

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 548

ISSN 1213-4198



Ing. Markéta Zimolová

Mezní podmínky
v tvařitelnosti plechů
s povlakem cínu

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Ing. Markéta Zimolová

**MEZNÍ PODMÍNKY V TVAŘITELNOSTI PLECHŮ
S POVLAKEM CÍNU**

**BOUNDARY CONDITIONS FOR FORMING METAL PLATES WITH
TIN COATING**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Strojírenská technologie
Školitel: doc. Ing. MILAN DVOŘÁK, CSc.
Oponenti: prof. Ing. Emil Spišák, CSc.
doc. Ing. Jan Šanovec, CSc.
doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
Datum obhajoby: 29. 5. 2009

Klíčová slova: plech s povlakem cínu, jakost, struktura povrchu, drsnost povrchu, měření, zkušební vzorek, tažná mezera, mechanické vlastnosti, technologické zkoušky, korozní odolnost

Keywords: metal sheet with tin coating, quality, surface structure, surface roughness, measuring, specimen, size of die clearance, mechanical properties, technological test, corrosive immunity.

Místo uložení originálu disertační práce
Knihovna FSI VUT v Brně

© Markéta Zimolová, 2008

ISBN 978-80-214-3954-2

ISSN 1213-4198

OBSAH

OBSAH	3
ÚVOD	5
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉHO PROBLÉMU	5
1.1 ZKOUŠENÍ PLECHŮ S POVLAKEM Sn	7
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	8
3 ZPŮSOB DOSAŽENÍ CÍLŮ	8
4 EXPERIMENTÁLNÍ METODY ŘEŠENÍ	10
4.1 Zkoušky mechanických vlastností	10
4.2 Velikost tažné mezery a její optimalizace	12
4.3 Stanovení parametru poměru výšky výtažku k velikosti tažné mezery	13
4.4 Měření a průběh tloušťky povlaku	14
4.5 Hodnocení přilnavosti povlaku Sn a korozní odolnosti	15
4.6 Technologické zkoušky	18
5 ZÁVĚR	19
5.1 Formulace získaných poznatků pro další technickou praxi	19
5.2 Zhodnocení cílů práce	20
5.3 Význam pro budoucí výzkum a další možnosti výzkumu	22
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	23
AUTOROVO CV	25
ABSTRAKT	26

ÚVOD

Relativně široký sortiment materiálů umožňuje nejen studování jejich vlastností, ale také rozšiřuje možnosti výběru nových materiálů pro předem zvolený účel použití. Pokrok v technologii výroby oceli v posledních letech umožnil zvýšení užitečných vlastností jednotlivých skupin a to díky vyšší čistotě, homogenitě a snížení rozptylu vlastností materiálu. K dalšímu zlepšení užitečných vlastností přispívají nové technologie jako např. tepelné zpracování a povrchové úpravy.

Nárůst cen surovin a energií vyžaduje zavádění nových technologických postupů v oblasti tváření tenkých plechů s povrchovou úpravou cínováním. Spotřeba povlakovaných plechů má u nás i v celosvětovém měřítku vzrůstající tendenci. Výrobou tenkých plechů s povlaky o různé hmotnosti cínu se zabývají např. firmy U.S. STEEL v Košicích, SOLAC ve Francii, BRITISH STEEL v Anglii. Cín má za určitých okolností mimořádnou schopnost vytvářet na svém povrchu nerozpustné vrstvy oxidu cínitého SnO_2 a cínatého SnO . Tím dobře odolává vlivům atmosféry a vody. S ohledem na dobrou pájitelnost a chemickou odolnost cínu, nachází velmi tenké pocínované ocelové plechy široké uplatnění hlavně v potravinářském průmyslu.(10)

1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉHO PROBLÉMU

Trendem současné doby se stává lisování povlakovaných plechů. Pro vlastnosti povrchu plechu je určující jeho funkční využití. Např. je kladen důraz na kvalitu povrchu plechu pro lakovatelnost (design).

Požadavky na kvalitu dílů stále stoupají. Tento trend vyžaduje mimo jiné stálé zlepšování stávající pokovovací technologie a vývoj alternativních zušlechťovacích technologií. Směr tohoto vývoje spočívá v tváření velmi tenkých plechů s povrchovou úpravou cínováním a minimalizací hmotnosti povlaku Sn na plechu. Párové dvojice kov-nekov vzájemně kontinuálně spojené vyžadovaly nové přístupy ve tváření s ohledem na substrukturu a vlastnosti nově vyvíjených plechů.

Volba materiálu ovlivňuje volbu technologie výroby daného výrobku. Tuto volbu také ovlivňují nákladová kritéria. Dopady vývoje výrobních technologií a polotovarů na konečný produkt musí zohlednit nové trendy výrobních technologií. Tyto trendy přihlížejí k požadavku na nižší hmotnost výrobku a k vyšším mechanickým hodnotám. V této souvislosti se ukazuje, že určité přednosti a též z hlediska estetických ukazatelů mají výrobky z dvojnásobně redukováných plechů s povlakem cínu jejich tloušťka je menší než 0,2 mm.

Volba technologie tažení může být „jednoduchá“ jako např. ohýbání nebo jednooperační tažení, nebo může být zvolena jako velmi komplexní, kombinovaná operace. Např. při tažení je většina velkých lisovaných tabulí plechu přidržována na okrajích prstencovým přidržovačem a je deformována tlakem tažníku. Pohyb tažníku do prohloubení je kontrolován tlakem mezi horním a dolním prstencovým přidržovačem. Proces tažení je v předkládané práci základem provedených experimentů. V procesu tažení je velmi důležitým parametrem velikost tažné mezery. Výpočtové vztahy pro velikost tažné mezery při tažení tenkých plechů se v odborné literatuře liší. Zvláště vzorce ke stanovení velikosti tažné mezery tenkých povlakovaných plechů se vyskytují sporadicky. Z výše uvedeného důvodu byly provedeny experimenty na Vysokém učení technickém v Brně, Ústavu strojírenské technologie, za účelem její optimalizace.

