

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

HODNOCENÍ TVAŘITELNOSTI POVRCHOVĚ UPRAVENÝCH PLECHŮ

Milan P u š

KPT - 284

Vedoucí práce: Ing. Z. Moravcová

VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh

Počet stran	93
Počet příloh a tabulek	6 a 11
Počet obrázků	27
Počet výkresů	0
Počet modelů nebo jiných příloh	0

10.květen 1987

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro Milana Puše
obor strojírenská technologie

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

Název tématu: Hodnocení tvářitelnosti povrchově upravených plechů

Zásady pro vypracování:

1. Teoretické zpracování problematiky hodnocení tvářitelnosti tenkých plechů.
2. Výběr metodiky pro hodnocení vlastností povrchově upravených plechů.
3. Experimentální zjišťování vlastností vybraných tenkých plechů.
4. Zpracování výsledků experimentů.
5. Rozbor a zhodnocení výsledků.
6. Závěr a doporučení pro další výzkum.

V 218 / 87

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

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: **50 stran**

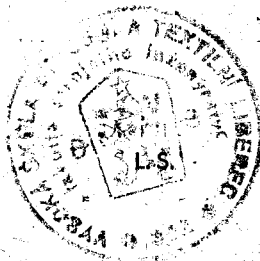
Seznam odborné literatury:

1. DRASTÍK, F. - ELFMARK, J. a kol.: Plastometry a tvářitelnost kovů. SNTL, Praha, 1977
2. TĚJ, J. a kol.: Metody hodnocení lisovatelnosti hlubokotažných plechů. Zpráva fak.úkolu N 195, díl 2, VŠST, Liberec, 1983

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeňka Moravčová**

Datum zadání diplomové práce: **25. 9. 1986**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. 5. 1986**



J. Těj
Doc. Ing. Jaroslav Těj, CSc.

Vedoucí katedry

J. Alaxin
Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v **Liberci** dne **6. 10.** 19 **86**

P R O H L Á Š E N Í

„ Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury. “

Milan Puš

Milan P U Š

V Liberci, dne 10.5.1987

OBSAH:	str.
1. ÚVOD	9
2. POVRCHOVÁ ÚPRAVA - POOLOVĚNÍ	11
2.1 Charakteristika, výrobní metody, vlastnosti a použití spojení olova a oceli	11
2.2 Výroba poolovění a technické podmínky ve Válcovnách plechu n.p. Frýdek - Místek	22
2.3 Možnosti povrchových úprav	37
3. HODNOCENÍ TVAŘITELNOSTI TENKÝCH PLECHŮ	39
3.1 Základní pojmy tvařitelnosti tenkých plechů	39
3.2 Metody zkoušení plechu	41
3.2.1 Zkouška tahem	43
3.2.2 Technologické zkoušky lisovatelnosti	46
3.3 Hodnocení materiálových charakteristik hlubokotažných plechů	49
3.3.1 Součinitel deformačního zpevnění n	49
3.3.2 Normálová anizotropie r	55
4. VÝBĚR METODIKY PRO HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ POVRCHOVĚ UPRAVENÝCH PLECHŮ	60
5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	62
5.1 Volba materiálu	62
5.2 Volba metodiky experimentu	63
5.2.1 Úplná tahová zkouška	63
5.2.2 Přerušovaná tahová zkouška	66
5.2.3 Zkouška hloubením podle Erichsena	68
5.2.4 Sledování struktur materiálů	69
6. VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ	70
6.1 Úplná tahová zkouška	70

6.2	Přerušovaná tahová zkouška	77
6.3	Zkouška hloubením podle Erichsena	80
6.4	Mikrostruktury materiálů	82
7.	ROZBOR A ZHODNOCENÍ ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ	85
8.	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ PRO DALŠÍ VÝZKUM	91
9.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	93

