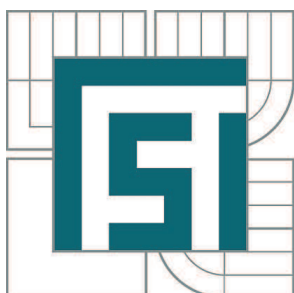


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ TENKÝCH POVLAKOVANÝCH PLECHŮ

FORMING TECHNOLOGY OF THIN SHEETS WITH COATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ PROCHÁZKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Lukáš Procházka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Technologie tváření tenkých povlakovaných plechů**

v anglickém jazyce:

### **Forming Technology of Thin Sheets with Coating**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tváření tenkých ocelových povlakovaných plechů pro rotační i nerotační dílce. Význam tažné mezery pro kvalitu budoucího výlisku.

Cíle bakalářské práce:

Transfěr nových poznatků ze zahraniční odborné literatury z oblasti technologie plošného tváření a jejich aplikace v závěrečné bakalářské práci studenta /-ky/ na konkrétní zadanou součástku.

Seznam odborné literatury:

1. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef; TITTEL, Viktor. Technológia tvárnenia. 1.vyd. Bratislava : STU, 2010. 245 s. ISBN 978-80-227-3242-0.
2. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. 1.st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9.
3. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 26.10.2010

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

PROCHÁZKA Lukáš: Tváření tenkých povlakovaných kovů.

---

Tato bakalářská práce se zabývá tvářením tenkých povlakovaných kovů. Práce je rozdělena do třech tematických částí. První část obsahuje pojednání o technologiích, které se používají při tváření povlakovaných kovů, což jsou ohýbání tažení tlačení a stříhání. Druhá část je zaměřena na povlaky kovu. Druhy povlaků, způsoby měření tloušťky povlaku a technologické zkoušky. Poslední část je věnována experimentu, který tyto poznatky ověřuje na zkušebním vzorku.

Klíčová slova: povlakovaný kov, tváření, ohýbání, tažení, tlačení, stříhání

## **ABSTRACT**

PROCHÁZKA Lukáš: Forming technology of thin sheets with coating.

---

The bachelor's thesis deals with forming technology of thin sheets with coating. It is divided in three separate parts. Firstly, technologies used for forming thin sheets with coating like bending, drawing, spinning and shearing are discussed. Secondly, the thesis presents coatings, their types and means of measuring their thickness as well as examination technologies. The last part consists of a set of experiments testing aforementioned facts on testing samples.

Keywords: coating metal, forming technology, bending, drawing, spinning, shearing

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PROCHÁZKA, L. *Technologie tváření tenkých povlakovaných plechů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. XY s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Milan Dvořák, CSc..

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 25.5.2012

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Milanu Dvořákovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové (bakalářské) práce. Dále děkuji své rodině za materiální i duševní podporu projevenou během celého studia.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	10
<b>2 METODY TVÁŘENÍ POVLAKOVANÝCH KOVŮ</b> .....	12
2.2 TECHNOLOGIE STRÍHÁNÍ.....	13
2.2.1 Operace plošného stříhání.....	14
2.2.2 Výpočet střížné síly a práce.....	16
2.3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ.....	17
2.3.1 Problematika ohybu.....	17
2.3.2 Výpočet ohybového momentu.....	19
2.3.3 Ohyb osamělou silou.....	20
2.3.4 Úhel odpružení.....	21
2.4 TECHNOLOGIE TAŽENÍ.....	22
2.5 TECHNOLOGIE TLAČENÍ.....	24
<b>3 POVLAKOVÁNÍ</b> .....	25
3.1 Základní metody povlakování.....	25
3.1.1 Organické povlaky.....	25
3.1.2 Anorganické nekovové povlaky.....	26
3.1.3 Kovové povlaky.....	26
3.2 Měření tloušťky povlaku.....	29
3.2.1 Nedestruktivní měření povlaku.....	29

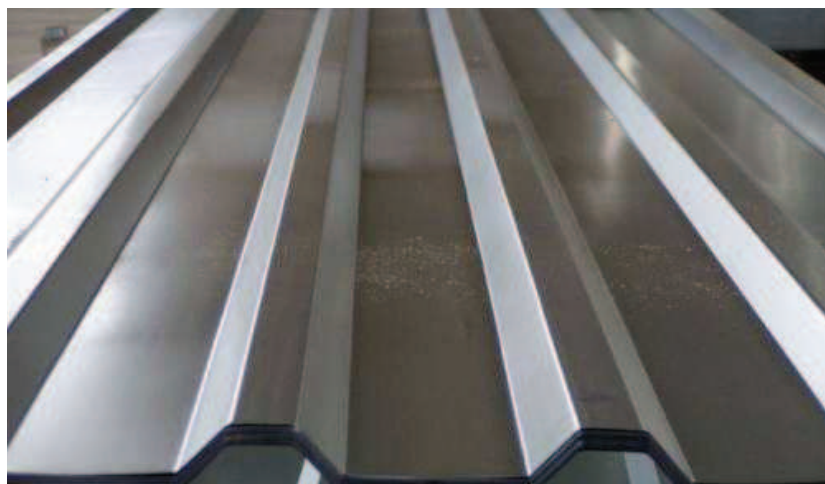
3.2.2 Nedestruktivní měření tloušťky povlaku.....	31
3.3 Technologické zkoušky .....	33
<b>4 EXPERIMENT .....</b>	<b>35</b>
4.1 Měření tloušťky povlaku .....	37
4.2 Erichsenova zkouška hlubokotažnosti .....	38
4.3 Zkouška ohybem .....	40
4.4 Vyhodnocení experimentu .....	42
<b>5 ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
<b>Seznam použitých zdrojů</b>	
<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b>	
<b>Přílohy</b>	

## 1. ÚVOD

Tváření kovů tvoří velký podíl ve strojní výrobě. Proto je při tváření kladen důraz především na konečnou kvalitu výrobku, množství operací, výrobní náklady a strojní čas pro vytvoření požadovaného výrobku. Z tohoto důvodu dnes existuje veliká rozmanitost technologií tváření kovů. Tváření povlakovaných kovů je nová progresivní metoda s vysokým potenciálem a paletou využití, která může výrazně zkrátit výrobní čas a snížit náklady ve výrobě.

Při tváření povlakovaných kovů jsme omezeni vlastnostmi jak základového kovu, tak hlavně materiálu povlaku. A také vazební silou mezi těmito odlišnými materiály. Z toho důvodu je oblast tvářecích operací výrazně omezena. To platí i pro materiály povlaků. Křehké povlaky (např. smalty) a povlaky s nízkou vazební silou se pro tváření nedoporučují.

V praxi se nejčastěji používá povlaků zinku (85% povlakovaných dílů je chráněno tímto povlakem). Mimo kovových povlaků se používají také povlaky organické (barvy, laky) a anorganické nekovové (fosfáty). Každá metoda tváření a každý typ povlaku mají své speciální vlastnosti, které výrazně ovlivňují tvářecí proces. Tyto skutečnosti podtrhávají význam zkoumání chování těchto materiálů při tváření pro maximální zefektivnění výroby mnoha výrobků.



Obr. 1.1 Příklady využití tváření povlakovaných kovů [14],[15]

Tváření se dělí na plošné a objemové. U objemového tváření dochází k deformaci ve třech osách uvnitř materiálu a k silné změně průřezu. U plošného tváření dochází k trvalé deformaci hlavně ve dvou osách a nedochází k silné změně průřezu. Proto se při tváření povlakovaných dílů využívá výhradně u plošného tváření.

Povlaky drží na základním materiálu působením kovových a kovalentních vazebních sil. Velikost vazebních sil je závislá hlavně na materiálech povlaku a podkladového kovu, na technologii nanášení povlaku a na působení vnějších vlivů během nanášení povlaku.

Materiálů povlaku je ohromné množství a stále probíhá vývoj nových materiálů povlaku. Obecně se dělí do třech základních skupin. Organické, anorganické nekovové a kovové povlaky. Mezi organické povlaky patří zejména barvy a laky, mezi anorganické nekovové povlaky patří hlavně povlaky na bázi skel a keramiky a mezi kovové povlaky patří povlaky kovů a jejich slitin.

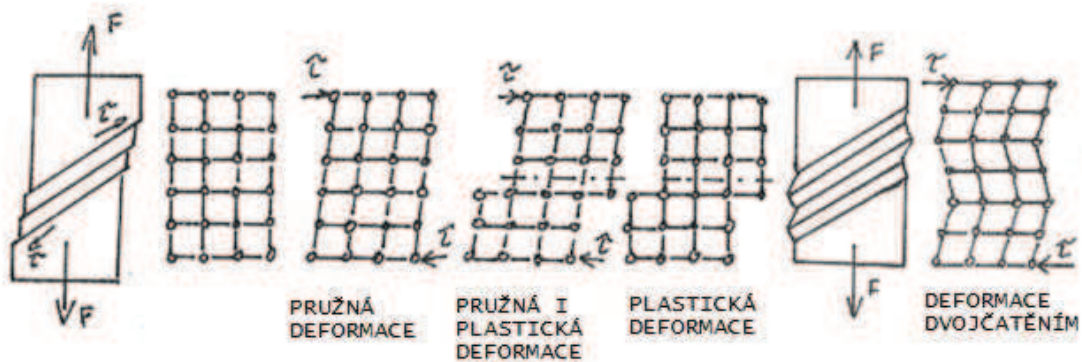
Spojení povlaku a základního kovu je spojení dvou a více odlišných materiálů s různými hustotami a mechanickými vlastnostmi. Materiály mají tudíž odlišné chování během působení deformačních sil (odlišná tažnost, tvárnost). Na rozhraní povlaku a podkladového kovu (nebo mezi povlaky) navíc dochází ke koncentraci tečných napětí během působení deformačních sil. To výraznou měrou přispívá ke zhoršení technologických vlastností povlakovaného kovu.

Při tváření jen výjimečně dojde k situaci, kdy je základní materiál porušen dříve než materiál povlaku. Porušením povlaku se rozumí porušení jeho povrchu, nebo přilnavosti na základním materiálu. Mezi tyto poruchy patří odlepování povlaku a tvorba prasklin a mikroprasklin. Tyto poruchy se často kombinují. Na to se musí v praxi brát ohled a před výrobou provést testy povlaku. Mezi kontroly povlaku patří vizuální kontrola (rozpozná okem viditelné poškození povlaku), vizuální kontrola pod mikroskopem (rozpozná tvorbu mikroprasklin) a mřížková metoda (kontrola přilnavosti povlaku).

## 2. METODY TVÁŘENÍ POVLAKOVANÝCH KOVŮ [1]

Při tváření kovů dochází působením vnějších sil ke změně tvaru součásti. Tváření je způsobeno plastickou (trvalou) deformací, která je vždy provázena elastickou (pružnou) deformací.

