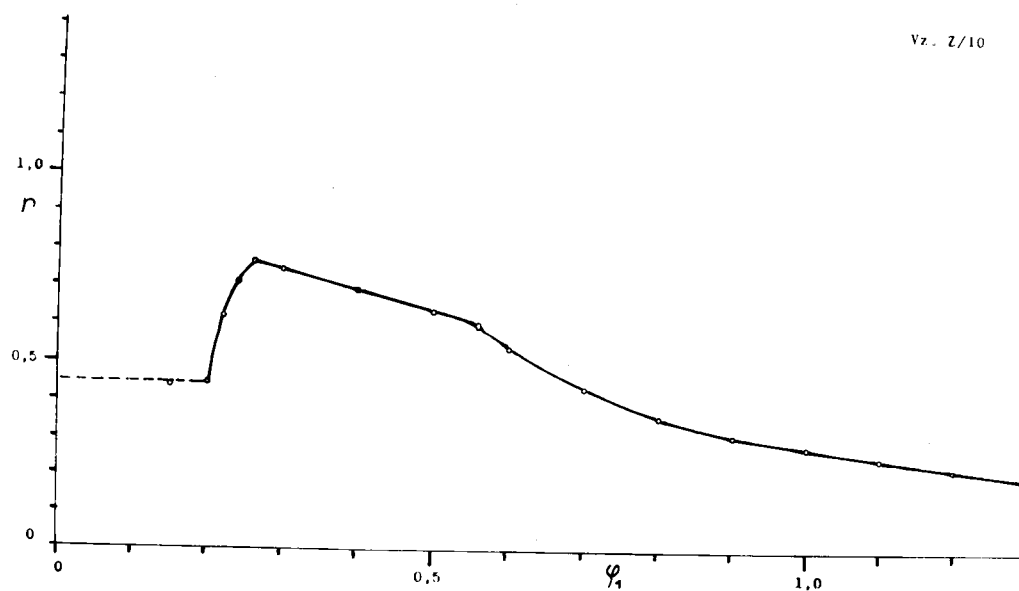


Obr. 5.10

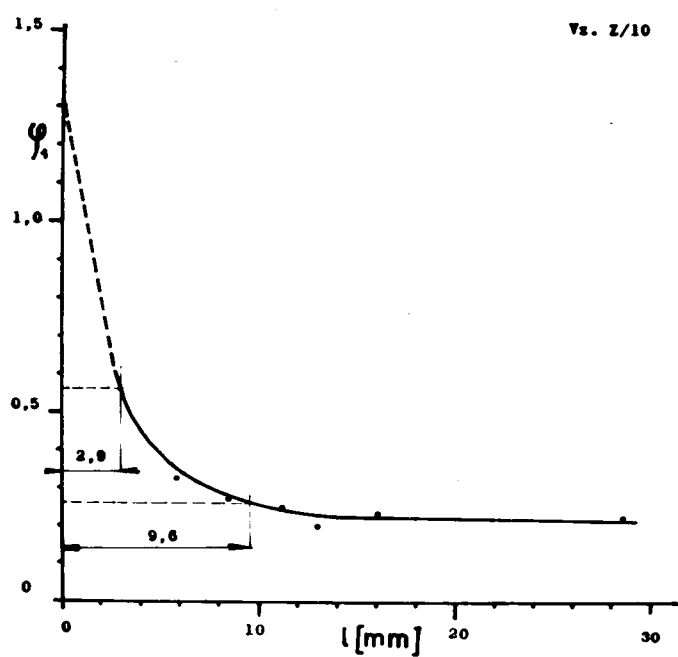
F