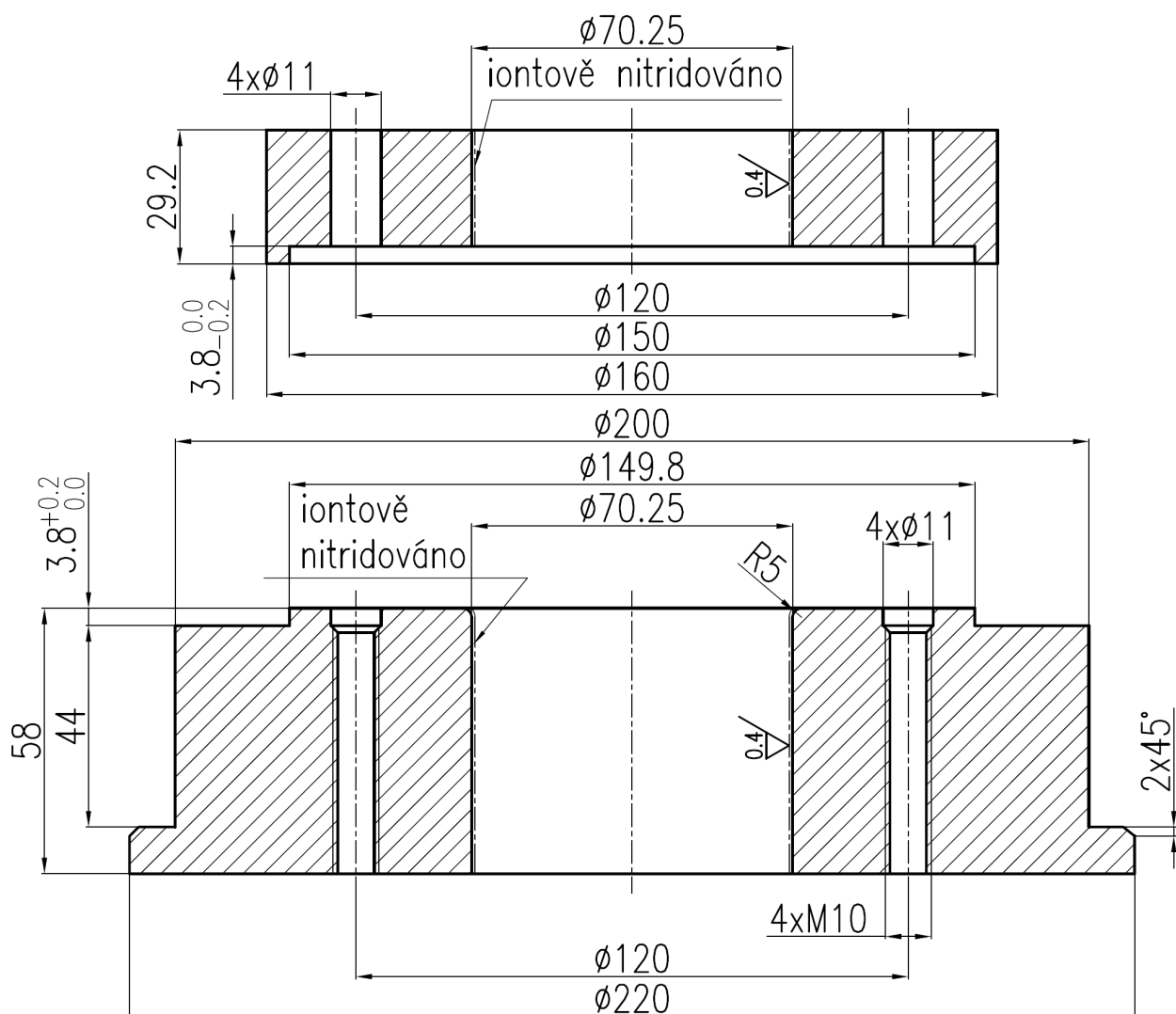
Z hlediska mikrogeometrie povrchu mají tenké plechy s povlakem Sn určené ke zpracování tvářením, povrch hladký ($R_a \leq 0,63 \mu\text{m}$), matný ($R_a = 0,63 \mu\text{m}$) nebo zdrsňený ($R_a > 2 \mu\text{m}$). Na tvářením plechu (lisování) má vliv nejen hodnota R_a , ale i tvar profilu výstupků a jejich orientace („mapa drsnosti“). Z hlediska tvaru profilu výstupků současné poznatky ukazují, že vhodnější je mikrogeometrie s dostatečně velkým nosným povrchem a s méně ostrými vrcholky výstupků, které vytváří dostatečně velký prostor pro mazivo.(2)

Tažení bez mazání nebo málo účinné mazání může vyvolat zvětšení potřebných sil k tažení o 40 až 45% a v jednotlivých případech ještě větších, což je neekonomické. Uvádí se, že z celosvětové spotřeby technologických maziv ke zpracování kovů je přibližně 35% maziv určeno pro tvářecí technologie. Každý typ tvářecí operace má speciální požadavky na vlastnosti maziva. Na trhu je široký sortiment maziv a jejich výběr je třeba konzultovat se specialistou a experimentálně ověřit pro konkrétní případ použité technologie tvářením.(10)

1.1 ZKOUŠENÍ PLECHŮ S POVLAKEM Sn

V dostupném patentovém věstníku nebyly nalezeny patenty, které by řešily přilnavost cínu k ocelovému tenkému plechu a hluboké tažení plechu s povlakem cínu.

Pro tažení zkušebních výtažků bylo použito testovací tažidlo (obr.1.1.), které bylo navrženo a vyrobeno na Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně ke zkouškám tažení velmi tenkých plechů v rámci výzkumného záměru MSM 262100003 „Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií“, řešeného na FSI VUT v Brně. Před experimenty popsány v této práci byla povrchová vrstva tažidla iontově nitridována, aby se prodloužila životnost tohoto zařízení.



Obr.1.1. Schéma nástroje pro tažení

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

- hodnocení přilnavosti oboustranného cínového povlaku s minimální plošnou hmotností $2,0/2,0 \text{ g/m}^2$ u velmi tenkých plechů dvojnásobně redukovaných s tloušťkou menší než 0,2 mm a porovnání s dosud používanými oboustrannými povlaky o nejmenší plošné hmotnosti $5,6/5,6 \text{ g/m}^2$ u plechu tloušťky 0,24 mm jednonásobně redukovaných,
- řešení minimalizace plošné hmotnosti povlaku, který ještě vyhoví požadavku na přilnavost povlaku a kvalitu povrchu po lisování plechu se zaměřením na potravinářskou produkci,
- ověření procesních podmínek tažení kvalitního výtažku s vyššími mechanickými hodnotami výrobku při nižší hmotnosti a to s využitím dvojnásobně redukovaných velmi tenkých plechů,
- sledování korozní odolnosti plochého přístřihu ve výchozím stavu tj. bez další povrchové úpravy např. lakováním,
- experimentální stanovení optimální velikosti tažné mezery a její porovnání s hodnotami vycházejícími z dostupné literatury.

3 ZPŮSOB DOSAŽENÍ CÍLŮ

Na základě rozboru současného stavu řešeného problému byly pro dosažení vytyčených cílů disertační práce, použity následující metody:

ZKOUŠKY CHARAKTERISTIK PEVNOSTI A TVAŘITELNOSTI

Zkoušení tahem bylo použito pro zjištění charakteristik pevnosti a tvařitelnosti velmi tenkých plechů a také byl ověřován vliv povlaku cínu na tyto charakteristiky.

ZJIŠŤOVÁNÍ TLOUŠŤKY POVLAKU CÍNU

Tloušťka povlaku cínu byla zjišťována pomocí elektronového mikroskopu tescan Vega Plus TS 5135 MM na příčném výbrusu v režimu odražených elektronů BSE při zvětšení 3000 x pomocí vestavěné kalibrované funkce měření vzdáleností.

Další metodou použitou pro zjištění tloušťky povlaku cínu byla metoda kalotest, která je založena na otáčející se leštěné kuličce, na kterou je nanесena diamantová pasta. Tím dochází k tzv. proleštění jak nanесené vrstvy povlaku, tak i tenké podpovrchové vrstvy. Ze znalosti průměru kuličky a mikroskopem změřených průměrů kulových vrchlíků je možné stanovit tloušťku nanесené vrstvy.

OPTIMALIZACE VELIKOSTI TAŽNÉ MEZERY

Optimální velikost tažné mezery, byla stanovena na základě řady experimentů, při kterých byla velikost tažné mezery různě měněna a byl hodnocen tvar výtažku a kvalita povrchu povlaku po tažení. Tato experimentálně stanovená optimální velikost tažné mezery byla porovnávána s kvalitou výtažků zhotovených s použitím velikosti tažné mezery vypočítané dle vztahů od různých autorů jejichž vztahy a velikosti tažné mezery jsou uvedeny v tab. 4.3 na str 12.

Pro experimenty byly zvoleny průměry přístřihů od 85 do 115 mm odstupňovaných po 5 mm. Byly použity všechny velikosti tažné mezery a velikost tažníku se upravovala dle velikosti tažné mezery soustružením a broušením podle vztahů uvedených v tabulkách.

Hodnocení kvality výtažku bylo provedeno vizuálně, pomocí laboratorního mikroskopu a digitálního posuvného měřidla.

Rovnoměrné rozložení přidržovacího tlaku ve zkušebním nástroji bylo řešeno pomocí přidržovače a prostřednictvím momentového klíče. Po sestavení nástroje a přidržovače se šrouby dotáhly pomocí momentového klíče na předepsanou velikost momentu a tím se dosáhlo rovnoměrného rozložení tlaku přidržovače. Velikost momentu, který se rovnal požadovanému přidržovacímu tlaku byla stanovena výpočtem.

ROZBOR CHEMICKÉHO SLOŽENÍ POVLAKU Sn METODOU GDOES

Chemické složení a hloubkové profily ocelových plechů s povlakem cínu byly měřeny na přístroji SA 2000 firmy LECO metodou GDOES (Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy) / QDP (Quantitative Depth Profile).

U metody GDOES dochází během měření hloubkového profilu k postupnému odprašování měřeného povrchu ve stejnosměrném doutnavém výboji argonových iontů a pro zvolené a kalibrované prvky se zapisuje závislost intenzity na době odprašování.

PŘILNAVOST A MORFOLOGIE POVLAKU Sn

Vzhledem k tomu, že se jednalo o vzorky tenkého plechu s relativně tenkými povlaky cínu, byly pro hodnocení přilnavosti povlaku cínu k ocelovému podkladu navrženy: indentační metoda používající k vytvoření vtisku diamantový kužel podle Rockwella a mřížková metoda (ISO 2409).