Plastická deformace značí vratnost do původního stavu po odstranění vnějších zatížení. Vyznačuje se nevratností děje při zachování krystalické struktury kovu a je popsána Hookovým zákonem. Deformace při plastické deformaci může nastat buď uvnitř zrna, nebo na jeho hranici a jejím hlavním znakem je nevratnost děje při zachování krystalické struktury kovu. Na obr. 2.1 je ukázáno schématické znázornění pružné a plastické deformace monokrystalu.

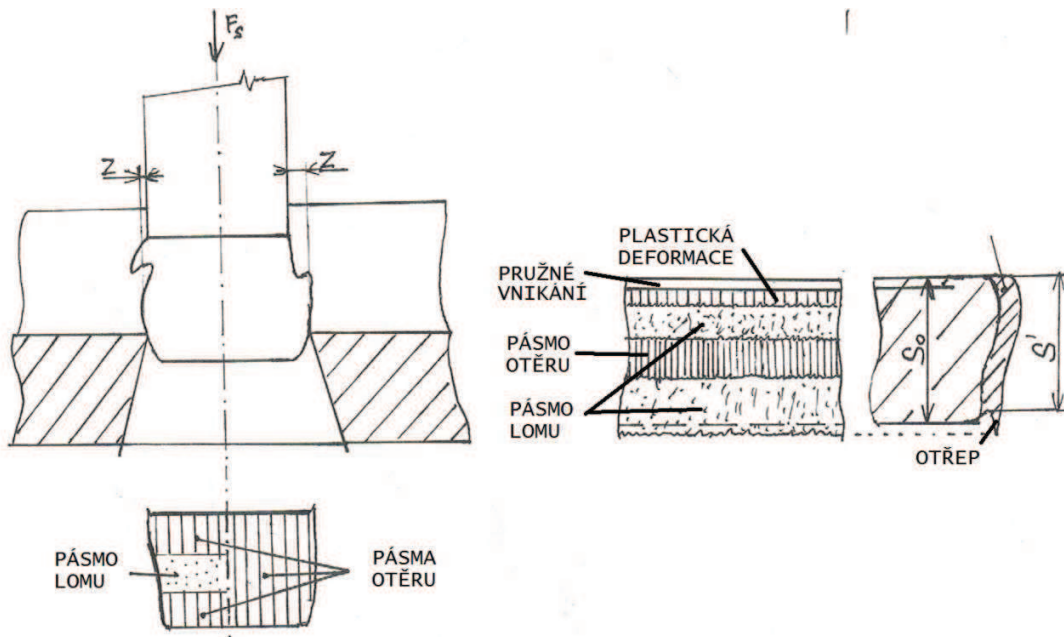


Obr. 2.1 Schématické znázornění pružné a plastické deformace monokrystalu skluzem a dvojčatěním [1]

Při tváření povlakovaných materiálů dochází k nerovnoměrnému namáhání v základním materiálu a v materiálu povlaku způsobenou různými zatěžovacími charakteristikami materiálů a nižší vazební silou mezi materiály, než je síla vazby ve struktuře základního materiálu a povlaku. Na hranici mezi těmito vrstvami proto hrozí při tváření vysoké riziko odlupování povlaku. Díky tomu jsou možnosti použití tvářecích metod omezené. Nejčastěji používané metody tváření povlakovaných kovů jsou: tažení, ohýbání, stříhání a tlačení.



Na obr. 2.3 je znázorněn stříh kovového materiálu při špatném zvolení střížné vůle. V obou případech dojde ke zhoršení kvality výstřížku a ke tvorbě ostřin. Při malé střížné vůli dochází ke zvětšení plochy otěru, při příliš velké vůli dochází ke zvětšení střížné plochy, větším ostřinám a silnějšímu přetvoření stříhaného plechu díky větší vzdálenosti střížných sil  $F_s$ , které jsou znázorněny na obr. 2.3.



Obr. 2.3 schéma stříhu při malé a velké střížné vůli

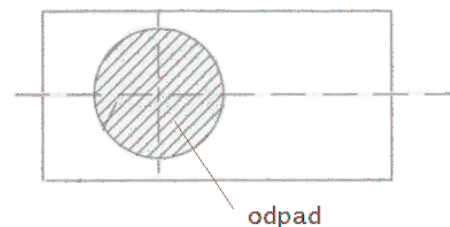
Obr. 2.4 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli

### 2.2.1 Operace plošného stříhání [3]

Následující přehled znázorňuje nejběžnější operace při technologii plošného stříhání. Dané metody se často kombinují pro zajištění maximální efektivity výroby a minimální náklady.

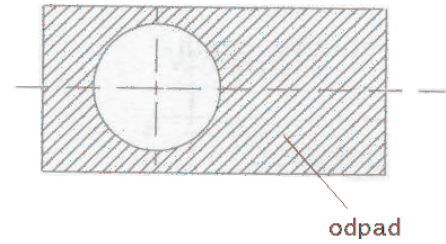
Děrování

Vytváření děr různých tvarů



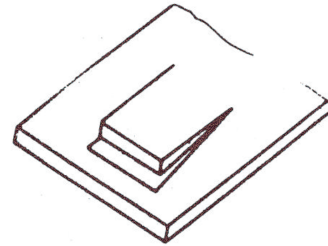
Vystřihování

Výstřižek je oddělen od základního materiálu, odpad tvoří zbylá část plechu



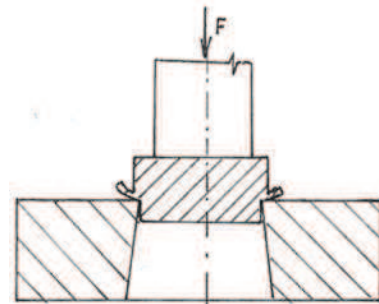
Nastřihování

Částečné odstřížení materiálu



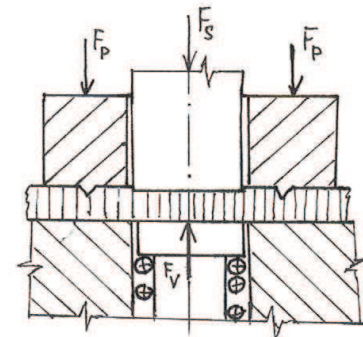
Přistřihávání

Konečná operace, dochází k dosažení přesných rozměrů výstřižku a hladkých ploch



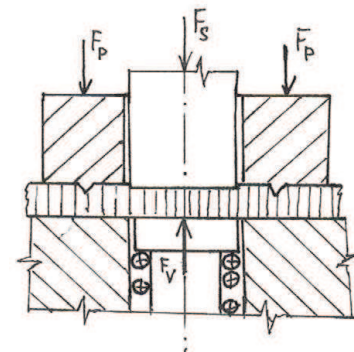
Přesné vystřihování

Dochází k dosažení hladkých ploch při vystřihování



Protrhávání

Plošné stříhání, kdy dochází k sekundárnímu tváření materiálu



### 2.2.2 Výpočet střížné síly a práce [1],[3]

Na základě pevnosti ve stříhu a geometrických podmínek stříhu lze určit střížnou sílu  $F_{stř}$  dle vztahu (2.1).

$$F = n \cdot L_s \cdot (s_0 - h_s) \cdot \tau_{ps} = (1,0 \div 1,3)(s_0 - h_s) \cdot L \cdot 0,77 \cdot Rm \quad (2.1)$$

F střížná síla [N]

n zvyšující koeficient zahrnující vliv vnějších podmínek při stříhání [/]

$L_s$  délka křivky stříhu [mm]

$s_0$  tloušťka stříhaného materiálu [mm]

$h_s$  hloubka proniknutí střížníku při nástřihu [mm]

$\tau_{ps}$  Pevnost ve stříhu [MPa]

Při stříhu rovnoběžnými střížnými hranami je střížná práce dána plochou pod křivkou střížné síly

$$A = \lambda \cdot F_{stř} \cdot L \quad (2.2)$$

L délka stříhu [mm]

$\lambda$  součinitel plnosti [/]

## 2.3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [1],[2]

Při ohýbání dochází k přetvoření materiálu za působení ohybového momentu nebo vnějších sil. Rozhodujícím parametrem při ohýbání jsou tahová napětí, která nepřekračují pevnost materiálu v tahu. V místě maximálního ohybového momentu vznikají nehomogenní lokální plastické deformace, čímž dojde k přetvoření materiálu.

Rozlišují se operace ohýbání a rovnání. Při ohýbání dochází ke zmenšení poloměru zakřivení, které zpravidla dosahuje až jeho minimální hodnoty. Při zvětšování poloměru zakřivení dochází k rovnání.

U materiálů měkkých, tvárných a pro malé je voleno tváření za studena, pro tvrdé, křehké a velké průřezy tváření za tepla.

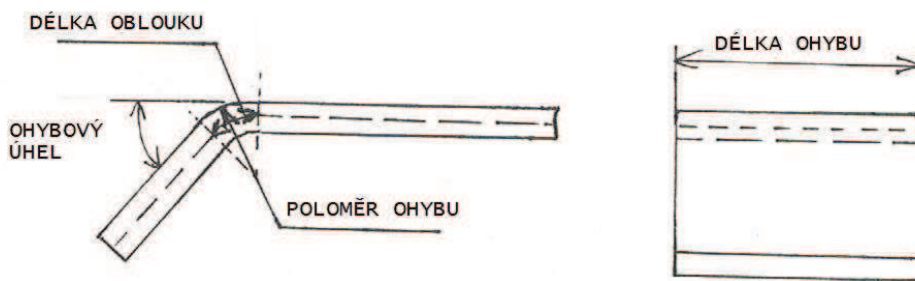
Typické příklady ohýbaných výrobků jsou znázorněny na obrázku 2.4



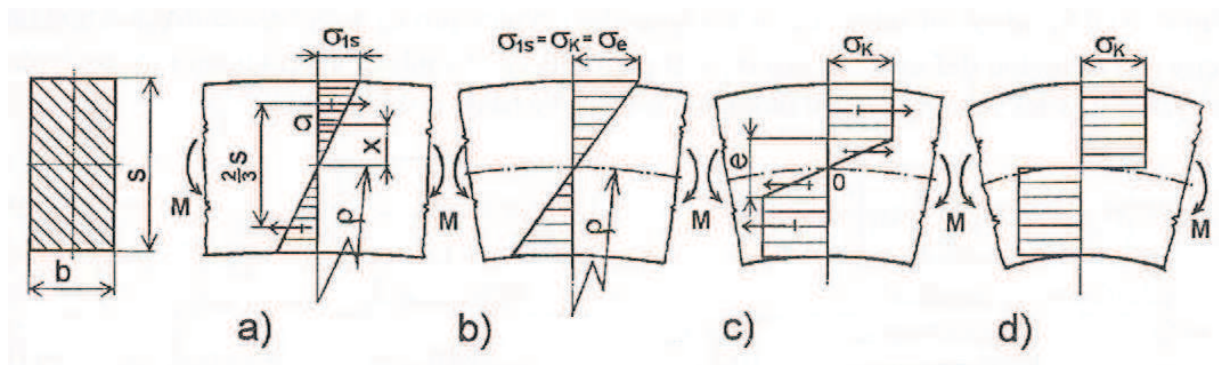
Obr. 2.4 Příklad ohybu plechu a výsledné součásti [18]

### 2.3.1 Problematika ohybu [1],[2]

Při ohýbání se na vnější straně ohybu nachází vrstva s prodlužováním materiálu, na vnitřní straně se nachází vrstva, kde dochází ke stlačování. Mezi těmito vrstvami se nachází neutrální osa. Na této se nenachází ani tahové, ani tlakové napětí. Terminologie používaná při ohybu se nachází na obr. 3.1, schéma průběhu napětí se nachází na obrázku 3.2.



