



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VARIANTNÍ ŘEŠENÍ VÝROBY DRŽÁKU VODIČE

MANUFACTURING POSSIBILITIES OF WIRE HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ ŠURÁŇ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Šuráň

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:

Variantní řešení výroby držáku vodiče

v anglickém jazyce:

Manufacturing possibilities of wire holder

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh variantního řešení výroby držáku vodiče rozvodné skříně z ocelového pozinkovaného plechu. Součástka je komplikovaného tvaru s mnoha otvory a cílem bude navrhnout možné způsoby její výroby.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na varianty výroby zadané součásti s návrhem vhodné technologie a vypracováním postupu výroby.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. Edit.. ISBN 80-214-0294-6.
3. DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
4. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
5. PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. Úvod do tváření II. [s.l.] : [s.n.], 2001. 2 sv. (161, 115 s.).
6. SRP, Karel, et al. Základy lisování. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 248 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 16.11.2009

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

ŠURÁŇ Jiří: Variantní řešení držáku vodiče

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia předkládá návrh variantního řešení výroby držáku vodiče – dílce z pozinkovaného plechu oceli 12 020.20. Součástí je výrobkem firmy Spálovský. Předpokládaná série výroby je 1 000 000 kusů za rok. Na základě literární studie technologie tváření materiálu a technologie slévárenství bylo zvoleno a rozebráno 5 možných variant výroby. Každá z variant byla následně zhodnocena s ohledem na sériovou výrobu zadané součásti. Pro 2 nejvhodnější metody byl navíc proveden postup výroby.

Klíčová slova: tváření, střihání, ohýbání, odlévání

ABSTRACT

ŠURÁŇ Jiří: Manufacturing possibilities of wire holder

The project solved in the framework of Bachelors studies presents a proposal of the manufacturing possibilities of wire holder – piece of steel sheet 12 020.20. Holder is product of Spálovský company. The estimated series production is 1 000 000 pieces a year. At the base of literatural studies of technology of forming and technology of founding was selected and described 5 manufacturing possibilities of wire holder. Every possibility was evaluated in consideration of series production of the holder. For 2 the best possibilities was worked up the procedure list of manufacturing.

Keywords: forming, cutting, bending, founding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠURÁŇ, J. Variantní řešení výroby držáku vodiče. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25.5.2010

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografické citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

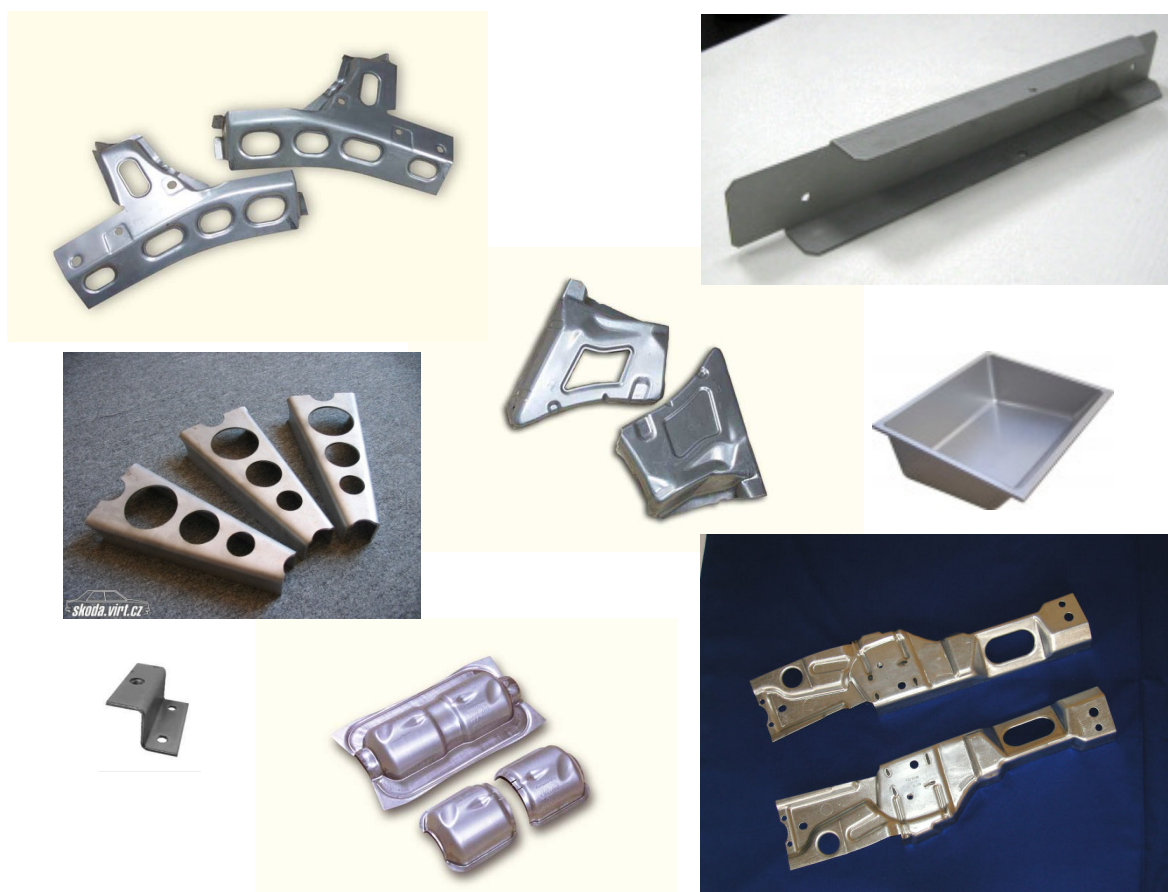
1.Úvod	8
2.Rozbor součásti	9
3.Variantní řešení výroby.....	11
3.1 Odlévání	11
3.1.1 Tlakové lití	11
3.2 Metoda Guerin.....	13
3.2.1 Zhodnocení metody	14
3.3 Nekonvenční dělení a běžný ohyb	14
3.3.1 Nekonvenční dělení materiálu.....	14
3.3.1.1 Laser.....	14
3.3.1.2 Vodní paprsek	15
3.3.1.2 Plazmový paprsek	16
3.3.1.2 Řezání kyslíkem.....	17
3.3.2 Ohyb	18
3.3.2.1 Ohyb na lisech.....	20
3.3.2.2 Plynulé ohýbání na profilových válcích	21
3.3.3 Zhodnocení metody	21
3.4 Stříhání a ohyb	21
3.4.1 Stříhání	22
3.4.2 Zhodnocení metody	23
3.5 Přesné stříhání a ohyb	23
3.5.1 Přesné stříhání	23
3.5.1.1 Stříhání bez vůle (se zaoblenou střížnou hranou)	24
3.5.1.2 Stříhání s nátláčnou hranou	24
3.5.2 Zhodnocení metody	25
4.Závěr	26

1 Úvod

Bakalářská práce je zaměřena na variantní řešení výroby držáku vodiče z plechu. Všechny operace spadají pod technologii tváření materiálu. Tvářením se rozumí technologický proces, po kterém se působením vnějších sil požaduje změna tvaru výrobku nebo polotovaru, aniž by byl výchozí materiál porušen. Je to způsobeno plastickými deformacemi, které v materiálu v průběhu procesu tváření vznikají. Tváření patří mezi beztliskové technologie.

Tvářením se zhotovují výrobky velmi rozmanitých tvarů a rozměrů, nebo polotovary určené k dalším úpravě povrchu například obráběním. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která má ve strojírenské výrobě obrovský význam, protože více jak 90% výrobků se zhotovuje některou z technologií tváření.

Tváření lze rozdělit na objemové a plošné. Pro objemové je charakteristické, že dojde k výrazné změně tvaru původního polotovaru. Tento proces probíhá za tepla (nad rekrytalizační teplotou) nebo za studena (pod rekrytalizační teplotou). Základními operacemi tváření za tepla jsou kování a válcování. Tváření za studena zahrnuje operace, jako je například protlačování. Pro plošné tváření je naopak charakteristické, že polotovar je přetvořen do prostorového tvaru, aniž by byla výrazně změněna jeho tloušťka. Základními operacemi plošného tváření jsou ohýbání (prosté, lemování, zakružování, ohraňování), stříhání (prosté, vystřihování, děrování, přesné stříhání), tažení (protahování, přetahování, hluboké tažení, kovotlačení) a tvarování (rovnání, zužování, rozšiřování).



Obr. 1 Příklady výrobků technologie tváření [24]

2 Rozbor součásti [17, 19]

Jedná se o držák vodiče rozvodné skříně, který je komplikovaného tvaru s mnoha otvory. Slouží k uchycení ochranné sběrnice a zároveň zajišťuje vodivé propojení rozvodné skříně. Držák může být v pravém i levém provedení v závislosti na umístění ve skříni. Připevňuje se na dno skříně pomocí nastřelených šroubů M8x25. Součást je vyrobena z pozinkovaného plechu z ocele 12020.20 tloušťky 3 mm. Držák je produktem firmy Spálovský a vyrábí v sérii o 1 000 000 kusech. K jeho výrobě lze využít mnoho metod. Součást je z plechu, proto budou použity operace především plošného tváření.