KOROZNÍ ODOLNOST

Korozní odolnost byla u zkoušeného plechu testována pomocí zkoušky v mlze neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS) a různých časových intervalech (24, 48, 72 a 96 hodin) během kterých byly zkoušené vzorky vystaveny přímému působení mlhy neutrálního roztoku chloridu sodného.

ERICHSENOVA ZKOUŠKA

Hlubokotažnost vybraných vzorků plechu s povlakem Sn byla zjišťována pomocí technologické zkoušky podle Erichsena pro vybrané tloušťky plechů.(7)

4 EXPERIMENTÁLNÍ METODY ŘEŠENÍ

Pro experimenty byly použity plechy s oboustranným povlakem elektrolyticky naneseného cínu o různé plošné hmotnosti Sn povlaku. Plechy byly dodány z U.S. STEEL spol. s r.o. Košice v tabulích.

Dvakrát redukováný plechy:

- tl. 0,15 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,0/2,0 g/m²
- tl. 0,15 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,0/2,0 g/m² - bílý lak
- tl. 0,16 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,0/2,0 g/m²
- tl. 0,17 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,0/2,0 g/m²
- tl. 0,19 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,8/2,8 g/m²
- tl. 0,20 mm s označením SpA o plošné hmot. povlaku Sn 2,8/2,8 g/m² - zlatolak

Jednou redukováný plech:

- tl. 0,20 mm s označením T61 o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,8/2,8 g/m²
- tl. 0,24 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 5,6/5,6 g/m²

4.1 ZKOUŠKY CHARAKTERISTIK PEVNOSTI A TVAŘITELNOSTI

Zkoušení tahem tenkých plechů

Rychlost pohybu příčnicku 5 mm/min, šířka ploché zkušební tyče 20±0,1 mm. Další parametry zkoušky byly v souladu s ČSN EN 10002-1.(4)

Tab.4.1. Výsledky zkoušky tahem plochých tyčí

Tloušťka plechu [mm]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₈₀ [%]	Plošná hmotnost povlaku [g/m ²]
0,16	581	547	3,35	2,0/2,0
0,17	582	553	3,75	2,0/2,0
0,19	587	556	3,85	2,8/2,8
0,20	586	556	3,52	2,8/2,8
0,24	582	554	3,56	5,6/5,6

Dílčí závěr

Nejlepších výsledků pevnostních charakteristik a tvařitelnosti dosáhl při tahové zkoušce vzorek tl. 0,19 mm s plošnou hmotností Sn povlaku 2,8/2,8 g/m², ale s ohledem na řešení minimalizace hmotnosti povlaku Sn na výtažku, byla provedena srovnávací tahová zkouška pro plech tl. 0,16 mm s plošnou hmotností Sn povlaku 2,0/2,0 g/m² a bez cínového povlaku.

Vliv povlaku cínu na charakteristiky pevnosti a tvařitelnosti ocelového plechu

Pro experimenty byl použitý plech tl. 0,16 mm s označením DR 580, CA, STONE FINISH s oboustranným povlakem cínu o plošné hmotnosti 2,0/2,0 g/m².

Ke zjištění vlivu povlaku cínu na mechanické vlastnosti vybraného ocelového tenkého plechu byla připravena sada vzorků č.1 až 12. Po rozpuštění cínového povlaku se vzorek vyjmul, opláchnul a osušil. U vzorku č. 7 až 12 byl povlak Sn zachován v původním dodaném stavu.

Tab.4.2. Výsledky zkoušky tahem (vzorky č. 1 až 6 bez povlaku Sn, vzorky č 7 až 12 s povlakem Sn

Číslo vzorku	Střední hodnoty charakteristik pevnosti a tvařitelnosti					
	R _m [MPa]	σ _{Rm} [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	σ _{Rp0,2} [MPa]	A ₈₀ [%]	σ _{A80} [%]
1-6	584,17	2,54	552,83	3,13	3,64	0,36
7-12	587,0	1,29	557,17	1,77	3,36	0,25

Dílčí závěr:

Výsledky experimentů potvrdily, že přítomnost cínového elektrolyticky naneseného povlaku na ocelovém plechu nezvyšuje základní charakteristiky pevnosti a tvařitelnosti, jako jsou mez pevnosti v tahu, mez kluzu a tažnost.

4.2 VELIKOST TAŽNÉ MEZERY A JEJÍ OPTIMALIZACE

Vzorce ke stanovení velikosti tažné mezery tenkých povlakovaných plechů se vyskytují sporadicky. Z výše uvedeného důvodu byly provedeny experimenty na VUT v Brně, Ústavu strojírenské technologie, za účelem její optimalizace.

Tab.4.3. VELIKOST TAŽNÉ MEZERY t_m - výpočtové vztahy dle vybraných autorů a norem pro tažení pro tl. plechu 0,16mm, $D_0=90$ mm oboustranný povlak Sn 2,0/2,0 g/m², d=70,08 mm, mazivo DRAWSOL WDC 9, lis CTC 5

Autoři	Výpočtový vztah	Početní řešení mezery [mm]	Experiment na VUT
TSCHÄTSCH,H.	$w = s \cdot \sqrt{\frac{D}{d}} = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{90}{70,08}}$	w=0,181	Optimální tažná mezera $t_m = t_{\max} + 0,01$ $t_m = 0,17$ mm
OEHLER,G.	$w = s + k\sqrt{s} = 0,16 + 0,07 \cdot \sqrt{0,16}$	w=0,188	
HELLWIG,W.	$u_{z1} = s + 0,2 \cdot \sqrt{s} = 0,16 + 0,2 \cdot \sqrt{0,16}$	$u_{z1}=0,240$	
ZUBCOV,M.J.	$z = t_{\max} + c \cdot t = 0,16 + 0,2 \cdot 0,16$	z= 0,192	
ROMANOVSKIJ	$z = \frac{d_m - d_n}{2} = s_{\max} + n \cdot s = 0,16 + 0,2 \cdot 0,16$	z= 0,192	
ŠOFMAN,L.A.	$z = t \cdot \left(1 + 0,05 \sqrt{\frac{10}{t}}\right) = 0,16 \left(1 + 0,05 \sqrt{\frac{10}{0,16}}\right)$	z= 0,223	
VDI – Richtlinie 3175	$u_{z\max} = s \cdot \sqrt{\beta} = s \cdot \sqrt{\frac{D_0}{d}} = 0,16 \cdot \sqrt{\frac{90}{70,08}}$	$u_{z\max}=0,181$	
ČSN 22 7301 Tažení dutých válcových výtažků – směrnice pro konstrukci	pro 1. tah $t_m = (1,2 - 1,3) \cdot s_0 = 1,3 \cdot 0,16$ pro konečný tah $t_m = (1,1 - 1,2) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 0,16$	$t = 0,192 \div 0,208$ pro 1. tah $t = 0,176 \div 0,192$ pro konečný tah	
SRP,K. aj.	$z = s + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot s} = 0,16 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,16}$	z = 0,249 pro ocelový plech	

Dílčí závěr:

- z rozsahů průměrů kruhových přístřihů $D_0 = 85$ mm až 115 mm plechu tl. 0,16 mm dával nejlepší výsledky z hlediska kvality povrchu, tvarové a rozměrové přesnosti, válcový výtažek bez příruby zhotovený z rondelu $D_0 = 90$ mm při velikosti $t_m = 0,17$ mm a stupni tažení $K = 1,28$,
- funkční výtažky byly zhotoveny tažníkem $d = 70,08$ mm za použití maziva DRAWSOL WDC 9, aplikovaného oboustranně a rovnoměrně na plochu zkušebních rondelů plechu,

- výchozí tlak přidržovače byl nastaven po optimalizaci a s přihlédnutím k předchozím experimentům na hodnotu $p_p = 1,32 \text{ MPa}$,
- funkční zkušební výtažek s výše uvedenými parametry je zhotovitelný na jeden tah,
- velikost experimentálně ověřené optimální velikost $t_m = 0,17 \text{ mm}$ pro zkoušený plech tl. $0,16 \text{ mm}$ s povlakem cínu $2,0/2,0 \text{ g/m}^2$ má číselně menší hodnotu, než byla zjištěna výpočtem z odborné literatury. Maximální rozdíl činí v krajním případě až $46,5 \%$.

