



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ZÁVĚSU SEDADLA MOTOCYKLU

PRODUCTION HINGE SADDLE MOTORCYCLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Libor Hanych

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Libor Hanych**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Výroba závěsu sedadla motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

U motocyklu značky Jawa je k fixaci sedla po jeho odklopení používán závěs vytvořený z plechu. Jedná se o součást s rozměry 71x64x32 mm, zhotovenou z ocelového plechu tloušťky 1 mm. Při výrobě závěsu, který je prostorového tvaru s několika otvory a ohyby, se uplatní technologie používané při tváření plechu.

Cíle bakalářské práce:

- Analyzovat technologičnost konstrukce závěsu a navrhnout postup výroby.
- Zpracovat literární studii věnovanou tváření plechu se zaměřením na zvolené výrobní technologie.
- Navrhnout optimální výrobní postup, doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty.
- Vypracovat potřebnou výkresovou dokumentaci tvářecích nástrojů.
- Provést technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam literatury:

MARCINIAK, Zdislaw, J.L. DUNCAN and S.J. HU. (2002): Mechanics of Sheet Metal Forming. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. (2006): Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

NOVOTNÝ, Karel. (1992) Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

LIDMILA, Zdeněk. (2008): Teorie a technologie tváření I. Brno: Univerzita obrany. 105 s. ISBN 978-8-7213-579-6.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. (2011): Speciální technologie tváření. Část II.
1. vyd. Brno: CERM. 155s. ISBN 978-80-214-4406-5

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

HANYCH Libor: Výroba závěsu sedadla motocyklu.

Práce předkládá návrh technologie výroby závěsu sloužícího k fixaci sedla motocyklu. Závěs je vyráběn z konstrukční oceli 1.0038 ve formě plechu tloušťky 1 mm ve výrobní sérii 50 000 ks/rok. Z jednotlivých variant výroby byla vybrána technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Na základě literární studie technologie stříhání a ohýbání byl navržen optimální postup výroby závěsu. Po provedení technologických, konstrukčních a kontrolních výpočtů pro tyto technologie byl zkonstruován sdružený nástroj, pro který byla zpracována technická dokumentace. Pro výrobu byl zvolen výstředníkový lis LKDR 200 od firmy ŽĐAS. Tento lis vyhovuje z hlediska potřebné tvářecí síly i rozměrům nástroje. Ekonomickým zhodnocením byly stanoveny náklady na výrobu jednoho závěsu 18,5 Kč zahrnujících 35 % zisk podniku. Dle vypočteného bodu zvratu se výroba stává ziskovou po vyrobení 24 187 ks.

Klíčová slova: Závěs, ocel 1.0038, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj

ABSTRACT

HANYCH Libor: Production of hinge saddle motorcycle.

The project elaborates the design of technology production of the hinge used for fixing saddle motorcycle. The hinge is manufactured from 1 mm thick construction sheet steel 1.0038 in production run of 50 000 pcs/year. A technology of shearing and bending at progressive die tool was selected from various options as the most suitable technology of manufacturing. Based on the literature study of shearing and bending technology, an optimal production process of hinge was designed. After technological, structural and control calculations the tool was designed and the technical documentation was elaborated. The eccentric press LKDR 200 made by ŽĐAS company was selected for the production. This press complies in terms of required forming force and the dimensions of the tool. Using the economic evaluation, the production costs for one hinge were calculated in the amount of 18,5 CZK. 35% profit of the company is included in the price. According to the calculated turning point, the production becomes profitable after 24 187 piece being manufactured.

Keywords: Hinge, 1.0038 steel, shearing, bending, progressive die tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANYCH, Libor. *Výroba závěsu sedadla motocyklu*. Brno, 2016. 53 s, 6 výkresů, 11 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Výroba závěsu sedadla motocyklu jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňkovi Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI	10
1.1 Volba technologie výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	14
2.1 Průběh stříhání v nástroji	14
2.2 Střižná vůle a plocha	15
2.3 Střižná síla a práce	16
2.4 Nástřihový plán	18
2.5 Technologičnost konstrukce výstřižků	19
2.6 Střižný nástroj a jeho části	19
3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ	22
3.1 Průběh ohýbání	22
3.2 Výchozí délka polotovaru	23
3.3 Odpružení a jeho eliminace	24
3.4 Ohybová síla a práce	25
3.5 Minimální a maximální poloměr ohybu	26
3.6 Ohýbací nástroje	27
3.7 Technologičnost ohýbaných součástí	28
4 VÝROBA SOUČÁSTI	29
4.1 Stanovení rozvinutého tvaru závěsu	30
4.2 Nástřihový plán a volba polotovaru	31
4.3 Postup výroby v nástroji	34
4.4 Výpočty pro střižnou část nástroje	35
4.5 Výpočty pro ohybovou část nástroje	38
4.6 Stanovení polohy výsledné síly	42
4.7 Popis nástroje	44
4.8 Volba stroje	49
4.9 Povrchová úprava součástí	50
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	51
6 ZÁVĚRY	53

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků a tabulek

Seznam výkresů

Seznam příloh

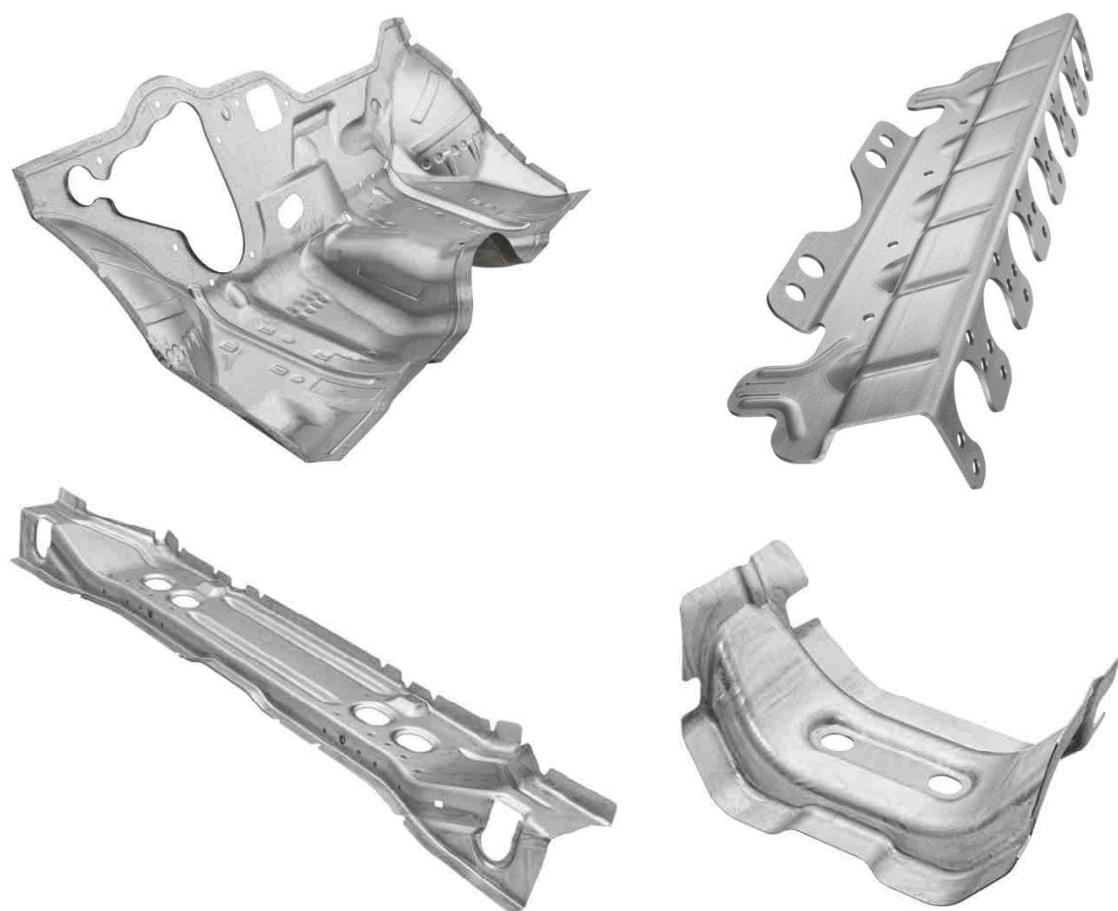
ÚVOD [2], [24], [25]

Technologie tváření patří mezi jednu z nejstarších metod pro zpracování kovů a jejich slitin a lidstvo ji využívá už více než 4000 let. V současnosti se stále více uplatňují klasické i nekonvenční metody tváření, pomocí kterých lze snižovat náklady na spotřebu materiálu a energií, což vede ke snížení celkových nákladů na výrobu součástí. Úspora materiálu při výrobě součástí v konfrontaci s obráběcími operacemi může dosahovat až 80%.

Tváření patří mezi vysoce produktivní technologie a je využíváno především ve velkosériových výroбах, v důsledku pořizovací ceny nástroje. Podstatou tváření je vznik plastických deformací vlivem působení sil na polotovar a je doprovázeno třením, které ovlivňuje tok materiálu. Tvářením lze docílit požadovaného tvaru s vysokou přesností rozměrů, drsnosti povrchu, ale i požadovaných mechanicko-fyzikálních vlastností, jak při zpracování výrobků, tak i při výrobě polotovarů.

Základní rozdělení této technologie je na tváření objemové a plošné. V procesu objemového tváření dochází k objemovému přetvoření polotovaru, což většinou probíhá za zvýšených teplot, aby se snížil deformační odpor. Patří sem zejména technologie kování, pěchování a protlačování.

Při plošném tváření se ve většině případů používá jako polotovar plech. Plech je zde přetvořen většinou za studena do požadovaného prostorového tvaru bez výrazné změny tloušťky. Jako hlavní technologie plošného tváření lze uvést stříhání, ohýbání a tažení. Tyto technologie lze i kombinovat v jednom nástroji, což vede k navýšení efektivity výroby. Příklady plošně tvářených součástí lze vidět na obr. 1.



Obr. 1 Příklady plošně tvářených součástí [34]

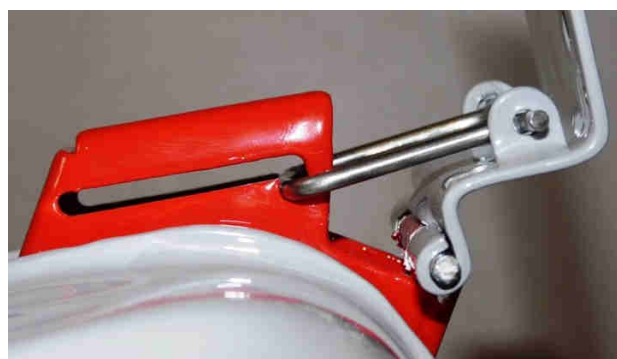
1 ROZBOR SOUČÁSTI [17]

Řešenou součástí je závěs (obr. 2), který slouží k fixaci sedla u motocyklu (obr. 3). Cílem práce je navrhnout technologický postup výroby závěsu pro roční produkci 50 000 ks. Jedná se o ohýbanou součást o rozměrech 71x64x32 mm, zhotovenou z plechu o tloušťce 1 mm. Na největší ploše součásti jsou zhotoveny 3 díry Ø 6 mm, kterými budou procházet šrouby a ty budou zajišťovat styk se spodní částí sedadla. Na další stěně, kolmé k předchozí, se nachází 2 úchyty s otvory Ø 3,5 mm. Těmito otvory bude procházet zahnutý drát, který bude s protikusem umístěným na kostře motocyklu vymezovat úhel odklopení sedadla, a zároveň udržovat odklopené sedadlo ve stabilní poloze. Posledními prvky této součásti jsou 2 ohyby pod úhlem 290° s vnitřním Ø 4 mm. Těmito otvory bude procházet čep, jenž bude zajišťovat aretaci závěsu.

V případě tohoto závěsu nejsou kladeny žádné větší pevnostní nároky na materiál, a tudíž lze zvolit levnější materiál. Vzhledem k technologii výroby musí být zvolený materiál vhodný ke tváření za studena. Ocelový plech třídy 17, který by nemusel být následně povrchově upravován proti korozi, není vhodný z pohledu cenové dostupnosti na trhu. Z tohoto důvodu je zvolen materiál St37-2 dle DIN 17100 (ekvivalentem je ocel S235JR dle EN 10025 a ocel 1.0038 dle W.Nr.). Jedná se o ocel nelegovanou a konstrukční, na součásti konstrukcí a strojů menších tlouštěk. Ocel je vhodná ke tváření za studena, lakování a pokovování v tavenině. Svařitelnost oceli je zaručena. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2. Vzhledem k možnosti vzniku koroze na součásti bude nakonec použita technologie kataforézního lakování.



Obr. 2 Závěs



Obr. 3 Aretace závěsu [19]

Tab. 1 Chemické složení materiálu St37-2 v hm. % [41].

C	Mn	P	S
max. 0,21	max. 1,40	max. 0,040	max. 0,035

Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu St37-2 [41].

Mez kluzu R_e [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A [%]
min. 235	360÷510	20÷26

1.1 Volba technologie výroby [14], [15], [24], [25], [31], [32], [37], [38], [42], [43], [44], [45]

Daný závěs je potřeba vyrábět pomocí dvou operací. Nejdříve se vyřízne nebo vystřihne prostřednictvím vhodné technologie rozvinutý tvar součásti ze svitku nebo tabule plechu, pro což lze využít technologie:

➤ Řezání plazmou (obr. 4) – je založeno na využití teplotních a dynamických účincích plazmatu. Mezi elektrodou a řezaným materiálem hoří při současném dodávání plazmového plynu elektrický oblouk, který je koncentrovaný pomocí chlazené trysky a ochranného plynu, případně vody. Při zkoncentrování elektrického oblouku se výrazně zvýší hustota výkonu. Ochranný plyn současně obklopuje plazmový elektrický oblouk a chrání vytvářené řezné hrany před okolní atmosférou. Řezaný materiál je taven a tavenina s oxidy je vyfukována z řezu plazmovým plynem. Jako plazmový plyn může být použit argon, vodík, dusík, kyslík nebo vzduch. Jako výhody lze uvést vysokou řeznou rychlost pro malé a střední tloušťky materiálů či provoz jednoho a více hořáků dle série. Do nevýhod patří vysoké pořizovací náklady, zaoblení horní řezné hrany či vysoká teplota procesu.



Obr. 4 Řezání plazmou [38]

➤ Řezání laserem – při řezání laserem (obr. 5) tvoří základní část rezonátor neboli zdroj laserového paprsku. Ze zdroje je paprsek doveden optickým kabelem nebo systémem zrcadel až k řezací hlavě. Zde je paprsek zaostřen do technologicky přesně definovaného ohniska, které je závislé na typu a tloušťce materiálu. Při dopadu laserového paprsku na obrobek se jeho materiál natolik zahřeje, že se roztaví nebo dokonce při vyšším výkonu odpaří. Výhodou této technologie je vysoká rychlost řezu a velice kvalitní, hladký řez u menších tloušťkách materiálu. Jako nevýhody lze vytknout vysoké investiční a provozní náklady, nebo nutné přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku.



Obr. 5 Řezání laserem [16]

➤ Řezání vodním paprskem – vodním paprskem (obr. 6) je nazýván proud kapaliny o vysokém tlaku a malém průměru. Principem dělení je obrušování (eroze) děleného materiálu. Jednou z hlavních částí zařízení je vysokotlaké čerpadlo, které je schopno zprostředkovat tlak okolo 400 MPa. Takto stlačená voda je vháněna do řezací hlavy a pomocí trysky vznikne řezný paprsek. Při dělení tvrdších materiálů se ještě voda mísí ve směšovací komoře s abrazivním materiálem, kterým může být prach z přírodního granátu. Mezi výhody této technologie patří vysoká přesnost řezání, neboť řez je prováděn bez vzniku tepelně ovlivněné oblasti a nedochází k mechanickým a chemickým změnám řezaného materiálu. Do nevýhod lze zařadit kontakt s vodou a možný vznik koroze neošetřeného materiálů.



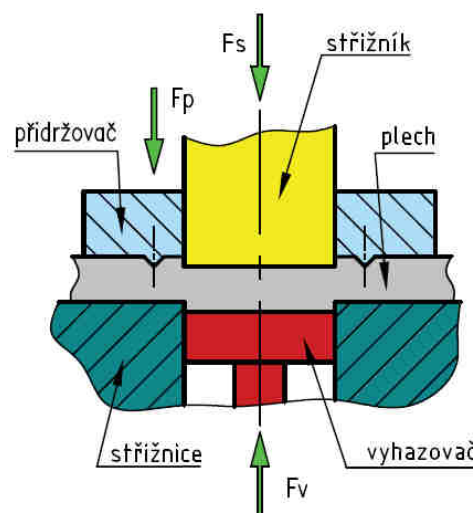
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [45]

➤ Vysekávání – technologie vysekávání probíhá na CNC vysekávacích lisech (obr. 7) a je založena na principu děrování a prorážení daných otvorů a tvarů pomocí speciálních nástrojů. Tato technologie je určena jak pro kusovou, tak i pro velkosériovou výrobu. Tloušťka ocelového plechu, do kterého lze vysekávat, se pohybuje v rozmezí 0,3 až 8 mm. K děrování jsou zde využívány klasické kruhové, obdélníkové, ale i další tvarové nástroje. Vysoké produktivity lze dosáhnout s rotující hlavou, ta v sobě ukrývá až 10 jednotlivých nástrojů, které mohou opět libovolně rotovat, což zajišťuje rychlou a efektivní výrobu požadované součásti. Do výhod vysekávání patří jak vysoká kvalita výrobku, tak i produktivita zhotovování otvorů (až 1600 zdvihů za minutu). Do nevýhod pak lze zařadit vysoké pořizovací náklady stroje a i nutnost kvalifikace obsluhy stroje.



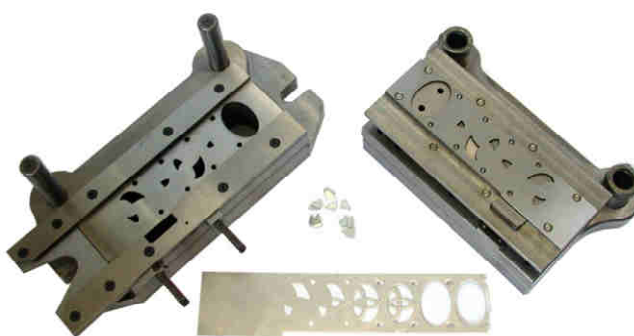
Obr. 7 Vysekávací hlava [7]

➤ Vystřihování s tlačnou hranou – jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod přesného stříhání. Tento proces (obr. 8) začíná sevřením plechu mezi střížnicí a tlačnou hranou, přičemž tlačná hrana je do plechu zalisována. Uvnitř je zároveň sevřen stříhaný materiál mezi střížnicí a vyhazovačem. Vyhazovač nadále působí tlakem proti střížnici i v průběhu stříhání. Následuje vlastní stříhání, při kterém se materiál neprohne a vznikající radiální složku pružení zachycuje tlačná hrana. Touto metodou docílíme přesných rozměrů (IT 7-9) a vysoce kvalitní střížné plochy bez pásma utržení ($R_a = 0,4$ až $1,6$). Tato technologie je vhodná zejména pro sériovou výrobu. Do nevýhod patří cena nástroje v porovnání s klasickým stříháním v postupovém nástroji.



Obr. 8 Vystřihování s tlačnou hranou [25]

Stříhání v postupovém nástroji (obr. 9) – označení „postupový“ znamená, že součást je zhotovena postupně, ve dvou nebo více krocích. Principem stříhání je dělení materiálu pomocí smykového napětí v rovině stříhu, které vznikne působením střížných hran střížníku a střížnice na materiál. Přesnost výstřížků se pohybuje v rozmezí IT12 až IT14 a drsnost povrchu střížných ploch R_a 3,2 až $6,3 \mu\text{m}$.



Obr. 9 Postupový nástroj [35]

V druhé operaci musí být závěs ohnut do požadovaného tvaru, což lze zajistit těmito technologiemi:

➤ Jednoduché nástroje pro ohýbání – jsou určeny pro méně komplikované ohyby do tvaru „V“ (obr. 10) nebo „U“ u malosériových výrob. Nástroj se skládá z horní pohyblivé čelisti (ohybník) a dolní pevné čelisti (ohybnice), která je upnuta na základové desce.



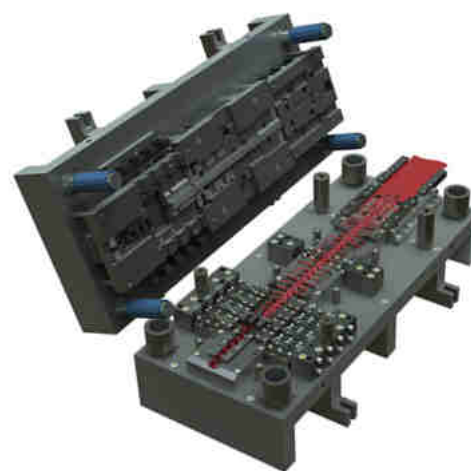
Obr. 10 Jednoduchý nástroj pro ohyb do tvaru „V“ [24]

➤ Ohraňování – tato technologie nahrazuje ohýbání na konvenčních ohýbačkách a slouží k výrobě různých tenkostěnných profilů. Při potřebné výrobě více ohybů na součásti je každý ohyb zhotoven na jeden zdvih lisu. Nástroj (obr. 11) je složen z razníku (horní pohyblivá lišta) a matrice (dolní nepohyblivá lišta). Obě tyto lišty jsou vyměnitelné. Ohraňování je prováděno na CNC ohraňovacích lisech, což zajišťuje vysokou přesnost ohybů a produktivitu. Stroje jsou vybaveny softwarem, který umožňuje automatické naprogramování ohýbání dílů, přesné rozměry rozvinutého tvaru ze 3D modelů a také umožňují zpětnou kontrolu ohybu. Ohraňovací lisy jsou vhodné pro dlouhé ohyby, které jsou limitovány rozměry lisu.



Obr. 11 Proces ohraňování [6]

➤ Sdružený postupový nástroj – sdružený nástroj (obr. 12) je konstruován pro několik lisovacích operací, např. stříhání a ohýbání. Použití sdruženého postupového nástroje se uplatní u dílů s vysokou sériovostí. U této metody lze dosáhnout vysoké produktivity pomocí možnosti provést všechny pracovní úkony v jednom nástroji. Díky tomu jsou sníženy výrobní náklady součásti. Mezi další výhody patří zkrácení výrobního času součásti a potřeba pouze jednoho pracoviště.



Obr. 12 Sdružený postupový nástroj [3]

Po zhodnocení všech uvedených variant se jako nejvýhodnější z hlediska ekonomiky a nejmenších vedlejších časů jeví výroba součásti ve sdruženém postupovém nástroji. Ačkoliv výroba tohoto nástroje je dražší, zaručuje však vysokou produktivitu, které je dosaženo především zhotovením součásti v jednom nástroji. Tím odpadá veškerá manipulace s materiálem mezi jednotlivými pracovišti.

Technologií stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji se bude zabývat teoretická část této práce.