Obr. 2.5 Terminologie při ohýbání



Obr. 2.6 Rozložení napětí v průřezu úzké tyče podle jednotlivých fází ohybu:  
a) pružný, b) pružný  $\sigma_1 = \sigma_k$ , c) ideálně pružně plastický, d) ideálně plastický [1]

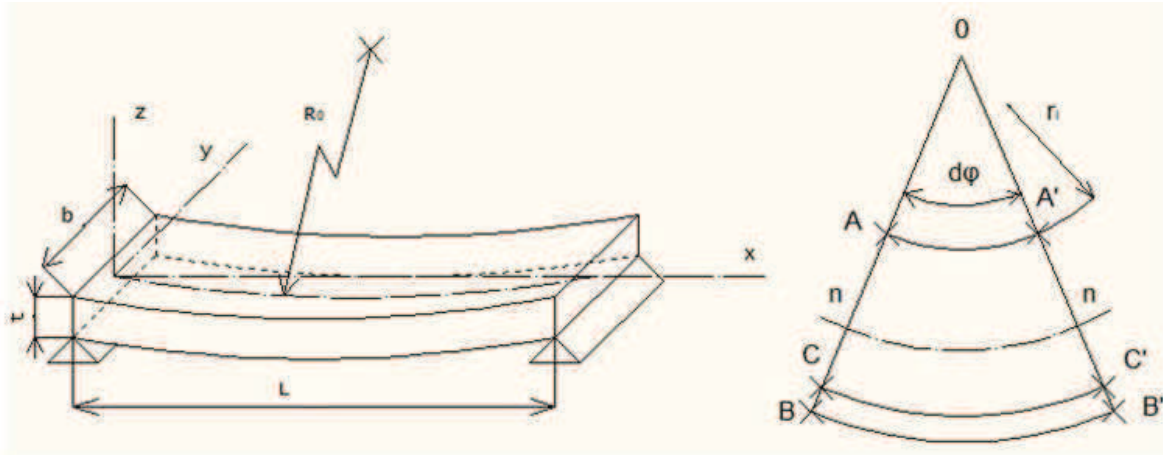
Délka ohybu je rovna šířce ohýbaného pásu. Ohybový úhel je kótován k neutrální ose. Deformace vláken jsou popsána rovnicí:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{(2 \cdot r_i / L) + 1} \quad (2.3)$$

Z experimentů vyplývá, že deformace na vnitřních vláknech je nižší, než na vnějších. Z toho vyplývá, že šířka ohýbaného materiálu se na vnější straně ohybu zmenšuje a na vnitřní zvětšuje. Tím také dochází k posunu neutrální osy na vnitřní stranu ohybu. Poměr  $r/t$  se snižuje, poloměr ohybu je menší a tahové napětí na vnější straně se zvyšuje. Z tohoto důvodu při technologii ohýbání povlakovaného kovu dochází nejčastěji k porušení, popřípadě odloupení povlaku na vnější straně ohybu. Při dalším zmenšování poloměru ohybu se pak objevují na vnějších vláknech trhliny.

### 2.3.2 Výpočet ohybového momentu [2]

Pro výpočet se uvažuje čistý ohyb. Laboratorní testy ověřují Bernauliho hypotézy, kdy dojde ke stlačení vláken jedné vrstvy (vrstva obsahuje plochu s body A, A'), prodloužení vláken, které jsou obsaženy ve vrstvě s body B, B'. V jedné ploše nedochází k žádnému nárůstu délek (n-n). Jelikož se jedná o čistý ohyb, na plochách A-B a A'-B', tedy na povrchu, se nachází pouze napětí  $\sigma$ . Bod O je střed křivosti neutrální osy pro deformace nosníku,  $r_n$  je poloměr křivosti.



Obr. 2.7 Schéma ohybu nosníku: a) ohýbaný nosník, b) řez nosníkem v rovině x-z

V ohybu dochází k elasticko-plastické deformaci na obou stranách neutrální oblasti a v centrální vnitřní oblasti. Oblast čistě plastické deformace se nachází na odlehlých oblastech (vnitřní a vnější strana ohybu). V ohýbaném nosníku se napětí pohybuje v intervalu:

$$0 < \sigma < R_m \quad (2.4)$$

a) platí pro oblast pružno-plastické oblasti. Hlavní část materiálu je elasticky deformovaná a vlákna na vnitřní a vnější straně jsou deformovaná plasticky. Rozdíl mezi skutečným a technickým napětím zanedbatelný, jelikož napětí na mezi kluzu je velmi malé.

$$\sigma_0 = R_e = \sigma_{02} \quad (2.5)$$

b) platí pro oblast pružné oblasti. Velikost napětí je přímo úměrná vzdálenosti vláken od neutrální plochy. Napětí na vnějších vláknech je maximální a je menší jak mez kluzu.

$$R_e < \sigma_{02} \quad (2.6)$$

c) ohyb je ideálně plastický. Napětí může být konstantní v celém průřezu ohýbaného plechu a je rovno mezi kluzu. Za předpokladu, že materiál není kalený, je podmínkou plastického ohybu nerovnost:

$$r_r < 5 \quad (2.7)$$

S ohledem na tyto podmínky lze určit moment ohybu v elasticko-plastické oblasti a v čisté plastické oblasti. Po sérii výpočtů dostaneme tyto vzorce:

A) Moment ohybu v elasticko-plastické oblasti

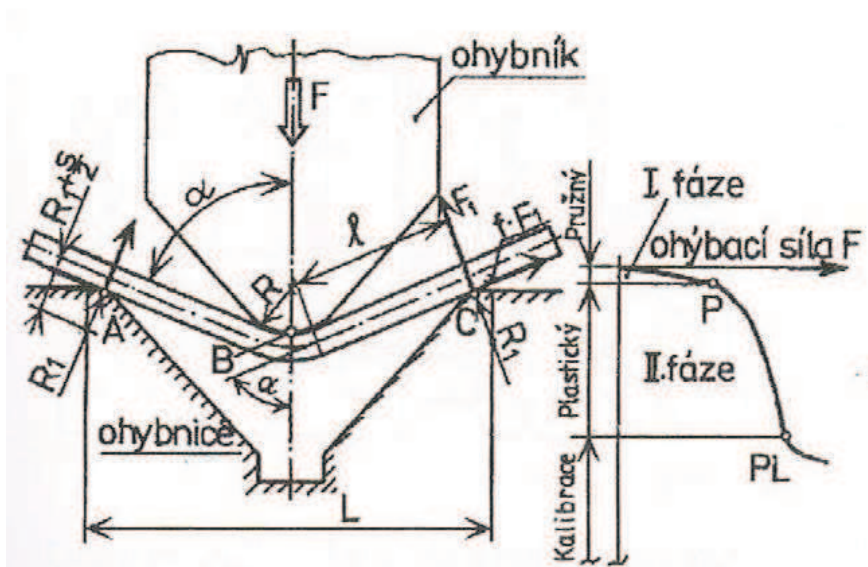
$$M = R_e \frac{bt^2}{4} \quad (2.8)$$

B) Moment ohybu v čisté plastické oblasti

$$M = nR_m \frac{bt^2}{4} \quad (2.9)$$

### 2.3.3 Ohyb osamělou silou [1],[2]

Ohýbání v ohybnici osamělou silou vyvolává v místě ohybu napětí k bodu působení síly. Tato síla je funkcí tloušťky ohýbaného materiálu, délce ohybu, vzdáleností opěrných bodů a mechanickými vlastnostmi ohýbaného materiálu, kde bylo dokázáno, že mez pružnosti je velikost ohybového momentu vyjádřená kritickým napětím  $R_e$  v krajních tažných vláknech.



Obr. 2.8 Ohyb osamělou silou [1]

Vztahy pro ohýbací síly na mezi plasticity:

$$\text{Pro úzké tyče: } F_0 = \frac{2}{3} \frac{bs^2}{L} \sigma_k \quad (2.10)$$

$$\text{Pro široké pásy: } F_0 = \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{bs^2}{L} \sigma_k \quad (2.11)$$

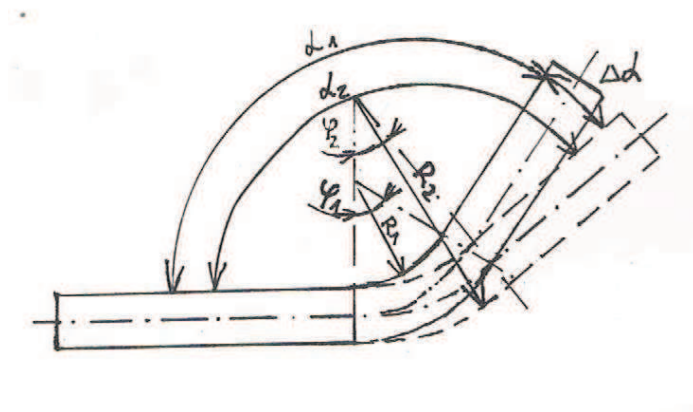
Z geometrických poměrů se určí síla pro ohyb úzké tyče a široké pásy:

$$\text{Pro úzké tyče: } F_0 = \frac{bs^2}{2 \cdot l} (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot \sigma_k \quad (2.12)$$

$$\text{Pro široké pásy: } F_0 = \frac{bs^2}{2 \cdot l} (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_k \quad (2.13)$$

### 2.3.4 Úhel odpružení [1],[2]

Ohyb způsobuje plastická deformace materiálu, která je vždy doprovázena elastickou, vratnou, deformací. Trvalá deformace je rovna rozdílu plastické a elastické deformace. Z tohoto důvodu tvar ohnuté součásti nesouhlasí s tvarem ohýbacího nástroje. Pro přesný ohyb součásti se proto musí s tímto odpružením počítat a ohýbací nástroj upravit tak, aby vytvářel ohyb větší o hodnotu odpružení. Schéma odpružení je znázorněn na obr. 2.9. Výpočet úhlu odpružení představují vzorce (2.12) a (2.13).