4.3 STANOVENÍ PARAMETRU POMĚRU VÝŠKY VÝTAŽKU K VELIKOSTI TAŽNÉ MEZERY

V dostupné odborné literatuře nebyl nalezen žádný výpočtový vztah, ani poměr pro stanovení konkrétního parametru mezi výškou výtažku a velikostí tažné mezery.

Tento poměr byl vypočítán pro zvolenou (průměrnou) výšku výtažku při velikosti průměru kruhového přístřihu $D = 90, 95 \text{ a } 100 \text{ mm}$ k velikosti tažné mezery pro plech tl. $0,16 \text{ mm}$ dle vybraných autorů.

$$\text{parametr} = \frac{h}{t_m}$$

Parametr h byl stanoven jako konstanta vzhledem k velikosti přístřihu. Hodnota parametru h se mění dle velikosti přístřihu. Z každé sady vzorků (10 ks) byla měřením stanovena nejmenší výška pláště funkčního výtažku, při které je ještě možno vytvořit, kruhový, rozměrově, tvarově a esteticky přijatelný výtažek

Nejmenší výška pláště funkčního výtažku z kruhového přístřihu:

- $D_0 = 90 \text{ mm} \Rightarrow 12,65 \text{ mm}$
- $D_0 = 95 \text{ mm} \Rightarrow 14,30 \text{ mm}$
- $D_0 = 100 \text{ mm} \Rightarrow 19,85 \text{ mm}$

Dílčí závěr:

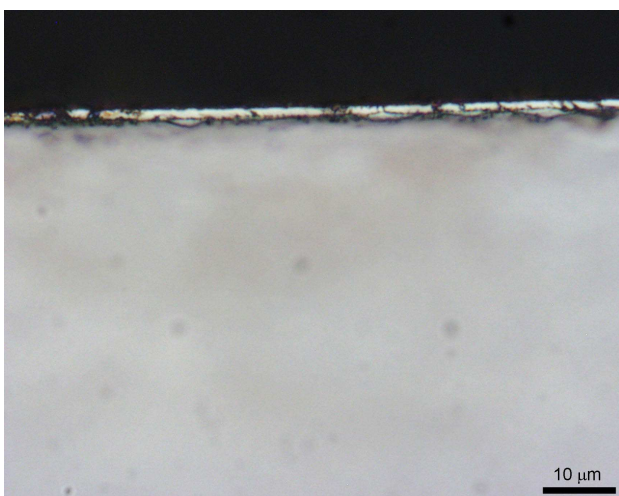
Stanovením parametru poměru výšky výtažku k velikosti tažné mezery bylo zjištěno, že vyšší hodnota výsledného parametru odpovídá nižší hodnotě velikosti tažné mezery. Jako optimální z hlediska kvality povrchu a rozměrové přesnosti se jeví parametr h/t_m v intervalu $<95;100> \%$.

4.4 MĚŘENÍ A PRŮBĚH TLOUŠŤKY POVLAKU

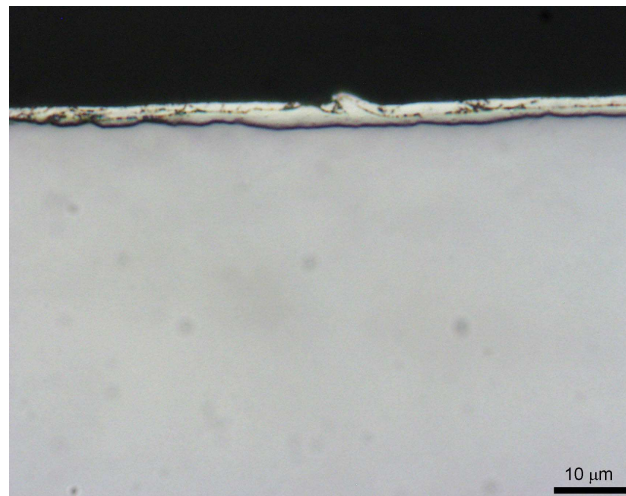
Průběh tloušťky povlaku u válcových výtažků

- plech o jmenovité tl. 0,16 mm s povlakem Sn 2,0/2,0 g/m²
- plech o jmenovité tl. 0,24 mm s povlakem Sn 5,6/5,6 g/m²

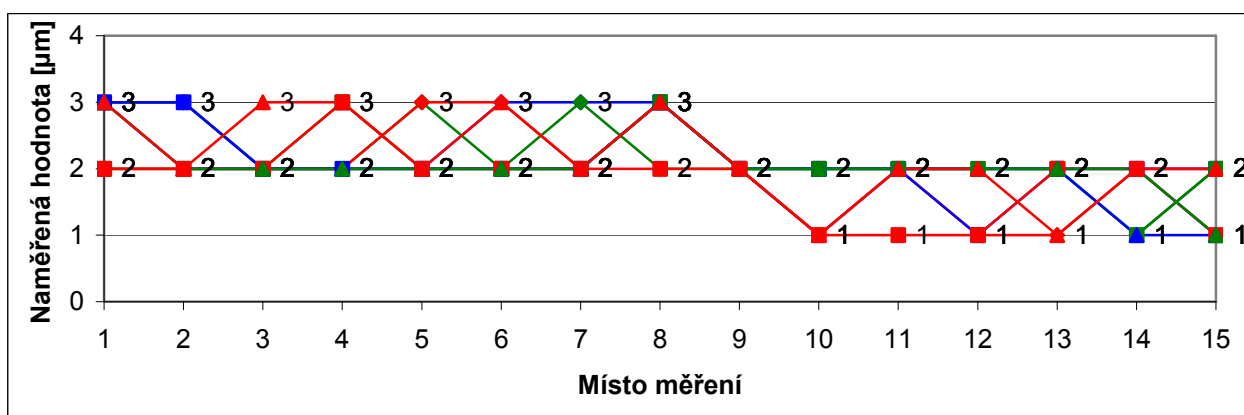
Testy byly prováděny na sadách válcových výlisků s průměry kruhových přístřihů $D_0 = 90, 95$ a 100 mm a byla zkoumána přilnavost povlaků Sn před a po tažení se zaměřením na úsek dna výtažku, zaoblení u dna výtažku a stěny pláště výtažky. Dále pak byla zkoumána na výše uvedených úsecích zkušebních výtažků morfologie povrchu povlaku cínu.



Obr.4.1. Plech tl. 0,16mm před tažením



Obr.4.2. Plech tl. 0,24mm před tažením



Obr. 4.3. Graf průběhu tloušťky povlaku u výlisku z plechu o jmenovité tloušťky 0,16 mm o plošné hmotnosti povlaku Sn 2,0/2,0 g/m²