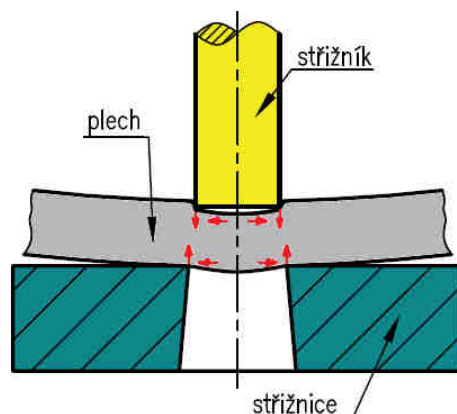
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [2]

Technologie stříhání je nejrozšířenější způsob zpracování plechu, kterým lze vyrobit finální výrobek nebo polotovary, jenž jsou určené pro zpracování dalšími technologiemi (ohýbáním, tažením, atd.). Při tomto procesu je materiál oddělován působením smykového namáhání, které vytváří dva protilehlé břity střížníku a střížnice. Mezi operace stříhání se řadí prosté stříhání, vystřihování, děrování, prosekávání, vysekávání, přistřihování, ostřihování, přesné stříhání apod.

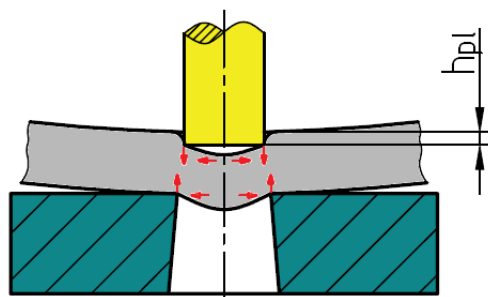
2.1 Průběh stříhání v nástroji [4], [25]

Jako děrování se označuje prostřížení otvoru v materiálu nebo polotovaru a vystřižená část zde tvoří odpad. Opakem je vystřihování, kde se jedná o vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu a vystřižená část zde tvoří výstřížek. Hlavní části nástroje při děrování a vystřihování představují střížník a střížnice. Samotný průběh procesu začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál a můžeme ho rozdělit do tří základních fází.

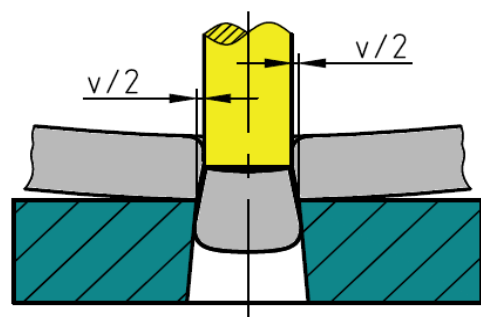
V první fázi, jejímž výsledkem je vznik pásma zaoblení na vznikající střížné ploše, střížník tlačí na plech a tím vyvolává napětí v tvářeném kovu (obr. 13). Vyvolané napětí je menší než mez kluzu a proto dochází pouze k pružné deformaci. Vnik střížníku do materiálu bývá 5 až 8% jeho tloušťky v závislosti na jeho mechanických vlastnostech. Tímto dochází ke vzniku silových dvojic, které jsou kolmé ke střížným plochám a proto se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá.



Obr. 13 První fáze stříhu [13]



Obr. 14 Druhá fáze stříhu [13]



Obr. 15 Třetí fáze stříhu [13]

Druhá fáze (pásma vlastního stříhu) je charakteristická tím, že ve stříhaném materiálu vznikne větší napětí než je jeho mez kluzu a tím dojde k trvalé (plastické) deformaci tohoto materiálu. Hloubka vniknutí střížníku do materiálu, která je na obr. 14 označena jako h_{pl} , se pohybuje v rozmezí 10 až 25% tloušťky plechu a opět tato hodnota závisí na jeho mechanických vlastnostech.

Ve třetí fázi (pásma utržení) na materiál působí napětí s hodnotou nad mezí pevnosti ve stříhu (obr. 15). Nejdříve vzniká tzv. nástřih, což jsou trhlinky u hran střížníku a střížnice. Tyto trhlinky se šíří rychle, až nakonec dojde k oddělení výstřížku od výchozího materiálu. Rychlost šíření těchto trhlinek je závislá na mechanických vlastnostech materiálu (v tvrdém a křehkém materiálu rychleji než v měkkém a houževnatém) a na velikosti střížné vůle (v) mezi střížníkem a střížnicí.

2.2 Střížná vůle a plocha [2], [4], [25]

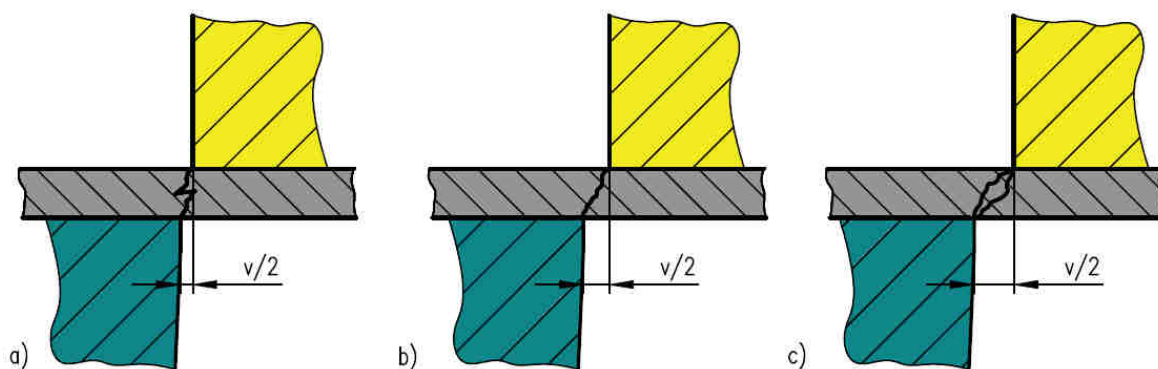
Pro stříhání je střížník konstruován s menším rozměrem než je jmenovitý otvor ve střížnici. Rozdílem jmenovitých rozměrů střížnice a střížníku je určena střížná vůle (v) a jednostranný rozdíl tvoří střížnou mezeru ($v/2$). Správná volba střížné mezery ovlivňuje střížnou sílu, trvanlivost břitů, kvalitu střížných ploch, vznik ostřin a spotřebu energie. Při zmenšování střížné vůle dochází k nepatrnému navýšení střížné síly, zatímco střížná práce je až o 40% větší.

Střížná vůle se přenese na nástroj tak, že při stříhání vnějšího obvodu výstřížku se vytvoří vůle pomocí zmenšení rozměru střížníku, zatímco při děrování pomocí zvětšení rozměrů střížnice.

Správně zvolená velikost střížné vůle zaručuje, že trhliny tvořící se na střížné hraně střížníku a střížnice se setkají a tím dojde ke správnému usmýknutí stříhané plochy, což lze vidět na obr. 16b.

Důsledkem malé střížné vůle (obr. 16a) je vznik zádrhů na střížné ploše, čímž dojde ke zhoršení kvality střížné plochy. Jako výhodu lze uvést částečné snížení ohybu stříhaného materiálu v první fázi stříhu a také ostřiny.

Velká střížná mezera (obr. 16c) naopak způsobuje velkou deformaci v první fázi stříhu, při které dochází k částečnému vtahování materiálu do střížné mezery. Tímto dochází k navýšení střížné síly, zvýšenému namáhání střížných hran bočními silami a nekvalitní střížné ploše s velkými ostřinami.



Obr. 16 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [4]

Velikost střížné vůle je závislá na mnoha faktorech, v první řadě na druhu materiálu a na jeho tloušťce. Obvykle se uvádí, že velikost střížné vůle pro normální stříhání se pohybuje v rozmezí okolo 3 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu.

Střížnou vůli pro plech o tloušťce $s \leq 3$ mm lze stanovit výpočtem:

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.1)$$

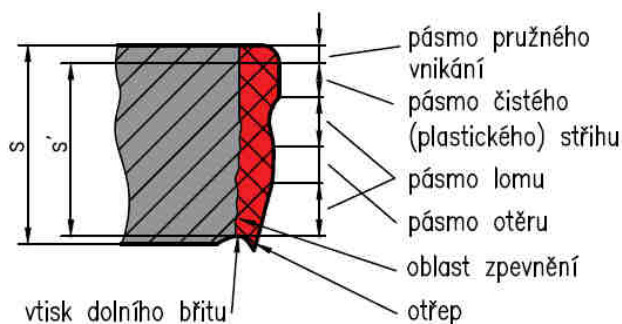
kde: v [mm] střížná vůle,
 c [-] součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,025),
 s [mm] tloušťka stříhaného plechu,
 τ_s [MPa] pevnost materiálu ve stříhu ($0,8$ až $0,86$) $\cdot R_m$,
 R_m [MPa] mez pevnosti v tahu.

a pro plech o tloušťce $s > 3$ mm:

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.2)$$

Pokud je požadována vysoká kvalita střížné plochy, je zvolena menší hodnota součinitele c , pokud nízká střížná síla, tak je naopak zvolena vyšší hodnota součinitele.

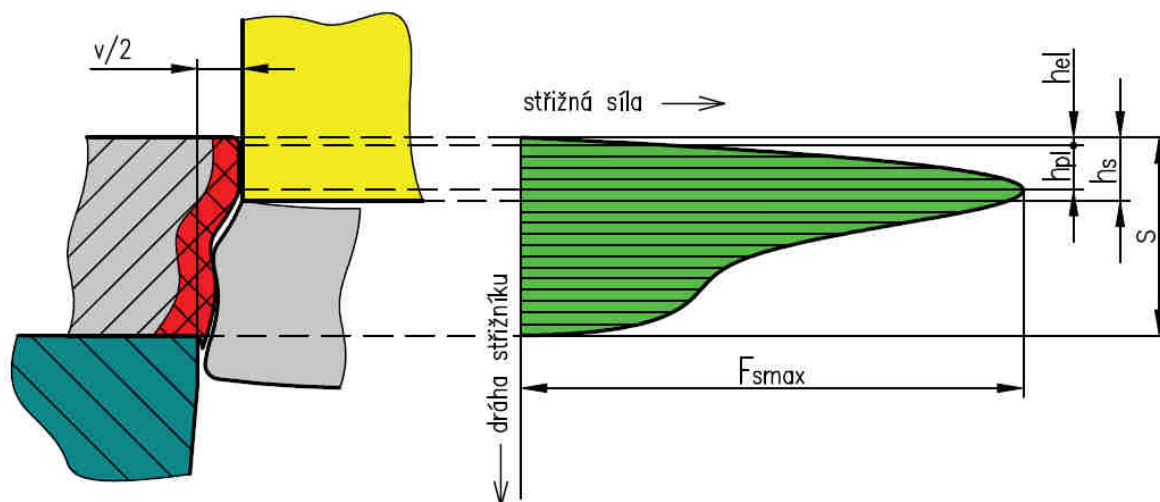
Při optimální střížné vůli vznikne plocha stříhu, jejíž vzhled a tvar je popsán na obr. 17. Zpevněná oblast u měkkých ocelových materiálů zasahuje do 20 až 30% tloušťky materiálu. U této plochy lze při klasickém stříhání dosáhnout drsnosti Ra 3,2 až 6,3 μm .



Obr. 17 Tvar střížné plochy a jednotlivá pásma stříhání [13]

2.3 Střížná síla a práce [4], [13], [25]

Pro stanovení vhodného lisu musí být určena velikost a průběh střížné síly (obr. 18). Velikost této síly se mění v průběhu pracovního zdvihu a je vyjádřena jako součin dvou proměnných veličin (střížného odporu a střížné plochy). V počátku stříhu, kdy dochází pouze k elastické deformaci materiálu, střížná síla prudce vzroste na dráze h_{el} . Roste i nadále v oblasti plastické deformace na dráze h_{pl} , kde současně dochází k deformačnímu zpevnění stříhaného materiálu. Síla roste až do okamžiku, kdy se vyskytnou první trhlinky (nástřih) a od tohoto okamžiku mírně a plynule klesne až po hloubku vniknutí h_s . Dále následuje výrazný pokles síly, jelikož dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru „S“ křivky a následnému oddělování materiálu. V poslední fázi procesu je velikost síly důsledkem tření mezi oddělovanými plochami a třením výstřižku při průchodu otvorem ve střížnici.



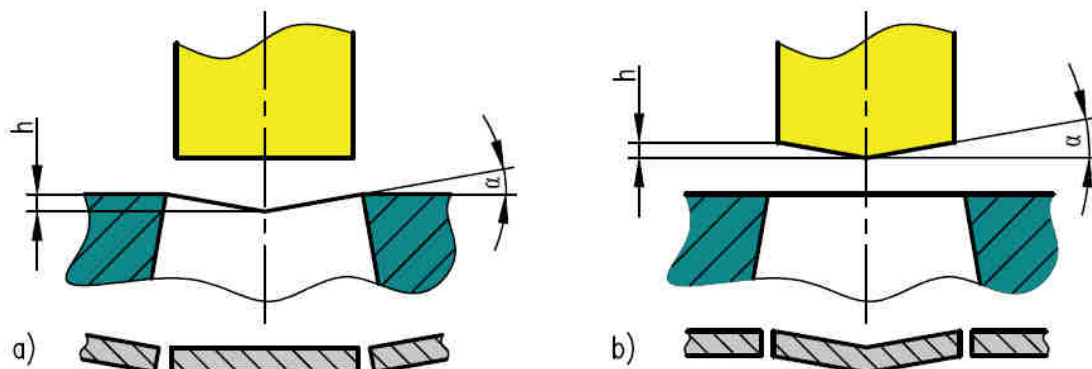
Obr. 18 Průběh střížné síly [13]

Střížnou sílu pro rovnoběžné nože lze určit vztahem:

$$F_s = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot S = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_s \cdot s, \quad (2.3)$$

kde: F_s [N] střížná síla,
 k_{ot} [-] koeficient otupení nástroje (1,1 až 1,3),
 S [mm²] střížná plocha,
 l_s [mm] délka křivky stříhu (obvod střížníku).

Velikost střížné síly lze snížit u stříhání tlustých materiálů nebo velkých výstřižků pomocí různých úprav střížníků a střížnic o 30 až 60% z její původní hodnoty. Úpravy se provádí zkosením střížných hran v závislosti na druhu operace. Při vystřihování (obr. 19a) součást je úkos proveden na střížnici a čelo střížníku je rovné, čímž dochází k deformaci pásu plechu a výstřižek zůstává rovný. U děrování (obr. 19b) je tomu naopak, střížnice je rovná a střížník zkosený, takže dochází k ohýbání odpadu a součást se nedeformuje. Používání zkosení není vhodné pro součásti složitějších tvarů. U nástrojů s více střížníky lze snížit sílu dalším způsobem, a to použitím střížníků s různými délkami, kde stříh probíhá postupně, takže střížné síly jednotlivých střížníků se nepřekrývají a tudíž ani nesčítají.



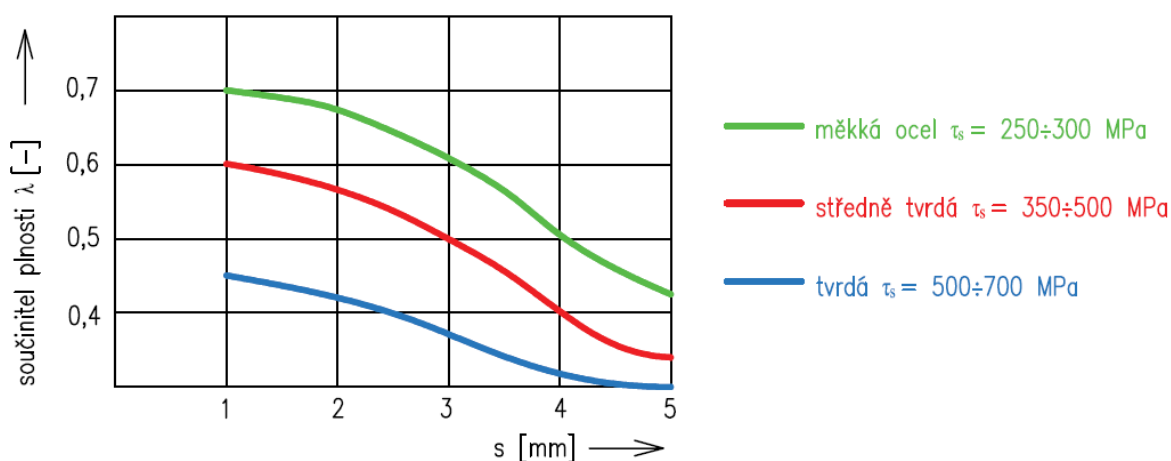
Obr. 19 Úpravy střížných hran [4]

Střížná práce je určena plochou pod křivkou střížné síly, právě v závislosti na střížné síle a dráze střížníku viz obr. 18.

Vypočet velikosti střížné práce dle vzorce:

$$A_s = \lambda \cdot F_{smax} \cdot s, \quad (2.4)$$

kde: A_s [J] velikost střížné práce,
 λ [-] součinitel plnosti dle diagramu (obr. 20),
 F_{smax} [N] maximální hodnota střížné síly.



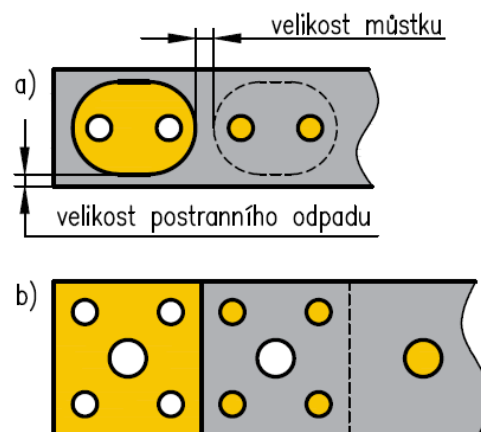
Obr. 20 Graf ke stanovení součinitele plnosti [11]

2.4 Nástřihový plán [2], [22], [24]

Nástřihovým plánem se rozumí orientace a umístění výstřižků na ploše polotovaru, kterým může být pás plechu uštěpený z tabule nebo svitek. Umístění výstřižku na polotovaz se volí takové, aby bylo dosaženo funkční spolehlivosti součástky, maximálního využití materiálu a pokud je zapotřebí, tak i snadného zpracování v následujících technologiích. Funkční spolehlivost lze rozumět rozměrovou přesností výstřižku, kvalitou povrchu apod. Vzniklý odpad, který je nedílnou součástí technologie stříhání, musí být pokud možno co nejmenší, neboť materiál může tvořit až 75% celkových nákladů.

Vystřihování s postranním odpadem a můstkem lze vidět na obr. 21a. Tato varianta je používána u rozměrově přesnějších výrobků a jejich umístění na polotovaru může být přímé, nakloněné, střídavé, kombinované a víceřadé. Naopak nástřihový plán bez můstků a postranního odpadu (obr. 21b) se používá při výrobě výstřižků, u kterých nejsou vysoké nároky na přesnost rozměrů.

Využití materiálu by při stříhání mělo přesahovat hodnotu 60%. Pokud jsou hodnoty nižší, mělo by dojít k úpravě tvaru výstřižku nebo jeho orientaci na pásu, aby bylo zajištěno vyšší využití materiálu. Příklady uspořádání výstřižků na pásu lze vidět na obr. 22.



Obr. 21 Nástřihové plány [2]

Typ stříhu	Přímý	Jednořadý	Víceřadý	Šikmý	Vstřícný
s přepážkou					
bez přepážky					

Obr. 22 Varianty seskupení výstřižků [9]

Výpočet využití tabule plechu se stanoví ze vzorce:

$$\eta_p = \frac{n_{vt} \cdot S_v}{S_t} \cdot 100, \quad (2.5)$$

kde: η_p [%] využití tabule plechu,
 n_{vt} [ks] počet výstřižků z tabule plechu,
 S_v [mm²] plocha jednoho výstřižku,
 S_t [mm²] plocha tabule plechu.

Výpočet využití svitku:

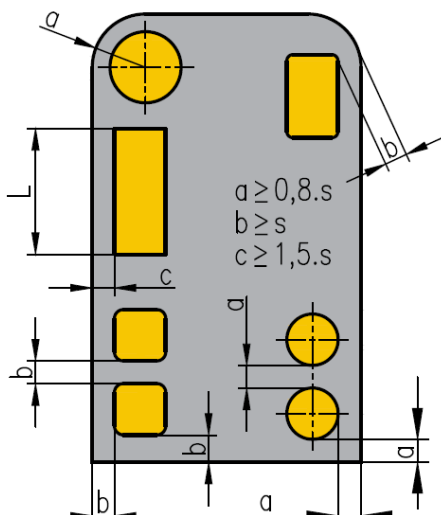
$$\eta_{sv} = \frac{n_{sv} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100, \quad (2.6)$$

kde: η_{sv} [%] využití svitku,
 n_{sv} [ks] počet výstřižků ze svitku,
 S_{sv} [mm²] plocha svitku.

2.5 Technologičnost konstrukce výstřížků [2], [4]

Hospodárnost výroby je výrazně ovlivňována technologičností konstrukce výstřížků, tudíž při konstrukci výstřížku musí být brány v úvahu tyto zásady:

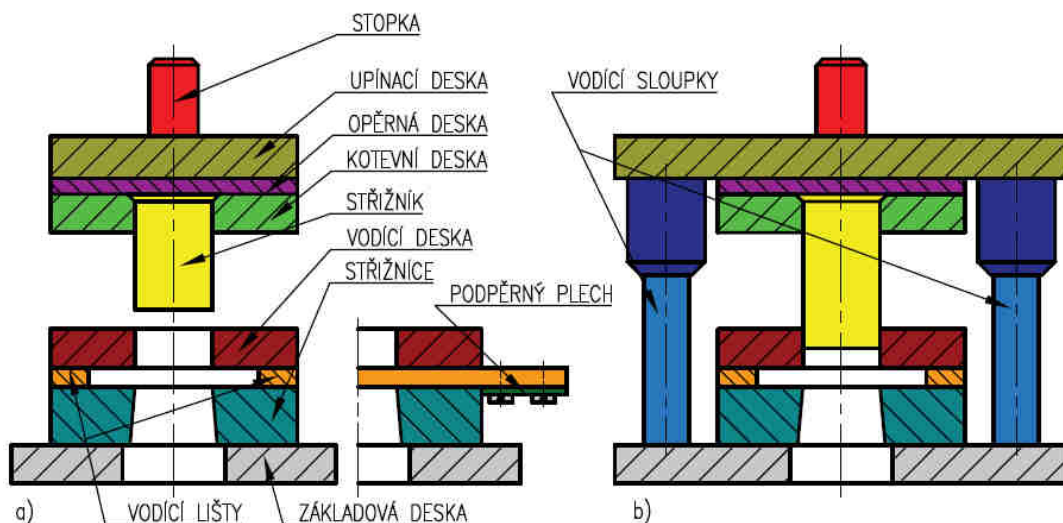
- ✓ výstřížek má být účelný, výrobně jednoduchý a s nízkou spotřebou materiálu,
- ✓ předepisovat větší přesnost rozměrů pouze těch, které např. ovlivňují funkci součásti, neboť se zvyšují náklady na výrobu,
- ✓ volit materiál, který bude dobře zpracovatelný, cenově levný, s požadovanými vlastnostmi a vhodnou kvalitou povrchu,
- ✓ přednost mají kruhové otvory před nekruhovými,
- ✓ pokud to není nezbytné, nepředepisovat drsnost povrchu střížné plochy menší než je drsnost usmýknuté plochy ($Ra\ 3,2$ až $6,3\ \mu m$),
- ✓ nepředepisovat kolmost střížné plochy
- ✓ nepředepisovat rovinnost výstřížků zvláště u tvárných plechů, neboť vlivem ohybového momentu se těžko dodržuje,
- ✓ dodržovat minimální vzdálenost mezi otvory a otvorů od okraje výstřížku viz obr. 23, který platí pro středně tvrdou ocel,
- ✓ výstřížky by měli mít zaoblené nebo sražené tvary v rozích vnitřního obrysu.