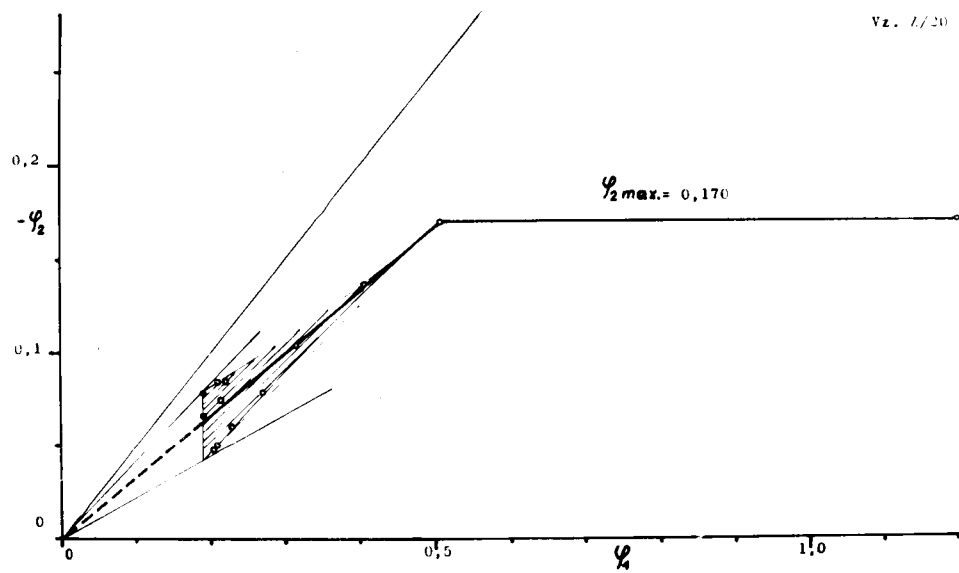
Obr. 5.11



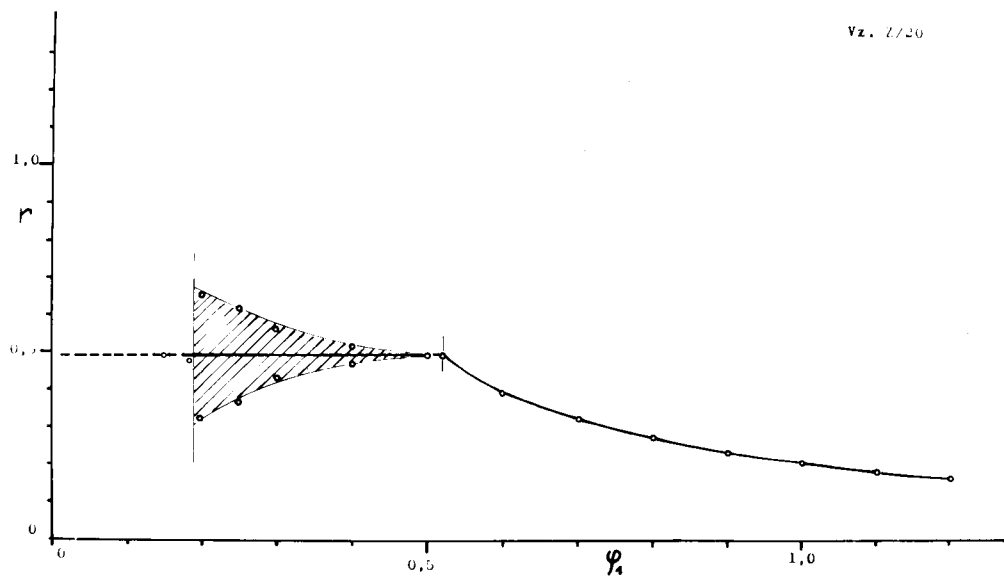
Obr.5.12