Obr. 2.9 Schéma odpružení po ohybu [1]

$$\text{Úzké tyče: } \beta = \alpha_2 - \alpha_1 = \frac{M_{oet} \cdot l_0}{E \cdot J} = \frac{2 \cdot l_0}{s \cdot E} \sigma_0 \quad (2.14)$$

$$\text{Široké pásy: } \beta = \alpha_2 - \alpha_1 = (1 - \mu^2) \frac{2 \cdot l_0}{s \cdot E} \sigma_0 \quad (2.15)$$



kovu v rozmezí  $m=0,6$  až  $0,9$ . V praxi je však tloušťka výtažku brána jako konstantní a zákon stálosti objemu je zjednodušen na zákon stálosti ploch.

$$\varepsilon_D = \frac{D_0 - D}{D_0} \quad (2.16)$$

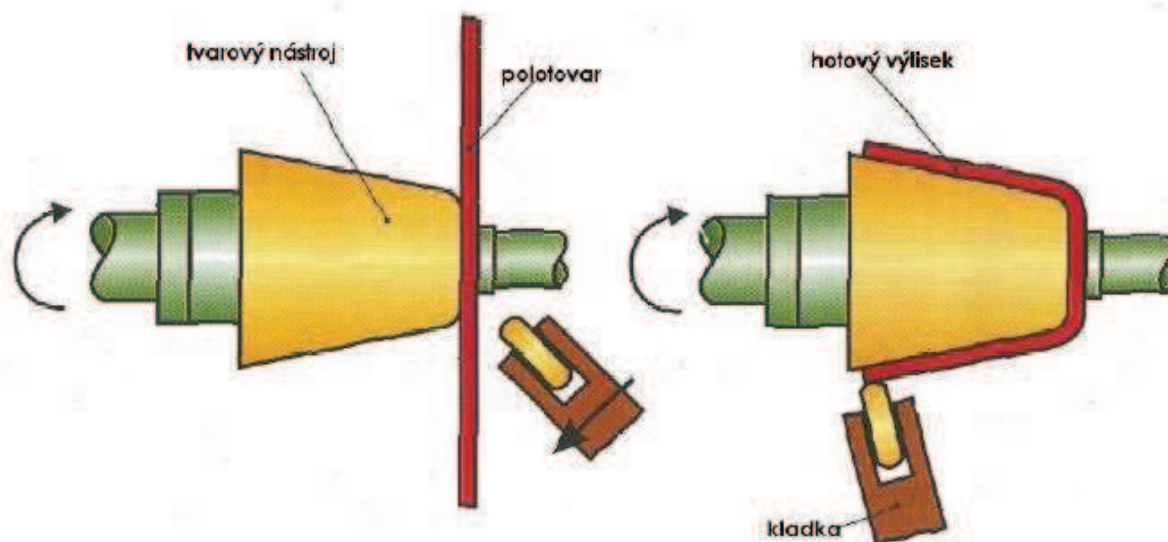
$$\varepsilon_{d1} = \frac{D_0 - d_1}{D_0} = 1 - m_1 \quad (2.17)$$

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad (2.18)$$

## 2.5 TECHNOLOGIE TLAČENÍ [4],[5],[6]

Tlačení je původní metoda beztržkového zpracování rovinného plechu, nebo dutého polotovaru. Z dnešního pohledu je však brána jako pokroková technologie tlačení plechu pro výrobu dutých rotačních těles většinou kruhového, nebo eliptického tvaru. Tvořící křivka však může mít libovolný tvar. Princip spočívá ve vyvolání tlaku nástroje na plech, či tenkostěnný polotovar na rotující šablonu, jak je znázorněno na obr. 2. 11. Šablona je vyrobena z kovu, dřeva, nebo jiných materiálů.

Tlačení se nejčastěji používá pro malé náklady u malosériové výroby, kde se nevyplatí operace lisování. Výroba probíhá na speciálním stroji, nebo na kovotlačitelském soustruhu. Výrobek je dutý rotační díl s požadovanou tvořící křivkou.



Obr. 2. 11 Princip tlačení kovu [6]

### **3. POVLAKOVÁNÍ [7],[8]**

Ve výrobě a provozu se nelze vyhnout problému, kdy zvolený materiál výrobku nemůže splnit požadavky na něj kladené po chemické, fyzikální, nebo vizuální stránce. Povrchové úpravy spočívají v nanášení speciálních látek v jedné, nebo více vrstvách na povrch základního materiálu tak, aby bylo dosaženo povlaku požadovaných vlastností. Povlaky mají tyto funkce:

- Chrání základní podkladový materiál před otěrem
- Chrání jej před korozí a chemickými vlivy
- Upravuje chemické působení dílu k prostředí (katalyzátory, chemické přístroje)
- Upravuje vzhled výrobku (barvy, laky)
- Usnadňují údržbu výrobku a uchovávají výrobek déle v náležitém stavu
- Speciální funkce (zvýšení odolnosti oceli vůči žáru, úprava světelné odrazivosti, zvýšení tvrdosti povrchu, úprava tepelné vodivosti povrchu, atd.)

#### **3.1 Základní metody povlakování [9]**

Metoda povlakování má hlavní podíl na výsledných vlastnostech daného výrobku. Pro dosažení požadovaných vlastností je proto nutné zvolit správný materiál povlaku, ale i technologii nanesení povlaku. Základní dělení metod povlakování vychází z druhu materiálu. Povlaky se dělí na organické, anorganické nekovové a kovové povlaky.

##### **3.1.1 Organické povlaky [12]**

Jde o nejpoužívanější metodu ochrany kovu před korozí. Povlaková hmota obsahuje polymerní pojivo, dále plnivo, pigmenty a další přísady ovlivňující její ochranné a estetické vlastnosti. Nanáší se dvojím způsobem. Buď kapalným nátěrem, kde je polymerní pojivo ve formě roztoku, nebo práškovým nátěrem, přičemž složení je prakticky stejné, jako u kapalně formy. Plastického stavu se tak docílí ohřevu při vytvrzování povlaku. Následuje schnutí, nebo vytvrzení nátěru. Schnutí probíhá fyzikální (vypařování rozpouštědel do okolí), nebo chemickou formou (chemická reakce).

### 3.1.2 Anorganické nekovové povlaky [7],[10],[11]

Anorganické nekovové povlaky mají nejčastěji funkci ochrany kovu proti oděru, korozi, chemickým vlivům a z estetických důvodů. Anorganické nekovové povlaky zahrnují konverzní povlaky (chromátování, fosfátování, černění, hnědění, bömitování) a smalty (povlaky na bázi skla, či keramiky).

**Konverzní povlaky** vznikají chemickou, nebo elektrochemickou reakcí povrchu základního kovu s prostředím. Tyto povlaky se vyznačují tím, že vznikají od povrchu směrem do materiálu a vzniklá sloučenina povlaku obsahuje jak kov, tak prvky z prostředí. Výroba probíhá ponořením očištěné a odmaštěné pokovované součásti do lázně, kde probíhá reakce povrchu základního kovu s prostředím. Reakce probíhá většinou za zvýšené teploty (50÷70°C) po určitou dobu. Tloušťka vzniklého povlaku závisí na času, po který je povlakovaný materiál ponořen. Vzniklé vrstvy jsou na bázi oxidů, fosforečnanů a chromátů. Vyznačují se protikorozními, elektroizolačními a estetickými vlastnostmi a vysokou tvrdostí (dobrá odolnost proti oděru).

**Smaltové povlaky** se vyznačují vysokou tvrdostí, křehkostí, odolností proti změnám teplot (od -50°C do 90°C), vysokou odolností proti oděru a barevnou stálostí. Výsledný povrch je hladký bez trhlin a pórů. Smaltovaný předmět by měl mít konstrukci z jednoho kusu pro zaručení dostatečné tuhosti- nebezpečí odlupování smaltu a nedoporučuje se smaltování zaoblených hran (odpraskávání smaltu). Základním materiálem smaltu jsou tetraedry ( $\text{SiO}_4$ )<sup>4</sup>, ke kterým jsou přimíchávány látky ovlivňující jeho chemické vlastnosti ( $\text{SiO}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{PbO}$ ) a barviva. Výroba probíhá buď mokřím, nebo suchým procesem. U mokrého procesu je na součást nanášen smalt ve formě suspenze, který se následně suší (sušící teplota 60÷100°C). Při suchém procesu se na povrch nanese vrstva smaltového pudru (0,6÷0,8 mm), který se následně vypaluje v tunelové peci (850÷900°C).

**Anorganické nátěrové hmoty** se nanášejí přímo na povlakovaný materiál a ihned reagují se vzduchem. Mezi ně patří povlaky vodního skla, povlaky na bázi kyseliny křemičité a povlaky z portlandsých cementitů (funguje částečně i jako protipožární ochrana). Tyto povlaky se vyznačují tím, že se dají nanášet i na vlhké, či zkorodované povrchy a dají se nanášet v rozmezí venkovní teploty 0÷45°C.

### 3.1.3 Kovové povlaky [7], [9], [11], [13]

Kovové povlaky se volí nejčastěji pro korozní a chemickou ochranu, nebo z estetických důvodů. Pro výrobu kovových povlaků se nejčastěji používá galvanické pokovování (zinkování, niklování, zlcení), žárovým pokovováním (zinkování, olovění) a plátováním (povlaky nerezové oceli, zlata, mědi).

Při **plátování** dochází ke spojení k vytvoření silné vrstvy povlaku na podkladovém

materiálu. Tloušťka se běžně pohybuje v rozsahu 0,1 až 5 mm, není však omezena. Mezi materiál povlaku patří Nerezová ocel, měď, slitiny olova, zlata, stříbra a mnoho dalších. Tato metoda se volí za situace, kdy má být vrstva povlaku vyšší a jiné metody by byly příliš nákladné. Materiál je nanesen na povrch nejčastěji návarem, tlakovým působením (lisováním, explozí), pomocí pájky, či přivařením dle obr. 3.1



Obr 3.1 Příklady výroby plátováním 1- návar 2- přivaření 3- spájením 4- tlakové působení- válcování [7]

**Žárové pokovení** je nejstarší a zároveň nejpoužívanější metodu pokovování. Probíhá na principu nanášení roztaveného kovu na povrch základového materiálu buď nástřikem, nebo smáčením. Principem smáčení je, že se povlakovaná součást ponoří do nádoby s roztaveným kovem. Hlavní podmínkou žárového povlakování tedy je, aby teplota nanášeného kovu byla nižší, než teplota fázové přeměny základového kovu. Z toho důvodu se volí materiály povlaků s nízkou teplotou tání (Zn, Al, Sn, Au, Pb). Výhodami žárového pokovování jsou dostatečná tloušťka povlaku, velmi nízká pórovitost, nízká cena a zanášení drobných nerovností. Při nanášení povlaku vzniká difúzní mezivrstva, která pozitivně ovlivňuje přídržnost povlaku, má však negativní vliv na mechanické vlastnosti povlaku. Proto je důležité kontrolovat proces difuze a zvládnout její průběh. Nevýhodou této metody je omezené množství použitelných materiálů a difuze a horší mechanické vlastnosti povlaku, zejména odolnost vůči oděru.