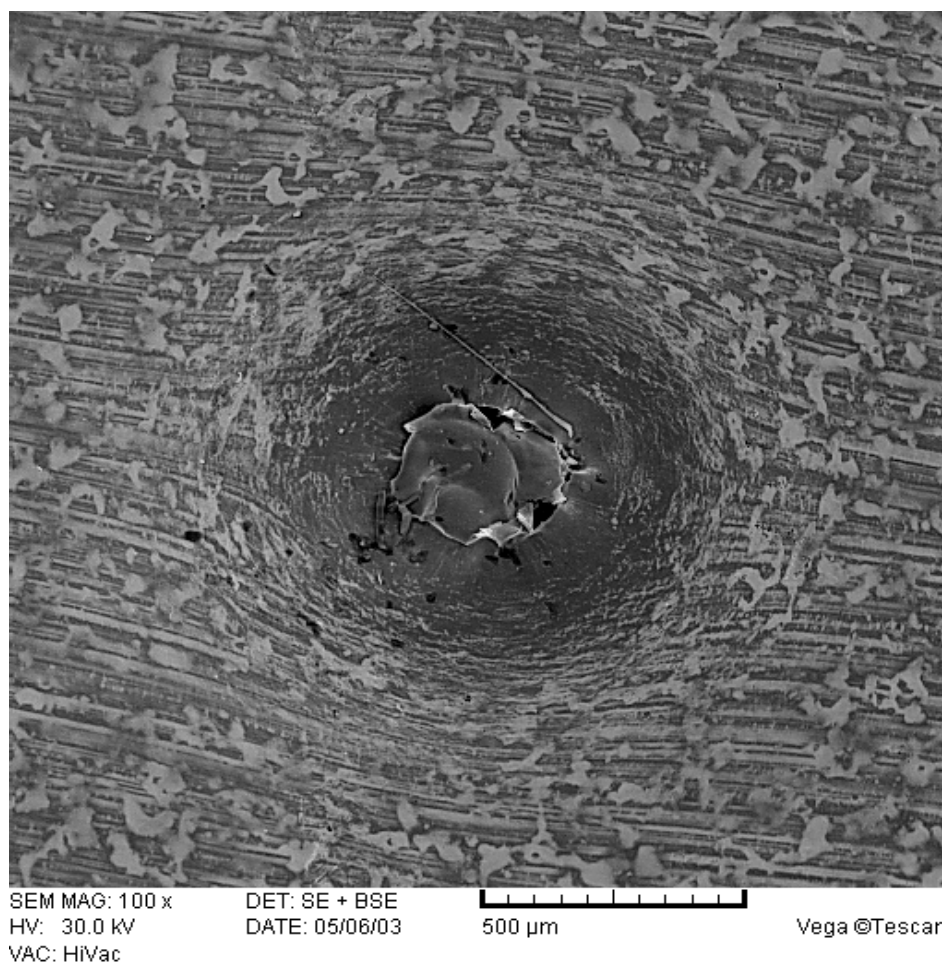
Dílčí závěr:

Tyto tloušťky povlaku jsou měřeny ve vybraných místech - střed výtažku, zaoblení výtažku a stěna výtažku. Při porovnání s hodnotami povlaku ve stavu před tažením se hodnoty zjištěných tloušťek v jednotlivých místech téměř shodují.

4.5 HODNOCENÍ PŘILNAVOSTI POVLAKU Sn A KOROZNÍ ODOLNOSTI

Indentační metoda

K vytvoření vtisku se používá diamantový kužel podle Rockwella. Celková zátěžná síla byla volena v intervalu od 306 do 2452 N. Výsledek zkoušky pro zátěžnou sílu 2452 N je vidět na obr.4.4.



Obr.4.4. Přilnavost hodnocená indentační zkouškou

Dílčí závěr:

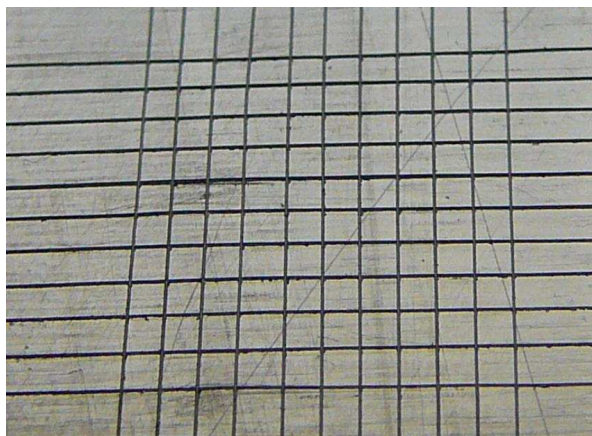
V okolí vtisku nejsou patrné žádné soustředné ani příčné trhliny, které by svědčily o porušení přilnavosti povlaku k podkladu.

Na základě výsledků experimentálních prací bylo prokázáno, že tloušťka vrstvy oxidů cínu na povrchu cínového povlaku s rostoucí dobou působení atmosférické oxidace se zvětšuje a zároveň se mění morfologie povrchu povlaků. Těchto povlaků s povrchovou vrstvou oxidů je možné využít jako povlaků pro zvýšení adheze v případě nanášení laků, tmelů, adheziv a podobně.

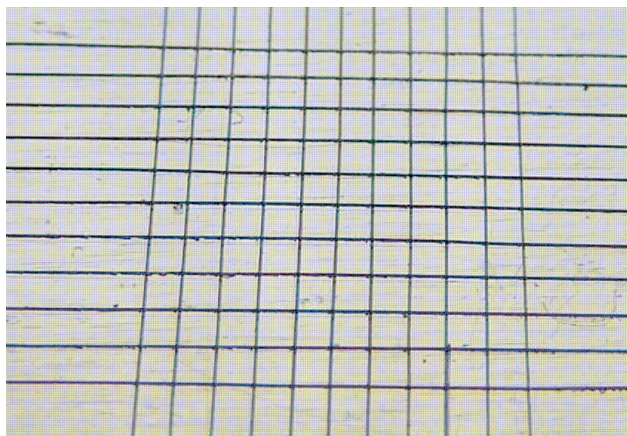
Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN ISO 2409

Pro mřížkovou zkoušku byla použita sada ELCOMETER 141 Paint Inspection Gauge.

Vzhled vzorků po nanesení mřížky



Obr.4.5. Plech tl. 0,16 mm



Obr.4.6. Plech tl. 0,24 mm

Dílčí závěr:

Všechny zkušební vzorky byly v toleranční třídě 0 dle ISO 2409 – tj. všechny řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec z mřížky nanesené na povlak Sn není poškozen. V okolí mřížky nejsou patrné žádné stopy ani místa, které by naznačovaly o porušení přilnavosti povlaku k podkladu. Povlak měl ISO 2409 výbornou přilnavost.

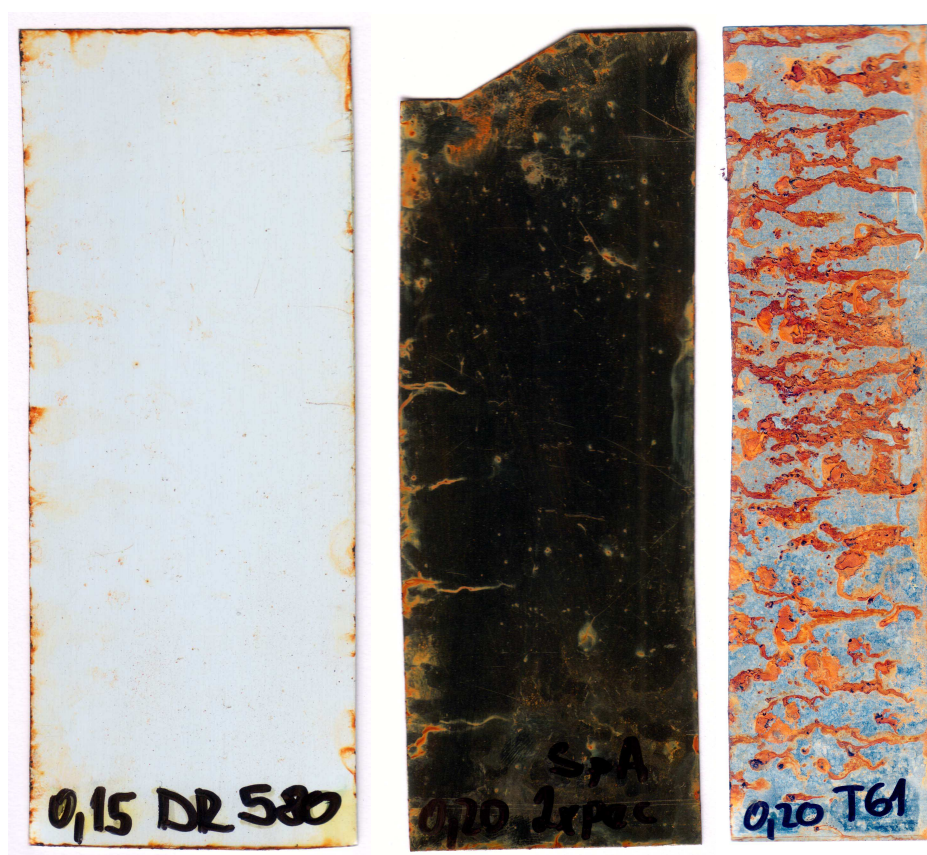
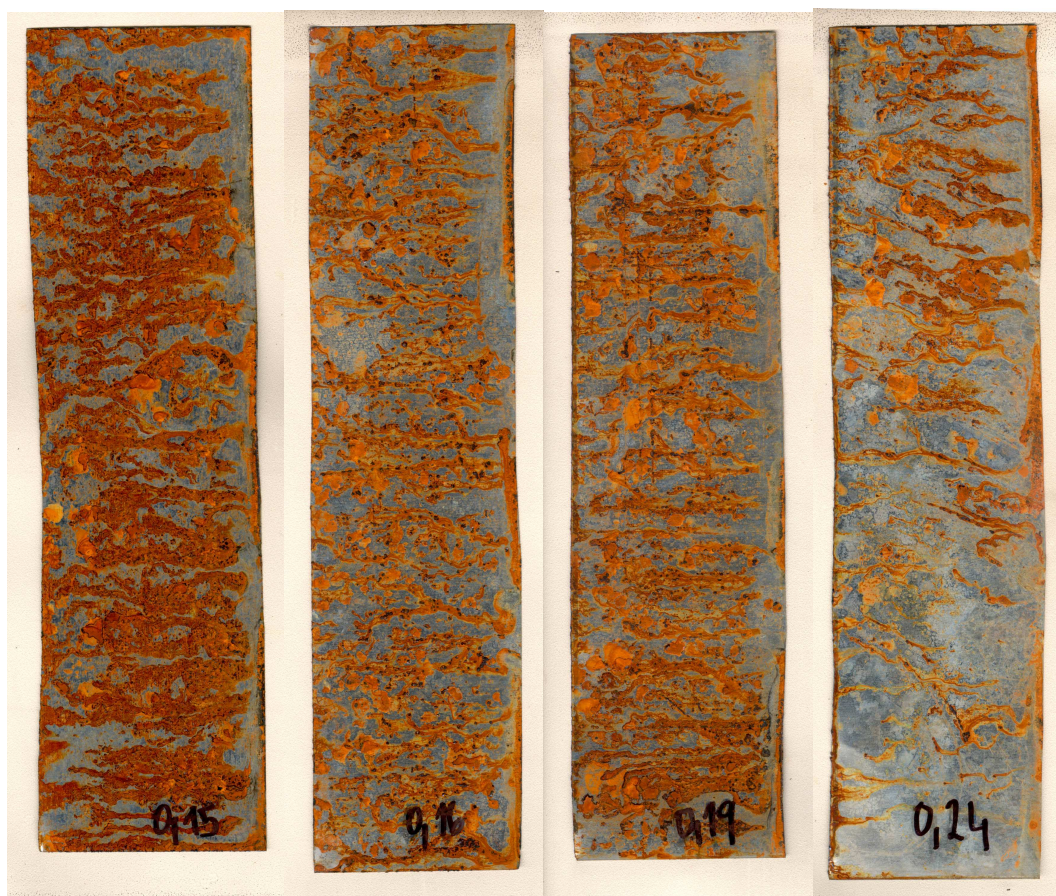
Korozní odolnost plechů - Korozní zkouška v umělé atmosféře – zkouška solnou mlhou (ČSN ISO 9227)