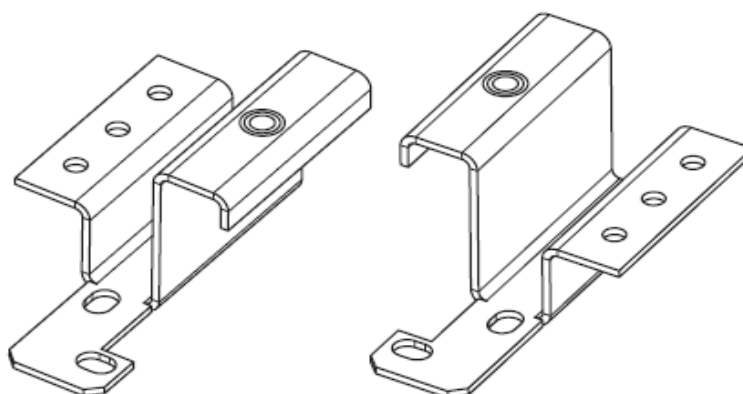
Pozinkované plechy nacházejí uplatnění ve strojírenství, stavebnictví i v oblasti spotřebního průmyslu. Většinou jsou tyto plechy k dostání v tabulích nebo svitcích. Tloušťka zinkového povlaku bývá v rozmezí 250 – 485 g/m². Zinek se nanáší na plech elektrolytickým způsobem, přičemž se využívá galvanického pokovování, kde anodou je zinek a katodou očištěný ocelový plech. Jako elektrolyt se používá zředěná kyselina sírová. Pozinkovaný plech se zpracovává především stříháním, ohýbáním nebo mělkým tažením. Před vlastním zpracováním pozinkovaných plechů musí být brán ohled na mechanické a technologické vlastnosti nejen základního materiálu, ale také musí být zohledněny i vlastnosti povlaku.

Tab.1 Materiálové charakteristiky – ocel 12 020.20 [Příloha 1]:

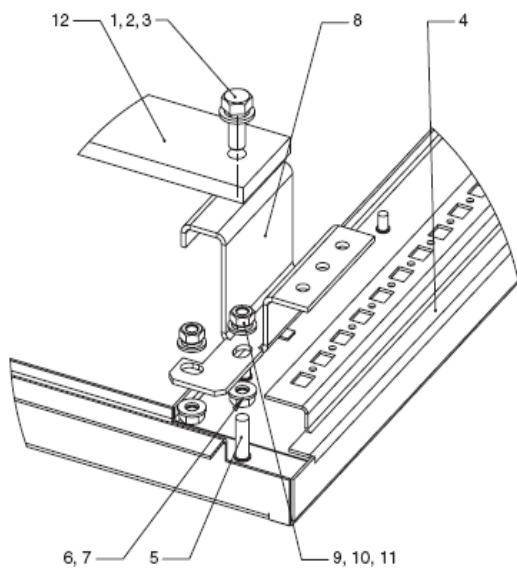
Pevnost v tahu Rm [MPa]	Mez kluzu v tahu Re [MPa]	Tvrдость na povrchu [HV]	Tvrдость v jádře [HV]	Tažnost [%]
495	295	700	450	23

Tab.2 Chemické složení [Příloha 1]:

C	Mn max	Si max	P max	S max	Cr max	Ni max	Cu max
0,13-0,20	0,60-0,90	0,15-0,45	0,04	0,04	0,25	0,3	0,3

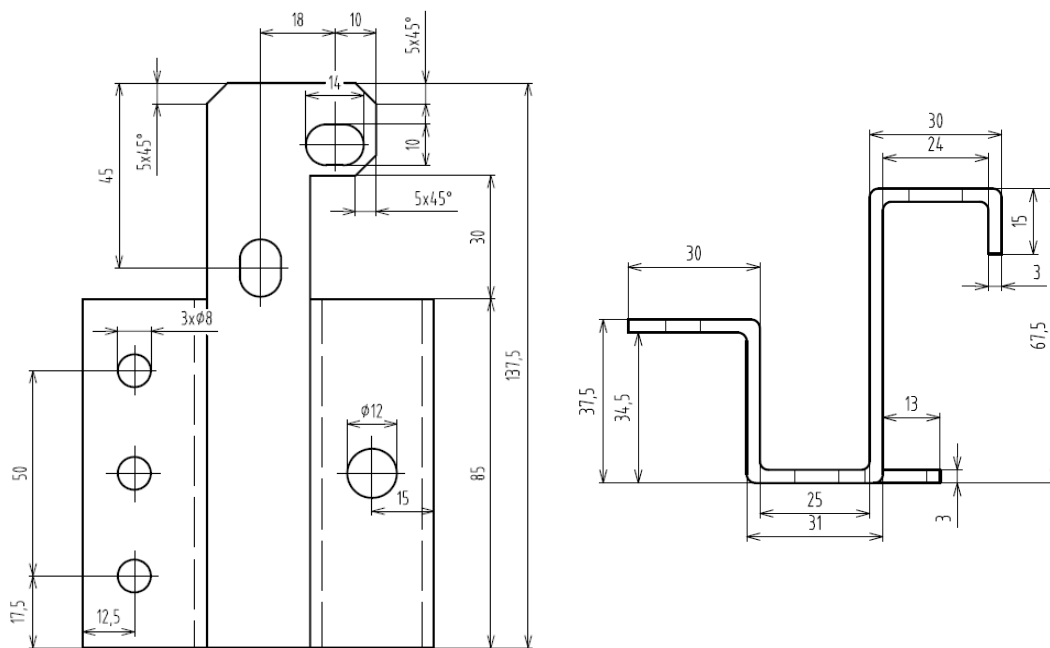


Obr. 2 Pravé i levé provedení držáku [19]



- 1 - Šroub M10x25 pozink.
- 2 - Pružná podložka $\text{Ø} 10,2$ pozink.
- 3 - Podložka $\text{Ø} 10,5$ pozink.
- 4 - Dno skříňe
- 5 - Šrouby M8x25 nastřelené na dno skříňe
- 6 - Matice M8 mosazná
- 7 - Podložka $\text{Ø} 8,4$ pozink.
- 8 - Držák ochranného vodiče (pravý, levý)
- 9 - Podložka $\text{Ø} 8,4$ pozink.
- 10 - Pružná podložka $\text{Ø} 8,2$ pozink.
- 11 - Matice M8 pozink.
- 12 - Sběrnice PE (PEN)

Obr. 2 Umístění držáku v rozvodné skříni [19]



Obr. 3 Výkresové schéma součástí

3 Variantní řešení výroby

Existuje mnoho metod jak vyrobit zadanou součást, jako jsou například ohýbání, stříhání, kování a jiné. Metody, kterými je výroba součásti sice možná ale velice obtížná, nebudou v této práci popsány. V této kapitole budou proto rozebrány principy jen několika základních metod a jejich vhodnost pro výrobu držáku.

Varianty výroby:

- odlévání
- metoda Guerin
- nekonveční dělení a běžný ohyb
- běžné stříhání a ohyb
- přesné stříhání a ohyb

3.1 Odlévání [7, 14, 17, 18]

Odlitek je výsledkem technologického procesu, ve kterém se tekutý kov nalije do připravené formy a zde dojde k jeho ztuhnutí. Uvnitř formy je dutina, která má tvar požadovaného odlitku. Dutina je zvětšena o velikost smrštění materiálu. Litím se vyrábí součásti rozmanitých velikostí a tvarů. Hmotnosti odlitků se pohybují od několika gramů až po několik tun. K lití se používají různé materiály, jako jsou ocel, litina nebo neželezné kovy. Slévárenskou formou se rozumí nástroj, podle kterého je tekutý kov vytvarován do konečné podoby odlitku. Podle počtu vyrobených odlitků lze formy rozdělit na trvalé a netrvalé formy.

Trvalé formy se nejčastěji vyrábějí z kovových slitin. V těchto formách se většinou vyrábí velké série odlitků. K lití do kovových forem se velmi často používají neželezné kovy a jejich slitiny – především slitiny hliníku a hořčíku. Výhodou jsou velmi přesné odlitky s kvalitním povrchem. Nevýhodou je složitá výroba formy.

Netrvalé formy se vyrábějí z formovacích směsí (velmi jemný křemičitý písek smíchaným s jílem), které se následně ztuhnou za pomoci modelu. Směs musí být odolná vůči vysokým teplotám. V netrvalé formě se vyrobí pouze 1 odlitek. Po odlití a následném vytlučení odlitku je forma zničena. Tímto způsobem je v současnosti vyrobena drtivá většina odlitků. Asi 80% ze všech odlitků je vyrobena do netrvalé formy.

Odlévání lze rozdělit dle způsobu lití na gravitační, za zvýšeného tlaku a lití ve vakuu. Způsoby, jako je gravitační nebo odstředivé lití, nejsou pro výrobu zadané součásti příliš vhodné. Jedinou metodou, kterou lze použít je tlakové lití.