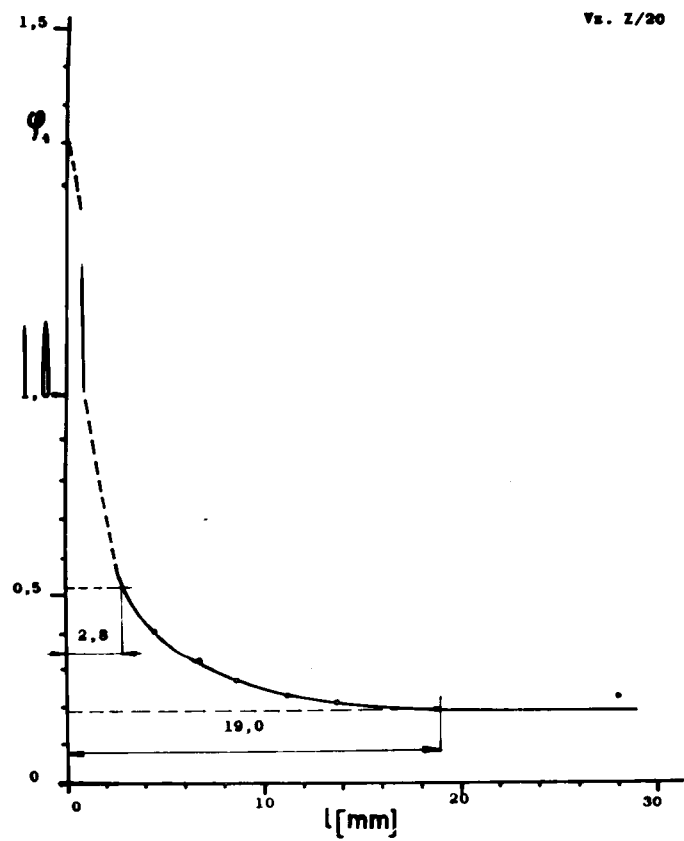
Obr.5.13



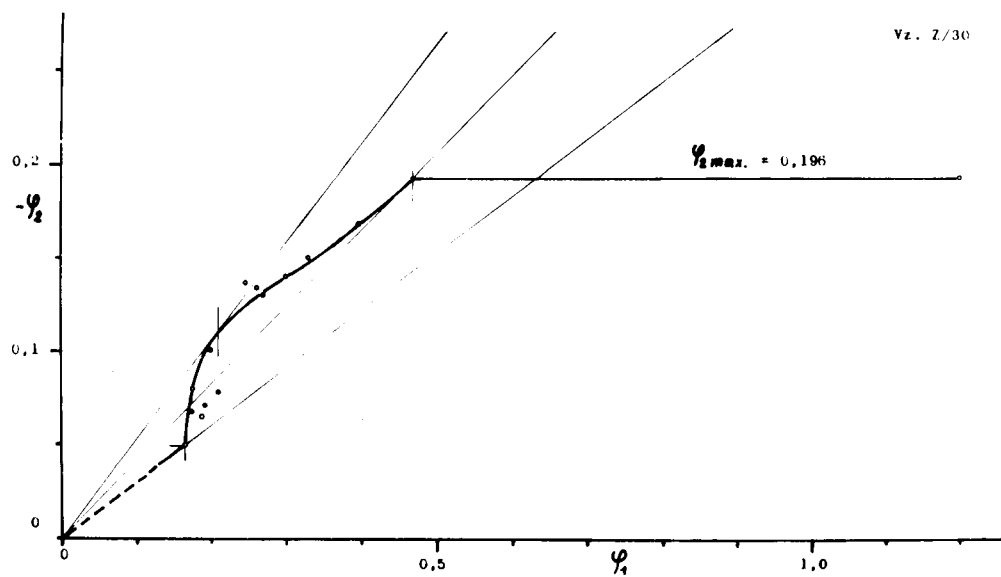
Obr.5.14



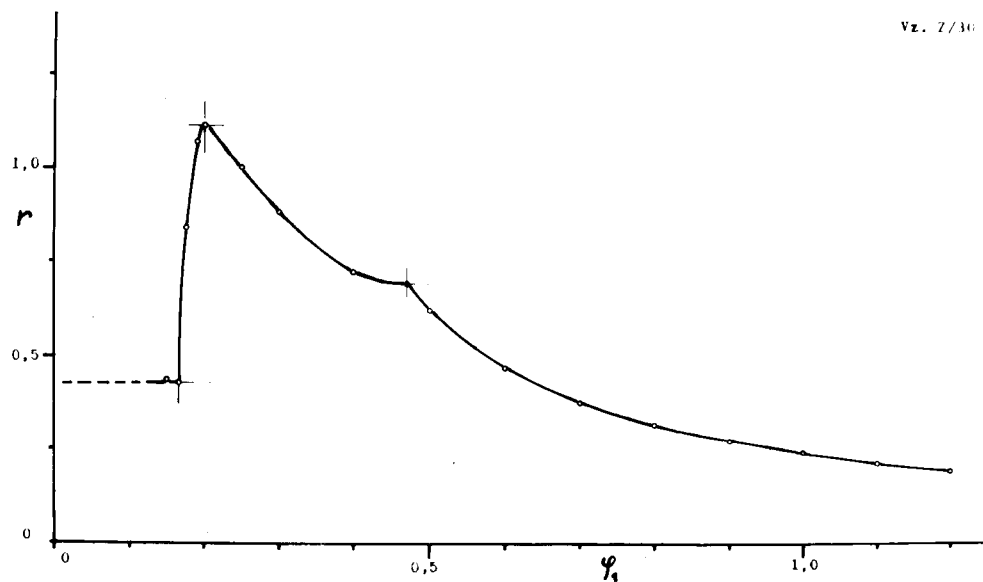