Obr. 23 Vzdálenost otvorů od okraje výstřížku a mezi otvory [4]

2.6 Střížný nástroj a jeho části [29], [30]

Střížné nástroje lze rozdělit z různých hledisek, např. dle počtu operací na jednoduché, postupové a sdružené. U jednoduchých nástrojů je součást zhotovena na jeden zdvih lisu, zatímco u postupových je zapotřebí několika kroků. Sdružené nástroje umožňují výrobek současně i ohýbat. Dle vedení horní části se dělí na nástroje bez vedení (obr. 24a) a s vedením (obr. 24b), kde vzájemnou polohu horní a dolní části nástroje zajišťují vodící sloupky. Vedení se používá tam, kde jsou zvýšené požadavky na přesnost výstřížku, přičemž vedením se také zvyšuje životnost nástroje.



Obr. 24 Schéma jednooperačního střížného nástroje [30]

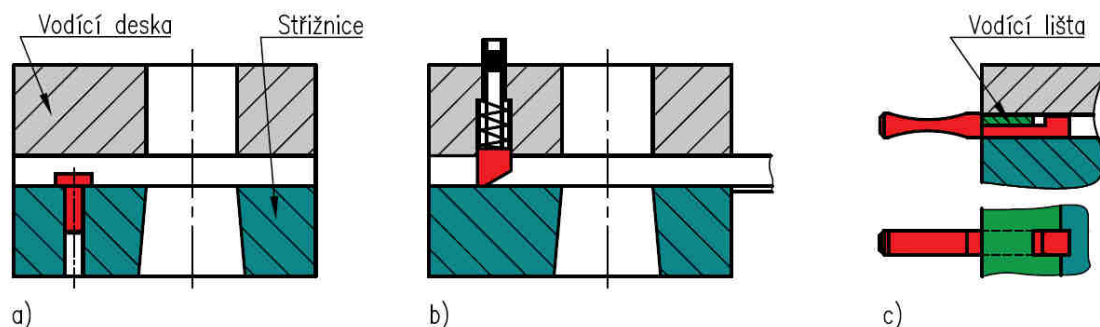
Většina součástí střížného nástroje je normalizována, což vede k nižší ceně nástroje a lepší dostupnosti náhradních dílů. Střížné skříně jsou složeny ze základové desky, střížnice s dorazy, vodících lišt a vodící desky.

Základová deska slouží k upevnění střížného nástroje ke stolu lisu a jsou v ní zhotoveny otvory pro propad výlisků a odpadu.

Vodící lišty slouží k vedení pásu plechu nebo svitku v nástroji a současně vytváří prostor pro manipulaci s materiálem mezi střížnicí a vodící deskou. Snadnějšího a přesnějšího zavedení materiálu do nástroje se docílí prodloužením vodících lišt na zaváděcí straně nástroje a podložním podpěrným plechem.

Vodící deska je používána k přesnému vedení střížníků a také pro stírání materiálu při zpětném zdvihu nástroje.

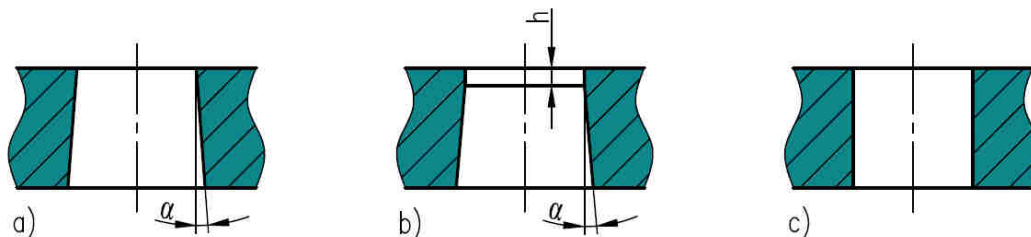
Dorazy jsou polohovací elementy a uplatňují se při stříhání v postupovém nástroji pro nastavení kroku posuvu pásu. Pevné dorazy (obr. 25a) jsou umísťovány do střížnice a při stříhání tenkých plechů se používají přední dorazy, zatímco u tlustých plechů se využívají zpětné dorazy (obr. 25b), které mají zkosení na straně směrem k zavádění pásu pro snadnější posuv. Načínací doraz slouží k nastavení kroku v části, kde nepůsobí pevný doraz a umísťuje se většinou do vodící lišty viz obr. 25c.



Obr. 25 Příklady dorazů [30]

Hledáčky jsou používány většinou tam, kde je podávání mechanizováno. Jejich úkolem je upřesnit polohu pásu (výstřižku) bezprostředně před lisovací operací (před dosednutím střížníku, ve kterém jsou uchyceny) a tuto polohu udržet i během operace. Hledáčky se používají u víceoperačních nástrojů, především u postupových, kde je potřeba zaručit vzájemnou vazbu jednotlivých rozměrů výstřižku.

Střížnice tvoří nejdražší funkční část střížného nástroje a umísťuje se na základovou desku. Střížnice jsou vyráběny s různými geometrickými tvary střížných hran dle velikosti série a požadavků na přesnost. Pro vystřihování malých výstřižků se střední přesností v malosériové výrobě se používají kónické otvory ve střížnici (obr. 26a). Pokud jsou kladeny požadavky na přesnost součásti nebo je obvod součásti komplikovaný, volí se střížnice s fazetkou (obr. 26b). Při stříhání s použitím vyhazovače se používá válcová nebo prizmatická střížnice viz obr. 26c.

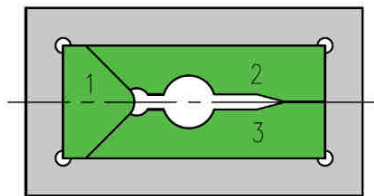


Obr. 26 Geometrie otvorů ve střížnici [30]

Dále se vyrábí v různých provedeních v závislosti na složitosti výstřižku a velikosti střížného nástroje. Střížnice mohou být celistvé, skládané či vložkované.

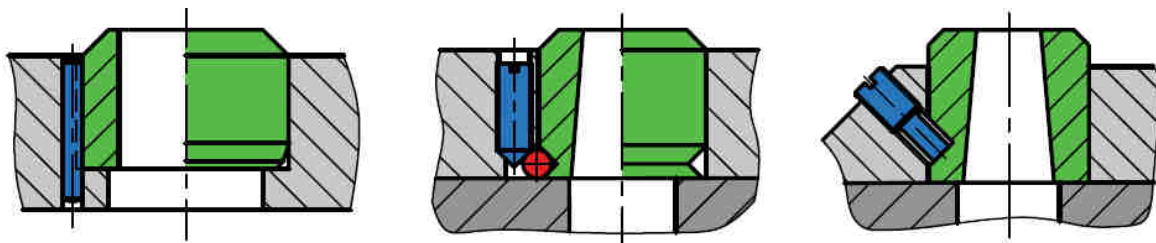
Celistvé střížnice se používají pro vystřihování jednoduchých tvarů a menších rozměrů. Do nevýhod těchto střížnic lze zařadit jejich výrobní nepřesnosti a vady, kterými jsou deformace po kalení a složité opracování nepravidelných tvarů.

Skládané střížnice se naopak používají pro tvarově složité a rozměrově velké výstřižky. Tyto střížnice se skládají z několika menších dílů, tudíž je jejich výroba snadnější a přesnější. Příklad skládané střížnice lze vidět na obr. 27.



Obr. 27 Skládaná střížnice [30]

Vložkované střížnice mají stejné použití i výhody jako skládané a používají se hlavně v sériové a hromadné výrobě z důvodu delší životnosti nástroje a jejich snadné výměny. Poloha vložky musí být zajištěna tak, aby při zpětném pohybu střížníku nedošlo k jejímu vytažení a při stříhání nekruhového tvaru proti pootočení ve střížné skříni. Vložky mohou být zalisované nebo upevněné pomocí upínacího mechanismu. Některé druhy vložek a jejich zajištění lze vidět na obr. 28.

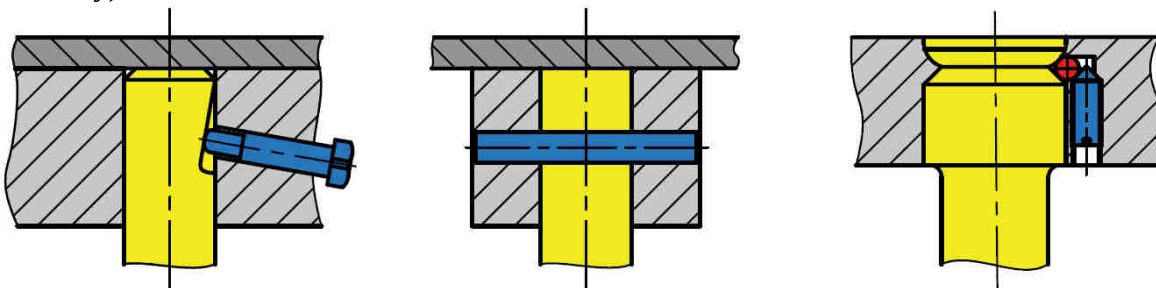


Obr. 28 Zajištění vložek [30]

Střížníky jsou protinástroj střížnice a upevňují se do kotevní desky. K dosažení požadované kvality povrchu střížné plochy, správného průběhu stříhu a dostatečné životnosti musí střížník splňovat předpoklady, kterými jsou zejména: tuhost, kolmost upevnění, odolnost vůči stíracím a bočním silám. Dle technologického použití lze rozdělit střížníky na vystřihovací, ostřihovací, prostřihovací a další. Dále se dělí podle tvaru průřezu a způsobu upínání.

Malé střížníky jsou vyráběny z jednoho kusu nástrojové oceli, kdežto u velkých je nosná část z konstrukční oceli a funkční část z nástrojové oceli, která je přichycena k nosné části šrouby.

Upínání střížníků lze provést několika způsoby a musí zaručit, že nedojde k vytažení střížníku z kotevní desky působením stahovací síly. Střížníky mohou být uchyceny za válcovou nebo kuželovou upínací hlavu. Další způsoby upnutí (pomocí šroubu, kolíku či kuličky) lze vidět na obr. 29.

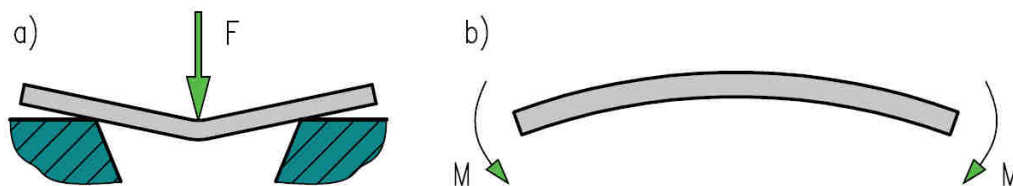


Obr. 29 Způsoby upnutí střížníků v kotevní desce [29]

3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [2], [12], [28]

Ohýbání patří mezi procesy plošného tváření, kde vlivem sil a ohybových momentů dochází k trvalé deformaci polotovaru, kterým může být plech, tyč, trubka či drát. Ohybem je zmenšován poloměr zakřivení až do jeho minimální mezní hodnoty deformace za studena, nebo naopak zvětšován, čímž dochází k rovnání. Ohyby se většinou provádí za studena, pouze v případě větších průřezů materiálů, či tvrdých a křehkých materiálů, se provádí za tepla. Ohýbání jako technologický proces lze rozdělit dle mnoha faktorů:

- Z teoretického hlediska:
 - ohýbání pomocí lokálních sil (obr. 30a),
 - ohýbání vnějšími momenty (obr. 30b).



Obr. 30 Schéma ohybu osamělou silou a momentem [13]

- Dle způsobu pohybu nástroje k ohýbanému polotovaru:
 - ohýbání na lisech, kde je materiál ohýbán v nástroji (ohýbadle),
 - ohýbání na ohraňovacích strojích, kde ohýbací nástroj tvoří razník s matricí,
 - ohýbání na ohýbacích strojích (tzv. ohýbačkách),
 - ohýbání pomocí válců, kde ohýbací nástroj tvoří válce vykonávající rotační pohyb.
- Z hlediska označení v technické praxi:
 - ohyby s malým poloměrem zakřivení při velkém stupni plastického přetvoření se nazývají jako ohyby do úhlu, nebo ohyby o úhel,
 - ohyby s velkým poloměrem zakřivení při relativně malém stupni plastické deformace jsou nazývány jako ohyby do oblouku.

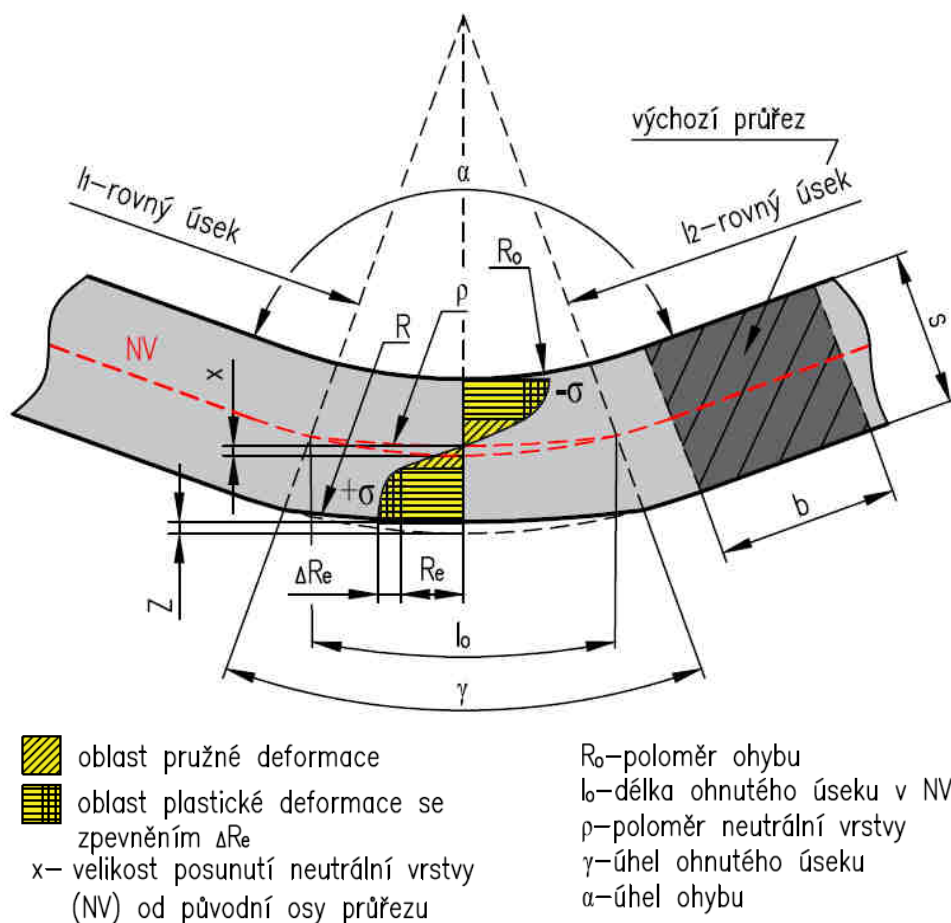
Mezi základní operace ohýbání se řadí jednoduché ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování a další.

3.1 Průběh ohýbání [2], [12], [13], [25]

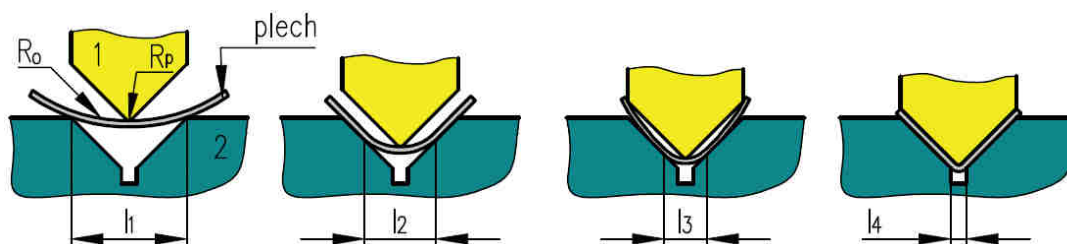
Materiál je při ohýbání pružně-plasticky deformován lokálními silami či momentem vnějších sil. Zatímco na vnitřní straně ohybu vznikají tlaková napětí, kde se materiál v podélném směru stlačuje a v příčném směru rozšiřuje, tak na vnější straně se vlivem tahových napětí v podélném směru roztahuje a v příčném směru zužuje. Napětí v příčném průřezu způsobuje během ohýbání úzkých tyčí deformaci. Při ohýbání širokých pásů plechů je zabráněno vzniku této deformace odporem materiálu. Rozložení napětí a deformace v ohýbaném průřezu je vyznačeno na obr. 31. V místě, kde se mění tlakové napětí na napětí tahové, se nachází vrstva bez napětí, tedy i bez deformace (délka této vrstvy se při ohybu nemění). Tato plocha je nazývána neutrální vrstvou.

Tato neutrální vrstva se při ohýbání s malým poloměrem ohybu přesouvá směrem k vnitřní straně ohybu a je důležitá při určování délky výchozího polotovaru ohýbané součásti.

Na obr. 32 lze vidět všechny fáze ohýbání do tvaru „V“ v nástroji s horní (1) a spodní (2) čelistí. V průběhu celé operace rádius vnitřního povrchu polotovaru R_o nabývá vyšších hodnot nežli rádius zaoblení horní čelisti R_p . Dále se rádius R_o postupně zmenšuje, stejně jako i rameno ohybu ($l_1 \rightarrow l_2 \rightarrow l_3 \rightarrow l_4$).



Obr. 31 Schéma ohýbání [11]



Obr. 32 Průběh ohýbání v nástroji [25]

3.2 Výchozí délka polotovaru [12], [25]

Určování hodnoty výchozí délky polotovaru je založeno na poloze a délce neutrální vrstvy v místě ohybu a také na délkách rovných úseků dané součásti, kde se může tato hodnota odečíst z výkresu, jelikož délka neutrální osy zůstává konstantní.

➤ Poloměr neutrální vrstvy v ohnuté části pro široké pásy ($b > 3 \cdot s$):

$$\rho = R_o + x \cdot s \quad [mm], \quad (3.1)$$

kde: R_o [mm] poloměr ohybu,
 x [-] součinitel posunutí neutrální plochy viz tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty součinitele x [12].

R_o/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Pomocí tohoto poloměru neutrální vrstvy lze určit délku ohnuté části v místě ohybu dle vzorce:

$$L_o = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_o + x \cdot s), \quad (3.2)$$

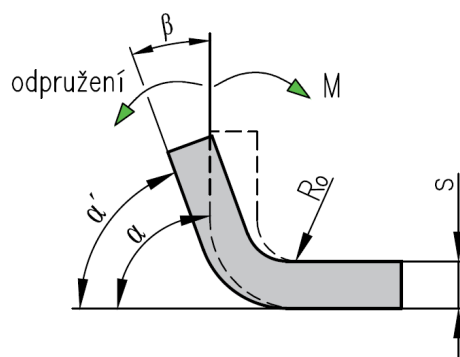
kde: L_o [mm] délka oblouku neutrální vrstvy,
 α [°] úhel ohybu.

Celková výchozí délka polotovaru se určí součtem všech rovných úseků a délek ohnutých částí v místě ohybu.

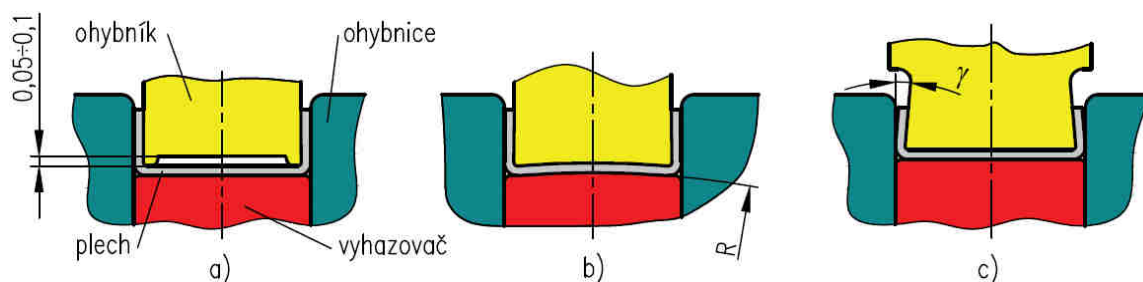
3.3 Odpružení a jeho eliminace [11], [13], [30]

Pružně plastický stav v ohýbaném materiálu způsobuje po odlehčení ohybového momentu odpružení (obr. 33), tj. změnu úhlu ohybu, takže tvar ohnuté součásti se neshoduje s tvarem daného ohýbadla. S odpružením se musí počítat při konstrukci ohýbacího nástroje, tedy musí být zkonstruován tak, aby bylo možné provést ohyb větší o velikost odpružení. Na velikost odpružení mají vliv mechanické vlastnosti materiálu, tloušťka materiálu, úhel a poloměr ohybu.

Zabránit výraznému odpružení po ohybu lze několika způsoby, například při ohybu do tvaru „U“ zpevněním materiálu v rozích kalibrací oblasti ohybu (obr. 34a), zaoblením dolní části ohybníku či vyhazovače (obr. 34b), nebo podbroušením ohybníku (obr. 34c).



Obr. 33 Schéma odpružení po ohybu [14]



Obr. 34 Způsoby odstranění výrazného odpružení po ohybu [13]

Úhel odpružení při ohýbání do tvaru „V“ lze určit dle vztahu:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (3.3)$$

kde: β [°] úhel odpružení,
 l_v [mm] vzdálenost mezi opěrami ohybnice,
 k_o [-] součinitel určující polohu neutrální plochy viz tab. 4,
 R_e [MPa] mez kluzu materiálu,
 E [MPa] modul pružnosti v tahu.

Tab. 4 Určení součinitele k_o [30].

R/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6
k_o	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52

Mezi ohybníkem a ohybnicí se zhotovuje ohybová vůle, která ovlivňuje velikost ohybové síly a ztenčení materiálu v místě ohybu.

Velikost ohybové vůle lze vypočítat ze vztahu:

$$v_o = s_{max} + c_o \cdot s, \quad (3.4)$$

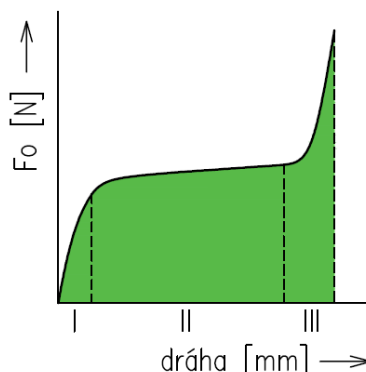
kde: v_o [mm] vůle při ohýbání,
 s_{max} [mm] maximální tloušťka materiálu s tolerancí,
 c_o [-] koeficient vyjadřující vliv tření součástky o pevnou čelist viz tab. 5.