3.1.1 Tlakové lití

Při technologii lití pod tlakem se využívají kovové formy. Proto se začalo využívat vnějších sil ke zvýšení zabíhavosti. Tak vzniklo lití pod tlakem. Člení se na vysokotlaké a nízkotlaké lití.

Metoda nízkotlakého lití spočívá ve vytlačování roztaveného kovu přetlakem okolo 0,03 – 0,5 MPa z udržovací pece. Přetlak je způsoben plynem nebo vysušeným vzduchem. Díky tomuto přetlaku se roztavený kov dostává pomocí plnicí trubice do dutiny formy, kde pod tímto přetlakem i tuhne.

Metoda vysokotlakého lití spočívá v tom, že rozžhavený kov se vtlačuje do dutiny formy pomocí tlaku pístu tlakového stroje. Velikost tlaku závisí na velikosti stroje, pohybuje se v rozmezí 2 – 500 MPa.

Výroba odlitků litých do kovových forem pod tlakem je dnes rozšířena pro řadu technických výhod, např. možnost výroby odlitků složitých tvarů, s předlitými otvory, s vysokou rozměrovou přesností a hladkostí povrchu s minimálními přídávky na obrábění, jemnozrnnou strukturou a tím i vyššími mechanickými vlastnostmi. Zapomenout nelze ovšem ani na ekonomické výhody, jako jsou menší hmotnost odlitku,



vyšší využitelnost kovu (zpravidla se pohybuje okolo 90 – 95%) a nižší pracnost dokončovacích operací.

Z hlediska užitných vlastností je mimo jiné důležitá jemnozrnná krystalická struktura tlakově litých odlitků. Ta úzce souvisí s rychlostí krystalizace, respektive tuhnutím odlitku. K té přispívají dva důležité faktory: vysoká akumulární schopnost kovové formy a vysoký tlak působící na taveninu. Velkou nevýhodou tlakového lití je porezita. I přes možnost výskytu této nepříznivé vlastnosti je největší uplatnění tlakově odlévaných odlitků v automobilovém a leteckém průmyslu.

Obr. 4 Příklad odlitku nízkotlakého lití [22]

Ocel 12 020.20 je pro lití nevhodným materiálem. Jako její náhradu lze použít některé ze sloučenin zinku. Podle normy EN 12 844 jde hlavně o slitiny ZP0410($ZnAl_4Cu_1$) nebo ZP0430($ZnAl_4Cu_3$). Obě slitiny se vyznačují výbornou slévatelností a svou použitelností pro lití tvarově složitých dílců. Lze dosáhnout odlitků velké rozměrové přesnosti. I plocha odlitků je velice kvalitní. K výrobě odlitků z těchto slitin se používá tlakové lití na strojích s teplou komorou. Opotřebením formy při použití některé ze zinkových slitin je velmi malé, proto lze formu použít až na 1 milion cyklů. Daleko větší význam má slitina ZP0410($ZnAl_4Cu_1$), která se používá téměř výhradně tlakových odlitků. Základem slitiny je čistý zinek s obsahem 99,995% zinku. Jako přísady se používá hlavně hliník, měď a hořčík. Hliník a měď kladně působí na viskozitu a zároveň zajišťují lepší lití. Navíc se díky těmto dvěma přísadám zlepšují i mechanické vlastnosti (hlavně tvrdost, pevnost a rázová houževnatost v ohybu) a dosahuje se jemnější zrnitosti. Hořčík je také žádoucí přísadou. Rovněž zvyšuje pevnost slitiny.

Slitina	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tažnost A [%]	tvrdost podle Brinella	nárazová práce A [J]
ZP0410	330	250	5	92	58
ZP0430	355	270	5	102	59

Tab. 3 Materiálové charakteristiky slitin Zn [17]

slitina	Zn	Cu	Al	Mg
ZP0410	zbytek	0,7-1,2	3,7-4,3	0,025-0,06
ZP0430	zbytek	2,7-3,3	3,7-4,3	0,025-0,06

Tab. 4 Chemické složení slitin Zn [17]

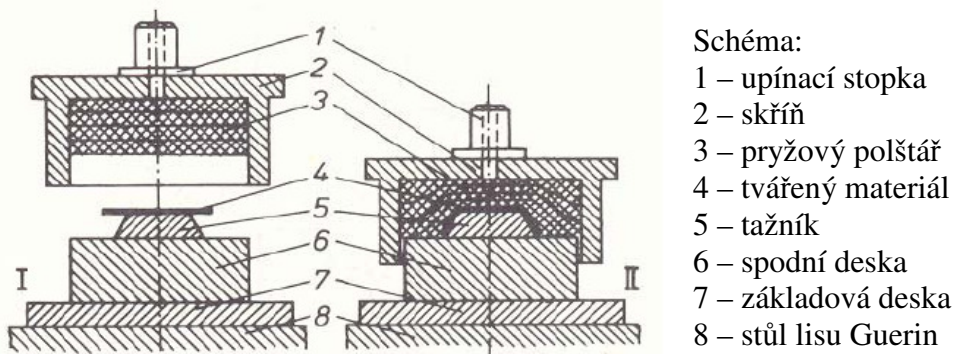
3.1.2 Zhodnocení metody

Metoda tlakovým litím je sice použitelnou technologií pro výrobu zadané součásti, ale s ohledem na materiál – ocel 12 020.20 byla zamítnuta. Tato ocel není určena k odlévání. Proto byly místo ní nalezeny zinkové slitiny, které jsou pro tlakové lití ideální. Nicméně ani jedna z nich nedosahovala materiálových charakteristik oceli. Metoda byla zamítnuta – lití by bylo velice obtížné.

3.2 Metoda Guerin [3, 7, 12]

Existují i speciální metody stříhání a ohýbání materiálu jako je například tváření pomocí pryže (gumy). Střížnici u takového způsobu představuje pryž nebo polyuretan uložený v pouzdře. Pohyb pouzdra zajišťují hydraulické nebo vřetenové lisy. Pryž umožňuje stříhat plochy malé tloušťky. Nicméně střížná plocha je nekvalitní a je doporučeno použít přídavek. Tato technologie není vhodná pro sériovou výrobu. Průběh stříhu je odlišný od stříhání dvěma noži, protože nedochází k ustřížení, ale utržení plechu. Okraj plechu, který přesahuje, je pružným prostředím silně přitlačen na střížník (v případě ohybu tažník). Délka přesahujícího plechu musí být minimálně 25 mm. Vlivem tlaku pružného prostředí je materiál vytahován a současně ohýbán kolem hrany. Takovým způsobem je plech ohnut do požadovaného tvaru. Nicméně je potřeba součást nejdříve vystříhnout pak teprve ohýbat. Ke stříhu dochází po překročení meze pevnosti plechu v tahu. Poté se plech na střížné hraně utrhne.

Metoda Guerin je nejstarší metodou tváření do pryže. Tažnice je nahrazena vrstvami pryže a pohybuje se proti pevnému tažníku. U této metody není potřeba přidržovače. Metoda je vhodná pro mělké tažení.



Obr. 5 Princip metody Guerin [12]

Výhodou metody je, že pryž nezanechává na povrchu žádné stopy. Nástroj pro tváření je navíc velmi jednoduchý a levný, a proto je i seřízení nástroje velmi rychlé a jednoduché. Pryží lze provádět několik operací najednou. Stříh je možno kombinovat například s ohybem nebo mělkým tažením.

Nevýhodou je vznik poměrně velkého odpadu vzhledem k značnému přesahu plechu při stříhu. Pryž se navíc rychle opotřebovává. Po tváření pryží se velmi často musí použít další operace jako je například obrysová frézování. Stroje (hydraulické lisy) musí být velmi robustní, protože je potřeba velkých sil.

3.2.1 Zhodnocení metody

Metoda Guerin se v praxi moc nepoužívá. Její velkou výhodou je jednoduchý a levný nástroj, z čeho vyplývá i jednoduché seřízení. Navíc lze kombinovat ohyb se stříhem. Tímto je ušetřena spousta peněz a času při výrobě zadané součásti. Nicméně ke tváření jsou potřeba robustní stroje a ne každá strojírenská firma disponuje obrovským hydraulickým lisem. Proto byla metoda zamítnuta. Pro výrobu ve velkých sériích je nevhodná.

3.3 Nekonvenční dělení a běžný ohyb[2,3,5,7,10,12,15,16,20,21]

Nekonvenčním způsobem dělení materiálu se rozumí způsob, který není v praxi často využíván. Může to být například řez laserem, řez vodním paprskem, paprskem kyslíku nebo plasmou. Tato kapitola bude také zaměřena na způsoby ohýbání, které se v praxi používají velice často.