Obr.5.15



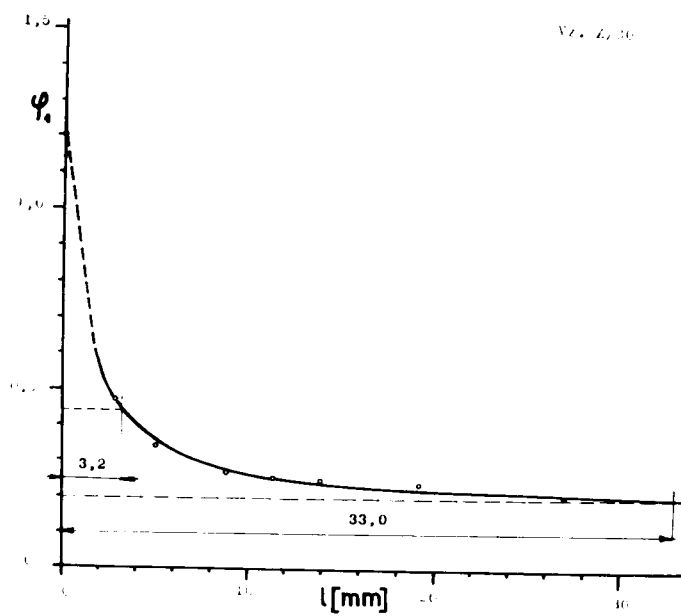
Obr.5.16



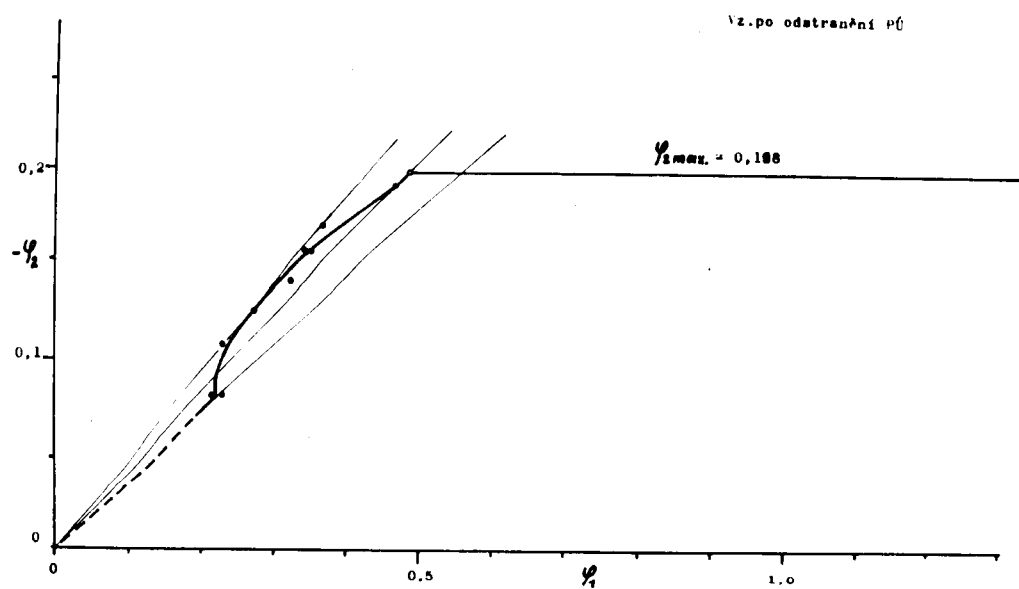