Korozní odolnost byla u zkoušených vzorků testována pomocí (ČSN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou) (15) neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS) a různých časových intervalech (24, 48, 72 a 96 hodin) během kterých byly zkoušené vzorky vystaveny přímému působení mlhy neutrálního roztoku chloridu sodného.

Výsledky zkoušek:

Počet a rozmístění korozních poškození byl stanoven ze vztahu:

$$\text{výskyt}_{\text{skvrn}} = 100 \cdot \frac{n}{N}$$



Obr.4.7 Vzhled povrchu vzorků po 48 hodinách v solné mlze

Dílčí závěr:

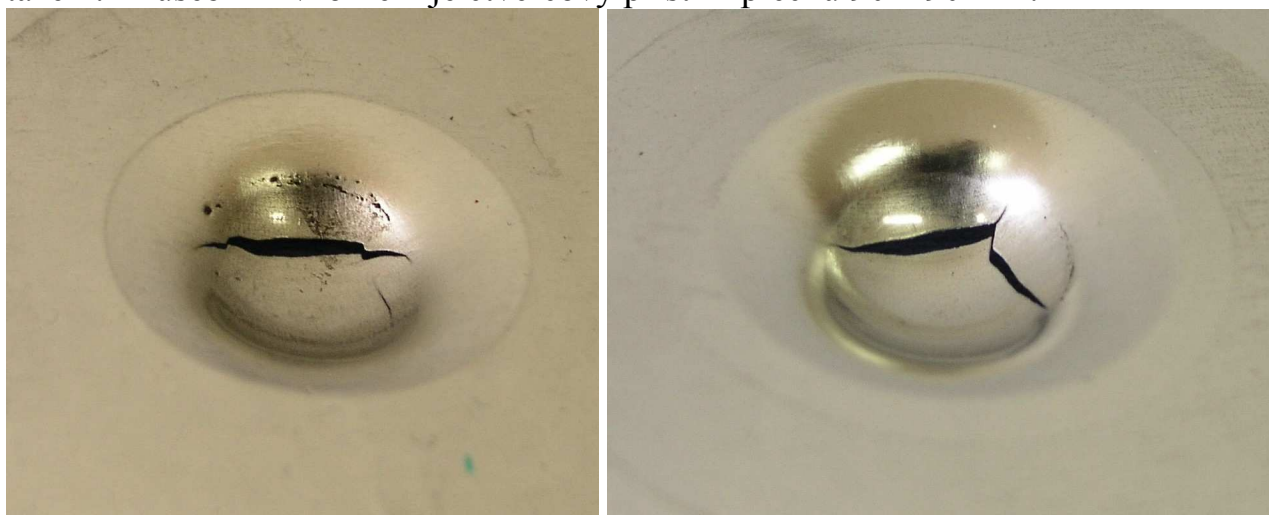
Ze zjištěných výsledků u jednotlivých tloušťek plechů bez povrchové úpravy (0,15; 0,16; 0,19; 0,20; 0,24 mm) s různou plošnou hmotností lze konstatovat, že tenké plechy s povlakem cínu bez další povrchové úpravy např. lakováním, mají jen velmi malou korozní odolnost.

Vzorky s povrchovou úpravou (na obr.4.7.) mají korozní odolnost velmi dobrou.

4.6 TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

Erichsenova zkouška

Měří se velikost hloubení IE [mm] a to je měřítkem vhodnosti plechu pro tažení. Zkušebním vzorkem je čtvercový přístřih plechu 90 x 90 mm.



Obr.4.8. Typické tvary trhlin na zkušebních vzorcích

Čím kvalitnější a stejnorodější je materiál, tím jemnější je zrna v trhlíně a tím stejnoměrnější, kruhovému oblouku podobnější je tvar trhliny. Odchyłky od linie kruhu svědčí o nestejnorodém materiálu, který má někdy orientovanou strukturu po válcování.

Dílčí závěr:

Největší hodnota hloubení IE byla zjištěna u vzorku č.7 – 6,83 mm a nejmenší u vzorku č.3 – 3,90 mm. U tloušťky plechu 0,16 mm se průchozí trhlina se objevila napříč vrcholu kulového vrchlíku u vzorků bez povlaku Sn v hloubce $IE = 4,32 \pm 0,38$ mm a u vzorků s povlakem Sn byla zjištěna hloubka $IE = 4,77 \pm 0,42$ mm.

5 ZÁVĚR

Předložená disertační práce obsahuje základní teoretická východiska pro výzkum interakce povlaku cínu aplikovaného na dvojnásobně redukováný plech v procesu tažení. Experimentální část je zaměřena na získání původních výsledků, dále ověření již publikovaných výsledků a jejich souhrnné zhodnocení z hlediska konkrétního využití v praxi.

5.1 FORMULACE ZÍSKANÝCH POZNATKŮ PRO DALŠÍ TECHNICKOU PRAXI

Hlavním cílem disertační práce bylo sledování a vyhodnocení mezních podmínek v tvařitelnosti plechů s povlakem cínu.

Výsledky experimentů potvrdily, že přítomnost cínového elektrolyticky naneseného povlaku na ocelovém plechu prakticky nezvyšuje základní charakteristiky pevnosti a tvařitelnosti, jako jsou mez pevnosti v tahu, mez kluzu a tažnost. Dále bylo ověřeno, že jsou hodnoty těchto charakteristik pevnosti a tvařitelnosti u všech zkoumaných plošných hmotností povlaku Sn téměř totožné. Na základě výsledků experimentálních prací bylo prokázáno, že tloušťka vrstvy oxidů cínu na povrchu cínového povlaku s rostoucí dobou působení atmosférické oxidace se zvyšuje a zároveň se mění morfologie povrchu povlaků. Těchto povlaků s povrchovou vrstvou oxidů je možné využít jako povlaků ke zvýšení adheze v případě nanášení laků, tmelů, adheziv apod.