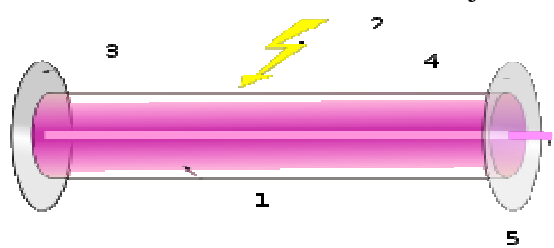
3.3.1 Nekonvenční dělení materiálu

3.3.1.1 Laser

Řezání laserem je v současnosti nejmodernější metoda tepelného dělení materiálu. Ustáleným zářením laseru lze řezat téměř všechny materiály včetně plastů, dřeva, pryže a plexiskla. Materiál ohřátý laserem do bodu varu je tlakem plynů z místa řezu vyfukován. Pro uhlíkové oceli se používá kyslík a probíhá stejná exotermická reakce jako u řezání laserem. Řezné plochy jsou velmi jakostní s přesností do 0,05 mm, rychlost řezu je vysoká a zlepšuje se i odstraňování strusky na spodní straně řezu. Vysokolegované oceli a další materiály se řezou za použití dusíku, který má mnohonásobně vyšší tlak než kyslík. Dusík zabraňuje oxidaci řezných ploch a tvorbě oxidů na spodní straně řezu.

Základem každého řezacího systému je zdroj laserového svazku tzv. rezonátor. Paprsek je z rezonátoru systémem zrcadel doveden až k řezací hlavě nesené na portálu řezacího stolu. V řezné hlavě je paprsek zaostřen do technologicky přesně definovaného ohniska závislého na typu a tloušťce materiálu. Působením soustředěné energie laserového paprsku je řezaný materiál taven a řezná spára je průběžně profukována asistenčním inertním plynem nejčastěji dusíkem.

Energie je do aktivního prostředí (1) dodávána pomocí nějakého zdroje (2), kterým může být například výbojka. Ta donutí elektrony aktivního prostředí k tzv. excitaci. Excitace je přechod elektronů ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny. Takto je vybudena většina elektronů z aktivního prostředí. Při přestupu elektronů opačným směrem tedy z vyšší energetické hladiny na nižší hladinu dojde k vyzáření kvanta energie ve formě fotonů. Tento jev se nazývá emise. Tyto fotony následně interagují s elektrony s vyšší energetickou hladinou a tím spouštějí stimulovanou emisi fotonů, se stejnou fází a frekvencí. Aktivní prostředí laseru je



umístěno v rezonátoru, který je tvořen systémem zrcadel (3). Díky tomuto systému je zajištěn opětovný tok fotonů přes aktivní prostředí, což zajišťuje další stimulovanou emisi fotonů. Tím pádem dochází k zesílení proudu fotonů. Výsledný paprsek (5) pak opouští tělo laseru přes polopropustné zrcadlo (4).

Obr. 6 Princip laseru [15]

Mezi výhody laseru patří vysoká opakovatelná přesnost řezání cca +/- 0,1 mm a vysoká rychlost řezu. Především v menších tloušťkách materiálu vzniká velice kvalitní hladký řez, téměř bez okují a stop tepelného zpracování. Další výhodou je pak úzká řezná spára cca 0,2-0,5 mm. K nevýhodám patří, že dochází ke vzniku a přenosu tepla. U dílců, které mají větší tloušťku, jsou patrné stopy natavení. Mohou vznikat návarky. S rostoucí tloušťkou materiálu přibývá omezení tvarových možností řezu.

3.3.1.2 Vodní paprsek

Dělení materiálu probíhá velkým tlakem vodního paprsku. Vodní paprsek obrušuje materiál a to je vlastně podstatou řezání vodním paprskem. Tento proces je obdobou mnohonásobně zrychlené vodní eroze, která je soustředěna do jednoho místa. Nejčastěji řez probíhá na stolech, které jsou řízeny CNC. Zdrojem tlaku vodního paprsku, který dosahuje hodnot až 2000 – 6200 bar, jsou vysokotlaká čerpadla. Paprsek vzniká v řezací hlavě, která je zakončena řezací tryskou. Na měkčí materiály se používá čistý vodní paprsek, na ostatní materiály musíme použít ještě nějakou abrazivní příměs, jako jsou například přírodní olivín nebo přírodní granát.

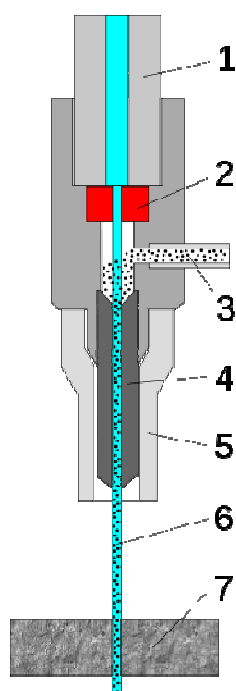


Schéma:

- 1 - vysokotlaký přívod vody
- 2 - rubínová nebo diamantová tryska
- 3 - abrazivo
- 4 - směšovací trubička
- 5 - držák
- 6 - paprsek
- 7 - materiál

Obr. 7 Princip dělení materiálu vodním paprskem [15]

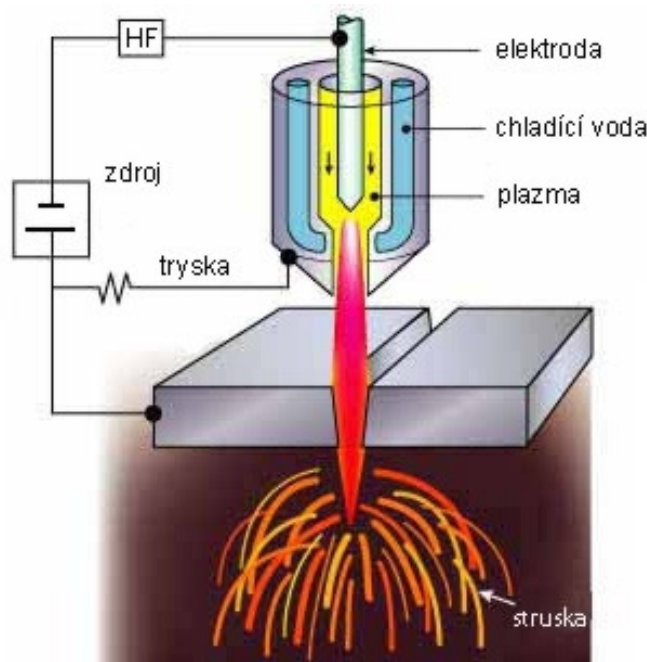
Velkou výhodou dělení materiálu vodním paprskem je studený řez bez natavenin, okují a mikrotrhlin. Vodním paprskem lze dělit různé materiály různé tloušťky. Vzniká řez s velmi vysokou přesností (tolerance 0,2 mm). Po procesu už není potřeba řeznou hranu nijak opracovávat. Tímto způsobem lze dělit i velmi těžko obrobitelné materiály, které mohou být i po tepelném zpracování. Naopak velkou nevýhodou vodního paprsku je nevyhnutelný kontakt s vodou a většinou i s abrazivním materiálem. Pokud se střížná plocha okamžitě neošetří, dochází ke korozi. Další nevýhodou je omezenost výroby hodně malých součástí. U silnějších materiálů dochází k deformaci kontury řezu na spodní hraně vlivem výběhů paprsku.

3.3.1.3 Plazmový paprsek

Tato metoda se v současnosti používá pro dělení vysokolegovaných ocelí, neželezných kovů ale už i pro běžné uhlíkové ocele. Vysoká teplota okolo 20 000°C, které plazmový paprsek může dosáhnout, zajišťuje snadné natavení každého materiálu. Plazma má navíc velký dynamický účinek při výstupní rychlosti okolo 1000–2000 m.s⁻¹. Tento účinek zajišťuje vyfouknutí taveniny ze spáry.

Dělení materiálu plazmou lze rozdělit:

- plazma stabilizovaná plynem Ar + H₂, N₂, Ar
- plazma stabilizovaná stlačeným vzduchem - dělení materiálu probíhá až do tloušťky 100 mm. Plazma je stabilizována průtokem vzduchu až 130 l.min⁻¹. Používají se speciální hafniové elektrody.
- plazma stabilizovaná plynem N₂ a vodou - kuželový přívod vody se dostane ke krajním vrstvám plazmového paprsku, tím dojde k jeho zúžení a následné disociaci vody ve vodík a kyslík. Tím vzniká ideální plynová směs. Tyto dvě operace mají kladný vliv na tepelnou intenzitu plazmového paprsku, na kvalitu řezné plochy a rychlost řezu. Vodní sprcha má v procesu řezu plazmou další výhody: omezuje hlučnost a zabraňuje úniku toxických zplodin z místa řezu.