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	tažnost [%]
A_{80}	tažnost pro délku $L_0=80$ mm
a_0	počáteční tloušťka [mm]
b_0, b_k	počáteční a konečná měřená šířka [mm]
C	materiálová konstanta [MPa]
D, d	průměry [mm]
F	plocha vzorku [m^2]
F	okamžitá síla [N]
F_e	osové tahové zatížení [N]
F_p	osové tahové zatížení, kdy trvalá deformace dosáhne předepsané hodnoty [N]
F_m	max. osové tahové zatížení [N]
F_1	max. tažná síla [N]
F_2	síla potřebná k utržení dna [N]
G_1	hmotnost vzorku před rozpuštěním olova [g]
G_2	hmotnost vzorku po rozpuštění olova [g]
h	hloubka prohloubení [mm]
K	stupeň tažení
L_0, L_k	počáteční a konečná měrná délka [mm]
L_u	konečná měrná délka zkušební tyče [mm]
M	koeficient tažení
m	plošná hmotnost povlaku [g/m^2]
m	poměr hlavních napětí
m	index pro průměrnou hodnotu
n	součinitel deformačního zpevnění
n_m	průměrný součinitel deformačního zpevnění

*Vhodné je zachovat jednotu
 vyjádření pro plochy S a síly F*

n_0, n_{45}, n_{90}	směrové součinitelé deformačního zpevnění
Δn	stupeň plošné anizotropie součinitele zpevnění
R	jmenovité smluvní napětí [MPa]
Re	výrazná mez kluzu [MPa]
ReH	horní mez kluzu [MPa]
ReL	dolní mez kluzu [MPa]
Rm	pevnost v tahu [MPa]
r	normálová anizotropie
r_m	průměrný součinitel normálové anizotropie
Δr	stupeň plošné anizotropie součinitele normálové anizotropie
r_0, r_{45}, r_{90}	směrové součinitelé normálové anizotropie
So	počáteční průřez [mm ²]
Su	nejmenší plocha příčného průřezu po přetržení zk. tyče [mm ²]
T	přirozený stupeň tažení u zk. TZP [%]
Z	kontrakce [%]
ϵ_r	maximální rovnoměrná deformace [%]
γ	stupeň deformace
γ_b	skutečná deformace ve směru šířky
γ_i	intenzita deformace
γ_L	délkové přetvoření
γ_s	skutečná deformace ve směru tloušťky
$\sigma, \sigma_{sk.}$	skutečná hodnota napětí [MPa]
σ_i	intenzita napětí [MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Závislost $\tau_a - \varphi_L$	pro směr \parallel s.v.	obr. 1
Příloha č. 2	Závislost $\tau_a - \varphi_L$	pro směr \perp s.v.	obr. 2
Příloha č. 3	Závislost $\tau_a - \varphi_L$	pro směr 45° s.v.	obr. 3
Příloha č. 4	Křivky zpevnění	pro směr \parallel s.v.	obr. 4 - 6
Příloha č. 5	Křivky zpevnění	pro směr \perp s.v.	obr. 7 - 9
Příloha č. 6	Křivky zpevnění	pro směr 45° s.v.	obr. 10 - 12

1. ÚVOD

Pro zajištění dalšího rozvoje našeho národního hospodářství se klade stále větší důraz na efektivní aplikaci progresivních technologií i nových konstrukčních materiálů. Mezi progresivní konstrukční materiály patří i pokovené nebo jinak povrchově upravené tenké ocelové plechy se zvýšenou odolností proti korozi a některými zvláštními funkčními vlastnostmi.

Vzhledem k tomu, že je snaha o co nejvyšší využití materiálů a surovin a tato tendence se bude dále stupňovat, jak je zdůrazněno v Hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 s výhledem do roku 2 000 schválené XVII. sjezdem KSČ, vystupuje do popředí potřeba takových metod, které s dostatečnou jistotou dovolí využít vlastností materiálů v co největší míře, ale zabrání vzniku velké zmetkovitosti.

Nesporně velký význam má postupná orientace na technologické postupy s menším kovovým odpadem - tj. i technologie tváření, která je právě označována za progresivní, neboť právě s ní je spojena řada významných výhod, jako je zejména úspora materiálu a pracnosti. Ve srovnání s třískovým obráběním dosahuje dvou až pětinasobného růstu produktivity práce a současně zvyšuje využití materiálů o 20 - 60 % dle tvaru součásti. Ve tváření pak významně vystupuje do popředí zvláště technologie plošného tváření - tj. zhotovování součástek z plechu.