Podobné rozdíly v hodnotách byly zjištěny u tažnosti ocelového plechu s povlakem Sn a bez povlaku Sn. Výzkum vlivu povlaku Sn na charakteristiky pevnosti a tvařitelnosti tenkého ocelového plechu nebyl v dostupné odborné literatuře zjištěn a výsledky experimentů potvrdily zanedbatelný vliv elektrolyticky naneseného povlaku Sn na konečné hodnoty meze pevnosti v tahu, meze kluzu a tažnosti.

Rozdíl v hodnotě hloubení IE zjištěný Erichsenovou zkouškou mezi pocínovaným a nepocínovaným vzorkem plechu činil 0,45 mm, což je s ohledem na rozptyl hodnot při měření hodnoty hloubení IE u plechů rozdíl zanedbatelný.

Na základě vyhodnocení provedených experimentů u zkušební sady vzorků, bylo zjištěno, že průběh a křivky napětí deformace pro plech s povlakem Sn je podobný jako u plechu s odstraněným povlakem Sn a křivky se tvarově neliší.

Struktura povrchu výchozího plechu ovlivňuje funkci maziva. Často vyslovovaný názor o povrchu – „čím hladší, tím lepší“ – nemusí být vždy správný, poněvadž zde působí i další faktory. Např. pro zajištění mazání je třeba, aby na povrchu zůstaly prohlubně, které udrží mazací médium. Ve všech případech je nezbytné posuzovat i ekonomickou stránku věci – nárůst nákladů na výrobu velmi „hladkého“ povrchu nemusí vždy odpovídat funkčnímu přínosu. Proto pro vlastnosti povrchu je určující jeho budoucí funkční využití. Požadavky na povrchy, které se po sobě budou vzájemně pohybovat, budou odlišné od požadavků na povrchy vytvářející těsnicí plochy nebo na povrchy určené k následnému lakování apod. Z uvedeného vyplývá, že měření a hodnocení morfologie povrchu je z praktického hlediska velmi významné.

5.2 ZHODNOCENÍ CÍLŮ PRÁCE

Jednotlivé cíle disertační práce jsou zhodnoceny v níže uvedených odstavcích:

- sledování přilnavosti oboustranného pocínovaného povlaku s minimální plošnou hmotností 2,0/2,0 g/m² u velmi tenkých plechů dvojnásobně redukováných s tloušťkou menší než 0,2 mm a porovnání s dosud používanými oboustrannými povlaky o nejmenší plošné hmotnosti 5,6/5,6 g/m² u plechu tloušťky 0,24 mm jednonásobně redukováných.

Získané výsledky z provedených experimentů potvrdily, že plechy tl. 0,16 mm a 0,24 mm s oboustranně naneseným povlakem Sn o plošné hmotnosti 2,0/2,0 g.m⁻² a 5,6/5,6 g.m⁻² plně vyhovují požadavkům na přilnavost povlaku a kvalitu povrchu po lisování plechu se zaměřením převážně pro potravinářskou produkci.

- řešení minimalizace hmotnosti povlaku, který ještě vyhoví požadavku na přilnavost povlaku a kvalitu povrchu po lisování plechu se zaměřením pro potravinářskou produkci.

Všechny zkušební vzorky byly v toleranční třídě 0 dle ISO 2409 – tj. všechny řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec z mřížky nanesené na povlak Sn není poškozen. V okolí mřížky nejsou patrné žádné stopy ani místa, které by naznačovaly o porušení přilnavosti povlaku k podkladu. Povlak měl ISO 2409 výbornou přilnavost.

Získané výsledky z provedených experimentů potvrdily, že plech tl. 0,16 mm s oboustranně naneseným povlakem Sn o plošné hmotnosti 2,0/2,0 g.m⁻² plně vyhovuje požadavkům na přilnavost povlaku a kvalitu povrchu po lisování plechu se zaměřením na potravinářskou produkci.

- efektivní proces výroby tvarově a esteticky zhotoveného výrobku s vyššími mechanickými hodnotami výrobku při nižší hmotnosti a to s využitím dvojnásobně redukovaných velmi tenkých materiálů a tvářecími postupy šetrnými k okolí v souladu s trendy bezodpadových technologií.

Jedním z cílů byl nejen tvarově a esteticky zhotovený výrobek, ale také dosažení efektivního procesu výroby s vyššími mechanickými hodnotami výrobku při nižší hmotnosti s využitím dvojnásobně redukovaných velmi tenkých materiálů s povlakem cínu. Na základě provedeného výzkumu lze říci, že zkoumaný plech tloušťky 0,16 mm s povlakem Sn 2,0g / 2,0 g/m², DR 580, CA s povrchem stone finis jednoznačně vyhovuje zadaným požadavkům.

- sledování korozní odolnosti plochého přístřihu ve výchozím stavu tj. bez další povrchové úpravy např. lakováním

Ze zjištěných výsledků u jednotlivých tloušťek plechů (0,15; 0,16; 0,19; 0,24 mm) s různou plošnou hmotností lze konstatovat, že tenké plechy s povlakem cínu bez další povrchové úpravy např. lakováním, mají jen velmi malou korozní odolnost.

- experimentální stanovení optimální velikosti tažné mezery a její porovnání s hodnotami vycházejícími z dostupné literatury.

Velikost tažné mezery u tažidla byla experimentálně ověřena a pro válcové výtažky bez příruby z ocelového plechu o tloušťce 0,16 mm je doporučována $t_m = 0,17$ mm a stupeň tažení $K = 1,28$ a pro plechy tl. 0,24 mm je doporučována $t_m = 0,25$ mm a stupeň tažení $K = 1,28$.

5.3 VÝZNAM PRO BUDOUCÍ VÝZKUM A DALŠÍ MOŽNOSTI VÝZKUMU

I když teorie tváření je dnes již do hloubky propracovaná, přece jen neodpovídající volba procesních parametrů, které se odhadují nebo volí, sebezpečnější metody výpočtů znehodnocují.

Cílem moderního plošného tváření musí být především snadný výrobní postup (minimální počet tvářecích operací), úspora materiálu, minimum lidské práce a snižování spotřeby energií, surovin apod.

Pouze s nízkými výrobními náklady a kvalitou odpovídající poptávce lze obstát v konkurenci výrobců obalových materiálů apod.

K dalšímu zkoumání je například vhodná nová kategorie tenkých plechů z hlediska jejich tloušťky s přihlédnutím na více stupňů tloušťek plechů.

Přínos disertační práce:

Experimentálně ověřená optimální velikost tažné mezery bylo porovnáváno s výpočtovými vztahy. Pomocí srovnávacího parametru h/t_m bylo zjištěno, že vzorce, jejichž výsledné hodnoty se pohybují v intervalu $<95;100>$ % se pro danou tloušťku plechu jeví jako optimální výpočtové vztahy.

Stanovení parametru poměru výšky výtažku k velikosti tažné mezery ukázalo, že vyšší hodnota výsledného parametru odpovídá nižší hodnotě velikosti tažné mezery. Jako optimální z hlediska kvality povrchu a rozměrové přesnosti se jeví parametr h/t_m v intervalu $<95;100>$ %.

Dílním přínosem výzkumných a experimentálních prací pro praxi bylo ověření možnosti vlivu povlaku na mechanické vlastnosti kovového základu u velmi tenkých plechů s minimálními plošnými hmotnostmi povlaku. Tento vliv se experimentálně nepotvrdil.

Výsledné hodnoty mechanických zkoušek, morfologie povrchu, technologických zkoušek a přilnavosti byly porovnány a vyhodnoceny dle dostupných kritérií pro dosud používané plechy větších tloušťek s vyšší plošnou hmotností povlaku, ze kterých se zhotovují výrobky pro potravinářský průmysl.