Tab. 5 Hodnota koeficientu c_o [30].

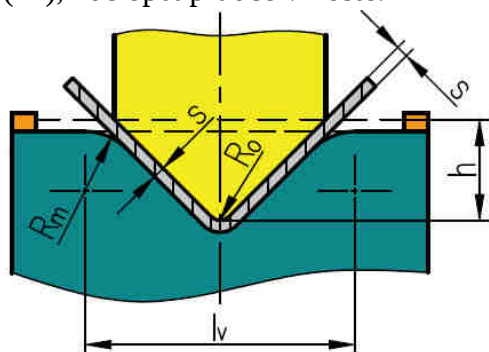
Tloušťka s [mm]	Délka ramene ohybu [mm]				
	10 ÷ 35	35 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 150	150 ÷ 200
0,5 ÷ 2	0,1	0,1	0,15	0,15	0,2
2 ÷ 4	0,08	0,1	0,1	0,1	0,15

3.4 Ohybová síla a práce [24], [25], [30]

Velmi důležitou veličinou v procesu ohýbání je ohybová síla. Na obr. 35 je znázorněn její průběh v závislosti na dráze horní pohyblivé čelisti. V první fázi (v grafu označena I) síla prudce roste v oblasti elastických deformací. Na velikost této oblasti mají vliv mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu. Po překročení meze kluzu se z elastických deformací stanou plastické (II). Tato oblast plastických deformací trvá nejdéle a ohybová síla v ní roste minimálně až do oblasti kalibrování (III), kde opět prudce vzroste.



Obr. 35 Průběh ohybové síly [25]



Obr. 36 Schéma pro ohyb do tvaru „V“ [11]

Sílu potřebnou pro zhotovení ohybu lze určit z ohybového momentu vnějších sil, jenž musí být rovný momentu vnitřních sil. Pokud se jedná o ohyb do tvaru „V“, považujeme ohýbaný polotovár za nosník na dvou podporách, vzdálených od sebe o hodnotu l_v viz obr. 36. Tento nosník zatěžuje osamělá síla nacházející se v jeho středu.

Síla pro ohyb do tvaru „V“ se vypočte dle vztahu:

$$F_o = \frac{b_o \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_o} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right), \quad (3.5)$$

kde: F_o [N] ohybová síla,
 b [mm] šířka ohýbaného pásu.

Tuto sílu lze při vysokých požadavcích na přesnost součásti zvýšit o tzv. kalibrační sílu. Pokud se používá při ohýbání pro zabránění posuvu polotovaru při držovač, tak se celková ohybová síla do tvaru „V“ vypočítá dle vztahu:

$$F_{co} = F_o + F_k + F_p, \quad (3.6)$$

kde: F_{co} [N] celková ohybová síla,
 F_k [N] kalibrační síla, $F_k = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o$,
 F_p [N] přidržovací síla, $F_p = (0,25 \div 0,30) \cdot F_o$.

Sílu pro zakružování (obr. 37) lze určit ze vztahu:

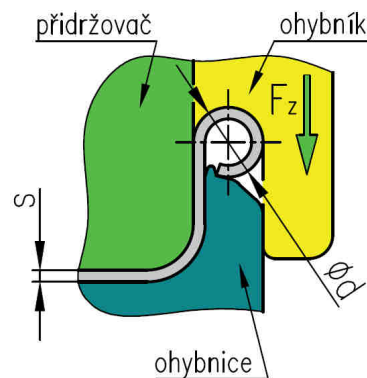
$$F_z = \frac{0,7 \cdot s^2 \cdot b \cdot R_m}{d}, \quad (3.7)$$

kde: F_z [N] zakružovací síla,
 d [mm] vnější průměr zakružované části.

Vypočet ohybové práce:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi, \quad (3.8)$$

kde: A_o [J] ohybová práce,
 h [mm] dráha ohybníku viz obr. 36,
 ψ [-] součinitel plnosti diagramu,
 $\psi = (0,5 \div 0,65)$.



Obr. 37 Schéma zakružování

3.5 Minimální a maximální poloměr ohybu [11], [13], [25]

Pružně plastický ohyb lze vykonávat až do minimálního poloměru ohybu, kde ještě nedojde k porušení vláken na vnější tahové straně. K porušení dochází, pokud tahové napětí překročí hodnotu meze pevnosti v tahu (R_m). Při požadavku na dosažení minimálního rádiusu je třeba, aby ohyb byl zhotoven napříč směru vláken v polotovaru.

Minimální poloměr ohybu lze stanovit dle vztahu:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_p \cdot s, \quad (3.9)$$

kde: R_{min} [mm] minimální poloměr ohybu,
 ε_c [-] mezní prodloužení tj. prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu,
 c_p [-] součinitel dle technologických podkladů, ocel (0,5 až 0,6).

Maximální poloměr ohybu je takový, při němž v krajních vláknech na tahové straně ohýbaného materiálu dojde k trvalé plastické deformaci (ohýbaný pás se nenarovná).

Hodnotu maximálního poloměru ohybu lze vypočítat ze vzorce:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right), \quad (3.10)$$

kde: R_{max} [mm] maximální poloměr ohybu [mm].

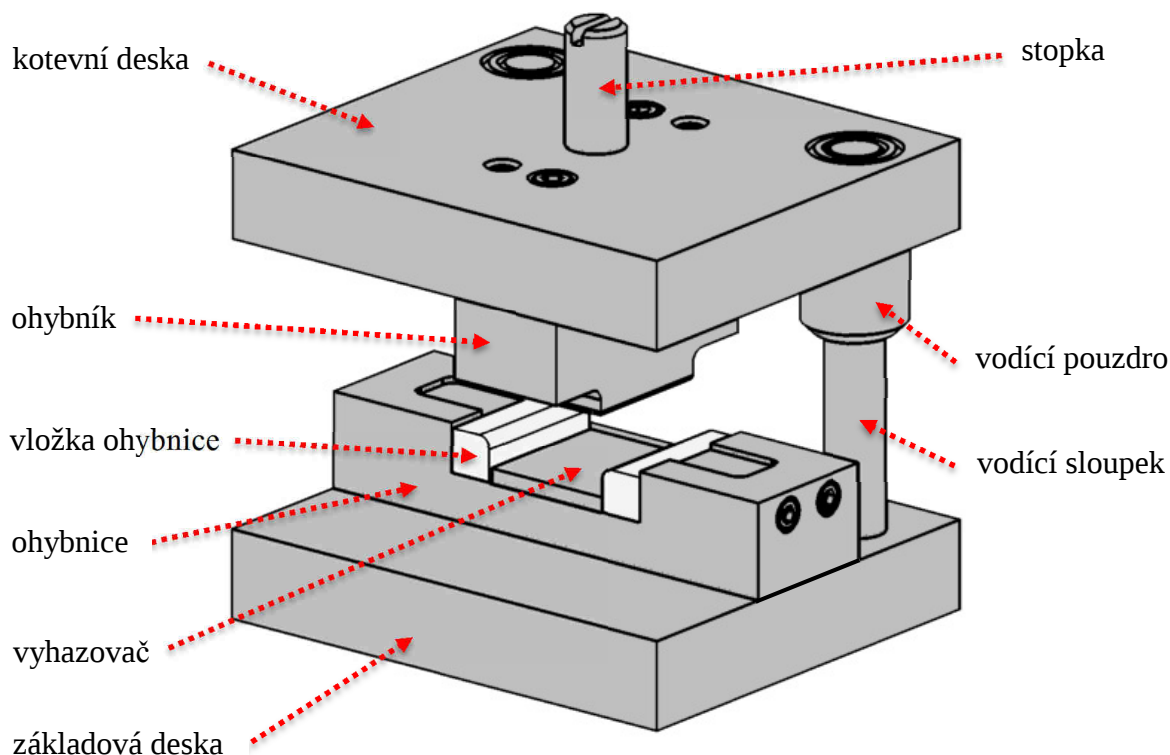
3.6 Ohýbací nástroje [13], [22], [30]

Konstrukce ohýbacích nástrojů závisí na tvaru, délce ohybové čáry a složitosti požadovaných ohybů. Dále jsou konstruovány z hlediska velikosti série, použitého tvářecího stroje a stupně mechanizace. Při menších výrobních sériích jsou používány jednoduchá nebo univerzální ohýbadla, kdežto pro větší série a složitější ohybové tvary jsou používány postupové ohýbací nástroje. Jednou z variant je i sloučení více technologických operací do jednoho nástroje, tedy do sdruženého nástroje. Tyto nástroje mohou být použity pro výstředníkové, klikové nebo ohraňovací lisy.

Nejdůležitějšími částmi nástroje pro ohýbání (obr. 38) jsou ohybník a ohybnice, které se konstruují podle budoucích tvarů výlisků. Ohybník, patřící do horní pohyblivé části, se ukotví nebo přišroubuje ke kotevní desce. Funkční hrany ohybníku se upravují pomocí kalení s následným leštěním. Poloměr ohybníku je stejný jako požadovaný poloměr na výlisku nebo ho lze upravit s ohledem na odpružení.

Tvar pevné ohýbací čelisti neboli ohybnice má vliv na velikost ohybové síly a kvalitu ohýbané součásti. Ohybnice se upíná na základovou desku, která je upnuta na stolní desce lisu a bývá často vložkováná z důvodů úspory nástrojového materiálu. Poloměr zaoblení ohybnice se pohybuje v rozmezí $r_m = (2 \text{ až } 6) \cdot s$ a u tlouštěk plechu větších než 3 mm se sráží ohybové hrany pod úhlem 45° .

Dalšími částmi nástroje jsou vodící sloupky, které zajišťují přesné provedení ohybu. Pro upnutí horní pohyblivé čelisti do beranu tvářecího stroje může být použita stopka. Ke středění či přesnému založení výlisku do ohybnice se používají zakládací dorazy nebo může být v ohybnici vyfrézovaná drážka ve tvaru výlisku.

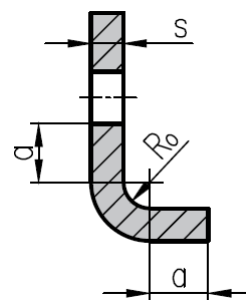


Obr. 38 Ohýbací nástroj [18]

3.7 Technologičnost ohýbaných součástí [22], [25]

Při konstrukci ohýbaných součástí je zapotřebí brát v úvahu tyto technologické zásady:

- ✓ minimální délka ohýbaného ramene $a \geq 2s$ viz obr. 39,
- ✓ minimální vzdálenost okraje otvoru od ohybu $a \geq 2s$ (obr. 39),
- ✓ osu ohybu volit kolmou na směr vláken, a pokud nelze tuto podmínku dodržet, zvětšit minimální poloměr ohybu,
- ✓ ostré ohyby je možné zhotovit pouze dodatečnou kalibrací, zde je nutné počítat se zeslabením plechu v místě ohybu,
- ✓ při ohýbání součásti, jenž má ramena různě dlouhá, musí být zabráněno posuvu materiálu na stranu delšího ramene (např. použitím kolíku v nástroji, na který je nasunut technologický otvor v plechu),
- ✓ u velmi ostrých ohybů se v místě ohybu musí nejprve vytvořit potřebný objem kovu a následně úhel kalibrovat,
- ✓ doporučuje se provést v místě ohybů prolisy, zejména u součástí s velkým poloměrem ohybu, za účelem zvýšení tuhosti,
- ✓ před zakružováním musí být okraj součásti ohnut pod úhlem 70 až 90°.



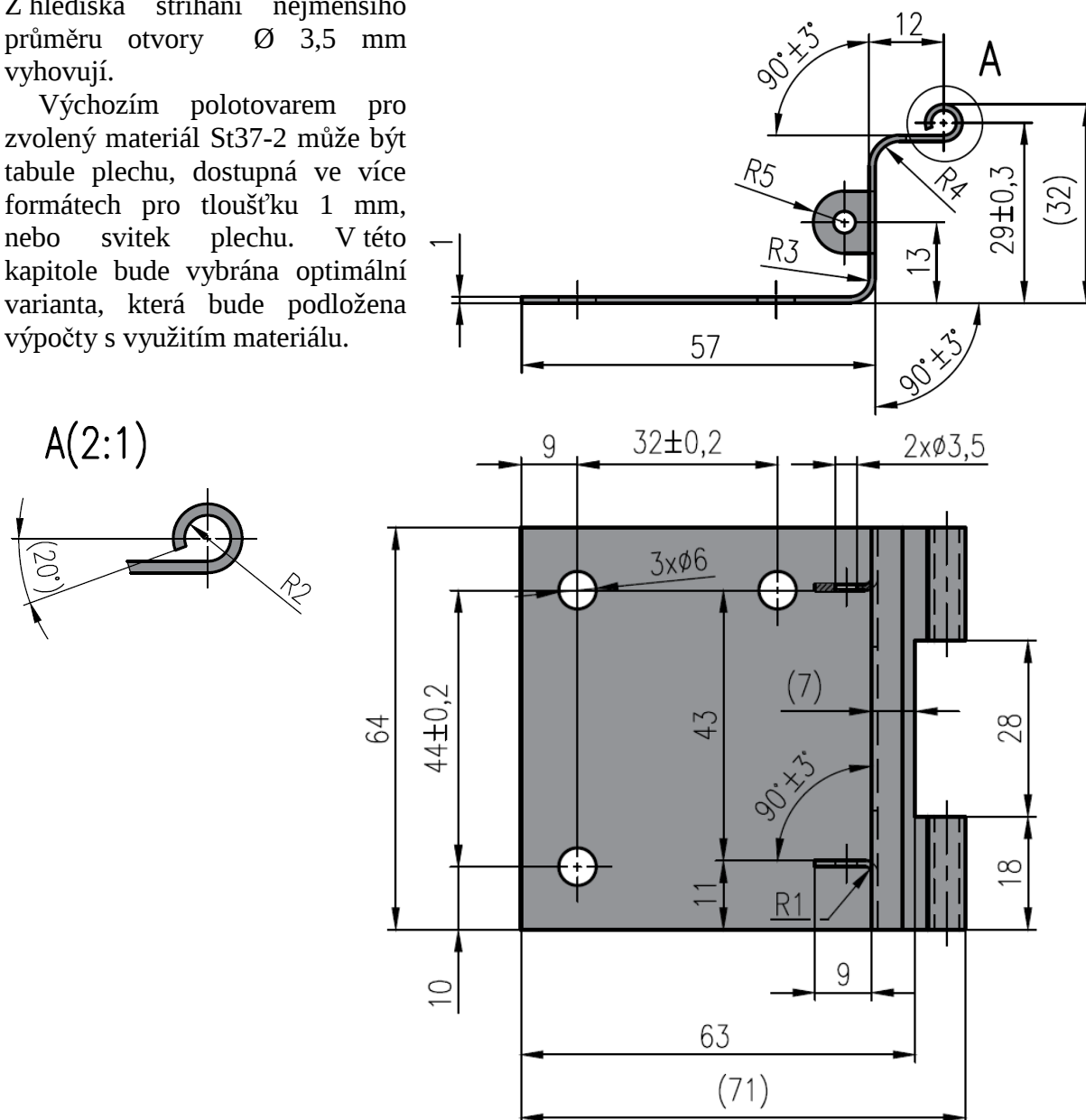
Obr. 39
Technologičnost
ohnuté součásti [25]

4 VÝROBA SOUČÁSTI

Řešenou součástí je závěs (obr. 40), který slouží k fixaci sedadla u motocyklu. Jedná se o součást zhotovenou z ocelového plechu tloušťky 1 mm s rozměry 71x64x32 mm. Zvolen byl materiál St37-2 a také technologie výroby, a to výroba ve sdruženém postupovém nástroji, kde se nejdříve vystřihne rozvinutý tvar součásti a potom se ohne do požadovaného tvaru. Výroba v tomto nástroji byla zvolena s ohledem na možnost zhotovit součást v jednom nástroji, čímž jsou vyloučeny manipulační časy mezi jednotlivými pracovišti a tím jsou sníženy náklady na výrobu. Nakonec bude povrch součásti upraven pomocí technologie katarforézního lakování. Velikost výrobní série činí 50 000 ks za rok.

Tvar součásti splňuje všechny zásady technologičnosti konstrukce vylisku. Součást nemá předepsané žádné přesnější rozměry, dále vyhovuje z hlediska minimální vzdálenosti stříhaných otvorů mezi sebou a také minimální vzdálenosti otvorů od okraje součásti. Z hlediska stříhání nejmenšího průměru otvory $\varnothing 3,5$ mm vyhovují.

Výchozím polotovarem pro zvolený materiál St37-2 může být tabule plechu, dostupná ve více formátech pro tloušťku 1 mm, nebo svitek plechu. V této kapitole bude vybrána optimální varianta, která bude podložena výpočty s využitím materiálu.



Obr. 40 Tolerance a rozměry závěsu

4.1 Stanovení rozvinutého tvaru závěsu

Rozvinutá délka polotovaru pro tento závěs se skládá z několika úseků, konkrétně ze tří rovných a tří zaoblených viz obr. 40. Výpočet délek zaoblených částí se provede dle kap. 3.2 vztahu 3.2 a součinitel posunutí neutrální osy se určí dle tab. 3. Tímto výpočtem získáme rozměr rozvinutého tvaru, který bude následně použit pro optimální orientaci součástky na pásu plechu či svitku s největším využitím materiálu.

- Výpočet délky oblouku L_{o1} (obr. 41)

$$\frac{R_1}{s} = \frac{2}{1} = 2 \Rightarrow x_1 = 0,445$$

$$L_{o1} = \frac{\pi \cdot \alpha_1}{180} \cdot (R_1 + x_1 \cdot s)$$

$$L_{o1} = \frac{\pi \cdot 290}{180} \cdot (2 + 0,445 \cdot 1) = 12,38 \text{ mm}$$

- Výpočet délky oblouku L_{o3} (obr. 42)

$$\frac{R_3}{s} = \frac{4}{1} = 4 \Rightarrow x_3 = 0,475$$

$$L_{o3} = \frac{\pi \cdot \alpha_3}{180} \cdot (R_3 + x_3 \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (4 + 0,475 \cdot 1)$$

$$L_{o3} = 7,03 \text{ mm}$$

- Výpočet délky oblouku L_{o5} (obr. 43)

$$\frac{R_5}{s} = \frac{3}{1} = 3 \Rightarrow x_5 = 0,47$$

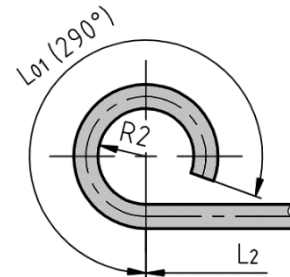
$$L_{o5} = \frac{\pi \cdot \alpha_5}{180} \cdot (R_5 + x_5 \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,47 \cdot 1)$$

$$L_{o5} = 5,45 \text{ mm}$$

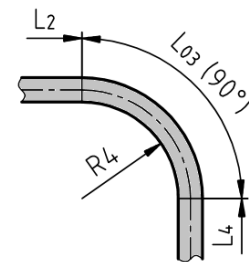
- Celková rozvinutá délka polotovaru (obr. 44)

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_i + \sum_{j=1}^k L_{oj} = L_2 + L_4 + L_6 + L_{o1} + L_{o3} + L_{o5}$$

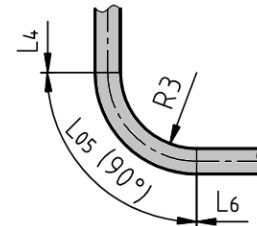
$$L_c = 7 + 18 + 53 + 12,38 + 7,03 + 5,45 = 102,86 \text{ mm}$$



Obr. 41 Schéma pro oblouk L_{o1}

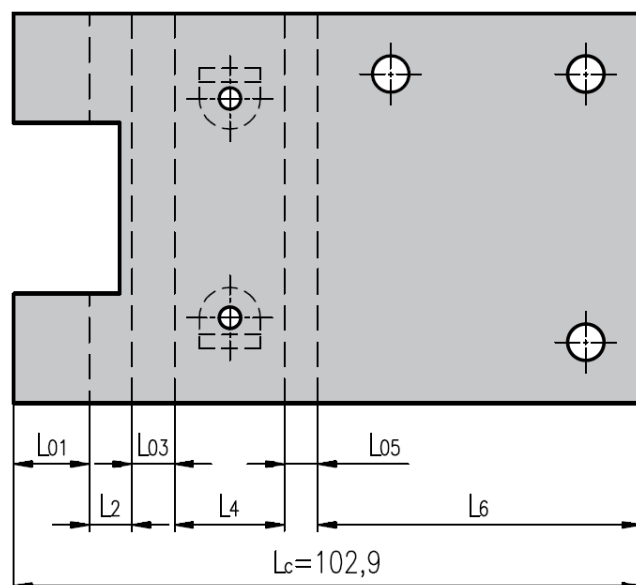


Obr. 42 Schéma pro oblouk L_{o3}



Obr. 43 Schéma pro oblouk L_{o5}

Vzhledem k požadované přesnosti součásti je zvolena celková délka v rozvinutém tvaru $L_c = 102,9 \text{ mm}$. Rozměr polotovaru před ohybem je tedy $102,9 \times 64 \text{ mm}$.

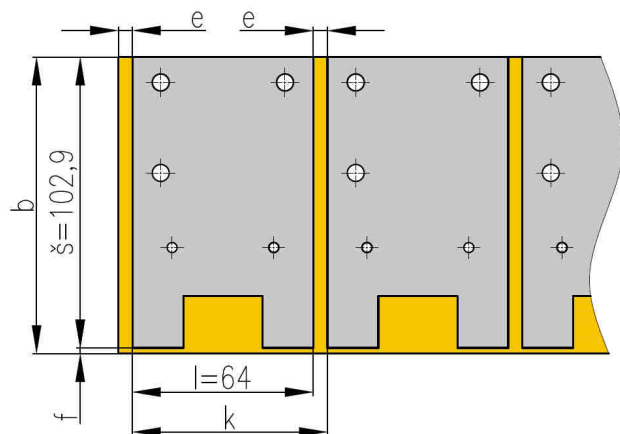


Obr. 44 Rozvinutá délka součásti

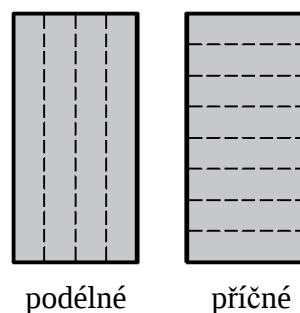
4.2 Nástřihový plán a volba polotovaru

Z hlediska vyrobiteľnosti závěsu, který má obdélníkový tvar při svém rozvinutí, lze uvažovat pouze jedinou variantu (obr. 45) nástřihového plánu. U této varianty bude součást v rozvinutém tvaru orientována kolmo na směr posuvu pásu do nástroje. Nástřihový plán bude s můstkem a postranním odpadem z důvodu toho, aby mohl být rozvin ohnut do požadovaného tvaru.