Principem **Galvanického pokovování** je elektrochemické nanášení kovu na podklad. Rozlišuje se katodické (Cu, Ni, Cr) a anodické (ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pokovování. Proces galvanického pokovování provází rozpad vody v roztoku na vodík (tvoří se na katodě) a kyslík (tvoří se na anodě). Z toho důvodu mají povlaky vysokou pórovitost a anodické povlaky mají charakter oxidů. U anodických povlaků dochází ke korozi katody, kov z anody se elektrochemickou cestou přenáší na anodu. Povlaky mají tedy složení tvořené výhradně materiálem uvolněným korozi z anody (katody) s příměsí látek uvolněných z roztoku.

Samotné galvanické pokovení probíhá na základě vylučování kovu A z anody (katody) formou iontů do elektrolytu a následnému vyloučením na povrch katody (anody) za reakce (3.1)



A - kov povlaku  
n+ - počet iontů  
n\*e<sup>-</sup> - počet elektronů

Jedná se o teoretickou reakci, ve skutečnosti do děje zasahuje mnoho jiných reakcí a vlivů (míchání, teplota, složení elektrolytu, množství nečistot), které mají vliv na skutečnou reakci.

Postup galvanického pokovení je následující:

1. Odmaštění- odstranění všech druhů nečistot. Probíhá ve dvou fázích. V první fázi probíhá tzv. alkalické odmašťování. Probíhá ponorem v roztoku průmyslově dodávané lázně ve vodě. Lázeň obsahuje nejčastěji uhličitán draselný, alkalické silikáty, soli kyseliny fosforečné, hydroxid sodný a smáčedla. Proces probíhá po dobu 5 minut za teploty 80÷100°C. Následuje druhá fáze, elektrolytické odmaštění, které se používá jako poslední proces zbavení nejjemnějších nečistot. Čištěný kov se napojí na anodu (katodu, nebo střídavě na anodu a katodu). Během elektrolýzy dochází k rozpadu vody na vodík (na katodě) a kyslík (na anodě). Vzniklé bubliny s sebou odnášejí zbylé nečistoty.
2. Opláchnutí vodou
3. Aktivace povrchu- odstranění zoxidovaných míst ponořením do vhodného roztoku (pro ocel 5÷10% HCl).
4. Opláchnutí vodou
5. Galvanické pokovení
6. Opláchnutí vodou
7. Sušení

Při procesu galvanického pokovování vzniká povlak, který má matné zbarvení. Pro zlepšení estetického působení se v minulosti povlak leštil. To však má negativní vliv na výslednou kvalitu povlaku. V dnešní době se používá výhradně leskutvorných přísad, které se přidávají do galvanické lázně. Výsledný povrch se vyznačuje vysokým leskem. Povlaky galvanicky nanášené se dále vyznačují vysokou přilnavostí, nejvýhodnějšími vlastnostmi ke tváření a dobrými abrazivními a estetickými vlastnostmi. Dále se volí v případě úpravy elektrické vodivosti.

### 3.2 Měření tloušťky povlaku [16]

Tloušťka povlaku představuje u většiny povrchových úprav jedno ze základních kritérií pro hodnocení protikorozní účinnosti a pro předpověď životnosti součástí, strojírenských výrobků, stavebních prvků a konstrukcí a celé řady dalších výrobků. Tloušťka povlaku naneseného na podklad je vzdálenost mezi povrchem povlaku a povrchem podkladu. Metody měření tloušťky povlaků jsou dané typem podkladového materiálu, typem povlaku a jeho předpokládanou tloušťkou. Metody měření tloušťky povlaku jsou normalizované v ČSN EN ISO 3882 [21].

Tloušťka povlaku určuje především jeho celistvost, bariérový efekt povlaku a pórovitost. Tloušťka povlaku se udává v  $\mu\text{m}$ , nebo v plošné hmotnosti ( $g \cdot m^{-2}$ ) v závislosti na výrobním procesu.

Metody měření se dělí na destruktivní a nedestruktivní. Destruktivní metody se používají při hromadné výrobě a u vícevrstvých povlaků. Nedestruktivní metody se používají v případě, kdy je vyžadováno zachování měřeného dílu, při rychlém měření a u automatizovaných měřících procesů.

#### 3.2.1 Nedestruktivní měření povlaku [16]

##### Kapková metoda

Na odmaštěný kov se pomocí kapiláry nebo kapátka nanese kapka roztoku, který rozpouští povlak. Používá se pro měření povlaků Cd, Sn, Cu, Ag a Zn. V závislosti na povlaku se volí doba reakce v rozmezí 30÷60 s. Po uplynutí této doby se kapka odsaje buničitou vatou. Následuje nanesení další kapky a tento proces se opakuje do té doby, kdy se obnaží základní kov. Pro jednoduchost jde o nejrozšířenější metodu měření tloušťky povlaku. Používá se pro tloušťky 2÷10  $\mu\text{m}$

$$S = k_1(n_i - 1) \quad (3.2)$$

- h tloušťka povlaku
- $k_1$  převodní konstanta
- $n_i$  počet kapek nutný k rozpuštění povlaku

##### Snímací metoda

Zjišťuje se průměrná tloušťka povlaku na celém výrobku. Princip je v určení rozdílu hmotností výrobku s povlakem a výrobku bez povlaku. Ten se získá chemickým, nebo elektrochemickým rozpuštěním povlaku, popřípadě základního materiálu. Tato metoda je vhodná pro fosfátové vrstvy a nevhodná pro povlaky s neznámou hustotou. Nevýhodou této

metody je, že je nutné přesně stanovit povrch tělesa. Dále může měření negativně ovlivnit nerovnoměrnost povlaku a malý rozdíl hmotností.

$$h = \frac{m_1 - m_2}{\rho_p \cdot S_p} \quad (3.3)$$

- h průměrná tloušťka povlaku
- $m_1$  hmotnost povlakovaného výrobku
- $m_2$  hmotnost vzorku bez povlaku
- $\rho_p$  hustota povlaku
- $S_p$  pokovená plocha

### Coulometrická metoda

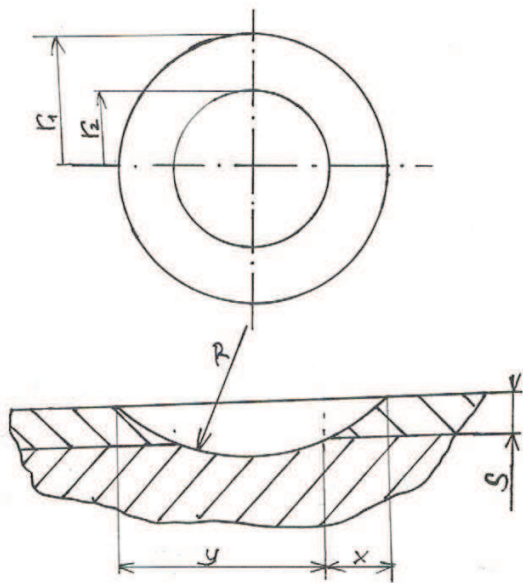
Princip spočívá v anodickém rozpouštění povlaku za řízených elektrochemických podmínek. Tloušťka je pak odvozena z Faradayova zákona v závislosti na plošném náboji. Tato metoda se používá pro měření všech jak kovových, tak nekovových povlaků na kovovém základě v rozsahu tloušťky jedno i vícevrstvého povlaku od 0,2 do 50  $\mu\text{m}$ . Do tloušťky 2  $\mu\text{m}$  pak jde o rozhodující metodu.

$$h = \frac{I \cdot t \cdot k \cdot r}{10 \cdot S \cdot \rho} \quad (3.4)$$

- h tloušťka povlaku
- I anodický rozpouštěcí proud
- t čas rozpouštění
- k elektrochemický ekvivalent povlakovaného kovu
- r anodická proudová účinnost
- S plocha rozpouštěného povlaku
- $\rho$  hustota povlakovaného kovu

### Metoda výbrusu

Tloušťka povlaku se určí na základě metalografického výbrusu, naleptáním pro zvýraznění rozhraní a následným přímým měřením pod mikroskopem. Jde o univerzální a zároveň relativně nejpřesnější metodu (chyba= $\pm 1\%$ ). Tímto způsobem se dají měřit všechny typy povlaků, jedno i vícevrstvé povlaky, difúzní vrstvy a dají se sledovat i mikrostruktury povlaku.



Obr. 3.2 Měření tloušťky povlaku metodou výbrusu

$$s = \sqrt{R^2 - r_2^2} - \sqrt{R^2 - r_1^2} \approx \frac{x \cdot y}{2 \cdot R} \quad (3.5)$$

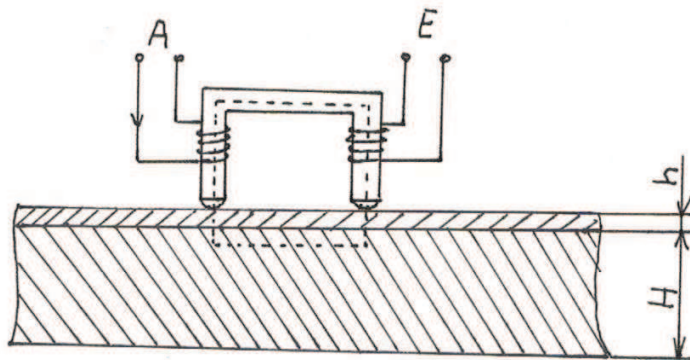
- s - tloušťka povlaku
- R - Poloměr brusného kotouče
- $r_1, r_2$  - měřené poloměry
- x, y - měřené vzdálenosti

### 3.2.2 Nedestruktivní měření tloušťky povlaku [16]

Měření má srovnávací charakter, proto je před měřením nutná kalibrace nástroje. Měření ovlivňuje typ základního materiálu a povlaku, typ snímače a kvality signálu. Ten závisí na fyzikálně chemických vlastnostech měřeného místa.