Obr. 8 Řez plazmou [23]

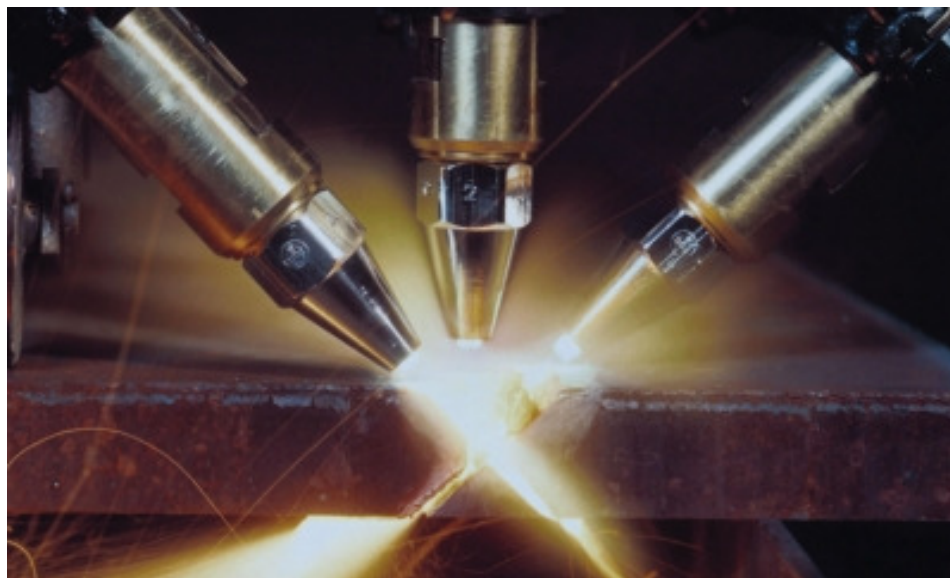
Mezi výhody dělení materiálu plazmou patří vysoká řezná rychlost (do 30 m.s⁻¹), velký výkon při řezání do 30 mm nebo řezání vysoce pevné konstrukční oceli s menším tepelným příkonem. Naopak nevýhodou je širší řezná spára, hlučnost (80 – 100 dB), intenzivní UV záření nebo maximální řezaná tloušťka 200 mm.

3.3.1.4 Řezání kyslíkem

Tato metoda se v praxi s oblibou využívá pro dělení ocelí. Jedná se o spalování materiálu proudem kyslíku. Vzniká velké teplo, které proces spalování urychluje. Tímto se v místě řezu vytváří struska, která je ze spáry vyfukována kyslíkem. Pro řezání se používá kyslíko-acetylénový plamen, jehož teplota se pohybuje okolo 3150°C. Čistota kyslíku musí být minimálně 99,5%. Kyslíkem lze řezat velice rozmanité tloušťky. Minimální tloušťka, pro kterou je metoda vhodná, je 0,5 mm. Horní hranice tloušťky, kterou se podařilo kyslíkem uřezat, je 2 000 mm. V praxi ale zcela postačí hořáky, které jsou konstruovány pro běžné použití. Umí totiž řezat plechy v rozmezí 3 – 300 mm.

Kov je možné řezat kyslíkem, pokud jsou splněny následující podmínky:

- rozehrátý kov se musí spalovat proudem kyslíku
- zápalná teplota kovu musí být nižší, než je jeho teplota tavení
- struska musí být dostatečně tekutá, aby ji proud kyslíku vyfukoval ze spáry
- při spalování musí být vyvinuto dostatečné teplo, aby byly pokryty všechny ztráty



Obr. 9 Řez kyslíkem [22]

Existuje několik metod jak modifikovat řezání kyslíkem. Nejčastěji se používá speciální železný prášek. Ten je do místa řezu přiváděn pomocí speciální trubky. Prášek je ohříván plamenem a následně je proudem kyslíku spalován. Tímto se uvolňuje velké množství tepla, které zvyšuje teplotu reakce mezi materiálem a proudem kyslíku. Navíc tekuté železo ředí těžkotavitelné oxidy, které pak z řezné spáry mohou snadno odtékat. K železnému prášku se v současné době přidává ještě tavidlo v podobě přísady další prachové látky jako je například hliník, feromangan nebo ferosilicium. Tyto přísady ještě zvyšují teplotu místě řezu až na 4 200°C a navíc zvyšují tekutost strusky.

3.3.2 Ohyb

Ohýbání je technologická operace, při které vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly dochází k trvalé změně tvaru polotovaru. Provádí se ve většině případů za studena, v případě velkých průřezů materiálu velkých pevností i za tepla. Při ohybu dochází v materiálu k pružné plastické deformaci. Velikost deformace závisí na tloušťce materiálu v místě ohybu, samozřejmě i na kvalitě materiálu, poloměru ohybu a velikosti ohybových momentů. Charakteristickým znakem ohýbání je změna tvaru tzv. neutrální osy. Neutrální osa je velice důležitá při zjišťování délky výchozího polotovaru ohýbaného součásti.

Délka polotovaru pro ohýbanou součást je rovna součtu délek rovných úseků finálního výrobku a neutrálních ploch v místě ohybu.

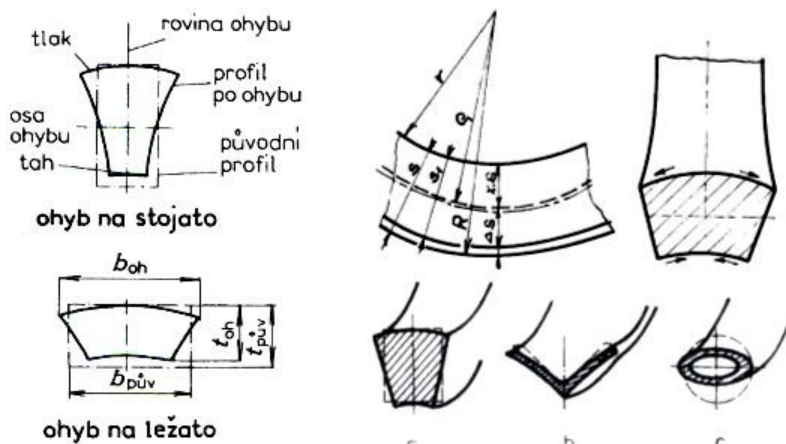
$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde: l_n délka neutrální osy [mm]
 R_0 poloměr ohybu [mm]
 t tloušťka ohýbaného materiálu [mm]
 x koeficient posunu neutrální plochy
 φúhel ohnutého úseku

Úhel ohnutého úseku φ lze vyjádřit pomocí sevřeného úhlu ramen ohýbané součásti (úhlu ohybu) α jako:

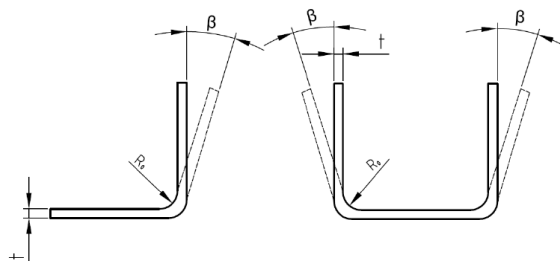
$$\varphi = 180^\circ - \alpha \quad (2)$$

Při ohýbání dochází k deformaci průřezu. U průřezů velké tloušťky dochází k větší deformaci, u průřezů menší tloušťky dochází k deformaci menší. U širokých pásů nedochází k deformaci, protože proti deformaci v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří tzv. neutrální osu, ve které není napětí a která se při ohýbání ani neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.



Obr. 10 Deformace ohýbaného materiálu[12]

Ohyb je pružná plastická deformace a v momentě, kdy přestane na materiál působit deformační síla, zruší se pružná deformace a tím se změní i úhel ohybu. Odpružení má za následek změnu tvaru a rozměru dílce. Na velikost odpružení mají vliv tloušťka ohýbaného materiálu, jeho mechanické vlastnosti, velikost úhlu ohybu.



Obr. 11 Odpružení materiálu[12]

Velikost odpružení lze zjistit pomocí výpočtů:

$$\text{Ohýbání do tvaru V: } \operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (3)$$

$$\text{Ohýbání do tvaru U: } \operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad (4)$$

kde: βúhel odpružení [$^\circ$]
 lvzdálenost ohýbacích částí [mm]
 l_mrameno ohybu [mm]
 ksoučinitel určující polohu neutrální plochy
 Emodul pružnosti v tahu [MPa]
 R_emez kluzu ohýbaného plechu [MPa]

Minimální poloměr ohybu je poloměr, po jehož překročení dojde k porušení vláken na vnější straně ohybu. Závisí na druhu materiálu, jeho tloušťce, způsobu ohýbání a kvalitě povrchu.