Plechová součást dnes představuje nejdokonalejší využití materiálu, jeho mechanických vlastností a současně umožňuje výrobu s vysokou produktivitou práce. Rozšířené využití technologie plošného tváření je podmíněno vyšším stupněm využívání plechu jako konstrukčního materiálu. Plechové konstrukce a dílce jsou pevné a lehké a v řadě odvětví jsou zcela běžně a neod-

myslitelně používány. Například v automobilovém, leteckém, spotřebním průmyslu a ve stavebnictví. Současný trend vyžaduje další zvýšení podílu plechových výlisků jako konstrukčních ^{prvků} dílů, a to hlavně v automobilovém průmyslu. To logicky plyne z nutnosti zmenšovat hmotnost vozidel, a tak šetřit jak materiálem, tak i pohonnými hmotami. Dále se bude používat plechu z nových druhů legovaných ocelí, jehož lisování bude obtížnější než tomu je u dosud běžných materiálů.

A s tímto rozvojem jde ruku v ruce i otázka zpracovatelnosti plechu ve strojírenských závodech, a tedy i otázka studia jejich tvařitelnosti, což má značný význam pro snižování počtu zmetků ve výrobě, tím i šetření materiálem, energií a živou prací, které jsou již ve zmetkovém výrobku obsaženy. Mnohamilionové roční ztráty na kovech způsobuje koroze, ať již se jedná o korozi elektrochemickou nebo o korozi způsobenou přímou oxidací. Jedním ze způsobů, jak zvýšit korozní odolnost, je zabránit přímému styku materiálu s korozním prostředím. Za tímto účelem byla vyvinuta celá řada technologií, kde má své opodstatněné místo i ochrana ocelí kovovými povlaky. Mezi kovy používané na výrobu těchto povlaků patří též olovo. Poolověné protikorozní povlaky našly v průmyslu široké uplatnění. Pro automobilový průmysl (AZNP Mladá Boleslav) mají význam při ochraně hlubokotažných plechů, ze kterých se lisují korozně namáhané části jako např. palivové nádrže.

Cílem této diplomové práce bylo zhodnocení vlastností, které korelují s tvařitelností a jejich změny v důsledku procesu vytváření povrchové ochrany pokovením.

2. POVRCHOVÁ ÚPRAVA - POOLOVĚNÍ

2.1 Charakteristika, výrobní metody, vlastnosti a použití spojení olova a oceli

Používání olovem chráněné oceli je stále častější a její vlastnosti odolávající korozi mají zvláštní význam. Dá se také snadno svářet a letovat a olověný povlak působí jako mazivo např. při operacích hlubokého tažení. Typické použití je pro benzinové nádrže aut, součástky pro vytápění a klimatizaci; materiálu se používá v architektuře, stavebnictví, pro kovový nábytek, chladiče vozidel, vzduchové a olejové filtry, šasi s elektronickým vybavením atd.

Těžko by se našly dva tak rozdílné a sobě nepodobné kovy jako olovo a ocel. Ocel je pevná, tvrdá a trpí korozi i v nejmírnějších podmínkách. Olovo je slabé a měkké, ale všeobecně se uznává jako jeden z kovů nejodolnější proti korozi. Je záměr použít pevnost oceli s jednou nebo několika vynikajícími výhodami olova, jako je odolnost proti korozi, způsobilost k letování, vysoká měrná hmotnost a krása.

Tloušťky oceli od 0,06 mm až do 6 mm a ještě více - jsou pokryty olovem na jedné nebo na obou stranách v tloušťce pohybující se od asi 0,0025 mm až do několika desítek milimetrů. Pokrývané plochy jsou rovněž rozmanité. Olovo se užívá jako čistý kov, jako olovo-cínové slitiny a olovo-antimonové slitiny a může se nanášet pokovováním ponorem (do roztaveného kovu), elektrolytickým pokovováním (galvanickým pokovováním), válcováním za studena, ručně ovládanými řemeslnými metodami, adhezním spojováním (lepením) kovů a plátováním (pokovováním)

výbuchem; některé z těchto metod jsou velmi staré a některé naopak tak nové, že jsou ještě ve vývojovém stadiu.

Jsou dva hlavní skupinové názvy, které zahrnují všechny tyto výrobky. Ocel potažená olověnou slitinou se vztahuje z pravidla na typy vyrobené pokovováním ponorem a typy elektrolytické, jejichž tloušťky olova jsou normálně nižších řádů, nejvýše asi 0,025 mm na jedné nebo na obou stranách oceli. Ostatní materiály, které všechny mají obvykle tloušťku olova větší než 0,5 mm, se zpravidla řadí pod název olovem chráněné oceli.