#### Metoda elektromagnetická

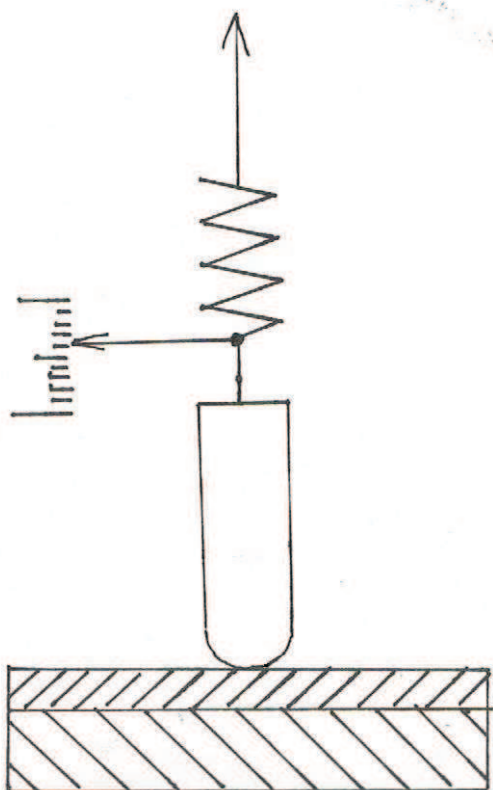
Tato metoda funguje na principu změny magnetického toku, který se uzavírá na obvodu snímače. Střídavé elektrické pole je buzeno vnějším zdrojem elektrické energie. Využívá se v případech, kdy je nutná vysoká přesnost měření. Přesnost udává permeabilita základního materiálu, tloušťce, tvaru a drsnosti povlaku. Měřicí rozsah se pohybuje u kovových povlaků v rozmezí 0÷100  $\mu\text{m}$ , u organických povlaků 0÷1000  $\mu\text{m}$ .



Obr. 3.3 Princip elektromagnetické metody

### Metoda magnetická

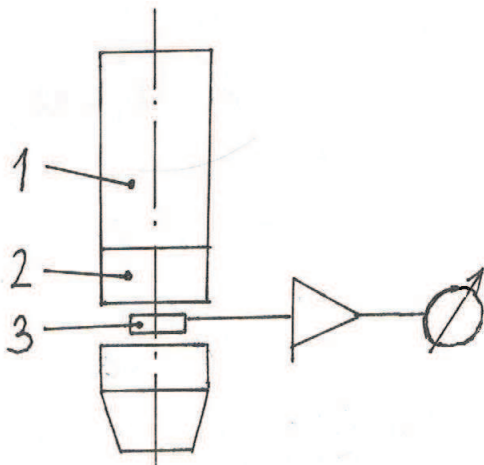
Princip této metody je v měření síly potřebné k odtržení magnetu od povlaku. Tloušťka se pak určí ze stupnice přístroje, nebo z převodního grafu. Rozsah měření se pohybuje v rozmezí  $2 \div 1000 \mu\text{m}$  v závislosti na typu použitého měřicího přístroje. Vlivy na přesnost měření jsou shodné s metodou elektromagnetickou.



Obr. 3.4 Princip měření povlaku magnetickou metodou

### Metoda induktivní

Jde o typ magnetické metody. Přiblížením permanentního magnetu k feromagnetickému materiálu dojde k indukci magnetického toku, jehož velikost je závislá na vzdálenosti snímače od feromagnetického materiálu.



Obr 3.5 Princip induktivní metody

1 - permanentní magnet, 2 - pólový nástavec, 3 - čidlo

### Izotopová fluorescenční metoda

Zkoušená plocha se vystaví rentgenovému záření. Druhotným účinkem této operace vznikne tzv. fluorescenční rentgenové záření, podle jehož naměřené intenzity se určí tloušťka povlaku. Podmínkou měření je, že tloušťka povlaku nesmí být větší jak tloušťka podkladového materiálu. Rozsah měřené tloušťky materiálu je  $0 \div 25 \mu\text{m}$ , běžně se používá do tloušťky  $1 \mu\text{m}$ .

### 3.3 Technologické zkoušky [17],[18], [19], [20]

Technologické zkoušky se provádějí pro určení mechanických vlastností materiálu. Provádí se při přejímkách polotovaru, při kontrole jakosti, při kontrole technologie výroby a při vývoji nových materiálů. Technologické zkoušky se vztahují buď ke speciálnímu druhu tváření (tvářitelnost), nebo univerzálně pro křehké i houževnaté materiály. Pro testování povlakovaných kovů se výběr technologických zkoušek zužuje na měření hlubokotažnosti (dle Erichsen), mřížkovou metodu (zkouška přilnavosti povlaku), tahovou zkoušku a zkoušku mikrotvrdomosti dle Vickerse.

### Zkouška Erichsenova

Cílem této zkoušky je určení hlubokotažnosti plechu, které udává míra prohloubení. Míra prohloubení je vzdálenost proniknutí tažníku do zkoušeného plechu z nulové polohy do polohy, kdy se na vzorku objeví první prasklina, jak bude znázorněno na obr. 4.2. Podle tvaru a umístění praskliny se následně určuje, zda je materiál vhodný, či nevhodný ke tváření dle obr. 3.6.



Obr. 3.6 Určení materiálu dle tvaru trhliny

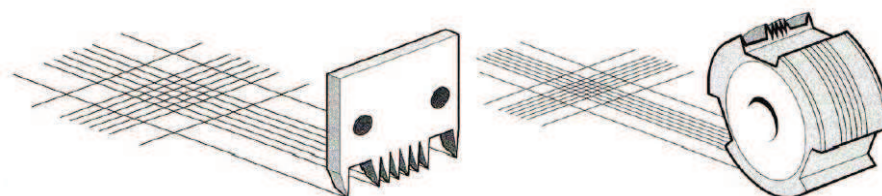
### Ohybová zkouška

Ohybová zkouška se dále dělí na zkoušku měření úhlu odpružení a zkoušku lámavosti za studena. Při měření úhlu odpružení se měří úhel, o který se ohýbaný materiál vrátí po odlehčení zatěžující síly (viz. kap. 2.3.4 Úhel odpružení a kap. 4.6 Zkouška ohybem).

Při zkoušce lámavosti za studena se určuje úhel ohybu zkušebního plechu (tyče) v závislosti na zatěžující síle. Probíhá ohyb do U, nebo V a zkoumá se, kdy dojde k porušení vzorku. V případě povlakovaných kovů se sleduje, kdy dojde k porušení povlaku

### Mřížková zkouška

Principem zkoušky je vyřezání do povlaku mřížky do povlaku, která musí v celé délce dosahovat až na povrch podkladu. Mřížka se vyřezává pomocí nože buď do pravého úhlu, nebo do kosočtverce. Následuje očištění a v případě nátěrových povlaků následuje vyhodnocení zkoušky podle míry poškozených čtverečků do 5 stupňů poškození. U kovových a anorganických povlaků následuje přilepení a odtrhnutí adhezni pásky a vyhodnocení následuje až po této operaci. Stupně poškození se řadí vzestupně, kdy stupeň 0 značí nulové poškození a stupeň 4 značí nevyhovující povlak.



Obr. 3.7 Nástroje pro mřížkovou zkoušku[20]

## 4. EXPERIMENT

V souvislosti s tématem bakalářské práce byl proveden experiment, jehož záměrem bylo ověřit vlastnosti povlaku a základního materiálu. Vybrán byl ocelový plech s povlakem zinku. Bylo přistoupeno k testování tohoto materiálu, jelikož jde o velice často používaný materiál ve strojní výrobě a má velmi dobré tvářecí vlastnosti.

### Použité přístroje a přípravky

Tloušťkoměr Elcometr 456

Erichsen- typ F4

Ohybová zkouška V ohybu s využitím zkušebního přípravku na Ústavu strojírenské technologie

### Materiál vzorku

Ocelový plech s galvanicky naneseným povlakem zinku odpovídající normě EN 10143 z roku 2006

Materiálový list je uveden v příloze č. 1

### Údaje k materiálu:

Mez pevnosti v tahu:  $R_m = 270 \div 500$  MPa

Mez kluzu:  $R_e$  *není uvedeno*

Tažnost:  $A_{80} = 22,0$

Úhel odpružení 22%

Hmotnost povlaku:  $200 \text{ g/m}^2$

Chemické složení [hmotn. %]:

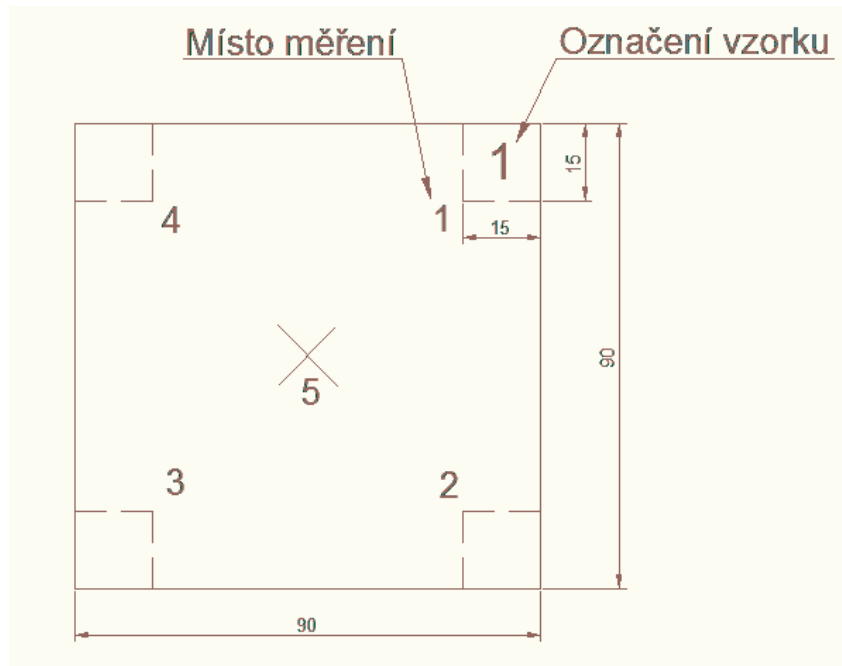
C	0,18	Mn	1,20
Si	0,50	P	0,12
S	0,045	Ti	0,30

## Rozměry měřených součástí

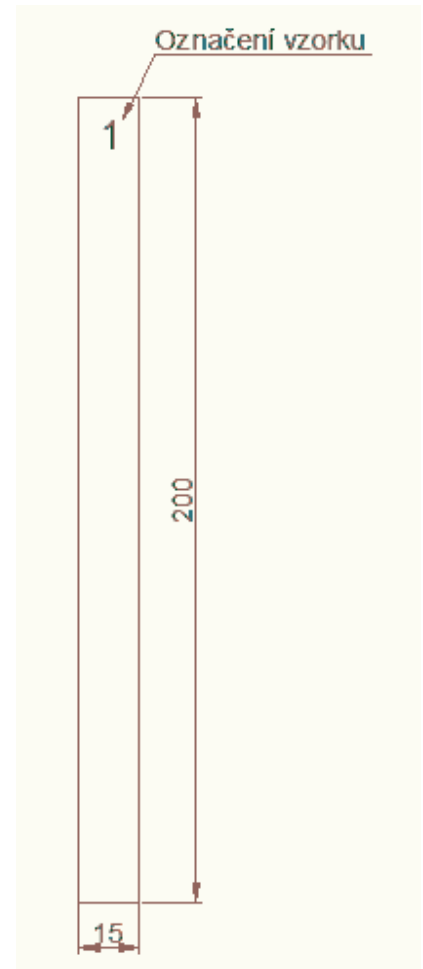
Jmenovitá tloušťka plechu  $t_j=1\text{mm}$

Tloušťka povlaku tabulka

### Erichsenova zkouška



### Ohybová zkouška



Obr. 4.1 Rozměry vzorků k měření

## 4.1 Měření tloušťky povlaku

Měření probíhalo pomocí tloušťkoměru zapůjčeného na Ústavu strojírenské technologie. Bylo provedeno vždy 5 měření na každém vzorku.