Jako polotovar pro výrobu závěsu bude nejprve uvažováno použití tabule plechu, která by se nástřihala na pruhy v podélném nebo příčném směru, viz obr. 46. Pro oba tyto způsoby budou provedeny výpočty dle vzorce (2.5) pro dostupné formáty tabulí tloušťky 1 mm (1000x2000 mm, 1250x2500 mm, 1500x3000 mm). Podrobné výpočty budou provedeny pro tabuli plechu s rozměry $s = 1$ mm, $b_t = 1000$ mm, $l_t = 2000$ mm.



Obr. 45 Umístění výstřižku



Obr. 46 Dělení tabule

Šířka můstku zvolena $e = 5$ mm a šířka okraje pro nástřih $f = 2,1$ mm. Ostatní parametry lze vypočítat:

- Délka kroku

$$k = l + e = 64 + 5 = 69 \text{ mm} \quad (4.1)$$

- Šířka pruhu plechu

$$b = \check{s} + f = 102,9 + 2,1 = 105 \text{ mm} \quad (4.2)$$

- Počet pásů z tabule

$$n_p = \frac{b_t}{b} = \frac{1000}{105} = 9,52 \text{ ks} \quad (4.3)$$

Počet pásů z tabule $n_p = 9$ ks.

- Počet výstřižků z pásu

$$n_{vp} = \frac{l_t}{k} = \frac{2000}{69} = 28,98 \text{ ks} \quad (4.4)$$

Počet výstřižků z pásu je $n_{vp} = 28$ ks.

- Počet výstřižků z jedné tabule

$$n_{vt} = n_p \cdot n_{vp} = 9 \cdot 28 = 252 \text{ ks} \quad (4.5)$$

Celkový počet výstřižků pro formát tabule 1x1000x2000 mm je 252 kusů.

- Počet tabulí pro danou sérii kusů

$$n_t = \frac{N}{n_{vt}} = \frac{50\,000}{252} = 198,41 \text{ ks} \quad (4.6)$$

Počet tabulí potřebných ke zhotovení série je $n_t = 199$ ks.

- Plocha tabule plechu

$$S_t = b_t \cdot l_t = 1000 \cdot 2000 = 2\,000\,000 \text{ mm}^2 \quad (4.7)$$

- Plocha výstřižku v rozvinutém tvaru (bez konstrukčních otvorů), viz obr. 47

$$S_v = S_1 - S_2 = 64 \cdot 102,9 - 28 \cdot 17,3 \quad (4.8)$$

$$S_v = 6101,2 \text{ mm}^2$$

- Využití tabule plechu dle kap. 2.4 vztah (2.5)

$$\eta_t = \frac{n_{vt} \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{252 \cdot 6101,2}{2\,000\,000} \cdot 100$$

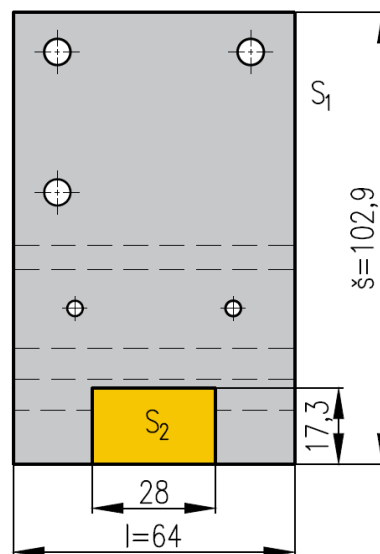
$$\eta_t = 76,9 \%$$

- Využití všech tabulí plechu, odvozeno z (2.5)

$$\eta_{ct} = \frac{N \cdot S_v}{S_p \cdot n_t} \cdot 100 = \frac{50000 \cdot 6101,2}{2\,000\,000 \cdot 199} \cdot 100 \quad (4.9)$$

$$\eta_{ct} = 76,6 \%$$

Výsledky výpočtů pro ostatní formáty tabulí jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 47 Obsah výstřižku

Tab. 6 Využití dostupných formátů tabulí plechu.

Rozměr tabule [mm]	1x1000x2000		1x1250x2500		1x1500x3000	
Dělení tabule	Podélné	Příčné	Podélné	Příčné	Podélné	Příčné
Počet pásů z tabule n_p [ks]	9	19	11	23	14	28
Počet výstřižků z pásu n_{vp} [ks]	28	14	36	18	43	21
Počet výstřižků z tabule n_{vt} [ks]	252	266	396	414	602	588
Plocha tabule S_t [m2]	2	2	3,125	3,125	4,5	4,5
Plocha výstřižku S_v [mm2]	6101,2	6101,2	6101,2	6101,2	6101,2	6101,2
Počet tabulí pro sérii n_t [ks]	199	188	127	121	84	86
Využití tabule η_t [%]	76,9	81,1	77,3	80,8	81,6	79,7
Využití všech tabulí η_{ct} [%]	76,6	81,1	76,9	80,7	80,7	78,8

Jako druhou variantu lze uvažovat svitek plechu (obr. 48) tloušťky $s = 1$ mm, který bude objednan již nařezaný na šířku $b = 105$ mm. Ostatní rozměry svitku jsou: vnitřní průměr $d_{sv} = 600$ mm a vnější průměr může být $D_{sv} = 1000$ až 1800 mm. Vzorový výpočet bude proveden pro vnější průměr 1000 mm a bude počítáno s hustotou oceli $\rho_{ocel} = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-2}$.

- Hmotnost svitku

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot b \cdot \rho_{ocel} \quad (4.10)$$

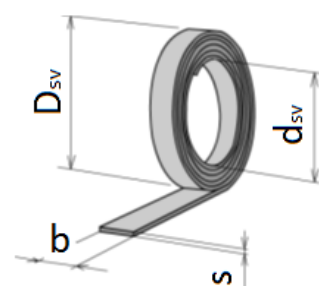
$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (1000^2 - 600^2)}{4} \cdot 105 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 414,31 \text{ kg}$$

- Délka svitku

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{b \cdot s \cdot \rho_{ocel}} = \frac{414,31}{105 \cdot 1 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 502\,654,82 \text{ mm} \quad (4.11)$$

- Plocha svitku

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 502\,654,82 \cdot 105 = 52\,778\,756,59 \text{ mm}^2 \quad (4.12)$$



Obr. 48 Svitek [8]

- Plocha výstřižku bez konstrukčních otvorů v rozvinutém tvaru viz (4.8)

$$S_v = 6101,2 \text{ mm}^2$$

- Počet výstřižků z jednoho svitku

$$n_{vsv} = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{502\,654,82}{69} = 7\,284,85 \text{ ks} = 7\,284 \text{ ks} \quad (4.13)$$

- Počet svitků pro danou sérii kusů

$$n_{sv} = \frac{N}{k} = \frac{50000}{7284} = 6,86 = 7 \text{ ks} \quad (4.14)$$

- Využití svitku, dle kap. 2.4 vztah (2.6)

$$\eta_{sv} = \frac{n_{sv} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{7284 \cdot 6\,101,2}{52\,778\,756,59} \cdot 100 = 84,2 \%$$

- Využití všech svitků, odvozeno z (2.6)

$$\eta_{csv} = \frac{N \cdot S_v}{S_{sv} \cdot n_{sv}} \cdot 100 = \frac{50\,000 \cdot 6\,101,2}{52\,778\,756,59 \cdot 7} \cdot 100 = 82,6 \% \quad (4.15)$$

Výsledky výpočtů pro ostatní vnější průměry svitku jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Využití svitku plechu v závislosti na jeho rozměru.

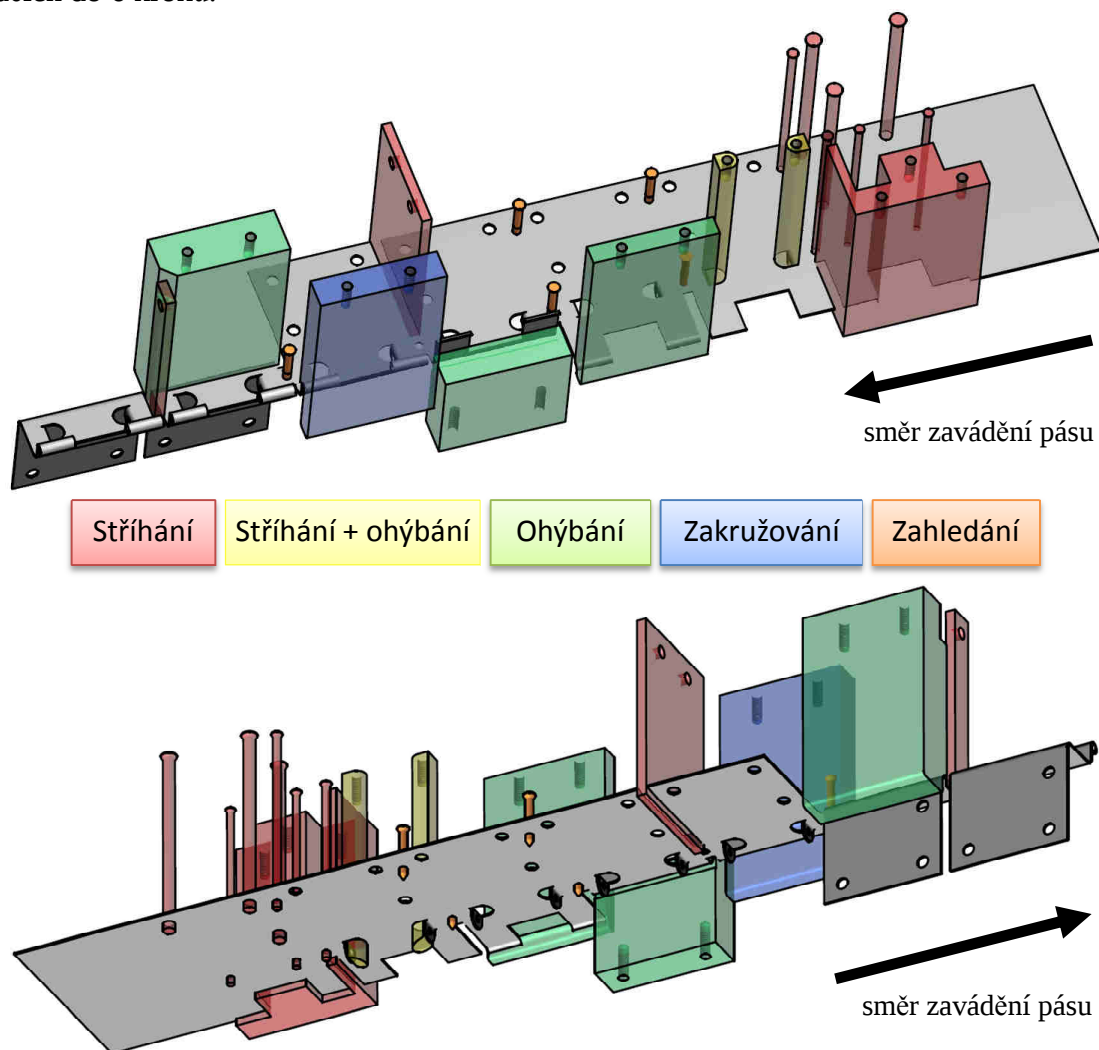
Vnější průměr D_{sv} [mm]	1000	1250	1500	1800
Vnitřní průměr d_{sv} [mm]	600	600	600	600
Hmotnost svitku m_{sv} [kg]	414,31	778,46	1 223,52	1 864,41
Délka svitku L_{sv} [m]	502,7	944,44	1 484,40	2 261,95
Plocha svitku S_{sv} [m ²]	52,78	99,17	155,86	237,50
Plocha výstřižku S_v [mm ²]	6101,2	6101,2	6101,2	6101,2
Počet kusů ze svitku n_{vsv} [ks]	7 284	13 687	21 513	32 781
Počet svitků pro sérii n_{sv} [ks]	7	4	3	2
Využití svitku η_{sv} [%]	84,2	84,2	84,2	84,2
Využití všech svitků η_{csv} [%]	82,6	76,9	65,2	64,2

Pro dostupné formáty tabulí viz tab. 6, které by se nastříhali v podélném či příčném směru, bylo vypočteno jejich celkové využití pro sérii o velikosti 50 000 kusů. Nejvyššího využití všech tabulí $\eta_{ct} = 81,1 \%$ by bylo dosaženo volbou formátu 1 x 1000 x 2000 při příčném dělení pruhů. Jak lze vidět v tab. 7, nejvyššího využití materiálu dosáhl svitek s vnějším průměrem $D_{sv} = 1000 \text{ mm}$ a to $\eta_{csv} = 82,6 \%$. Procentuální rozdíl mezi oběma zmiňovanými variantami činí 1,5 %, což není velký rozdíl.

Při konečném rozhodování volby polotovaru je poukázáno na vysoký počet kusů tabulí, což zvyšuje manipulační časy. Dále se celá výroba prodlužuje o potřebu nastříhat tabule na pruhy a také o nutnost ručního zavádění pruhů do nástroje. Z těchto důvodů je zvolen jako výchozí polotovar svitek plechu o rozměrech $D_{sv} \times d_{sv} \times b \times s = 1000 \times 600 \times 105 \times 1 \text{ mm}$, který bude zaváděn do nástroje pomocí rovnic a podávací linky.

4.3 Postup výroby v nástroji

Kompletní výroba zadané součásti bude provedena ve sdruženém nástroji a výchozím polotovarem bude tedy zvolený svitek plechu. Navržený postup lze vidět na obr. 49 a je rozdělen do 6 kroků.



Obr. 49 Postup výroby součásti

Krok 1 – před zdvihem bude polotovár zaveden a doražen na načínací doraz pomocí mechanického podavače. Následuje vystřížení pěti konstrukčních otvorů (tři otvory Ø 6 mm, dva otvory Ø 3,5 mm) a dvou technologických otvorů Ø 4 mm pro hledáčky. Dále zde bude proveden tvarovým střížníkem nástřih rozvinuté délky a přepážky v přední části.

Krok 2 – nejdříve proběhne zahledání dvěma hledáčky a poté budou prostříhnuty a ohnuty oba úchyty pomocí střížníků se zkosenou hranou.

Krok 3 – opět jako první proběhne zahledání dvěma hledáčky, následuje ohyb směrem dolů v přední části rozvinutého tvaru.

Krok 4 – ohnutí v přední části směrem nahoru o 90° a nastřížení přepážky střížníkem o rozměrech 5x62 mm.

Krok 5 – zahledání jedním hledáčkem a následné zakružení.

Krok 6 – dokončen požadovaný tvar součásti posledním ohybem a ustřížen zbytek přepážky střížníkem 5x14 mm, dále půjde dílec na skluz.

4.4 Výpočty pro střížnou část nástroje

Výpočty budou provedeny pro zvolený materiál (kapitola 1), tedy St37-2 (S235JR) se vstupními parametry: $R_m = 510 \text{ MPa}$, $s = 1 \text{ mm}$, koeficient otupení nástroje $k = 1,3$. Nejdříve bude spočítána střížná vůle a poté střížné síly pro jednotlivé střížníky dle kap. 2.3 vzorec (2.3).

- Napětí ve stříhu

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 510 = 408 \text{ MPa} \quad (4.16)$$

- Střížná vůle pro tloušťku plechu $s \leq 3$ dle kap. 2.2 a vztahu (2.1)

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot \sqrt{408} = 0,13 \text{ mm}$$

- Střížná síla pro tvarový střížník v prvním kroku

$$F_{s1} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s1} \cdot s = 1,3 \cdot 408 \cdot 168,6 \cdot 1 = 89\,425,4 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížník Ø 6 mm

$$F_{s2} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s2} \cdot s = 1,3 \cdot 408 \cdot (\pi \cdot 6) \cdot 1 = 9\,997,8 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížník Ø 4 mm

$$F_{s3} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s3} \cdot s = 1,3 \cdot 408 \cdot (\pi \cdot 4) \cdot 1 = 6\,665,2 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížník Ø 3,5 mm

$$F_{s4} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s4} \cdot s = 1,3 \cdot 408 \cdot (\pi \cdot 3,5) \cdot 1 = 5\,832,1 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížník se zkosenou hranou (obr. 50), kde nebude uvažováno zaoblení

$$F_{s5} = k_{ot} \cdot s^2 \frac{\tau_s}{\tan \kappa} [\text{N}] \quad (4.17)$$

$$F_{s5} = 1,3 \cdot 1^2 \frac{408}{\tan 20^\circ} = 1457,3 \text{ N},$$

kde: κ [°] úhel sklonu střížné hrany.

- Střížná síla pro střížník 5x62 mm

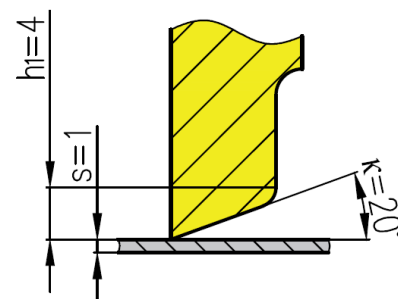
$$F_{s6} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s6} \cdot s$$

$$F_{s6} = 1,3 \cdot 408 \cdot (5 + 2 \cdot 61) \cdot 1 = 67\,360,8 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížník 5x14 mm

$$F_{s7} = k_{ot} \cdot \tau_s \cdot l_{s7} \cdot s$$

$$F_{s7} = 1,3 \cdot 408 \cdot (2 \cdot 12) \cdot 1 = 12\,729,6 \text{ N}$$



Obr. 50 Střížník se zkosenou hranou

Hodnotu celkové střížné síly lze poté vypočítat ze součtu jednotlivých sil rovných střížníků a střížníků se zkosenou hranou. Nástroj bude obsahovat: jeden tvarový střížník (v kroku 1), tři střížníky Ø 6 mm, dva střížníky Ø 4 mm, dva střížníky Ø 3,5 mm, dva prostřihovací střížníky se zkosenou hranou, jeden střížník o rozměrech 5x61 mm a jeden střížník 5x12 mm. Následně bude spočítána střížná práce taktéž pro rovné a šikmé střížníky zvlášť a nakonec celková střížná práce. Celkovou střížnou sílu lze následně využít při výpočtu střížné práce, kde volím dle diagramu (obr. 20) součinitel plnosti $\lambda = 0,6$.

- Střížná síla pro rovné střížníky

$$F_{sr} = F_{s1} + 3 \cdot F_{s2} + 2 \cdot (F_{s3} + F_{s4}) + F_{s6} + F_{s7}$$

$$F_{sr} = 89\,425,4 + 3 \cdot 9\,997,8 + 2 \cdot (6\,665,2 + 5\,832,1) + 67\,360,8 + 12\,729,6$$

$$F_{sr} = 224\,503,8 \text{ N}$$

- Střížná síla pro střížníky se zkosenou hranou

$$F_{sz} = 2 \cdot F_{s5} = 2 \cdot 1457,3 = 2914,6 \text{ N}$$

➤ Celková střížná síla

$$F_S = F_{Sr} + F_{Sz} = 224\,503,8 + 2914,6 = 227\,418,4 \text{ N} = 227,4 \text{ kN}$$

➤ Stírací síla (volím $k_{st} = 0,08$)

$$F_{st} = F_S \cdot k_{st} = 227\,418,4 \cdot 0,08 = 18\,193,5 \text{ N} = 18,2 \text{ kN} \quad (4.18)$$

kde: k_{st} [-] koeficient pro výpočet stírací síly (pro $s = 1$ až 5 mm $k_{st} = 0,06$ až $0,12$).

Pro stírání volím tlačnou pružinu s označením R 40 – 076 viz příloha 1. Pružina má tuhost $k_{pr} = 219 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ a při zdvihu bude stlačena celkem o $h_z = 14 \text{ mm}$. Pomocí těchto hodnot lze vypočítat sílu pro jednu pružinu:

$$F_{pr} = k_{pr} \cdot h_z = 219 \cdot 14 = 3\,066 \text{ N} \quad (4.19)$$

Počet pružin pro stírání:

$$n_{pr} = \frac{F_{st}}{F_{pr}} = \frac{18\,193,5}{3\,066} = 5,93 \text{ ks} \quad (4.20)$$

Z výpočtu plyne, že pro stírání bude zapotřebí 6 pružin a skutečná stírací síla bude:

$$F_{sts} = F_{pr} \cdot n_{pr} = 3\,066 \cdot 6 = 18\,396 \text{ N} \quad (4.21)$$

➤ Práce pružin ke stírání

$$A_{st} = n_{pr} \cdot \left(\frac{1 \cdot k_{pr} \cdot h_z^2}{2 \cdot 1000} \right) = 6 \cdot \left(\frac{1 \cdot 219 \cdot 14^2}{2 \cdot 1000} \right) = 128,8 \text{ J} \quad (4.22)$$

➤ Střížná práce pro rovné střížníky dle kap. 2.3 vztah (2.4)

$$A_{sr} = \frac{\lambda \cdot F_{Sr} \cdot s}{1000} = \frac{0,6 \cdot 224\,503,8 \cdot 1}{1000} = 134,7 \text{ J}$$

➤ Střížná práce pro střížníky se zkosenou hranou

$$A_{sz} = \frac{\lambda \cdot F_{Sz} \cdot h_1}{1000} = \frac{0,6 \cdot 2914,6 \cdot 4}{1000} = 7,0 \text{ J}, \quad (4.23)$$

kde: h_1 [mm] zdvih.

➤ Celková práce v procesu stříhání

$$A_S = A_{st} + A_{sr} + A_{sz} = 128,8 + 134,7 + 7,0 = 270,5 \text{ J}$$

Dále je zapotřebí provést kontrolu střížníku na otlacení, pomocí které se zjistí, zda hrozí nebezpečí vtlačování střížníku do upínací desky. Napětí, jenž vzniká na dosedací ploše střížníku, nesmí překročit dovolené napětí $\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$. Pokud dojde k překročení dovoleného napětí, musí být pozměněna konstrukce nástroje a to tak, že bude mezi kotevní a upínací desku vložena kalená opěrná deska, která zabráni vtlačování střížníku do opěrné desky.

➤ Obsah dosedací plochy střížníku Ø 3,5 mm (upínací část střížníku o Ø 5 mm)

$$S_s = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 19,63 \text{ mm}^2$$

➤ Napětí na dosedací ploše nejmenšího střížníku

$$\sigma_s = \frac{F_{s4}}{S_{s4}} \leq \sigma_{dov} \quad (4.24)$$

$$\sigma_s = \frac{5\,832,1}{19,63} = 297,1 \text{ MPa}$$

Dle vypočtených hodnot je zřejmé, že napětí na dosedací ploše střížníku dosahuje vyšší hodnoty než je dovolené napětí ($\sigma_s = 297,1 \text{ MPa} > \sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$) a proto bude muset být při konstrukci nástroje použita kalená opěrná deska.

Další nezbytnou kontrolou je kontrola střižníku na vzpěr, která se provádí zejména u dlouhých střižníků s malým průměrem. Navrhnutá délka střižníku nesmí být delší než vypočtená tzv. kritická délka, neboť by docházelo k jeho deformacím či zlomení. K výpočtu lze použít vzorec pro vedený střižník, kde se uvažuje střižník za vetknutý na obou koncích. Nejdříve je zapotřebí stanovit moment setrvačnosti nejmenšího střižníku, kde volím koeficient bezpečnosti $n = 1,75$.