V ý r o b n í m e t o d y

Více než před 100 lety byl v britském ocelářském průmyslu ve Walesu zaveden nový výrobek, u něhož byly ocelové plechy ponořovány do roztavené cínoolověné slitiny, aby se zvýšila životnost oceli tím, že se zabrání zrezavění. Toto bylo první spojení olova a oceli a výroba této složeniny byla brzy přejata v USA a po celé Evropě. Je překvapující, že tento materiál se hodně vyrábí ve většině světových průmyslových států v nepřetržité formě svitků. Rozdíl mezi sériovou výrobou a nepřetržitým provozem je hlavně v mechanice ovládání různých forem kovů, zatímco chemické a metalurgické postupy jsou obvykle velmi podobné.

Slitiny olova a cínu nebo olova a antimonu přilnou obě k oceli za předpokladu, že stav povrchu je náležitý v okamžiku, kdy kovy přicházejí do styku. Z tohoto důvodu je úprava oceli před ponorem nezbytná. Ocelový plech se namočí obvykle do kyseliny chlorovodíkové (solné), ačkoliv se někdy také (ale zřídka) používá kyseliny dusičné a dobře se očistí. Při sériové

výrobě se namočené plechy obvykle uskladňují v nádržích s vodou nebo velmi zředěnou kyselinou na tak dlouho, až jsou připraveny k ponoru. Ocelový plech nebo pás se pak ponoří do lázně roztavené slitiny tak, že projde povrchovou vrstvou roztaveného tavidla, směsi zinku a jiných chloridů. Toto tavidlo slouží k tomu, aby se dosáhlo konečného světlého očištění ocelového povrchu, aby se předešlo, když vstupuje do slitiny a aby se zajistily správné podmínky pro dobré navlhčení, především, aby se odstranil vzduch a kysličník z povrchu slitiny.

Kvalita a tloušťka povlaku se reguluje teplotou lázně, dobou ponoření, výstupním úhlem oceli ze slitiny a působením olejové vrstvy na povrchu slitiny při konečném výstupu z lázně. Tato olejová vrstva také zajišťuje obal (kryt) na roztavené slitině na oceli v okamžiku, kdy opouští lázeň, takto zabráněním, aby došlo k oxidaci, dříve než povlak ztuhne. Moderní praxe také zahrnuje použití vzdušných stíračů, aby se sfoukl s plechu přebytečný kov, když se vynoří, aby se lépe regulovala tloušťka povlaku.

Povlaky vyrobené pokovováním ponorem se vždycky dělají z olověných slitin; čisté olovo samo o sobě je při navlhčování oceli málo účinné. Tento problém se vyřeší přidáním 2 procent nebo více cínu nebo antimonu, kteréžto oba prvky podporují zvlhčování oceli. Někdy se k olovu přidává až 20 procent cínu - po mnoho let bylo všeobecné přesvědčení, že vyšší obsah cínu způsobil lepší navlhčení. Ve srovnání s nižšími obsahy cínu to může být pravda, ale nedávné výsledky ukázaly, že 5 až 6 procent antimonu má stejnou účinnost jako 20 procent cínu.

Jiná metoda, jak vyrobit ocel potaženou olověnou slitinou,

je elektrolytické pokovování (galvanické pokovování). Zatímco elektrolytické pokovování cínoolověnými slitinami se už po nějakou dobu provádí zvláště při sériovém potahování dokončených (hotových) výrobků, nedávno se vyvinula řada metod pro výrobu nepřetržitého pásu. Jednou z těchto metod je vysokorychlostní pokovovací proces, vyvinutý v kontraktu Mezinárodní výzkumné organizace pro olovo a zinek v USA. Dvě hlavní výhody elektrolytického postupu jsou ty, že je možno použít povlaků jak ze slitin, tak i z čistého olova a že při použití v těchto technikách se, jak se zdá, vyhneme problému pórů, které se normálně objevují při nanášení povlaků ponorem vinou nedokonalého navlhčení ocelového povrchu.