Tab. 4.1 Naměřené hodnoty tloušťky povlaku

Vzorek č. 1		Vzorek č. 2	
Místo měření	Tloušťka povlaku $S_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	Místo měření	Tloušťka povlaku $S_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	13,8	1	13,8
2	12,9	2	15,5
3	12,4	3	14,6
4	16,2	4	14,9
5	14,8	5	15,8

Vzorek č. 3		Vzorek č. 4	
Místo měření	Tloušťka povlaku $S_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	Místo měření	Tloušťka povlaku $S_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	21,4	1	10,7
2	19,6	2	11,2
3	20,9	3	13,5
4	22,8	4	12,8
5	15,4	5	13,1

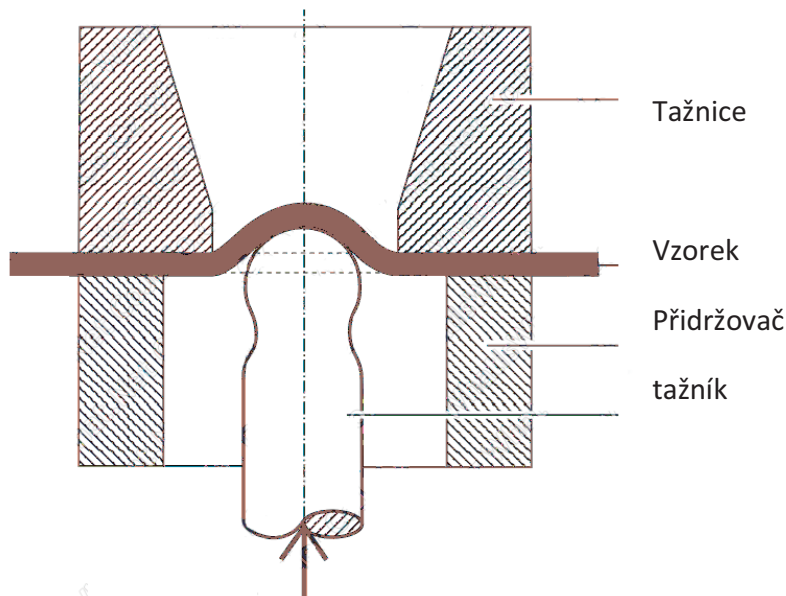
Vzorek č. 5	
Místo měření	Tloušťka povlaku $S_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	14,5
2	12,7
3	12,6
4	10,7
5	12,2

Průměrná tloušťka povlaku:  $S = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N tS_i = \frac{378,8}{25} = 14,752 \mu\text{m}$

Směrodatná odchylka:  $\sigma = 3,189 \mu\text{m}$

## 4.2 Erichsenova zkouška hlubokotažnosti

Nákres



Obr 4.2 Erichsenova zkouška

### Postup měření:

1. Vzorek vložit mezi tažnici a přidržovač, vystředit a upnout
2. Vynulovat kruhovou stupnici
3. Otáčením ručního kola vtlačit tažník do vzorku a pomocí zrcátka sledovat její průběh, dokud nevznikne první trhlinka
4. Odečtením z kruhové stupnice získat naměřenou hodnotu hloubení
5. Vrácení tažníku do původní polohy, uvolnění a vytažení vzorku

### Naměřené hodnoty:

$l_{E1} = 10,40 \text{ mm}$        $l_{E3} = 10,28 \text{ mm}$        $l_{E5} = 10,30 \text{ mm}$   
 $l_{E2} = 10,30 \text{ mm}$        $l_{E4} = 10,00 \text{ mm}$

### Hodnoty vypočtené:

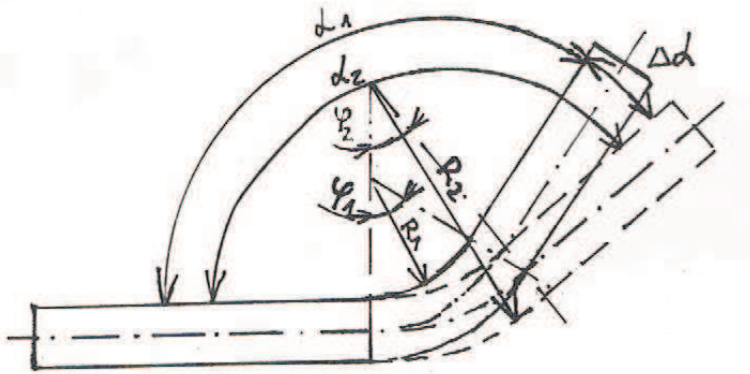
Průměrné prohloubení:       $I_E = 10,26 \text{ mm}$   
Směrodatná odchylka       $\sigma = 0,135 \text{ mm}$



Obr 4.3 Zkušební vzorky Erichsenovy zkoušky

### 4.3 Zkouška ohybem

Nákres:



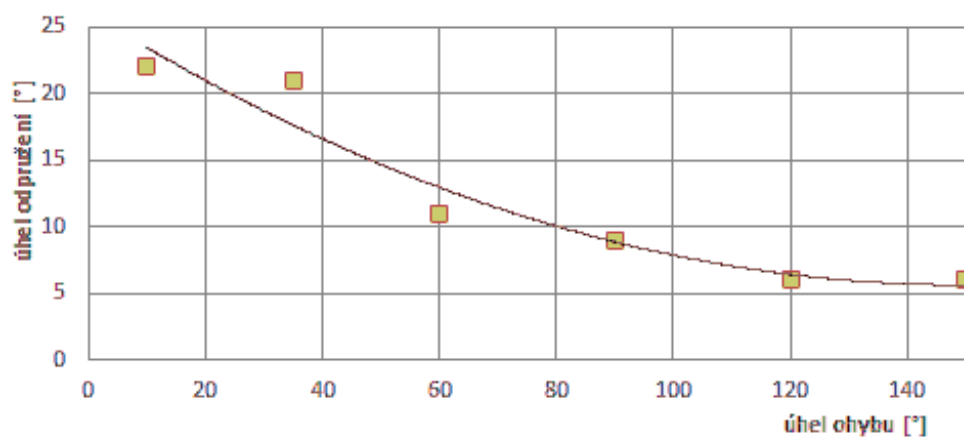
Obr. 4.4 Nákres zkoušky ohybem

**Postup měření:**

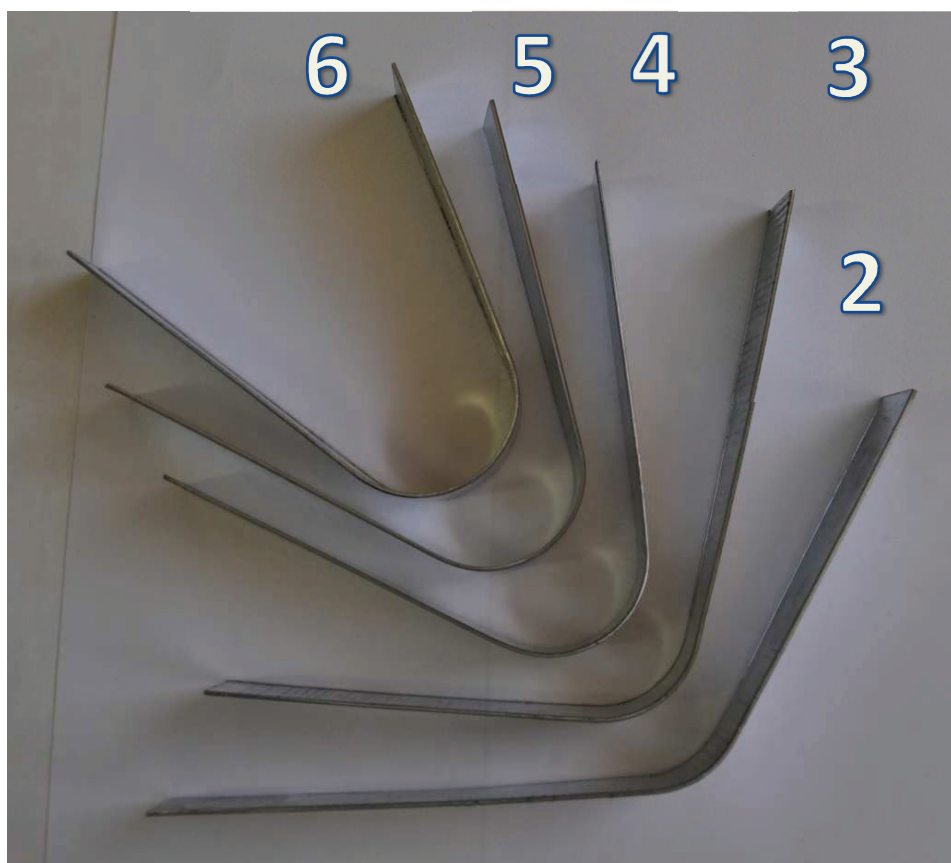
1. Upnutí vzorku do přípravku
2. Ohnutí vzorku na požadovaný úhel
3. Uvolnění
4. Změření úhlu odpružení
5. Vyjmutí vzorku

Tab. 4.2 Naměřené úhly ohybu

Číslo vzorku	Úhel ohybu $\alpha_1$ [°]	Úhel po odpružení $\alpha_2$ [°]	Úhel odpružení $\Delta \alpha$ [°]
1	150	156	6
2	120	126	6
3	90	99	9
4	60	71	11
5	35	56	21
6	10	32	22



Obr. 4.5 Závislost úhlu odpružení na úhlu ohybu



Obr. 4.6 Vybrané vzorky po ohybu

#### 4.4 Vyhodnocení experimentu

Pomocí experimentu byly ověřovány vlastnosti plechu uváděné v materiálovém listu a zjišťovány vlastnosti plechu. Plech byl zakoupen u společnosti Feron a.s., zkušební vzorky byly nastříhány na portálových nůžkách, které byly poskytnuty Ústavem strojírenské technologie na VUT v Brně. Zkoušky proběhly v laboratořích Ústavu strojírenské technologie, která poskytla potřebné vybavení k provedení zkoušek. Ty byly provedeny podle instrukcí vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Milana Dvořáka, CSc.