- Kvadratický moment setrvačnosti nejmenšího střižníku $\varnothing 3,5$ mm

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3,5^4}{64} = 7,4 \text{ mm}^4, \quad (4.25)$$

kde: I [mm^4] kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu.

- Kritická délka nejmenšího střižníku $\varnothing 3,5$ mm

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d_s \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 7,4}{1,75 \cdot 3,5 \cdot 1 \cdot 408}} = 156,7 \text{ mm}, \quad (4.26)$$

kde: l_{krit} [mm] kritická délka střižníku,

E [MPa] modul pružnosti v tahu (pro ocel: $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa),

n [-] koeficient bezpečnosti $n = (1,5 \div 2)$,

d_s [mm] průměr kontrolovaného střižníku.

Kontrolou nejmenšího střižníku $\varnothing 3,5$ mm bylo zjištěno, že kritická délka střižníku z hlediska vzpěru je 156,7 mm.

Nakonec je zapotřebí provést výpočty funkčních rozměrů střižníků a otvorů ve střižnici. Nejdříve je nutné určit hodnotu tolerancí u netolerovaných rozměrů na výlisku. To lze provést dle normy ČSN ISO 2768-1, která obsahuje všeobecné tolerance délkových a úhlových rozměrů. Zde budu vycházet ze střední třídy přesnosti označovanou písmenem m. Hodnoty mezních úchylek této třídy lze vidět v tab. 8.

Tab. 8 Nepředepsané mezní úchytky [36].

Základní rozsah rozměrů [mm]	Mezní úchylka [mm]
3 až 6	$\pm 0,1$
6 až 30	$\pm 0,2$
30 až 120	$\pm 0,3$
120 až 400	$\pm 0,5$

Dle normy ČSN 22 6015 bude proveden přepočet na funkční rozměry podle vzorců pro výpočet základních rozměrů střižníků a otvorů ve střižnici při děrování (příloha 2), kde základní částí je střižník. Jeho rozměry budou voleny dle tolerancí výstřižku a rozměr otvoru ve střižnici bude navýšen o hodnotu střižné vůle. V těchto výpočtech se počítá i s přípustnou mírou opotřebení a výrobními tolerancemi střižníků a otvorů ve střižnici, tyto hodnoty jsou v příloze 3. Vzorový výpočet funkčních rozměrů bude proveden pro otvor $\varnothing 3,5$ mm.

- Funkční rozměry střižníku $\varnothing 3,5$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) - TA = \left(3,5 + \frac{0,160}{2} \right) - 0,035 = 3,58_{-0,035}^0 \text{ mm}, \quad (4.27)$$

kde: RAD [mm] rozměr střižníku při děrování,

JR [mm] jmenovitý rozměr otvoru,

P [mm] přípustná míra opotřebení,

TA [mm] výrobní tolerance střižníku.

➤ Funkční rozměry střížnice s otvorem Ø 3,5 mm

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE = \left(3,5 + \frac{0,160}{2} + 0,13 \right) + 0,054 \quad (4.28)$$

$$RED = 3,71^{+0,054}_0 \text{ mm},$$

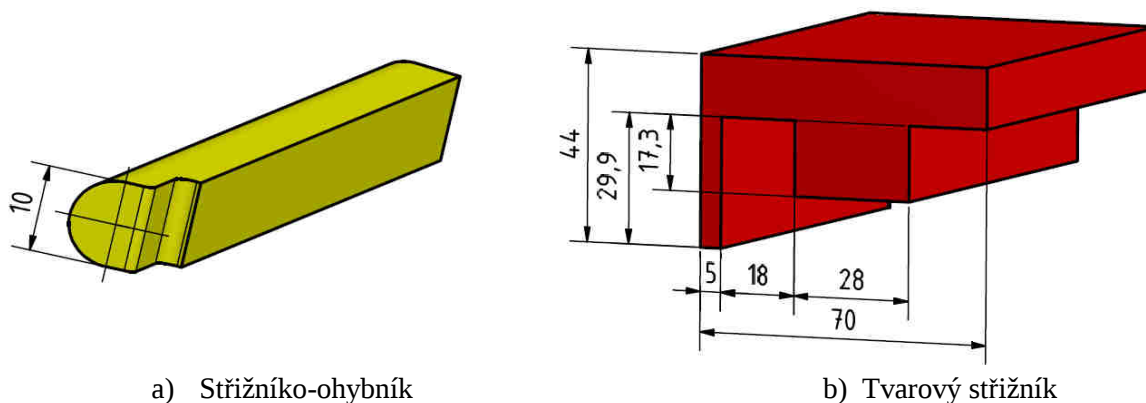
kde: RED [mm] rozměr střížnice při děrování,

TE [mm] výrobní tolerance střížnice.

Funkční rozměry všech střížníků a otvorů ve střížnici jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Funkční rozměry střížníků a střížnic [mm].

Stříhaný otvor	Funkční rozměr střížníku	Funkční rozměr střížnice
Ø 3,5	$3,58^{+0}_{-0,035}$	$3,71^{+0,054}_0$
Ø 4	$4,08^{+0}_{-0,035}$	$4,21^{+0,054}_0$
Ø 6	$6,155^{+0}_{-0,074}$	$6,285^{+0,12}_0$
Otvor pro střížníko- ohybník (obr. 51a)	$10,155^{+0}_{-0,074}$	$10,285^{+0,12}_0$
5 x 14	$5,115^{+0}_{-0,056} \times 14,155^{+0}_{-0,054}$	$5,245^{+0,089}_0 \times 14,285^{+0,12}_0$
5 x 62	$5,115^{+0}_{-0,056} \times 62,155^{+0}_{-0,054}$	$5,245^{+0,089}_0 \times 62,285^{+0,12}_0$
Otvor pro tvarový střížník (obr. 51b)	$5,115^{+0}_{-0,056}$	$5,245^{+0,089}_0$
	$17,3 \pm 0,074$	$17,3 \pm 0,120$
	$18,155^{+0}_{-0,074}$	$18,285^{+0,12}_0$
	$28,155^{+0}_{-0,074}$	$28,285^{+0,12}_0$
	$29,9 \pm 0,074$	$29,9 \pm 0,120$
	$44,23^{+0}_{-0,120}$	$44,36^{+0,19}_0$
	$70,23^{+0}_{-0,120}$	$70,36^{+0,19}_0$



a) Střížníko-ohybník

b) Tvarový střížník

Obr. 51 Jmenovité rozměry střížníků

4.5 Výpočty pro ohybovou část nástroje

V této části bude určena velikost ohybové vůle ze vztahu (3.4), pro jejíž výpočet bude zvolen koeficient $c_0 = 0,1$ dle tab. 5. Dále zde bude určeno rameno ohybu pro všechny ohyby a také odpružení ze vztahu (3.3). Zaoblení funkční části ohybníku je zvoleno $R_p = 2$ mm a zaoblení funkční části ohybových vložek R_m závisí na požadovaném vnitřním rádiu jednotlivých ohybů. Vstupními hodnotami jsou: $R_e = 235$ MPa a $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

➤ Výpočet ohybové vůle

$$v_o = s_{max} + c_o \cdot s = 1,05 + 0,1 \cdot 11,15 \text{ mm}$$

➤ Určení minimálního poloměru ohybu dle (3.9)

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_p \cdot s = 0,6 \cdot 1$$

$$R_{min} = 0,6 \text{ mm}$$

➤ Určení maximálního poloměru ohybu dle (3.10)

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{235} - 1 \right)$$

$$R_{max} = 446,3 \text{ mm}$$

➤ Určení ramena ohybu v 2. kroku (obr. 52)

$$l_{v0} = r_{m0} + R_{p0} + v_o = 1 + 1,5 + 1,15 = 3,65 \text{ mm} \quad (4.29)$$

➤ Určení ramena ohybu v 3. kroku (obr. 53a)

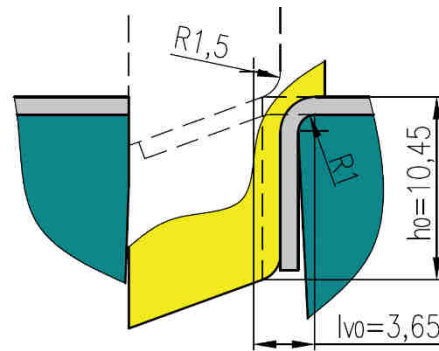
$$l_{v1} = r_{m1} + R_{p1} + v_o = 2 + 2 + 1,15 = 5,15 \text{ mm} \quad (4.30)$$

➤ Určení ramena ohybu v 4. kroku (obr. 53b)

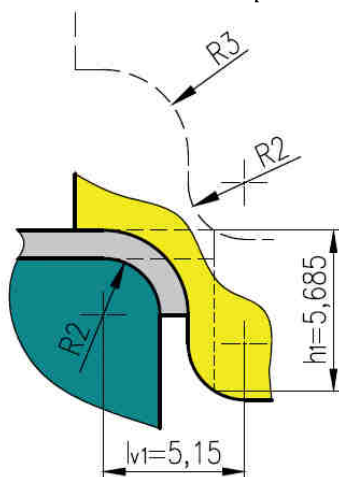
$$l_{v2} = r_{m2} + R_{p2} + v_o = 4 + 2 + 1,15 = 7,15 \text{ mm} \quad (4.31)$$

➤ Určení ramena ohybu v 6. kroku (obr. 53c)

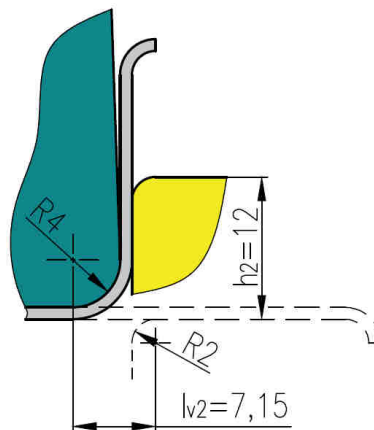
$$l_{v4} = r_{m4} + R_{p4} + v_o = 3 + 2 + 1,15 = 6,15 \text{ mm} \quad (4.32)$$



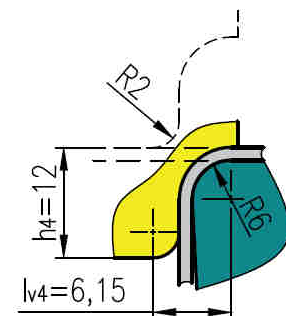
Obr. 52 Ohyb v kroku 2



a) Ohyb v kroku 3



b) Ohyb v kroku 4



c) Ohyb v kroku 6

Obr. 53 Ohyby v jednotlivých krocích

➤ Odpružení pro ohyb v kroku 2 (dle tab. 4 volím $k_o = 0,58$)

$$\beta_0 = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{l_{v0}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{3,65}{0,58 \cdot 1} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,15^\circ$$

➤ Odpružení pro ohyb v kroku 4 (dle tab. 4 volím $k_o = 0,52$)

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{l_{v2}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{7,15}{0,52 \cdot 1} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,33^\circ$$

➤ Odpružení pro ohyb v kroku 6 (dle tab. 4 volím $k_o = 0,53$)

$$\beta_4 = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{l_{v4}}{k_o \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \right) = \tan^{-1} \left(0,375 \cdot \frac{6,15}{0,53 \cdot 1} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,27^\circ$$

Ohybové síly budou spočítány dle vztahu (3.5) a síla pro zakružování dle (3.7). Ohyby budou provedeny s použitím přidržovače a s kalibrační silou dle (3.6). Pouze při zakružování nebude uvažována kalibrační síla.

- Ohybová síla pro ohyb jedním střížníko-ohybničkem v 2. kroku

$$F_{o0} = \frac{b_{o0} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o0}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{10 \cdot 1^2 \cdot 235}{2 \cdot 1} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90}{2} \right) = 1\,175 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná pro provedení jednoho ohybu v kroku 2

$$F_{co0} = F_{o0} + F_{k0} + F_{p0} = 1\,175 + 2 \cdot 1\,175 + 0,3 \cdot 1\,175 = 3\,877,5 \text{ N}$$

- Ohybová síla pro ohyb v 3. kroku

$$F_{o1} = \frac{b_{o1} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_{o0}} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{(2 \cdot 18) \cdot 1^2 \cdot 235}{2 \cdot 2} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90}{2} \right) = 2\,115 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná pro provedení ohybu v kroku 3

$$F_{co1} = F_{o1} + F_{k1} + F_{p1} = 2\,115 + 2 \cdot 2\,115 + 0,3 \cdot 2\,115 = 6\,979,5 \text{ N}$$

- Ohybová síla pro ohyb v 4. kroku (ve výpočtu neuvažuji smykové tření mezi kolíčkem a podložkou)

$$F_{o2} = \frac{b_{o2} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_2} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{64 \cdot 1^2 \cdot 235}{2 \cdot 4} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90}{2} \right) = 1\,880 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná pro provedení ohybu v kroku 4

$$F_{co2} = F_{o2} + F_{k2} + F_{p2} = 1\,880 + 2 \cdot 1\,880 + 0,3 \cdot 1\,880 = 6\,204 \text{ N}$$

Pro zajištění, že se ohybnička v kroku 4 vrátí do základní polohy, volím pružinu s označením TV 13 – 038 viz příloha 4. Pružina s tuhostí $k_{pr} = 5,3 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ bude při zdvihu stlačena celkem o $h_z = 12 \text{ mm}$. Počet použitých pružin $n_{pr} = 2$.

- Síla potřebná ke stlačení pružin ohybničky

$$F_{oh} = k_{pr} \cdot h_z \cdot n_{pr} = 5,3 \cdot 12 \cdot 2 = 127,2 \text{ N} \quad (4.33)$$

- Síla pro zakružování v 5. kroku

$$F_z = F_{o3} = \frac{0,7 \cdot s^2 \cdot b_{o1} \cdot R_m}{d} = \frac{0,7 \cdot 1^2 \cdot (2 \cdot 18) \cdot 510}{6} = 2\,142 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná pro zakružování v kroku 5

$$F_{co3} = F_{o3} + F_{p3} = 2\,142 + 0,3 \cdot 2\,142 = 2\,784,6 \text{ N}$$

- Ohybová síla pro ohyb v 6. kroku

$$F_{o4} = \frac{b_{o2} \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_4} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \frac{64 \cdot 1^2 \cdot 235}{2 \cdot 3} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{90}{2} \right) = 2\,506,7 \text{ N}$$

- Celková síla potřebná pro provedení ohybu v kroku 6

$$F_{co4} = F_{o4} + F_{k4} + F_{p4} = 2\,506,7 + 2 \cdot 2\,506,7 + 0,3 \cdot 2\,506,7 = 8\,272,1 \text{ N}$$

- Součet celkových sil z jednotlivých kroků tvoří výslednou ohybovou sílu

$$F_0 = 2 \cdot F_{co0} + F_{co1} + F_{co2} + F_{oh} + F_{co3} + F_{co4}$$

$$F_0 = 2 \cdot 3\,877,5 + 6\,979,5 + 6\,204 + 127,2 + 2\,784,6 + 8\,272,1$$

$$F_0 = 32\,122,4 \text{ N}$$

Ohybová práce bude spočítána dle vztahu (3.8) opět zvlášť pro každý krok, součinitel plnosti diagramu volím $\psi = 0,55$.

- Ohybová práce pro ohyb ve 2. kroku

$$A_{o0} = \frac{F_{co0} \cdot h_0 \cdot \psi}{1\,000} = \frac{7\,755 \cdot 10,45 \cdot 0,55}{1\,000} = 44,6\,J$$

- Ohybová práce pro ohyb ve 3. kroku

$$A_{o1} = \frac{F_{co1} \cdot h_1 \cdot \psi}{1\,000} = \frac{6\,979,5 \cdot 5,685 \cdot 0,55}{1\,000} = 21,8\,J$$

- Ohybová práce pro ohyb v kroku 4

$$A_{o2} = \frac{F_{co2} \cdot h_2 \cdot \psi}{1\,000} = \frac{6\,204 \cdot 12 \cdot 0,55}{1\,000} = 40,9\,J$$

- Práce pružin na vrácení ohybníku v kroku 4 do základní polohy

$$A_{oh} = n_{pr} \cdot \left(\frac{1 \cdot k_{pr} \cdot h_z^2}{2 \cdot 1000} \right) = 2 \cdot \left(\frac{1 \cdot 5,3 \cdot 12^2}{2 \cdot 1000} \right) = 0,8\,J \quad (4.34)$$

- Ohybová práce pro zakružování (hodnota $h_3 = 8,51$ mm dle CAD programu viz obr. 54)

$$A_{o3} = \frac{F_{co3} \cdot h_3 \cdot \psi}{1\,000} = \frac{2\,784,6 \cdot 8,51 \cdot 0,55}{1\,000} = 13,0\,J$$

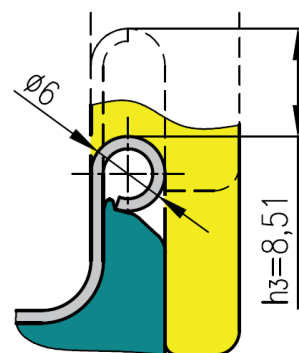
- Ohybová práce pro ohyb v 6. kroku

$$A_{o4} = \frac{F_{co4} \cdot h_4 \cdot \psi}{1\,000} = \frac{8\,272,1 \cdot 12 \cdot 0,55}{1\,000} = 54,6\,J$$

- Celková ohybová práce je dána součtem prací v jednotlivých krocích

$$A_o = A_{o0} + A_{o1} + A_{o2} + A_{o3} + A_{o4}$$

$$A_o = 44,6 + 21,8 + 41,8 + 13,0 + 54,6 = 175,8\,J$$



Obr. 54 Dráha ohybníku při zakružování

V nástroji budou zakompovány dále zvedáky a odlepováky, pro které je zapotřebí zvolit tlačné pružiny a provést výpočty sil potřebných ke stlačení těchto pružin. Všechny tyto pružiny jsou voleny z katalogu od firmy Special Springs S.R.L. viz příloha 4.

Pro zvedáky volím pružinu s označením TV 13 - 044. Pružina má tuhost $k_{pr} = 4,4\,N \cdot mm^{-1}$ a při zdvihu bude stlačena o $h_z = 10$ mm. Počet pružin zvedáků v nástroji je $n_{pr} = 11$.

- Síla potřebná ke stlačení pružin zvedáků

$$F_{zv} = k_{pr} \cdot h_z \cdot n_{pr} = 4,4 \cdot 10 \cdot 11 = 484\,N \quad (4.35)$$

- Práce pružin u zvedáků

$$A_{zv} = n_{pr} \cdot \left(\frac{1 \cdot k_{pr} \cdot h_z^2}{2 \cdot 1000} \right) = 11 \cdot \left(\frac{1 \cdot 4,4 \cdot 10^2}{2 \cdot 1000} \right) = 2,4\,J \quad (4.36)$$

K odlepovákům volím pružinu s označením TV 10 - 025, kde tuhost pružiny $k_{pr} = 4,4\,N \cdot mm^{-1}$. Celkem bude pružina během zdvihu stlačena o $h_z = 5$ mm. Pružin pro odlepováky se nachází v nástroji celkem deset ($n_{pr} = 10$).

- Potřebná síla ke stlačení pružin odlepováků

$$F_{odl} = k_{pr} \cdot h_z \cdot n_{pr} = 4,4 \cdot 5 \cdot 10 = 220\,N \quad (4.37)$$

- Práce pružin k odtlačení pásu plechu

$$A_{odl} = n_{pr} \cdot \left(\frac{1 \cdot k_{pr} \cdot h_z^2}{2 \cdot 1000} \right) = 10 \cdot \left(\frac{1 \cdot 4,4 \cdot 5^2}{2 \cdot 1000} \right) = 0,6\,J \quad (4.38)$$

4.6 Stanovení polohy výsledné síly

Celková tvářecí síla musí působit ve svislé ose beranu lisu, aby nedošlo k poškození stroje, tudíž je nutné provést výpočet jejího těžiště. Do tohoto těžiště bude umístěna stopka, která bude spojovat nástroj s beranem lisu. Výpočet bude proveden jak pro osu x, tak i pro osu y. Hodnoty souřadnic, kde působí jednotlivé síly, jsou odměřeny pomocí programu Autodesk Inventor (obr. 55).