Jeho přibližné hodnoty pro některé materiály:

$$\text{- Měkká ocel: } R_{\min} = (0,4 - 0,8) \cdot t \quad (5)$$

$$\text{- Středně tvrdá ocel: } R_{\min} = 1,5 \cdot t \quad (6)$$

$$\text{- Hliník: } R_{\min} = 0,35 \cdot t \quad (7)$$

$$\text{Minimální poloměr ohybu: } R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

kde: ttloušťka ohýbaného materiálu [mm]
 ε_c mezní prodloužení [mm]
 ckoeficient [-]: měkká ocel $c = 0,5 \div 0,6$
měkká mosaz $c = 0,3 \div 0,4$
hliník $c = 0,35$
dural $c = 3 \div 6$
měkká měď $c = 0,25$

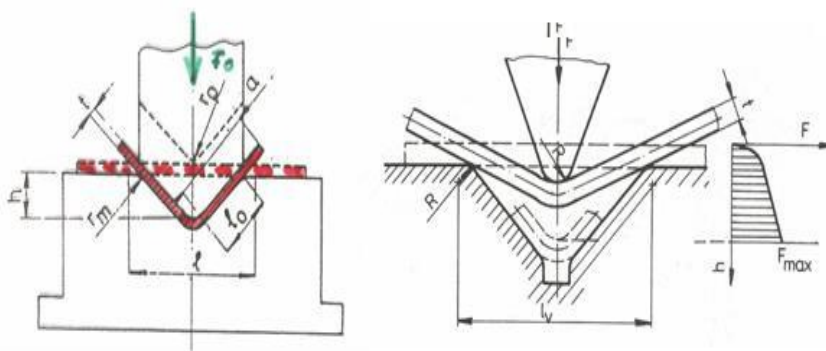
Maximální poloměr ohybu je takový poloměr, po jehož dosažení dojde k trvalému poškození vláken na vnější ohýbané straně.

$$\text{Maximální poloměr ohybu: } R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

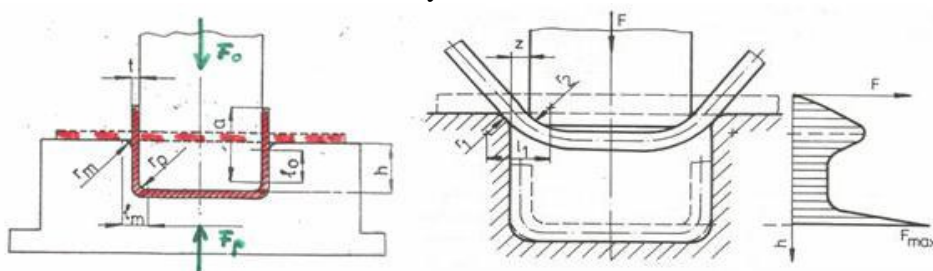
kde: E.....modul pružnosti v tahu [MPa]
Re.....mez kluzu materiálu [MPa]
t.....tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

3.3.2.1 Ohýbání na lisech

Provádí se na nástrojích tzv. ohýbadlech. Součástí těchto strojů je čelist, která koná vratné přímočaré pohyby. K ohýbání se používají mechanické a hydraulické lisy, někdy je zapotřebí použití tzv. ohraňovacího lisu. Mechanické lisy se nejčastěji používají k ohýbání menších součástí. Nejčastějším případy ohybu na mechanických lisech jsou ohyby do tvaru U a V. Ohraňovací lis je v podstatě mechanický lis, který se ale na rozdíl od mechanického lisu používá pro ohýbání rozměrově velkých dílců v délce 6–8m.



Obr. 12 Ohyb do tvaru V [12]



Obr. 13 Ohyb do tvaru U [12]

Velikost ohybového momentu a ohýbací síly lze určit výpočtem.

$$\text{Ohybový moment: } M_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot t^2}{4} \cdot R_e \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (10)$$

$$\text{Ohýbací síla: } F_0 = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot l} \quad [\text{N}] \quad (11)$$

Kde: Re.....napětí na mezi plastické deformace [MPa]
b.....šířka materiálu [mm]
t.....tloušťka materiálu [mm]
l.....vzdálenost podpor ohýbadla [mm]
ε.....mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken [MPa]

K této ohýbací síle je nutno přičíst ještě kalibrovací sílu o velikosti:

$$F_K = S \cdot p \quad (12)$$

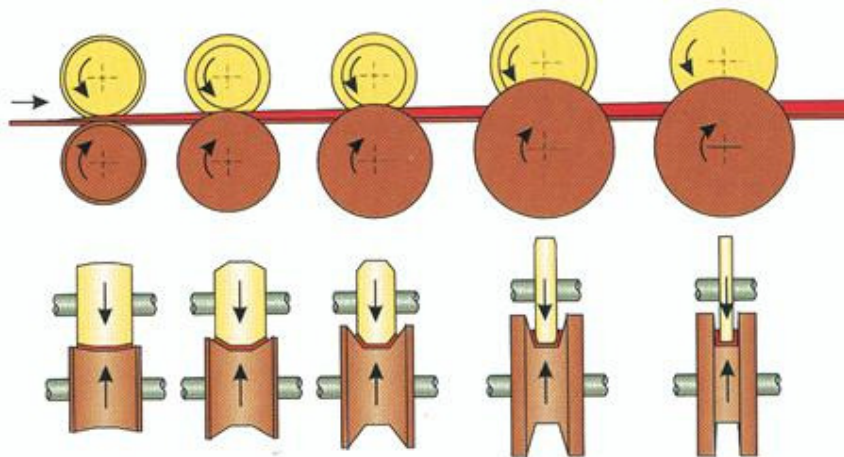
Kde: S.....kalibrovaná plocha [mm²]
p.....měrný tlak [MPa], dle materiálu nabývá hodnot 30 – 150 MPa

Celková ohýbací síla bude mít velikost:

$$F_C = F_0 + 1,3 \cdot F_0 + F_K \quad (13)$$

3.3.2 Plynulé ohýbání profilovými válci

Tento způsob ohýbání je také znám jako kontinuální ohýbání. Požadovaný profil součásti je vytvořen tak, že výchozí pás plechu je postupně tvarován mezi dvojicemi tvarovacích válců. Válce konají otáčivý pohyb. Počet tvarovacích operací je volen podle složitosti součásti, jejích mechanických vlastností a požadavku na přesnost finálního profilu. Ohýbání profilovými válci se využívá k výrobě otevřených i uzavřených profilů.



Obr. 14 Ohyb profilovými válci [12]

3.3.3 Zhodnocení metody

Zvolená metoda je pro sériovou výrobu součásti vhodná. Obsahuje ale nekonvenční metody dělení materiálu, kterých se v praxi moc často nevyužívá. Ne každá firma má na dílně CNC stroj s laserem, plazmou nebo vodním paprskem. Naopak běžného ohybu se v praxi využívá velmi často. Součást lze ohnout do finální podoby pomocí všech probraných metod ohybu. Nicméně kvůli výskytu jedné z nekonvenčních metod dělení plechů byla varianta taktéž zamítnuta.

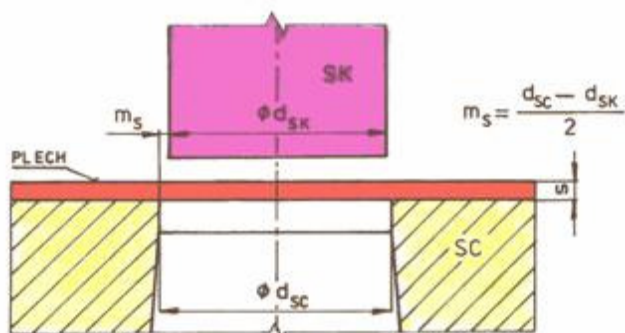
3.4 Strhání a ohyb[1,2,3,5,7,9,10,12]

Proces ohýbání materiálu byl rozebrán již v kapitole 3.3.2, proto již nebude v této kapitole více rozebírán. Tato kapitola proto bude zaměřena na proces strhání materiálu, který se ve strojírenství používá velmi často. V oblasti dělení materiálu je nejpoužívanější metodou. K rozboru byly opět zvoleny obecné metody, kterých se v praxi často využívá.

3.4.1 Stříhání

Pod pojmem stříhání materiálu je nutno si představit více technologických operací. Nejedná se totiž pouze o prostý stříh materiálu, ale existují i další operace, které jsou součástí stříhání. Mezi ně například patří: děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, nastřihování, prostřihování, prothávání, vysekávání.

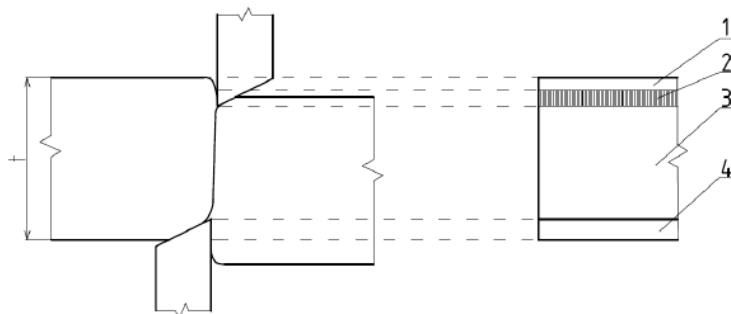
Proces stříhání se nejvíce používá při zpracovávání plechu. Podstata stříhání spočívá v působení protilehlých břitů na materiál a jeho následném oddělení. Stříhání je jedinou žádoucí operací tváření materiálu, která způsobuje jeho porušení. Přesnost a kvalita střížné plochy je ovlivněna mnoha faktory. Nejdůležitějšími z nich je velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, způsob, jakým je materiál stříhán nebo kvalita střížného nástroje. Stříh probíhá ve 3 fázích. V 1. fázi se materiál pod vlivem působení břitů stlačuje a následně ohýbá. Tato fáze probíhá v pásmu pružných deformací. Ve 2. fázi se střížník stále více vtlačuje do plechu a napětí překračuje mez kluzu. Tato fáze probíhá v oblasti plastické deformace. Ve 3. fázi dochází k tvorbě trhlin, ty se postupně šíří, až dojde k utržení materiálu.