Obr.5.17



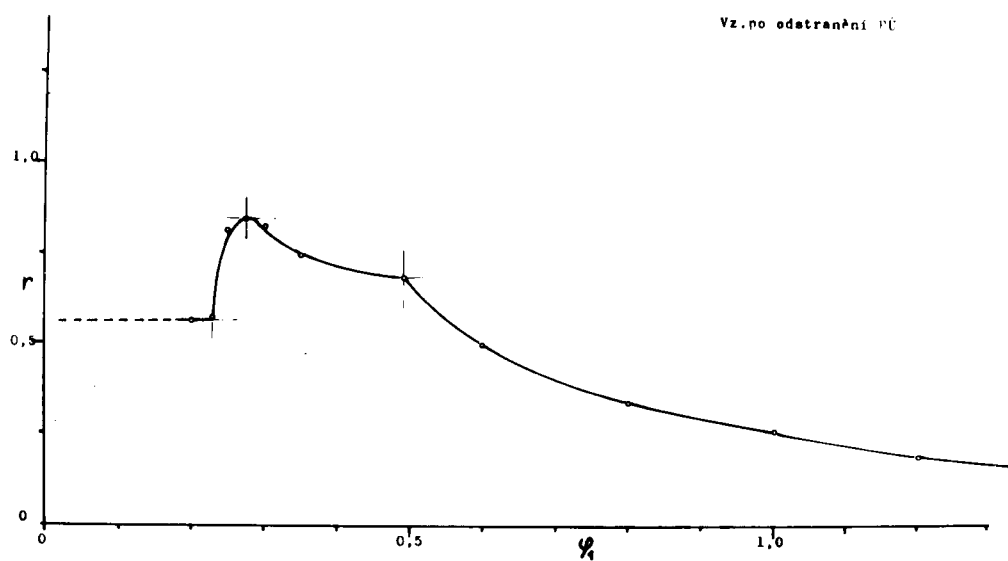
Obr.5.18



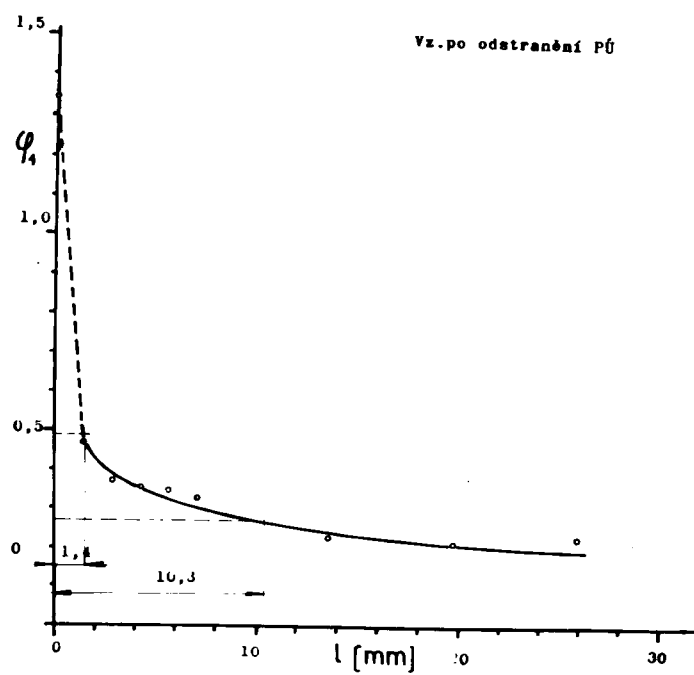