- Celková tvářecí síla (neuvažují síly F_{zv} a F_{odl} vzhledem k jejich malé hodnotě)

$$F_C = F_S + F_O + F_{st} = 227\,418,4 + 32\,122,4 + 18\,396 = 277\,936,8\,N \quad (4.39)$$

$$F_C = 277,9\,kN$$

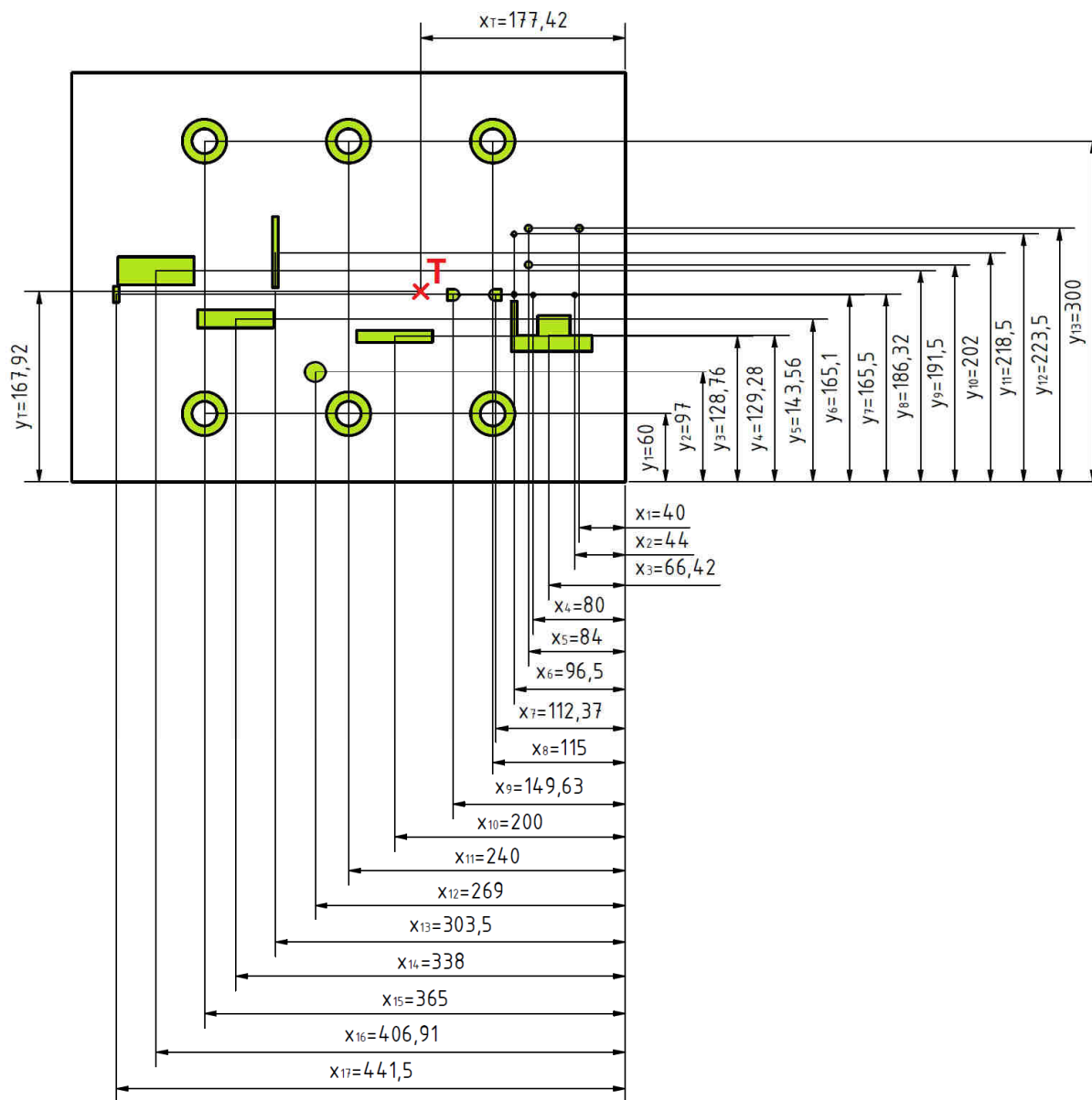
- Poloha těžiště tvářecích sil v ose x

$$\begin{aligned} x_T = \frac{F_i \cdot x_i}{F_C} &= \frac{F_{s2} \cdot x_1 + F_{s4} \cdot x_2 + F_{s1} \cdot x_3 + F_{s4} \cdot x_4 + 2 \cdot F_{s2} \cdot x_5 + 2 \cdot F_{s3} \cdot x_6}{F_C} + \\ &+ \frac{(F_{s5} + F_{co0}) \cdot x_7 + 2 \cdot F_{pr} \cdot x_8 + (F_{s5} + F_{co0}) \cdot x_9 + F_{co1} \cdot x_{10} + 2 \cdot F_{pr} \cdot x_{11}}{F_C} + \\ &+ \frac{(F_{co2} + F_{oh}) \cdot x_{12} + F_{s6} \cdot x_{13} + F_{co3} \cdot x_{14} + 2 \cdot F_{pr} \cdot x_{15} + F_{co4} \cdot x_{16} + F_{s7} \cdot x_{17}}{F_C} = \\ &= \frac{9\,997,8 \cdot 40 + 5\,832,1 \cdot 44 + 89\,425,4 \cdot 66,42 + 5\,832,1 \cdot 80 + 2 \cdot 9\,997,8 \cdot 84}{277\,936,8} + \\ &+ \frac{2 \cdot 6\,665,2 \cdot 95,5 + (1\,457,3 + 3\,877,5) \cdot 112,37 + 2 \cdot 3\,066 \cdot 115}{277\,936,8} + \\ &+ \frac{(1\,457,3 + 3\,877,5) \cdot 149,63 + 6\,979,5 \cdot 200 + 2 \cdot 3\,066 \cdot 240}{277\,936,8} + \\ &+ \frac{(6\,204 + 127,2) \cdot 269 + 67\,360,8 \cdot 303,5 + 2\,784,6 \cdot 338 + 2 \cdot 3\,066 \cdot 365}{277\,936,8} + \\ &+ \frac{8\,272,1 \cdot 406,91 + 12\,729,6 \cdot 441,5}{277\,936,8} = 177,42\,mm \quad (4.40) \end{aligned}$$

- Poloha těžiště tvářecích sil v ose y

$$\begin{aligned} y_T = \frac{F_i \cdot y_i}{F_C} &= \frac{3 \cdot F_{pr} \cdot y_1 + (F_{co2} + F_{oh}) \cdot y_2 + F_{co1} \cdot y_3 + F_{s1} \cdot y_4 + F_{co3} \cdot y_5}{F_C} + \\ &+ \frac{(2 \cdot F_{s4} + 2 \cdot (F_{s5} + F_{co0})) \cdot y_6 + (F_{s3} + F_{s7}) \cdot y_7 + F_{co4} \cdot y_8 + F_{s2} \cdot y_9 + F_{s6} \cdot y_{10}}{F_C} + \\ &+ \frac{F_{s3} \cdot y_{11} + 2 \cdot F_{s2} \cdot y_{12} + 3 \cdot F_{pr} \cdot y_{13}}{F_C} = \frac{3 \cdot 3\,066 \cdot 60 + (6\,204 + 127,2) \cdot 97}{277\,936,8} + \\ &+ \frac{6\,979,5 \cdot 128,76 + 89\,425,4 \cdot 129,28 + 2\,784,6 \cdot 143,56}{277\,936,8} + \end{aligned}$$

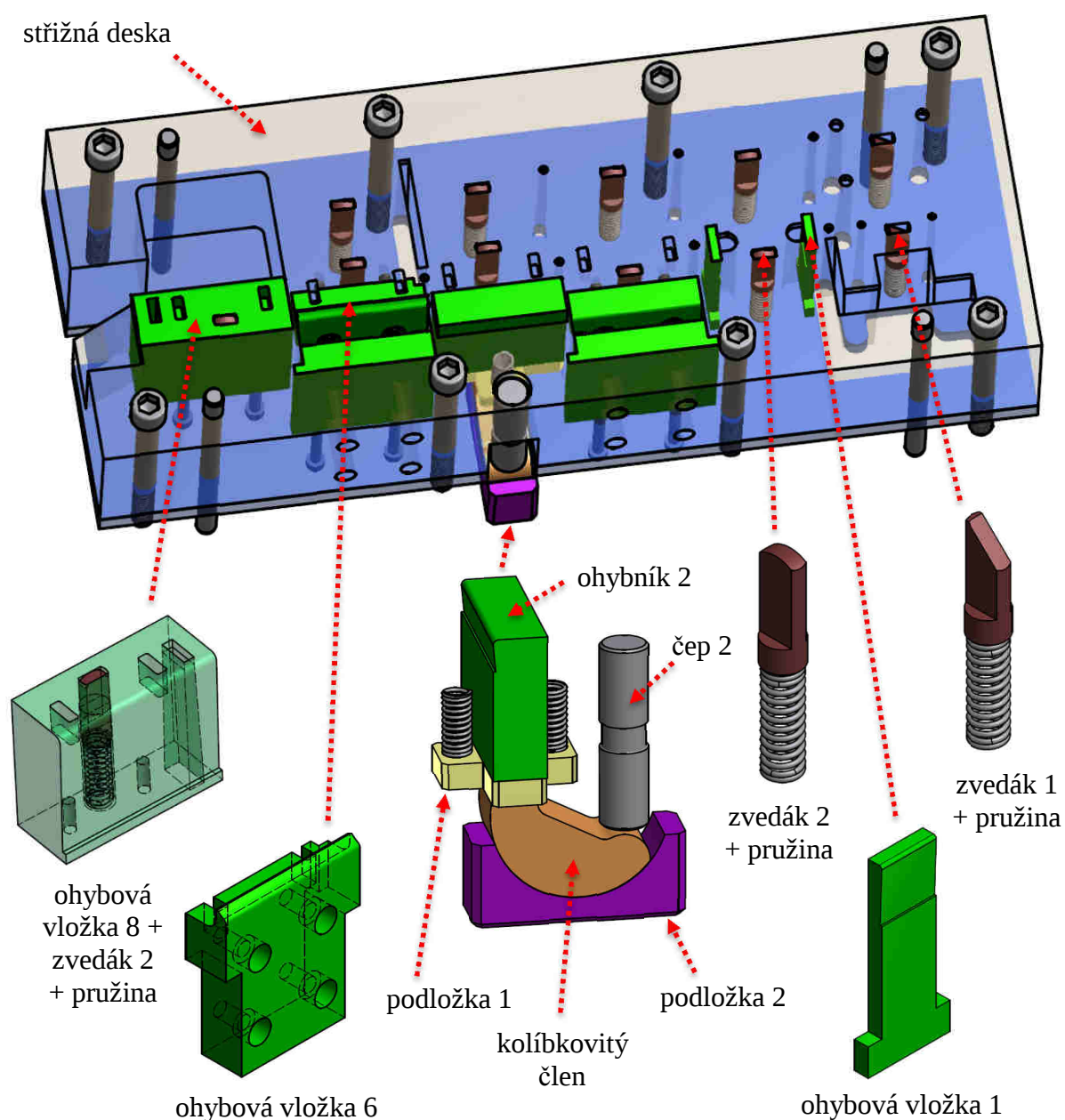
$$\begin{aligned}
& + \frac{(2 \cdot 5\,832,1 + 2 \cdot (1\,457,3 + 3\,877,5)) \cdot 165,1 + (6\,665,2 + 12\,729,6) \cdot 165,5}{277\,936,8} + \\
& + \frac{8\,272,1 \cdot 186,32 + 9\,997,8 \cdot 191,5 + 67\,360,8 \cdot 202 + 6\,665,2 \cdot 218,5}{277\,936,8} + \\
& + \frac{2 \cdot 9\,997,8 \cdot 223,5 + 3 \cdot 3\,066 \cdot 300}{277\,936,8} = 167,92 \text{ mm} \quad (4.41)
\end{aligned}$$



Obr. 55 Určení polohy stopky

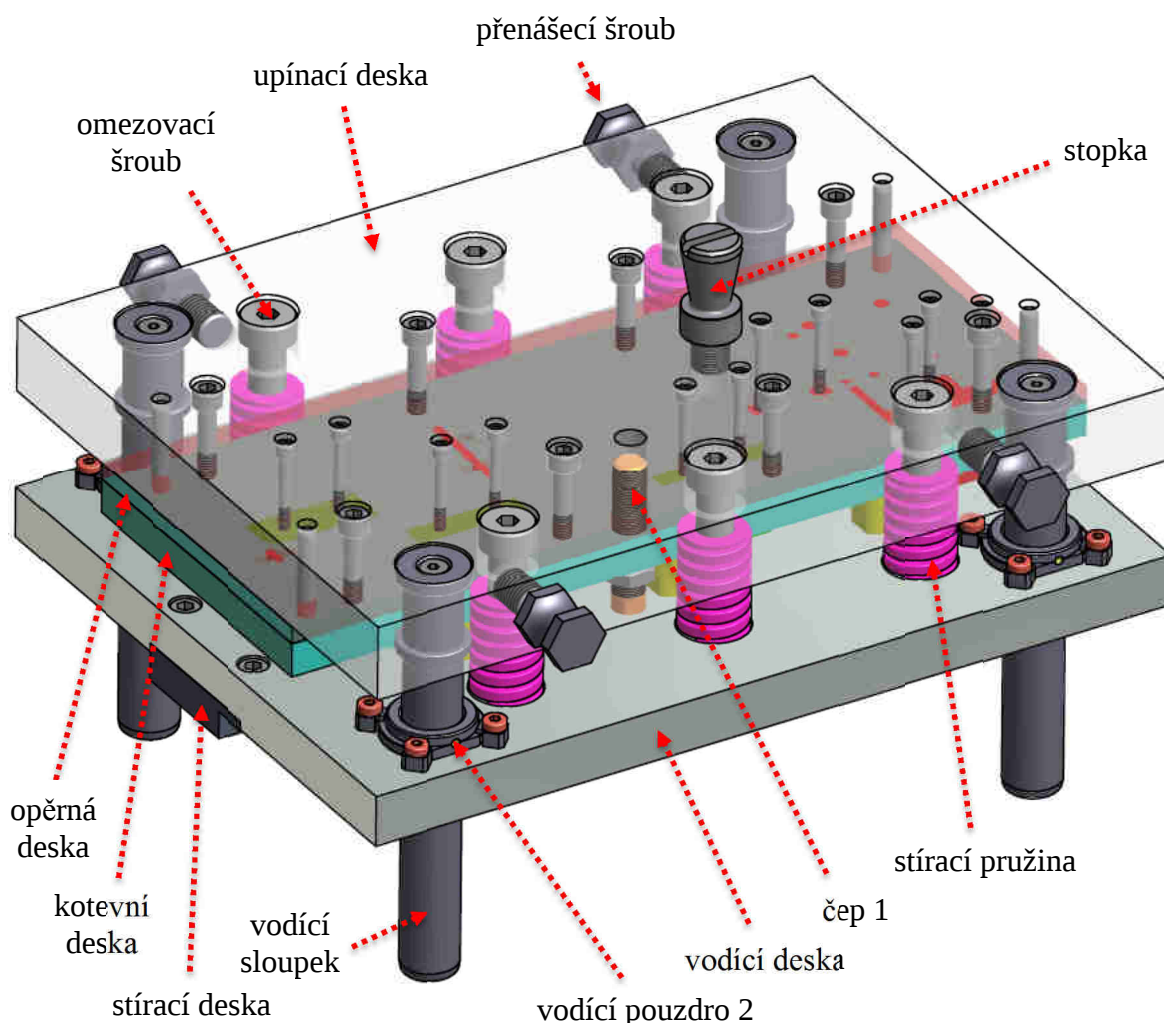
Poloha těžiště celkové tvářecí síly se nachází 177,42 mm v ose x a 167,92 mm v ose y od dolního pravého rohu upínací desky. V tomto místě bude umístěna stopka.

Pro lepší přehlednost byl vytvořen obr. 57, na kterém lze vidět vybrané komponenty umístěné ve střížné desce. Jednotlivé ohybové vložky jsou uchyceny za své osazení, či pomocí normalizovaných šroubů do střížné desky. Dále jsou do střížné desky zhotoveny otvory pro zvedáky a jejich pružiny. Zvedáky jsou zde z důvodu toho, že ve 2. kroku jsou prostříženy a ohnuty úchyty součásti směrem dolů a tudíž je zapotřebí pás plechu nadzvedávat před posunem v nástroji. Ve střížné desce je také otvor, ve kterém je vložen čep 2. Na tento čep působí při sevření nástroje čep 1 upnutý v upínací desce v horní části nástroje. Čep 2 působí na kolíbkový člen, usazený v podložce 2, která mu dovoluje se pouze smýkat. Kolíbkový člen při sevření působí na podložku 1 a samotný ohybník 2. Na podložku ohybníku z druhé strany působí 2 pružiny, které musí po vykonání ohybu zajistit vrácení ohybníku do základní polohy.



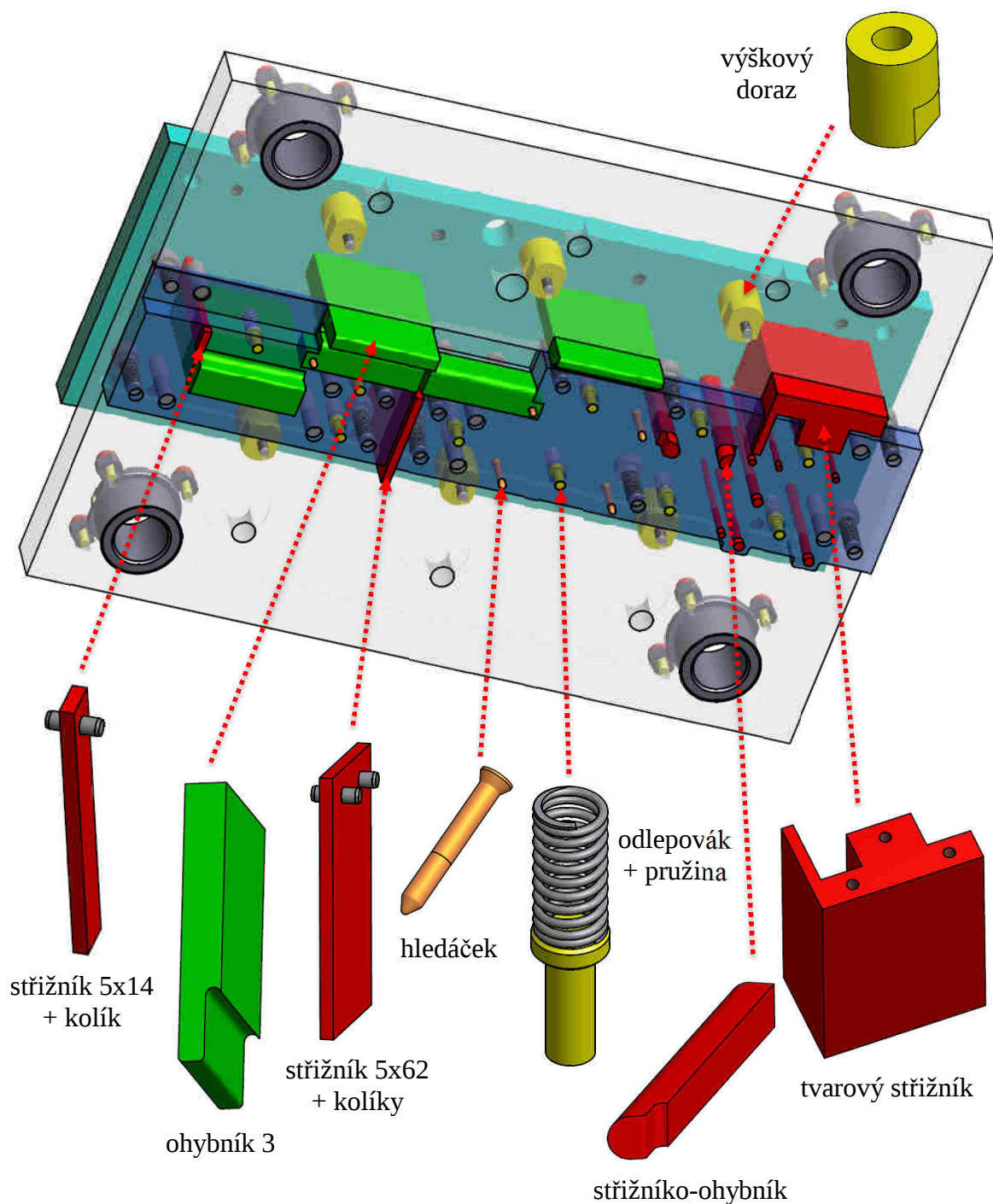
Obr. 57 Jednotlivé komponenty umístěné ve střížné desce

Horní část nástroje (obr. 58) je složena z upínací desky, v níž je umístěna stopka spojující nástroj s beranem lisu. Upnutí bude provedeno i pomocí upínek. Mezi upínací a kotevní deskou je vložena deska opěrná, která je zde z důvodu zabránění vtlačování střížníků do upínací desky. Kotevní deska slouží pro uložení střížníků a ohybníků. Do upínací desky jsou vytvořeny díry se zahlučením pro ramenní šrouby (příloha 9), jenž vymezují vzdálenost mezi kotevní a vodící deskou. Tyto šrouby jsou zašroubovány do vodící desky, která zabraňuje vzpírání střížníků. Pružiny, jenž jsou umístěny u omezovacích šroubů, zajišťují stírání, při kterém se střížníky „schovají“ do stírací desky. Tato deska je dvoudílná a slouží k tomu, aby pás plechu nebyl vytažován střížníky směrem vzhůru. Opět jsou zde zakomponovány 4 přenášečí šrouby, které stejně jak u spodní části nástroje slouží k manipulaci s nástrojem. Vodící pouzdra typu 2 jsou uchycena pomocí šroubů a upínek k vodící desce a jak již bylo napsáno u spodní části, spolu s vodícími pouzdry typu 1 a vodícími sloupky zajišťují správnou polohu horní části nástroje vůči spodní. Vodící sloupky jsou zalisovány do upínací desky a uchyceny pomocí šroubů a přídržovacích podložek (příloha 10). Do upínací desky je také našroubován čep 1 s maticí, který je výškově nastavitelný a tím lze doladit ohyb na požadovanou hodnotu. Čep 1 při sevření nástroje působí na čep 2 ve střížné desce. Jednotlivé desky jsou vůči sobě opět spojeny normalizovanými šrouby a ustaveny kolíky.



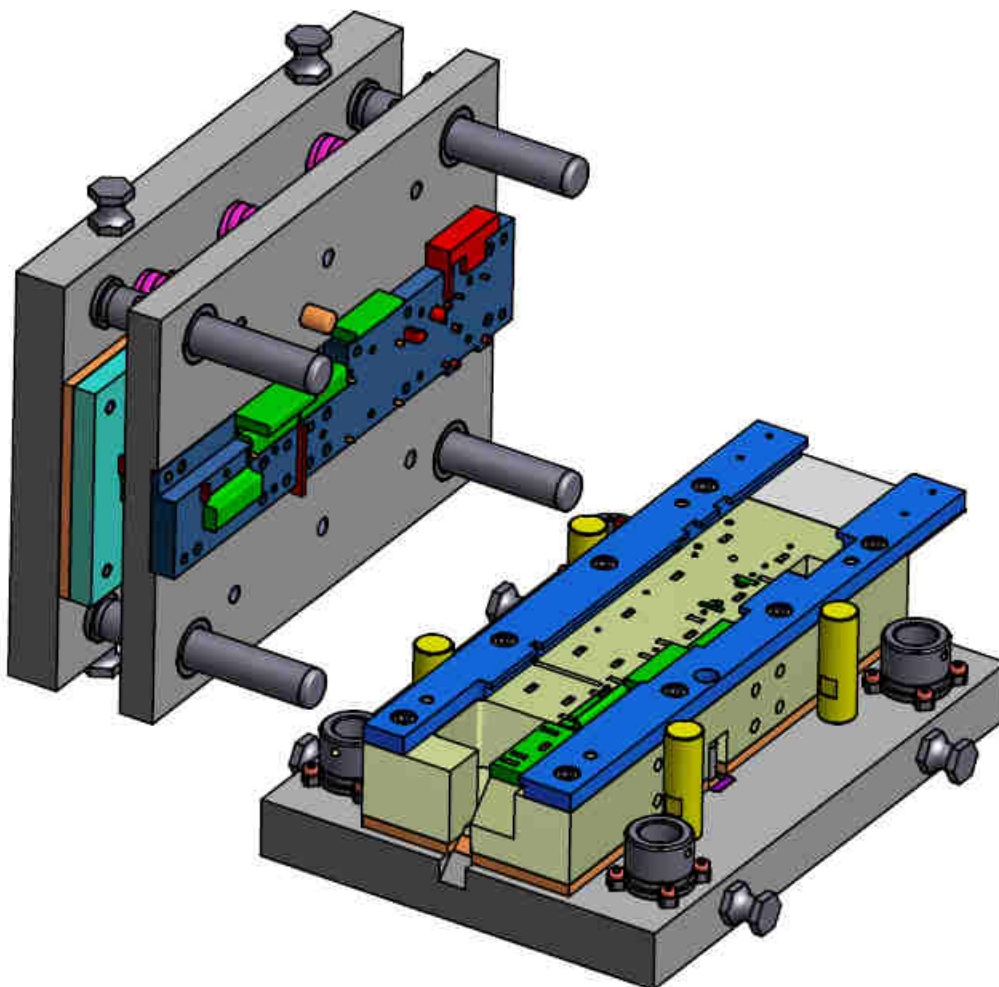
Obr. 58 Horní část nástroje

Na obr. 59 lze vidět střížníky (červená barva) a ohybníky či ohybové vložky (zelená barva). Dále se v horní části nástroje nachází výškové dorazy, které zabraňují překročení hodnoty požadovaného sevření a jsou uchyceny k vodící desce pomocí šroubů. Ve stírací a vodící desce jsou zakomponovány odlepováky a jejich pružiny, které mají za úkol odtlačit „nalepený“ pás plechu ze stírací desky zpět dolů. Toto tzv. přilepení se může stát, když pás plechu bude např. od oleje. Ve stírací desce a ve dvou ohybových vložkách jsou umístěny hledáčky, ty slouží ke správnému zapolohování polotovaru před dosednutím stírací desky, která slouží zároveň i jako přídržovací. Spojení stírací a vodící desky je opět provedeno šrouby a správné polohy vůči sobě je dosaženo použitím kolíků.