Obr. 15 Schéma stříhání pomocí střížného nástroje (SK – střížník, SC – střížnice) [12]

Střížná plocha má tvar písmene S a skládá se ze 4 pásem, která jsou zcela patrná z obrázku:

- 1 – pásmo zaoblení:** V tomto pásmu vzniká pružná deformace. Toto pásmo zabírá 5– 8% celkové tloušťky stříhaného materiálu.
- 2 – pásmo stříhu:** V tomto pásmu vzniká plastická deformace. Toto pásmo zabírá 10– 25% tloušťky materiálu.
- 3 – pásmo utržení:** V tomto pásmu dochází k utržení materiálu. Toto pásmo je nejširším pásmem na střížné ploše. Šířka pásma stoupá úměrně s tvrdostí a křehkostí.
- 4 – pásmo otlacení:** V tomto pásmu může dojít i k výskytu ostřiny.



Obr. 15 Pásma střížné plochy

Stříhadla se člení na jednoduchá, postupová či sloučená atd. Záleží kolik operací současně lze provést při jednom zdvihu nástroje. Výhodné je použití sloučeného nástroje, protože při operaci stříhání lze současně provést i děrování nebo například vystřihování.

Existují technologické zásady, které by měly být při procesu stříhání dodrženy:

- výroba výstřížku by měla být s ohledem na konečný tvar výrobku co nejekonomičtější
- nástřihovým plánem se rozumí uspořádání a rozmístění součástí určených ke stříhání
- nástřihový plán by měl být hospodárný a využití pásu plechu by mělo přesáhnout minimálně hranici 70%, což ovlivňuje tvar výstřížku a jeho uspořádání na pásu

Postup výroby metodou stříhání a ohýbání:

- 1) rovnat
- 2) stříhat a ohýbat dle programového listu – sdružený nástroj
- 3) odjehlit obvodově $1 \times 45^\circ$
- 4) ohranit dle výkresu
- 5) lisovat matici M10

3.4.2 Zhodnocení metody

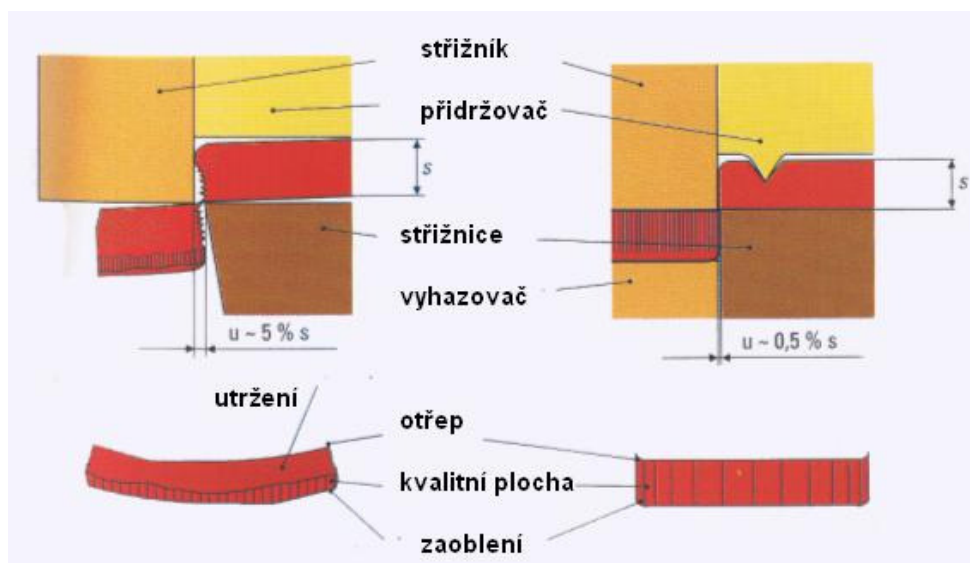
Metoda je vhodná pro sériovou výrobu zadané součásti. Jak stříhání, tak i ohyb jsou v praxi velice často používané operace. Některé metody stříhání se pro výrobu hodí více některé naopak méně. Výhodné je použití sloučeného stříhacího nástroje, v němž lze v 1 zdvihu stroje udělat hned několik operací stříhu výroby. Ještě lepší je použití tzv. sdruženého nástroje, který umožní kombinaci operací ohybu a stříhu v 1 zdvihu stroje. Tímto se proces výroby součásti výrazně zrychlí. Následným ohybem se dosáhne finální podoby součásti.

3.5 Přesné stříhání a ohyb[1,2,7,9,12]

Přesné stříhání je velice vhodnou metodou pro výrobu zadané součásti. Je pro sériovou výrobu nad 40 000 kusů zároveň i velice ekonomickou metodou. V této kapitole budou rozebrány hlavní metody přesného vystřihování. Ohyb již byl rozebrán v kapitole 3.3.

3.5.1 Přesné stříhání

Slouží k výrobě velmi přesných výstřížků. Po tomto procesu již nenásleduje žádný další proces opracování povrchu střížné plochy, jako tomu bylo u obecného stříhání. Vzhled povrchu je srovnatelný s obráběnými povrchy ($R_a = 0,8 \div 1,6 \mu\text{m}$). Je tedy zřejmé, že i přesnost rozměrů je oproti obecnému stříhu mnohem lepší. Toleranční pole rozměrů přesných výstřížků se pohybuje od IT6 – IT9. Technologie přesného stříhání je vhodná pro součásti s velkým procentem odpadu a vyžadují tak mnoho dokončovacích operací. Pásmo plastického stříhu je díky vytvoření prostorové tlakové napjatosti rozšířeno na celou tloušťku stříhaného materiálu. Z následujícího obrázku je patrný rozdíl střížných ploch u obecného stříhání a přesného stříhání.



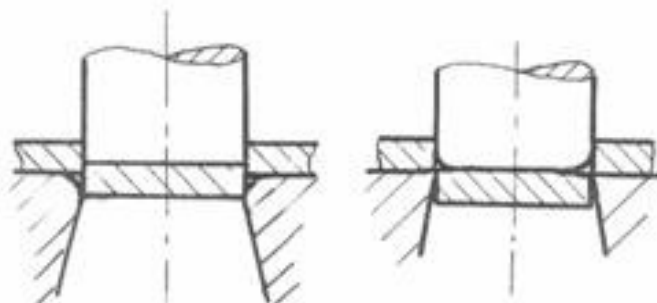
Obr. 17 Rozdíl kvality ploch mezi obecným a přesným stříháním pomocí přidržovače [12]

Přesné výstřižky lze zhotovit několika metodami, jakými jsou stříhání bez vůle, stříhání užitím přidržovače, stříhání s nátlacnou hranou a přistříhování. Přistříhování není vhodné pro výrobu zadané součásti, proto nebude dále rozebíráno.

3.5.1.1 Stříhání bez vůle (se zaoblenou střížnou hranou)

Princip metody spočívá v zabránění vzniku střížné trhliny ve stříhaném materiálu. A to tak že se zaoblí hrana střížnice nebo střížníku. Kvalita střížné plochy je dána střížnou vůlí. Čím menší je mezera, tím větší je jakost střížné plochy. Hladké a kolmé střížné plochy je dosaženo díky tomu, že materiál je při stříhu bez vůle částečně dopředně protlačován. Drsnost střížné plochy odpovídá hodnotě $R_a = 0,4 - 1,6 \mu\text{m}$.

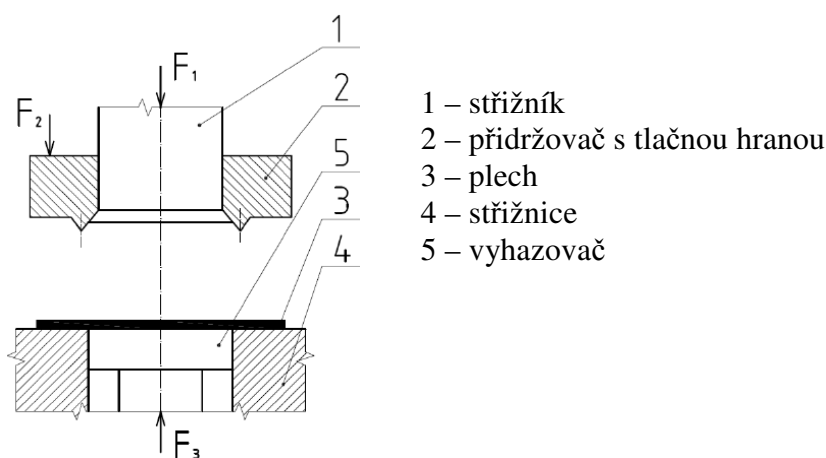
Je doporučeno zaoblění o velikosti $R = (0,15 - 0,20) \times s$, kde s vyjadřuje tloušťku stříhaného materiálu. Střížná mezera se většinou volí $z = (0,01 - 0,02) \text{ mm}$. Ke stříhání se používá střížná síla, která je asi 015% větší než při běžném vystříhování. Tento způsob stříhání je vhodný pro měkkou ocel nebo pro materiály s dostatečnou tvárností.