Obr.5.19



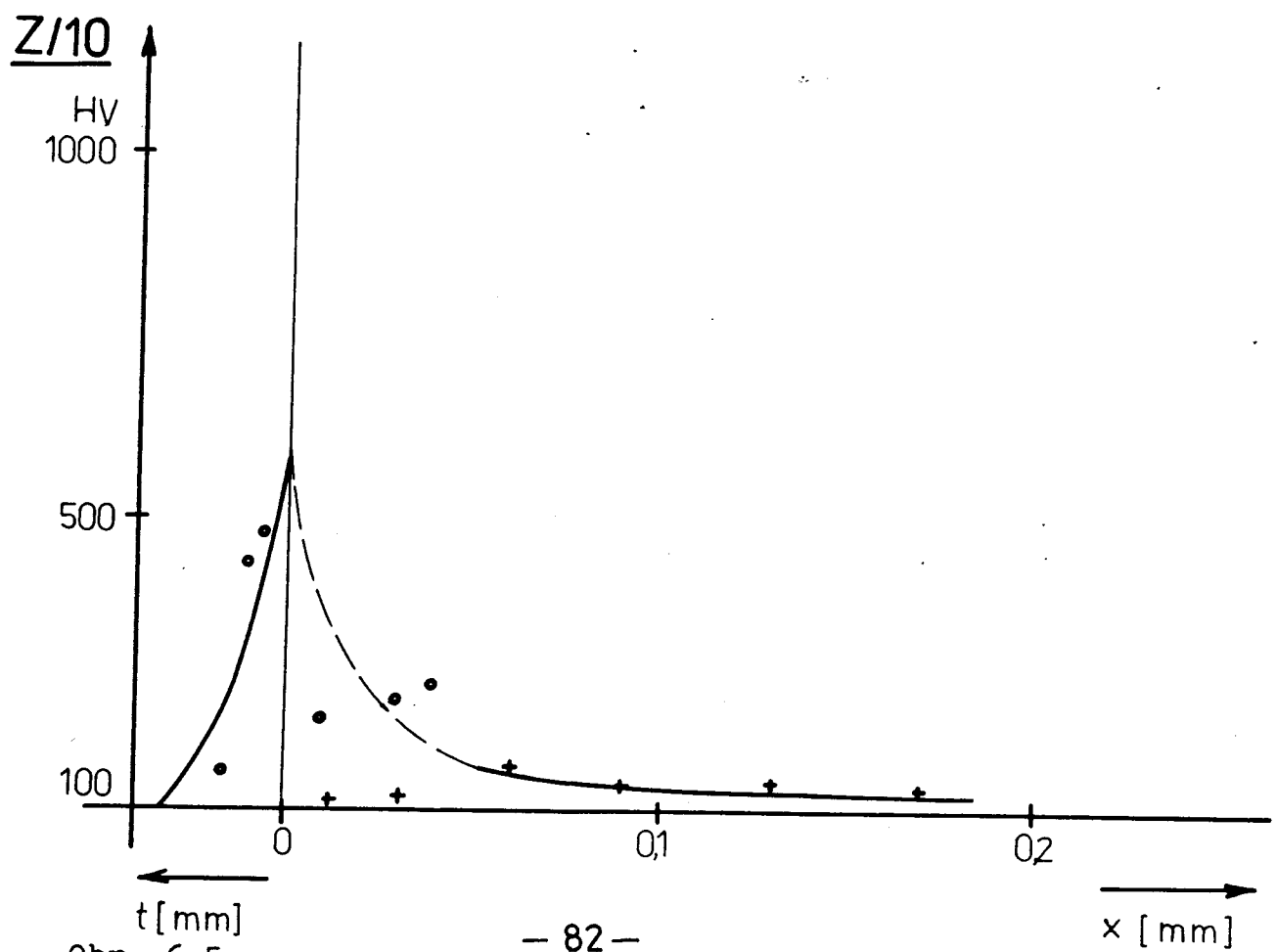
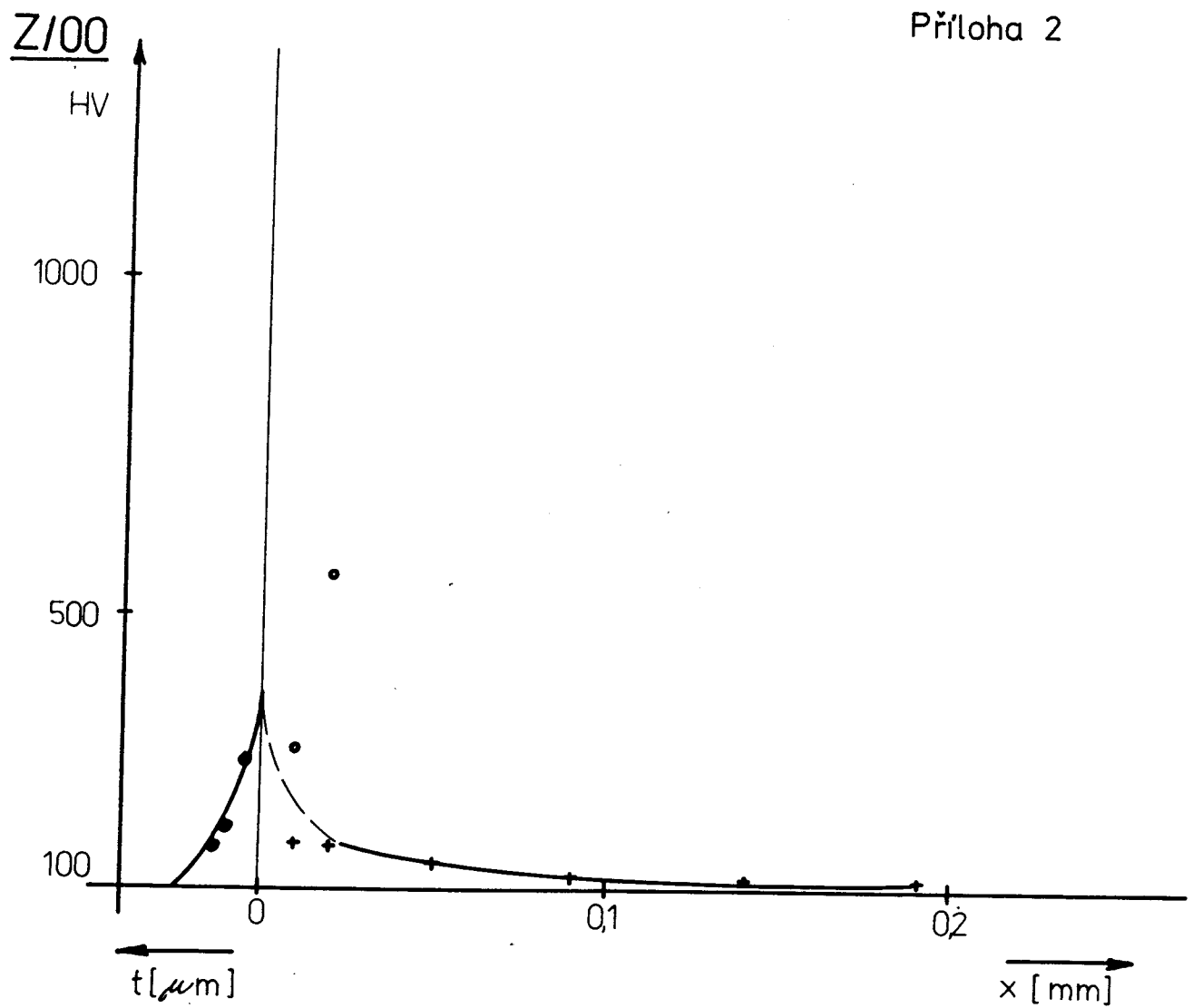
Obr. 5.20