Nejstarší metody zahrnovaly buď ruční letování fóliového olova k fóliové oceli nebo tavení olova nebo olověné slitiny ručně na roztaveném ocelovém povrchu ručně ovládaným plamenem, které současně taví olovo a tavidlo a předehtřívá ocelovou plochu, která má být potažena povlakem. To je zřejmě proces náročný na čas a nákladný. Ve Velké Británii byl vyvinut postup založený na válcování za studena. Fólie oceli potažené olověnou slitinou, až 2,5 m x 1 m široká, se pečlivě očistí a protáhne se válcovací stolicí zároveň s olověnou destičkou mnohem menší plochy, ale značně větší tloušťky než takové, která se vyžaduje u dokončeného výrobku. Mezera mezi válci válcovací stolice je seřizena tak, aby způsobila velmi výrazné snížení olověné vrstvy v jednom průchodu s tím výsledkem, že olovo je „ rozválcováno “ přes povrch olovem potažené oceli. Takto ten malý zbytek kysličníku, který zůstane po předčištění, je odsunut stranou „ rozválcovací “ činností, a zůstanou dva olověné povrchy v ideálních podmínkách pro sváření za studena.

Lepení kovů je výrobní metoda, která je velmi jednoduchá. Volba lepidla je ovšem důležitá, ale největší význam má metoda aplikace. Obvykle plochá aplikace v lisu pravděpodobně způsobí obtíže s nedokonalým lepením a obvykle se dává přednost válcovací metodě, protože ta má za následek, že z mezery mezi fóliemi se „vymačkají“ všechny výpary vznikající z lepidla.

Konečně nejnovější technika ze všech je spojování výbuchem. Tato technika, jako tolik moderních výbušných technik, závisí na správném použití vhodné výbušniny. Jestliže se této metody náležitě a správně použije, je možno vytvořit prvotřídní výrobek - fólie přiměřených velikostí. Tato metoda má také výhodu, že je použitelná pro předtvarované součástky, zakřivené, talířovité, vypouklé atd.

V l a s t n o s t i a p o u ž i t í

Jsou zde naznačena pouze některá použití z velkého množství a možností složenin olova a oceli a popsané obecné vlastnosti, které mají význam při každém použití.

1. Oceli potažené olovem

Při použití tohoto materiálu obvykle příliš nezáleží na výrobní metodě. Jediná výjimka tohoto pravidla může nastat tam, kde je nutno počítat při obsluze s nadměrně korozními podmínkami, když je nezbytné, aby nebyly naprosto žádné póry, a když chceme využít vysoké odolnosti čistého olova proti korozi; to může vytvořit dobrý předpoklad pro použití elektrolyticky (galvanicky) pokovených povlaků.

Materiál je vysoce odolný vůči rozmanitým korozním podmínkám. Velmi snadno se letuje a dá se svařovat bez velkých potíží. Povlak dodává ocelovému základu zlepšenou poddajnost k liso-

vání a hlubokému tažení, když povlak z olověné slitiny působí jako mazadlo mezi nástrojem a ocelovým plechem. Hlavní oblastí, ve kterých se některé nebo všechny tyto vlastnosti výhodně využívají, jsou samohybné součástky, vytápěcí a klimatizační zařízení, elektrické součástky, architektura, kovový nábytek a zařízení všeobecného strojírenství.

Největší význam v průmyslu má použití pro benzinové nádrže, které vyžadují odolnost proti korozi, působené jak vnitřně ^{palivem}, tak zevně vodou a chemikáliemi vymrštěvanými ze silnice. Kromě toho je jejich výroba usnadněna přístupností materiálu k hlubokému tažení, svařování a letování, což usnadňuje výrobu složitých tvarů ve dvou polovinách, které se dají spolu svařovat a potrubí plniče atd. pak přiletovat do polohy. Těsná přilnavost povlaků z olověné slitiny, vyrobených pokovováním ponorem, k oceli také zmenšuje možnost poškození, ke kterému by mohlo dojít nárazem kamenů na vnější stěny benzinové nádrže.

Stále většího významu nabývá používání tohoto materiálu u chladičů vozidel. Po mnoho let se vyráběly těžké chladiče z ocelí potažených olověnou slitinou, ale v novější době je poměrně velký trend k používání tohoto materiálu, aby se nahradila dražší měď a mosaz pro chladicí žebra a vrchní a spodní nádrže pro ohříváče a chladiče u aut.

Mnoho jiných malých součástek, obyčejně pláště (obaly), se také vyrábí pro vozidla, jako např. součásti vzduchových a olejových filtrů, kryty (víka) spodku klikové skříně, expanzní nádrže radiátorů a skřínky na nástroje. Takové předměty, obvykle lisované nebo hluboce tažené, využívají skutečnosti, že přítomnost potahu z olověné slitiny zlepšuje tažné vlastnosti oceli tím, že zajistí mazadlo „in situ“ (v poloze) mezi