Výsledky získané v disertační práci lze využít jako podklad pro analýzu procesu tváření v procesu technologie tažení tvarově komplikovaných výlisků s povlakem cínu. Údaje, které byly u dvakrát redukováných plechů zjišťovány, nejsou v současné době k dispozici, neboť se jedná o výzkum relativně nových materiálů od vybraných dodavatelů.

Dílní výsledky prací byly prezentovány na národních a mezinárodních konferencích nebo na speciálně orientovaných setkání pracovníků vědy, výzkumu a uživatelů z praxe, přičemž nejlepší dosažené výsledky byly předváděny v experimentálních laboratořích ÚST.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. TAYLOR, B. *Metals Handbook – Mechanical testing*. American Society for Metals. 8th ed. 1985. 837p. ISBN 0-87170-007-1.
2. TIŠNOVSKÝ, M., MÁDLE, L. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 04-212-90.
3. MARCINIAK, Z., DUNCAN, J. L., HU, S. J. *Mechanics of sheet metal forming*. The Detroit Institute of Arts.ed.2001. 211p. ISBN 0-7506-5300-0.
5. KOCMAN, K., NĚMEČEK, P. kolektiv autorů. *Aktuální příručka pro technický úsek*. 1.vyd. Praha: Verlag Dashofer. 2001. část 8.
7. DVOŘÁK, M. kolektiv autorů. *Technologie II*. 2. vydání. Brno:CERM. 1995. ISBN 80-214-2032-4.
9. SAMEK, R. *Analýza mezního stavu plastičnosti a technologické tvařitelnosti*. 1.vyd. Brno, Vojenská akademie v Brně, 1988. ISBN 2-128-63057-0.
15. DVOŘÁK, M., ŽÁK, L., ZIMOLOVÁ, M., MATUŠKOVÁ, J., ŘIHÁČEK, V., DUCHAŇ, R., MURGAŠ, J. *Výzkum interakce povlaku Sn aplikovaného na kovový základ v procesu tažení*. Dílčí výzkumná zpráva - Výzkumný záměr MSM 262100003: Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií. Výzkumná zpráva. FSI VUT v Brně, 2003.
16. DVOŘÁK, M., ZIMOLOVÁ, M., ŠMEHLÍKOVÁ, E., ŽÁK, L., MATUŠKOVÁ, J., DUCHAŇ, R., ŘIHÁČEK, V., MURGAŠ, J. *Výzkum tvařitelnosti nových velmi tenkých materiálů na bázi strukturovaného Sn s minimální hmotností povlaku*. Dílčí výzkumná zpráva - Výzkumný záměr MSM 262100003. Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií. Závěrečná výzkumná zpráva FSI VUT v Brně, 2004.
17. ZIMOLOVÁ, M. *Výzkum interakce povlaku cínu aplikovaného na dvojnásobně redukováný plech v procesu tažení*. Výzkumná zpráva – Výzkumný záměr BD 1343044 VUT FSI Brno, 2004.
19. DVOŘÁK, M., ZIMOLOVÁ, M. Verifikace výpočtu tažné mezery pro tenký plech s povlakem cínu.: *Sborník z 11. mezinárodní vědecké konference FORMING 2004*, Štrbské Pleso, 9.-11.9. 2004, s. 55-60, ISBN 80-227-2091-7.
20. DVOŘÁK, M., ŠANOVEC, J., KÁBRT, P. Maziva a jejich experimentální ověření při tažení plechu. *Strojírenská výroba*, 1996 , č.5-6, s.32-34.
21. DVOŘÁK, M., ZIMOLOVÁ, M. Tažení plechu s povlakem cínu. *Technik č. 11*, 2003, ISSN 1210-616X, s. 8-9.
26. ZIMOLOVÁ, M., DVOŘÁK, M., DOLEŽAL, P. Studie průběhu tloušťky cínového povlaku u zkušebního válcového výtažku. *Sborník z 8. mezinárodní konference FORM 2006*, KC Brno, 2006. ISBN 80-214-3231-4.
27. ZIMOLOVÁ, M., DVOŘÁK, M. Mezní podmínky v tvařitelnosti plechů s povlakem cínu. *Sborník 9. mezinárodního sympozia FORM 2008*.
29. ČSN ISO 9227 *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – zkoušky solnou mlhou*. Praha: Český normalizační institut. 1993. ICS 77.060.

31. ČSN EN 10002-1 *Kovové materiály - Zkoušení tahem - Část 1: Zkušební metoda za okolní teploty*. Praha. Český normalizační institut. 2002. ICS 77.040.10.
32. ČSN ISO 10012-1 *Požadavky na zabezpečování jakosti měřicího zařízení – Část 1: Metrologický certifikační systém pro měřicí zařízení*. Praha: Český normalizační institut. 1993. MDT 658.56; 681.1
35. EN ISO 20482: 2004. *Kovové materiály, plechy a pásy, modifikovaná zkouška podle Erichsena*. Praha: Český normalizační institut, 2004. 32 s.
36. ZIMOLOVÁ, M. *Mezní podmínky v tvařitelnosti plechů s povlakem cínu*. Pojednání ke státní doktorské zkoušce. Brno. 2005.

AUTOROVO CV

Jméno a příjmení: Markéta Zimolová

Datum narození: 18.června 1977

Místo narození: Třebíč, Česká republika

Vzdělání:

- | | |
|-------------|--|
| 2003 – 2009 | VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno <ul style="list-style-type: none">• Doktorský studijní program Strojírenská technologie• Obor Strojírenská technologie |
| 2001 – 2004 | VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno <ul style="list-style-type: none">• Magisterský studijní program Strojírenská technologie• Obor: Strojírenská technologie a průmyslový management |
| 2001 – 2003 | VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno <ul style="list-style-type: none">• Doplnující pedagogické studium |
| 1999 - 2002 | VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, Brno <ul style="list-style-type: none">• Magisterský studijní program Ekonomika a management• Obor: Řízení a ekonomika podniku |
| 1995 – 1999 | VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno <ul style="list-style-type: none">• Bakalářský studijní program Strojírenství• Obor: Strojírenská technologie |

Odborná praxe:

- | | |
|------------------|--|
| 11/2008 – nyní | Technik normalizace – Alstom, s.r.o. |
| 1/2008 – 10/2008 | Zástupce vedoucího výroby - Klimatherm, s.r.o. |
| 5/2007 – 12/2007 | Technolog - Aguna, s.r.o. |
| 1/2007 – 4/2007 | Inženýr kvality - Metaldyne Oslavany, s.r.o. |
| 6/2005 – 12/2006 | Samostatný zkušební technik - Strojírenský zkušební ústav,s.p. |

Pedagogická činnost:

- | | | |
|-------------|------------------|--|
| 2003 – 2006 | vedení cvičení – | Výrobní technologie I
Technologie Výroby I a Technologie II |
|-------------|------------------|--|

ABSTRAKT

Předložená disertační práce se zabývá optimalizací vybraných procesních parametrů, např. stanovením velikosti tažné mezery. Mezi kvalitativní ukazatele jakosti povlaku patří přilnavost. Zkoumané vzorky velmi tenkého ocelového plechu mají relativně malou tloušťku povlaku cínu a pro hodnocení přilnavosti cínového povlaku k ocelovému podkladu a pro hodnocení tloušťky povlaku lze použít různých progresivních metod. Základním parametrem životnosti povlakovaných materiálů používaných při výrobě lisovaných tvarových součástí je korozní odolnost. V závislosti nevhodně zvolených parametrů tažného procesu dochází k poškození povlaku cínu a důsledkem působení atmosférických podmínek je korozní napadení kovových materiálů a degradace kovových povlaků. V disertační práci jsou popsány mechanické a technologické zkoušky, jejich verifikace na rozsáhlém počtu experimentálních zkoušek a metody hodnocení získaných výsledků.

Abstract

The thesis deals with optimization of selected parameters e.g. initial size opening. To the qualitative performance of index coating belongs adhesion. Investigation specimens very thin plates have relative small thickness coating tin and for classification of coating adhesion to metal basis and for classification thickness coating tin is possible use different progressive method. Corrosive immunity is basic parameter at service life treatment material used at production of stamped formative part. In the dependence of wrong rated parameter ductile of the process happened tin coating damage and implication atmospheric conditions, with corrosive changing metal material and degradation metal coating. In work are describe mechanical and technological tests, their verifcaiton on e large number of experimental test and method evaluation gained results.