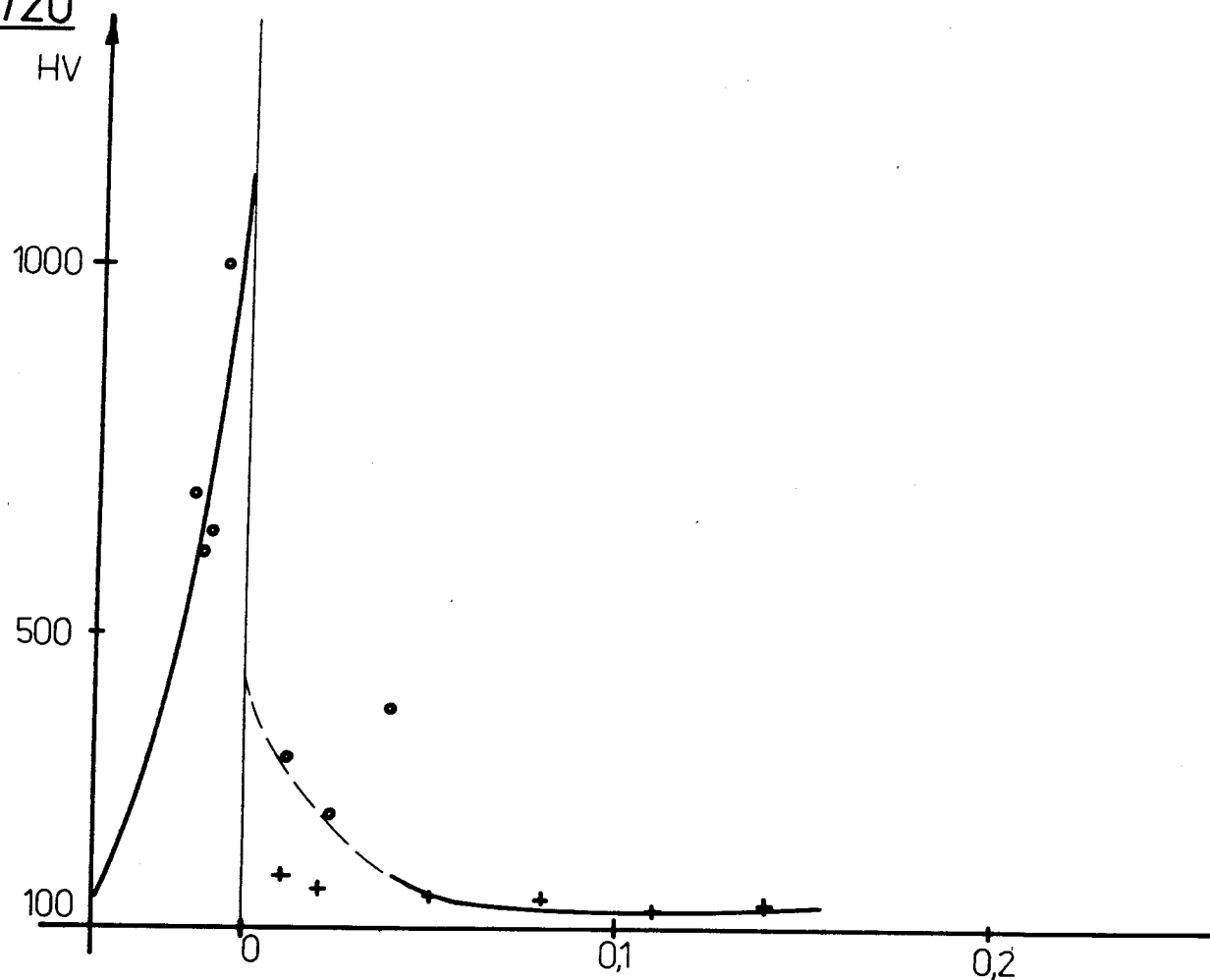
Obr. 5.21