První měření se týkalo zjištění tloušťky povlaku na základním materiálu. Z toho bylo zjištěno, že se pohybuje tloušťka povlaku v rozmezí 10,7 až 22,8  $\mu\text{m}$ , průměrná tloušťka je 14,75  $\mu\text{m}$ . Výrobce ale uvádí, že minimální tloušťka povlaku zinku činí 11  $\mu\text{m}$ . Z toho vyplývá, že plech nesplňuje údaje uváděné v materiálovém listu, bude tedy náchylnější k otěru a výdrži kvality povlaku.

Z Erichsenovy zkoušky vyplynulo, že při tváření vzorku tažením nedojde k podstatnému porušení povlaku dřív, než k poruše plechu. Při zkoušce nedošlo ani u jednoho vzorku k odlepování povlaku, jen při silném zvětšení je patrné, že došlo ke tvorbě mnoha mikrotrhlinek v místech největšího přetvoření. Z toho vyplývá, že při hlubokém tažení tohoto plechu dojde k částečnému znehodnocení povlaku. V praxi to znamená, že při slabém přetvoření se zachovávají všechny vlastnosti povlaku, při silnějším přetvoření je však potřeba na toto oslabení povlaku brát ohled a povrch dále upravit, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností.

Při měření bylo zjištěno, že jednotlivé vzorky, ačkoli byly vystříhány z jednoho kusu plechu, mají rozdílnou průměrnou tloušťku povlaku. Při měření však tato skutečnost neměla v zásadě vliv na výsledky zkoušky. Z experimentu vyplývá, že tloušťka povlaku zinku má zanedbatelný vliv na vlastnosti plechu pro V-ohyb a tažení plechu. Zvláštností testu je také zjištěný tvar trhliny u vzorku číslo 5, kde došlo ke tvorbě současně 2 trhlin v průběhu zkoušky.

Měření ohybem probíhalo tak, že se ohnul plech do požadovaného úhlu a zkoumalo se, o jaký úhel se vrátí zpět. V materiálovém listu však chybí důležité hodnoty pro teoretický výpočet, tudíž nejde experiment porovnat s dodanými údaji k materiálu. Z testu vyplývá, že úhel odpružení je velmi závislý na velikosti úhlu ohybu. Zatímco při ohnutí vzorku o 30° došlo k odpružení 6°, při 170° to již činilo 22°.

## 5 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsou řešeny technologie tváření, které se nejčastěji používají v průmyslu při tváření povlakovaných plechů a polotovarů. Následují technologie nanášení povlaků a vlastnosti daných povlaků a dále způsoby měření a kontroly povlakovaných součástí, zejména plechů. Tváření kovů prožívá veliký rozvoj a metod tváření, povlakování i způsobů jejich kontrol stále přibývá. Rozsah práce je však omezen, tudíž v každé kapitola obsahuje jen základní poznatky a technologie.

Pro dosažení požadavků kladených na součásti je nutné zvolit správnou technologii výroby a zvážit možnosti výroby, aby proces výroby daného dílu byl maximálně efektivní. Tato práce obsahuje přehled nejpoužívanějších technologií výroby a kontroly povlakovaných dílů. Nejuniverzálnějším povlakem pro technologii tváření se jeví povlak zinku. Má vynikající tvářitelnost, (je deklarováno v materiálovém listu, že ocelový plech o tloušťce 1mm snese při ohybu do V ohybový úhel 180° a Erichsenova zkouška dokázala ze svých výsledku, že je povlakovaný vhodný ke tváření). Dále má i vynikající ochranné vlastnosti (protikorozi, protichemické, adhezni). Z praxe dále vyplývá, že je tento povlak vhodný i pro základový materiál ze slitin hliníku. A podle požadavků lze volit mezi dvěma metodami, které jsou cenově dostupné a zaručují výborné vlastnosti povlaku. Dobrymi vlastnostmi disponují i jiné kovové povlaky. Další skupina materiálu povlaků už není tolik vhodná ke tváření. Organické povlaky mívají dobré vlastnosti v oblasti tažnosti a pružnosti. Mají však horší přilnavost k podkladu a horší oděruodolnost. Do této kategorie však patří tolik materiálů, že se nedá říci v globálním měřítku, že se jedná o nevhodný materiál ke tváření. Poslední skupinou jsou anorganické nekovové povlaky. Mají sice vynikající vlastnosti (vysoká oděruodolnost, tvrdost, zdravotní nezávadnost, bariérní vlastnosti), pro tváření pro svoji křehkost se však nedoporučují pro malou odolnost k silovým impulsům.

Poslední kapitola je věnována experimentu, pro který byl zvolen nejpoužívanější kovový povlak v průmyslu (zinek) nanesený galvanickým pokovováním, což je pro daný základní materiál nejvhodnější metoda povlakování v souvislosti s tvářením. Experiment potvrdil vynikající vlastnosti povlaku při zkoušce hlubokotažnosti, kdy i při porušení podkladového kovu nedošlo k odlepování povlaku, jen tvorby husté sítě mikroprasklinek.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FOREIT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vydání CERM, s.r.o. Brno 2006 ISBN 80-214-2374-9
- [2] BOLJANOVIC, V. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. 1. st. ed. New York: Industrial Press. 2004. 219p. ISBN 0-8311-3182-9
- [3] NOVOTNÝ, J., LANGER, Z., *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*, 1. Vydání, SNTL n. p., Praha 1980
- [4] PETRUŽELKA, Jiří. *Úvod do tváření I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - technická univerzita, 2001. ISBN 80-7078-877-1.
- [5] 345.vsb.cz: Nekonvenční metody tváření. PETRUŽELKA, Jiří. [online]. [cit. 2012-03-21]. Dostupné z WWW:  
<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Nekonvencni%20metody%20tvareni%202007.pdf>
- [6] Ksp.tul.cz. [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z WWW:  
[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/10.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/10.htm)
- [7] Tzs.kmm.czu.cz: Povrchy a jejich úpravy. [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z WWW:  
<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [8] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [9] Vscht.cz: Metody studia povrchových vrstev a povlaků. [online]. [cit. 2012-03-24]. Dostupné z WWW:  
[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_studium\\_povrch\\_vrstev/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_studium_povrch_vrstev/teorie.htm)
- [10] Tzs.kmm.zcu.cz: Povrchy a jejich úpravy. [online]. [cit. 2012-03-24]. Dostupné z WWW:  
<http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [11] Martin.feld.cvut.cz: Anorganické nekovové povlaky. ČVUT. [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: [http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/\\_apovlaky.pdf](http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/_apovlaky.pdf)

- [12] Vscht.cz: Protikoroziční ochrana povlaky. [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z WWW: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/o\\_povlak.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_povlak.htm)
- [13] Vscht.cz: Galvanické pokovení. [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z WWW: [http://www.vscht.cz/kat/download/lab\\_galvanicke\\_pokoveni.pdf](http://www.vscht.cz/kat/download/lab_galvanicke_pokoveni.pdf)
- [14] Tisnovs.co. [online]. [cit. 2012-04-9]. Dostupné z WWW: <http://www.tisnovs.co/wp-content/uploads/2012/01>
- [15] Ba-jenikov.cz. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: <http://www.kovovyroba-jenikov.cz/formickyNaCukrovi.php>
- [16] Kmm.zcu.cz. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: [http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni\\_9.pdf](http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni_9.pdf)
- [17] Vscht.cz: Mechanické zkoušení kovů. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: [http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_mechanicke\\_zkouseni/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_mechanicke_zkouseni/teorie.htm)
- [18] Chemikalie.upol.cz: základní stavy materiálu a jejich zkoušení. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: [http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky\\_mat.pdf](http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf)
- [19] Chemikalie.upol.cz: základní stavy materiálu a jejich zkoušení. [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW: [http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky\\_mat.pdf](http://chemikalie.upol.cz/skripta/mvm/zkousky_mat.pdf)
- [20] Kmm.zcu.cz. [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z WWW: [http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni\\_5.pdf](http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni_5.pdf)
- [21] Normy.biz: Kovové a jiné anorganické povlaky - Přehled metod měření tloušťky. [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/d.php?k=68965>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Kov povlaku	[-]
F	Zatěžující síla	[N]
F <sub>s</sub>	Střižná síla	[N]
F <sub>p</sub>	Síla od přidržovače	[N]
F <sub>t</sub>	Tažná síla	[N]
F <sub>o</sub>	Ohybová síla	[N]
F <sub>v</sub>	Síla od opěrného válce	[N]
D	Průměr	[mm]
D <sub>0</sub>	Průměr přístřihu	[mm]
d	Průměr	[mm]
d <sub>o</sub>	Průměr	[mm]
h	Tloušťka povlaku	[mm]
h <sub>s</sub>	Hloubka proniknutí střižníku	[mm]
L	Tloušťka plechu	[mm]
r	Poloměr	[mm]
r <sub>r</sub>	Poloměr ohybu	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s'	Tloušťka střižné plochy	[mm]
s <sub>0</sub>	Počáteční tloušťka	[mm]
t	Tloušťka plechu	[mm]
x,y	Délkové rozměry	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
n <sub>i</sub>	Počet kapek	[-]
n <sup>+</sup>	Počet iontů	[-]
n <sup>-</sup>	Počet elektronů	[-]
k	Chemický ekvivalent povlakovaného kovu	[-]
k <sub>1</sub>	Převodní konstanta	[-]
r	Anodická průraznost	[-]
x <sub>n</sub>	Koeficient zahrnující vliv na podmínku	[-]
σ	Směrodatná odchylka	[-]
S	Povrch plochy	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>p</sub>	Plocha	[mm <sup>2</sup> ]
m <sub>1</sub>	Hmotnost povlakovaného výrobku	[kg]

$m_2$	Hmotnost bez povlaku	[kg]
IE	Prohloubení	[mm]
$\varepsilon$	poměrné přetvoření	[-]
$\varepsilon_{ef}$	efektivní přetvoření	[-]
$\varepsilon_0$	Deformace vlákna	[-]
$\lambda$	Součinitel plnosti	[-]
Rm	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
Re	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
$\sigma_0$	Technické napětí	[MPa]
$\sigma_{02}$	skutečné napětí	[MPa]
$\tau$	smykové napětí	[MPa]
$\rho_0$	Hustota podkladového materiálu	[kg*m <sup>-2</sup> ]
$\rho$	Hustota povlaku	[kg*m <sup>-2</sup> ]

# **PŘÍLOHY**

**Příloha 1 Materiálový list**