Obr. 18 Stříhání bez vůle [12]

3.5.1.2 Stříhání s nátláčnou hranou

V počáteční fázi je plech sevřen mezi přidržovačem a střížnicí. Tím je tlačná hrana vtačena do plechu ještě před vlastním stříhem. Tlačná hrana musí být zvolena mimo křivku stříhu. Tvar, poloha a rozměry hrany do značné míry ovlivňují kvalitu střížné plochy a životnost nástroje. Množství tlačných hran na přidržovači závisí na tloušťce materiálu. Pokud je tloušťka menší nebo rovna 4 mm volí se jedna hrana na přidržovač, pokud je materiál větší tloušťky volí se hrany a to na přidržovači i na střížnici. V materiálu vznikají 3 oblasti různých napjatostí. Nejvýhodnější rozložení napětí je právě v místě stříhu. Tato oblast se nazývá oblast všestranného tlaku, která vylučuje vznik trhlin a navíc je díky ní stříh plasticky čistý. Uvedenou metodou lze stříhat velice rozmanité materiály. Zadaná součást je z pozinkovaného plechu z ocele 12 020.20, pro kterou je stříhání s použitím nátláčné hrany velmi vhodnou metodou.



Obr. 19 Stříhání za použití nátláčné hrany

Stříhání za použití nátláčné hrany má také i nevýhody. Ve většině případů se musí zvolit větší šířka plechu, z čehož plyne mnohem větší spotřeba materiálu než u běžného stříhání. Další nevýhodou je nelze touto metodou vystříhovat ostré rohy, takže je zřejmé, že metodou nelze vyrobit součást jakéhokoliv tvaru. Střížná vůle se volí asi 0,5% tloušťky stříhaného plechu.

Postup výroby zvolenou metodou:

- 1) rovnat
- 2) přesně stříhat dle programového listu
- 3) ohýbat
- 4) odjehlit $1 \times 45^\circ$
- 5) ohranit dle výkresu
- 6) lisovat maticí M10

3.5.2 Zhodnocení metody

Metoda přesného stříhání a ohybu je vhodnou metodou. Přesné stříhání zajišťuje kvalitní střížné plochy, takže není potřeba plech v dalších operacích již nijak upravovat. To jistě ušetří spoustu času při výrobě. Běžný ohyb je v praxi velmi často používán. Na sériovou výrobu zadané součásti se také velmi hodí. Nevýhodou uvedené metody je snad jen, že nelze použít sdruženého nástroje. Tento ušetřil další čas a finance. Nicméně metoda zamítnuta nebyla.

4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo variantní řešení výroby držáku vodiče. Součástí je komplikovaného tvaru s mnoha otvory. Vyrábí se z pozinkovaného plechu oceli 12 020.20. Držák může být vyroben v pravém i levém provedení. Slouží k uchycení ochranné sběrnice a zároveň zajišťuje vodivé propojení rozvodné skříně. Vyrábí se v sérii o 1 000 000 kusech. V bakalářské práci bylo rozebráno několik metod jak zadanou součást vyrobit. Některé metody byly více vhodné jiné naopak méně. Drtivá většina z nich spadá pod technologii tváření.

Přesto byla použita i metoda zcela odlišná a to odlévání. Tento způsob výroby držáku byl zcela zamítnut hned na počátku. Materiálem totiž je pozinkovaný plech ocele 12020.20. Ocel této třídy není určena k odlévání. Nicméně byly nalezeny a použity materiály, které jsou pro odlévání pod tlakem velice vhodné, a to zinkové slitiny ZP0410($ZnAl_4Cu_1$) nebo ZP0430($ZnAl_4Cu_3$). Tyto slitiny sice nedosahují tak dobrých mechanických vlastností jako ocel 12020.20, ale pro lití v praxi nenamáhané součásti, jakou je zadaný držák, se velmi hodí. Přesto však byla metoda odlévání zamítnuta, protože je velice pracná a navíc velmi drahá.

Další variantou byla metoda Guerin. Tato metoda dovoluje sloučit operace stříhání a ohybu do jedné, což jistě ušetří čas i finance. Seřizování nástroje je jednoduché tudíž i velmi rychlé. Nicméně se tato varianta k sériové výrobě 3 mm tlustého plechu také nehodí. Výroba by byla z ekonomického hlediska příliš drahá. Ne každá strojírenská firma má k dispozici velký hydraulický lis. Proto byla i metoda Guerin uznána za nevyhovující.

Varianta nekonvenční způsob dělení materiálu a ohyb. Řez laserem, plazmou i kyslíkem jsou dobrými způsoby dělení plechů. K sériové výrobě zadané součásti to ale nejsou úplně vhodné technologie. Při řezání pozinkovaného plechu uvedenými způsoby se do ovzduší dostávají nebezpečné zplodiny. Takže i nekonvenční způsoby dělení materiálu byly zamítnuty. Naopak obecného ohybu se ve strojírenských dílnách či závodech využívá velmi často. Součást lze ohnout do finální podoby pomocí všech probraných metod ohybu. Nicméně kvůli výskytu jedné z nekonvenčních metod dělení plechů byla varianta taktéž zamítnuta.

Varianta s běžným stříháním a ohybem již na první pohled blížila ideálu. Oba procesy jsou v praxi velmi často používané, navíc uvedené metody nejsou z finančního hlediska ani moc drahé. Součást lze touto velice lehce vyrobit, aniž by samotná výroba byla časově náročná. Operace ohybu a stříhání lze sloučit pomocí tzv. postupových nebo sloučených nástrojů. Pomocí sduženého nástroje by šly obě operace provést v jednom kroku. Což je z časového a zároveň i finančního hlediska velice výhodné. Tato metoda zamítnuta nebyla. Pro sériovou výrobu držáku malých rozměrů se dobře hodí.

Poslední variantou bylo přesné stříhání s následným ohybem. Přesné stříhání se pro sériovou výrobu nad 40 000 kusů ekonomicky vyplatí. Navíc již není třeba výstřižky nijak dále upravovat, protože střižné plochy jsou velice kvalitní. Tento fakt jistě zkrátí i celkovou dobu výroby součásti. Tato varianta se zdá být vhodnou metodou, proto jako minulá varianta nebyla zamítnuta.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha : SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV- 41/22674.
- [2] FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
- [3] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření : plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [4] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
- [5] PETRUŽELKA, Jiří, BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 2 sv. (161, 115 s.).
- [6] SRP, Karel, et al. *Základy lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1965. 248 s.
- [7] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: VUT – FSI . 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032 4
- [8] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, ŽÁK, Ladislav. *Technologie tváření: Návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103s .ISBN 80-214-2881-3.
- [9] NOVOTNY, Josef. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha : SNTL, 1983. 213 s.
- [10] MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tvaření plechů*. Praha : SNTL, 1964. 259 s.
- [11] ŘASA, Jaroslav, HANĚK, Václav, KAFKA, Jindřich. *Strojírenská technologie 4*. [s.l.] : [s.n.], 2003. 505 s.
- [12] www.ksp.tul.cz
- [13] http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/
- [14] www.mmspektrum.cz
- [15] http://cs.wikipedia.org/wiki/Řezání_vodním_paprskem
- [16] <http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie.html>
- [17] <http://www.ortmann.cz/cs/index.php>
- [18] <http://www.stefanmichna.com/>

- [19] katalog firmy Spálovský – konstrukční katalog skříní STA
- [20] <http://www.ksd.tul.cz>
- [21] <http://homen.vsb.cz>
- [22] <http://dabelskepneu.cz>
- [22] <http://www.konstrukce.cz/clanek/deleni-materialu-kyslikovy-m-rezanim/>
- [23] www.aldebaran.cz
- [24] www.novapol.cz
- [25] http://www.valcovna-nh.cz/download/cz/03_cz.pdf

Seznam použitých zkratk a symbolů

označení	legenda	jednotka
l_n	délka neutrální osy	[mm]
R_0	poloměr ohybu	[mm]
t	tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
x	koeficient posunu neutrální plochy	[-]
φ	úhel ohnutého úseku	[°]
β	úhel odpružení	[°]
l	vzdálenost ohýbacích částí	[mm]
l_m	rameno ohybu	[mm]
k	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
R_e	mez kluzu ohýbaného plechu	[MPa]
ε_c	mezní prodloužení	[mm]
c	koeficient	[-]
ε	mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken	[MPa]
M_0	ohybový moment	[N.m ⁻¹]
F_0	ohýbací síla	[N]
F_k	kalibrovací síla	[N]
F_C	celková ohýbací síla	[N]
S	kalibrovaná plocha	[mm ²]
p	měrný tlak	[MPa]

Seznam příloh

Příloha 1 – materiálové charakteristiky ocelí (12 020.20)