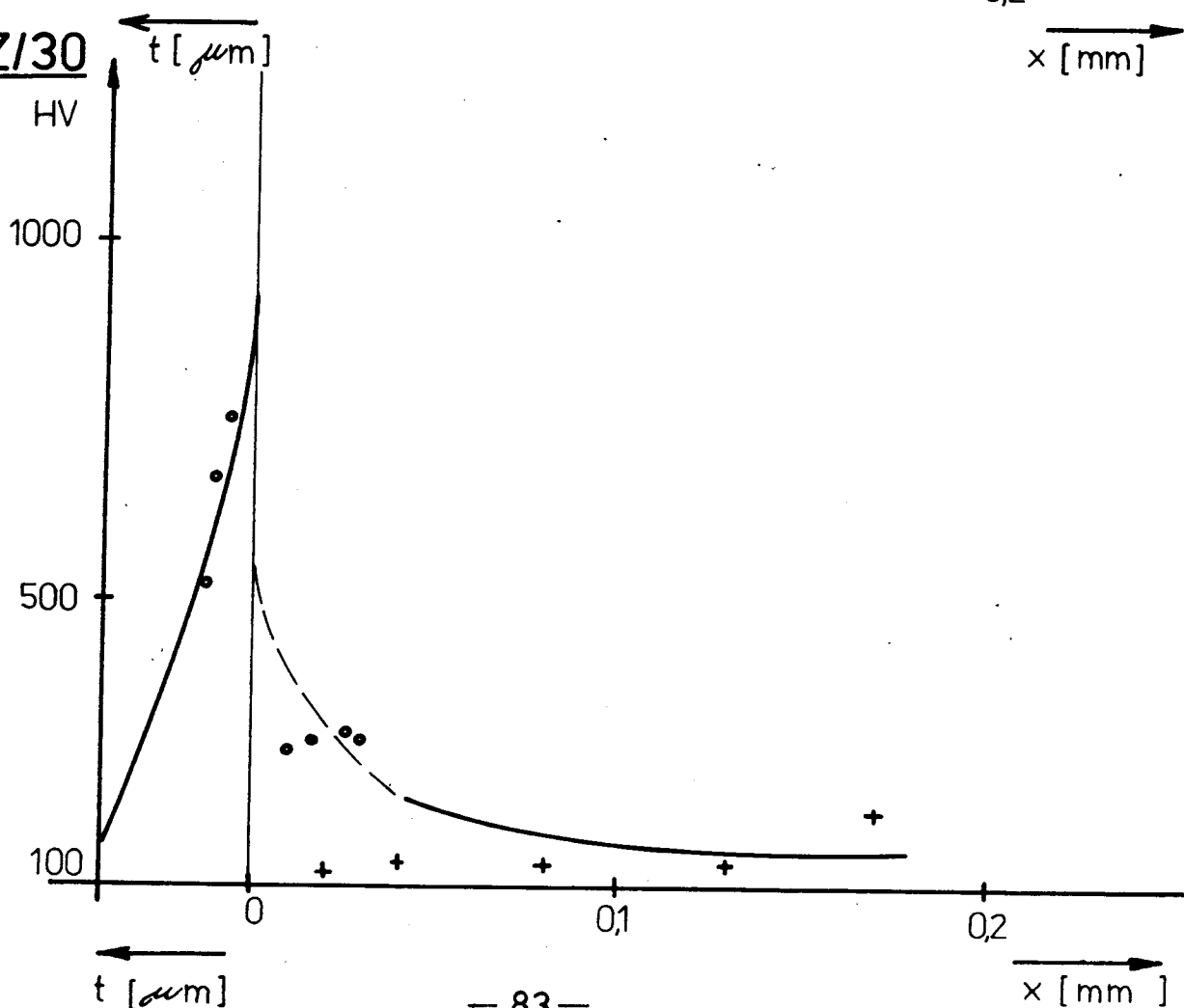
Obr. 5.22



Z/20



Z/30



Obr. 6.6