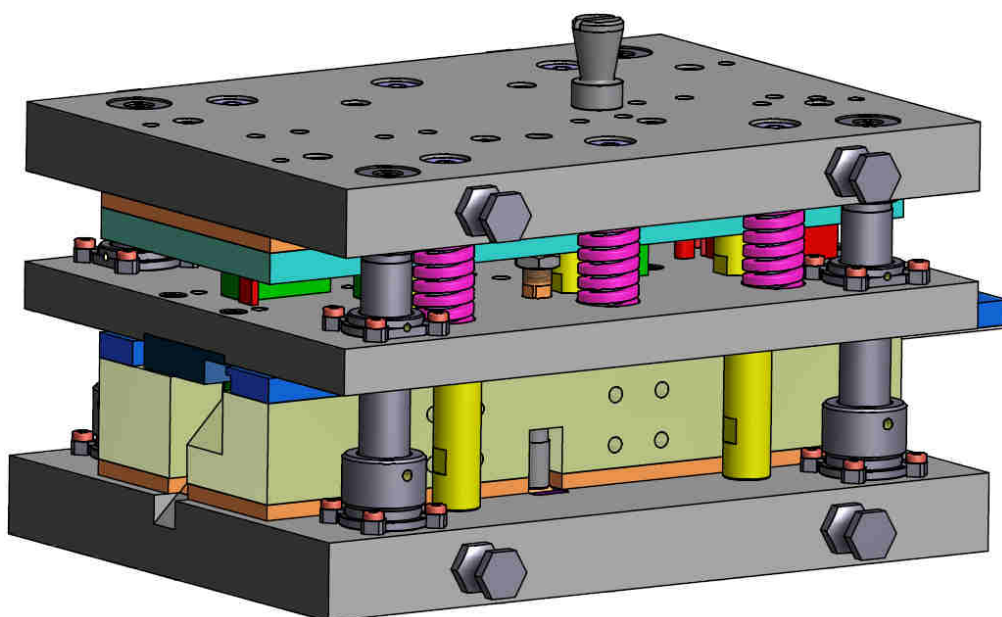


Obr. 59 Jednotlivé komponenty horní části nástroje

Horní i spodní část nástroje lze vidět na obr. 60 a nástroj v sevřeném stavu je na obr. 61.



Obr. 60 Horní a spodní část nástroje



Obr. 61 Sdružený postupový nástroj v sevřeném stavu

4.8 Volba stroje [1], [27]

V této volbě je nejdůležitější zvolit lis, který je schopný vyvinout jmenovitou sílu větší než je celková tvářecí síla, vypočítána v kapitole 4.6. Dále musí lis být schopný vykonat potřebný zdvih a také musí mít dostatečné rozměry upínacích ploch, tedy vyhovovat rozměrům nástroje.

Tyto parametry splňuje vybraný lis od firmy ŽĐAS s označením LKDR 200 (obr. 62). Jedná se o excentrický lis, který je určen především pro postupové tváření z pásu plechu ve sdužených nástrojích, a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 10. Tento tvářecí stroj bude zařazen do linky a celý tvářecí proces bude probíhat v automatickém cyklu.

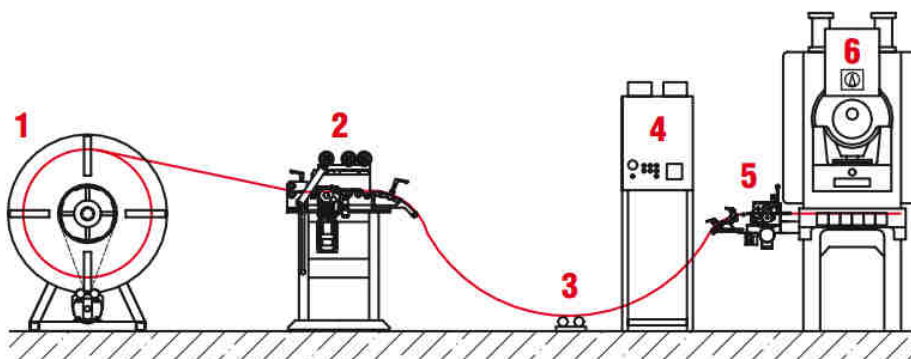
Tab. 10 Parametry lisu LKDR 200 [27].

Jmenovitá síla	2 000	kN
Sevřená výška	500	mm
Zdvih	20 až 160	mm
Počet zdvihů	25 až 80	min ⁻¹
Upínací plocha beranu	1 110 x 800	mm
Upínací plocha stolu	1 110 x 800	mm
Přestavení beranu	100	mm
Příkon motoru	37	kW
Rozměry lisu	2 800 x 2 850 x 5 200	mm



Obr. 62 Lis LKDR 200 [27]

Rovnačí a podávací linka je od firmy Attl a spol. s.r.o. s označením ARPL typ RAL 250 a její parametry jsou uvedeny v příloze 11. Schéma celé linky lze vidět na obr. 63. Tato linka je složena z odvíjáku (1), rovnačky (2), sledování smyčky (3), ovládacího panelu (4), podavače (5) a ze zvoleného lisu (6).



Obr. 63 Schéma celé linky [1]

4.9 Povrchová úprava součástí [20], [21], [33]

Vzhledem k tomu, že bude závěs během své životnosti čelit i povětrnostním podmínkám a jiným vlivům, je vhodné jeho povrch ochránit antikorozní povrchovou úpravou. Proto bylo rozhodnuto povrch výlisku ošetřit pomocí kataforézního lakování. Jedná se o technologii chemického nanášení nátěrových hmot na kovové dílce. Tato metoda se řadí mezi nejmodernější a nejprogresivnější technologie povrchových úprav.

Na začátku procesu kataforézního lakování je zapotřebí provést kvalitní předúpravu povrchu, která musí zabezpečit chemické očištění povrchu od mastnot a mechanických nečistot. Dále je součást opláchnuta a na jejím povrchu se vytvoří fosfátová vrstva, která zajišťuje jednak vysokou přilnavost laku a zároveň zvýšení odolnosti vůči korozi. Následuje oplach a ponoření součásti do funkční kataforézní barvicí lázně, kterou tvoří pryskyřice (pojivo), pasta (pigment určující odstín barvy - běžně černá, šedá, bílá) a aditiva (rozpouštědla, pH regulátor). Po vložení stejnosměrného napětí mezi lakovaný výrobek (katoda) a pomocnou anodu dochází k migraci iontů k příslušným elektrodám. Kation pryskyřice se pohybuje směrem k výrobku a na jeho povrchu je neutralizován hydroxylovým anionem (produktem rozkladu vody na katodě). Tímto získá pryskyřice neutrální charakter, čímž ztratí schopnost rozpustit se ve vodě a poměrně pevně ulpívá na povrchu výrobku. Nedostatečně ulpěná barva je následně opláchnuta ultrafiltrátem a vrací se zpět do funkční barvicí lázně. Následuje osušení dílce a přesun do vypalovací pece, kde vyloučený povlak polymerizuje a získává konečné vlastnosti při teplotě 160 – 180°C po dobu okolo 15 minut.

Mezi hlavní výhody kataforézního lakování patří:

- vysoká odolnost vůči korozi při relativně malé tloušťce povlaku (od 15 μm),
- vysoká zabíhavost i do nepřístupných míst (dutiny),
- krátká doba lakování (150 – 250 s),
- vysoká hospodárnost (více než 99% využití barvicího materiálu)
- rovnoměrná tloušťka povlaku na celém povrchu součásti včetně těžko přístupných míst, hran a rohů,
- vysoká přilnavost a mechanická odolnost povlaku,
- plně automatizovaný proces,
- minimální zatížení životního prostředí.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [18]

V této kapitole budou zjištěny náklady jak na výrobu jednoho závěsu, tak i celé výrobní série, kterou činní 50 000 ks/rok. S pořizovací cenou lisu, rovnací a podávací linky zde nebude kalkulováno z důvodu předpokladu, že výrobní společnost je již vlastní a používá ve svém strojním parku.

Náklady na materiál budou určeny vzhledem k výchozímu polotovaru, kterým je svitek zvolený v kap. 4.2 o rozměrech 1000x600x105x1 mm. Ke zhotovení celé série bude zapotřebí 7 svitků. Cena 1 kg materiálu je stanovena na základě nabídky firmy Wugang Changyulong Industry & Trade Co., Ltd. na $C_{sv} = 14,55$ Kč/kg. V této ceně je již zahrnut transport do České Republiky, ale je potřeba připočíst clo, které je 15% z celkové ceny za materiál. Dále byla určena výkupní cena odpadu $C_{od} = 2,70$ Kč/kg dle firmy Petr Janoušek – KOVOŠROT.

➤ Celková hmotnost svitků

$$m_{csv} = m_{sv} \cdot n_{sv} = 414,31 \cdot 7 = 2\,900,2 \text{ kg} \quad (5.1)$$

➤ Náklady na nákup svitků pro danou sérii

$$N_{csv} = m_{csv} \cdot C_{sv} \cdot 1,15 = 2\,900,2 \cdot 14,55 \cdot 1,15 = 48\,527,6 \text{ Kč} \quad (5.2)$$

➤ Hmotnost jedné součásti

$$m_s = S_{souč} \cdot s \cdot \rho_{ocel} = 5965,18 \cdot 1 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,047 \text{ kg} \quad (5.3)$$

➤ Celková hmotnost součástí pro sérii 50 000 ks

$$m_{cs} = m_s \cdot N = 0,047 \cdot 50\,000 = 2\,350 \text{ kg} \quad (5.4)$$

➤ Celková hmotnost odpadu

$$m_{co} = m_{csv} - m_{cs} = 2\,900,2 - 2\,350 = 550,2 \text{ kg} \quad (5.5)$$

➤ Cena odpadu

$$N_{od} = m_{co} \cdot C_{od} = 550,2 \cdot 2,7 = 1\,485,5 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

➤ Celkové náklady na materiál pro danou sérii

$$N_{cm} = N_{csv} - N_{od} = 48\,527,6 - 1\,485,5 = 47\,042,1 \text{ Kč} \quad (5.7)$$

➤ Náklady na materiál jednoho závěsu

$$N_{ms} = \frac{N_{cm}}{N} = \frac{47\,042,1}{50\,000} = 0,94 \text{ Kč} \quad (5.8)$$

Další náklady budou na mzdu dělníka, kde hodinová sazba obsluhy lisu činní $C_{obs} = 135$ Kč. Předpokládaná doba pracovní směny bude $t_{sm} = 7,5$ hodin, z čehož na zahájení a ukončení výroby v jedné směně poslouží $t_{zu} = 0,5$ hodiny. Pro výměnu a seřízení svitku bude počítáno $t_{vss} = 0,5$ hodin. Počet zdvihů beranu byl zvolen $n_z = 30 \text{ min}^{-1}$. Cena nástroje $N_n = 400\,000$ Kč je stanovena odhadem dle cen podobných nástrojů.

➤ Počet součástí vyrobených za 1 hodinu

$$n_{vh} = n_z \cdot 60 = 30 \cdot 60 = 1800 \text{ ks} \quad (5.9)$$

➤ Počet součástí vyrobených za 1 směnu (výpočet neuvažuje výměnu svitku při směně)

$$n_{vs} = n_{vh} \cdot (t_{sm} - t_{zu}) = 1800 \cdot (7,5 - 0,5) = 12\,600 \text{ ks} \quad (5.10)$$

➤ Počet potřebných směn na danou sérii

$$n_{ps} = \frac{N}{n_{vs}} = \frac{50\,000}{12\,600} = 3,97 \quad (5.11)$$

Počet potřebných směn na vyrobení série 50 000 ks je $n_{ps} = 4$ směny.

➤ Čas na výměnu a seřízení všech svitků

$$t_{vs} = n_{sv} \cdot t_{vss} = 7 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ hod} \quad (5.12)$$

- Celkový počet hodin potřebných na výrobu celé série

$$n_{ph} = n_{ps} \cdot t_{sm} + t_{vs} = 4 \cdot 7,5 + 3,5 = 33,5 \text{ hod} \quad (5.13)$$

Celkový počet hodin potřebných na danou sérii činní $n_{ph} = 33,5$ hod.

- Přímé náklady na mzdu obsluhy lisu navýšené o zdravotní (9%) a sociální (25%) pojištění

$$N_{pmo} = n_{ph} \cdot C_{obs} \cdot 1,34 = 33,5 \cdot 135 \cdot 1,34 = 6060,2 \text{ Kč} \quad (5.14)$$

- Celkové náklady na mzdy včetně režii. Výrobní režie jsem zvolil $V_{vr} = 340\%$ a správní režie $S_{sr} = 120\%$.

$$N_{cmr} = N_{pmo} \cdot (V_{vr} + S_{sr}) = 6060,2 \cdot (3,4 + 1,2) = 27\,876,9 \text{ Kč} \quad (5.15)$$

- Náklady na energie budou vypočteny pouze pro lis a rovnací a podávací linku. Příkon lisu LKDR 200 je $P_{lis} = 37 \text{ kW}$ viz tab. 10 a příkon rovnací a podávací linky ARPL typ RAL 250 je $P_{rpl} = 10,2 \text{ kW}$ viz příloha 11. Cena za 1 kWh bude uvažována $C_{en} = 5 \text{ Kč}$.

$$N_{en} = (P_{lis} + P_{rpl}) \cdot n_h \cdot C_{en} = (37 + 10,2) \cdot 33,5 \cdot 5 = 7\,906 \text{ Kč} \quad (5.16)$$

- Cena součásti bude následně také navýšena o povrchovou úpravu kataforézním lakováním. Firma LAKUM-GALMA a.s. nabídla orientační cenu za povrchovou úpravu jednoho dílce na $C_{kl} = 4 \text{ Kč}$.

- Náklady na výrobu jednoho závěsu

$$N_s = \frac{N_{cm} + N_{cmr} + N_n + N_{en} + (N \cdot C_{kl})}{N} \quad (5.17)$$

$$N_s = \frac{47\,042,1 + 27\,876,9 + 400\,000 + 7\,906 + (50\,000 \cdot 4)}{50\,000} = 13,7 \text{ Kč}$$

- Cena závěsu s uvažovaným ziskem 35%

$$C_{zav} = N_s \cdot 1,35 = 13,7 \cdot 1,35 = 18,5 \text{ Kč} \quad (5.18)$$

- Fixní náklady

$$N_{fix} = N_n + N_{cmr} - N_{pmo} = 400\,000 + 27\,876,9 - 6060,2 \quad (5.19)$$

$$N_{fix} = 421\,816,7 \text{ Kč}$$

- Variabilní náklady

$$N_{var} = N_{ms} + \frac{N_{pmo}}{N} = 0,94 + \frac{6060,2}{50\,000} = 1,06 \text{ Kč} \quad (5.20)$$

- Určení bodu zvratu

$$Z = \frac{N_{fix}}{C_{zav} - N_{var}} = \frac{421\,816,7}{18,5 - 1,06} = 24\,186,7 \text{ ks} \quad (5.21)$$

Výroba závěsu začne být pro podnik zisková při sérii větší než je 24 187 ks. Z toho plyne, že zadaná série 50 000 ks bude zisková i přes to, že vlivem opotřebení se po určité době budou muset tvářecí nástroje přebrousit či vyměnit.

- Roční zisk

$$Z_{rok} = (N - Z) \cdot (C_{zav} - N_s) \quad (5.22)$$

$$Z_{rok} = (50\,000 - 24\,187) \cdot (18,5 - 13,7) = 123\,902,4 \text{ Kč}$$

Dle výpočtu bude mít podnik čistý roční zisk 123 902,4 Kč bez daně.

6 ZÁVĚRY

Vyráběná součást závěs slouží k fixaci sedla u motocyklu a jako vhodný materiál pro její výrobu byla zvolena konstrukční ocel St37-2 dle DIN 17100 (11 375 dle ČSN). Závěs je zhotovován z plechu tloušťky 1 mm. Součást bude vyráběna v roční sérii 50 000 ks a následně bude povrchově upravena kataforézním lakováním, což zvýší odolnost vůči korozi.

Při výběru vhodné technologie výroby bylo nutné zvážit řadu ovlivňujících faktorů, jako je např. zvolený materiál, rozměrová a tvarová přesnost součásti, její tvar, ekonomická náročnost všech uvažovaných technologií apod. Po vyhodnocení všech variant výroby byla vybrána technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji. Z hlediska technologičnosti součásti nebylo nutné provést jakoukoliv konstrukční úpravu součásti.

Dle rozvinutého tvaru součásti byl navržen nástřihový plán a zvolen technologický postup tvářecích operací, dle kterého bude závěs vyroben v šesti krocích. Po výpočtu využití jednotlivých formátů tabulí či sviteků byl vybrán svitek s rozměry 1000x600x105x1 mm. Při této volbě bylo uvažováno, že výrobní podnik již vlastní rovnací a podávací linku. Svitek byl také zvolen z hlediska úspory manipulačních časů oproti výrobě z nastříhaných pásů plechů z tabulí. Ke zhotovení celé série bude zapotřebí 7 sviteků, pro které využití materiálu činí 82,6 %.

Pro navržený výrobní postup byly provedeny technologické, konstrukční a také kontrolní výpočty, na jejichž základě byl zkonstruován sdružený postupový nástroj. Následovala volba výrobního stroje, tedy lisu, kterým byl zvolen výstředníkový lis s označením LKDR 200, jejímž výrobcem je firma ŽĎAS a.s. Tento lis vyhovuje z hlediska potřebné tvářecí síly a také rozměrů nástroje.

Následné bylo pomocí technicko-ekonomického hodnocení zjištěno, že náklady na výrobu jednoho závěsu činí 18,5 Kč, v kterých je již započítán 35 % zisk podniku. Na závěr byl určen bod zvratu 24 187 kusů, při jehož překročení se výroba závěsu stává ziskovou.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [5]

1. ATTL: Rovnání pásů. ATTL aspol. s.r.o. Továrna na stroje [online]. 2013 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
2. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
3. BACHMAN, Kate. Stamper reduces reliance on appliance with 3-D die design software: Designs complex dies nimbler, quicker. In: *Thefabricator.com: A publication of the Fabricators & Manufacturers Association* [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/stamping/stamper-reduces-reliance-on-appliance-with-3-d-die-design-software>
4. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983, 213 s.
5. CITACE PRO [online]. 2012 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>
6. CNC ohraňovací lis. FERRUM s.r.o. [online]. 2016 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
7. CNC vysekávání. NC LINE: Kompletní servis v oblasti zpracování plechů [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.ncline.cz/portfolio/vysekovani/>
8. COIL CALCULATOR: STEEL COIL CALCULATOR. *Worthington industries* [online]. 2016 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://worthingtonindustries.com/Resources/Tools-and-Calculators>
9. ČADA, Radek. *Technologie I: část tváření a slévání : (návodů do cvičení)*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 188 s. ISBN 80-248-0795-5.
10. ČSN 22 6015. Stříhadla a střížné vřetě: Směrnice pro výpočet a konstrukci. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
11. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
12. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
13. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
14. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
15. HLAVATÝ, Ivo. *Teorie a technologie svařování: Plazmové řezání (Plasma cutting)* [online]. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 2011 [cit. 2016-02-10]. ISBN 978-80-248-2414-7. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
16. Image Archive. ESAB [online]. 2013 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.esabasia.com/asia/en/news/image-archive/>

-
17. Jakosti ocelí. *Feromat: Hutní a spojovací materiál* [online]. 2010 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
 18. JANDA, Petr. *Výroba kotvící patky*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
 19. Jawa 50/20 Pionýr (1973). In: *Motorkari.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/motorka/?mid=83802&act=fotogalerie&scr=266>
 20. *Kataforeza - KTL taktovací - Lakum-Galma, a.s.* [online]. 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.lakum.cz/cz/sluzby/humpolec/kataforeza-ctl-cyklicka#t>
 21. *Kataforeza, kataforezní základování* [online]. 2011 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-sluzby-kooperace-lakovna-lakovani/salum-kataforeza-kataforezni-zakladovani>
 22. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 1978, 158 s. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/NVPO_nastroje_pro_tvareni.pdf
 23. Laser: Technologie. *CHPS s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie>
 24. LENFELD, Petr. Technologie II: Katedra tváření kovů a plastů. *Tváření kovů a zpracování plastů* [online]. [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/
 25. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
 26. *LINKY NA ROVNÁNÍ PÁSŮ ZE SVITKŮ* [online]. 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.atl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
 27. Lisy klikové dvoubodové LKDR. *ŽĐAS* [online]. 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=80>
 28. MARCINIAK, Z, J.L DUNCAN a S.J HU. *Mechanics of sheet metal forming*. 2.ed. Oxford: Butterwort-Heinemann, 2002, 211 s. ISBN 0-7506-5300-0.
 29. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
 30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
 31. Ohýbání plechu. *DitaKovo* [online]. 2012 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://kovo.dita.cz/cz/sluzby/ohybani-plechu#prettyPhoto>
 32. *PLAZMA CZ: Řezání hutního materiálu* [online]. 2015 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/>
 33. *Povrchová úprava* [online]. 2006, 3.(1.) [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/4830913-Povrchova-uprava-kataforeza-progresivni-povrchova-uprava.html>
-

34. Products. *JOBRO: Sheet metal technology* [online]. 2016 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.jobro.se/en/products/>
35. Progressive stamping. *Wikipedia: The free encyclopedia* [online]. 2015 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Progressive_stamping
36. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi. 1, Jednotky, matematika, mechanika, technické kreslení, strojní součásti*. Praha: Scientia, 2004, 753 s. : il. ; 21 cm. ISBN 80-7183-312-6.
37. Řezání vodním paprskem: Moderní technologie obrábění veškerých materiálů. *CNC-DELFIN s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://www.cncdelfin.cz/cnc-technologie>
38. Sheet Metal: Hypertherm Plasma Sources. *HACO* [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.haco.com/en/our-services/hypertherm-plasma-sources#gallery>
39. SPECIAL SPRINGS [online]. 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.specialsprings.com/en>
40. Standard parts for die making: E – Accessories. *Meusburger* [online]. 2015 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: <http://www.meusburger.com/standard-parts/die-making.html>
41. Supply St 37-2 DIN 17100 steel plate. *Gang steel* [online]. 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.s355nlsteel.com/DIN-17100-St-37-2-St-37-2-steel-St-37-2-material.html>
42. Technologie. *CHPS s.r.o.* [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie>
43. *TRUMPF* [online]. 2016 [cit. 2016-02-10]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs.html>
44. Water Jet Cutting Machine. *Xinology* [online]. 2015 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://xinology.com:888/Glass-Processing-Equipments-Supplies-Consumables/glass-cutting/water-jet-cutting/overview/two-types-of-water-jet.html>
45. *WCM: Řezání vodním paprskem* [online]. 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://www.wcm.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A _o	ohybová práce	[J]
A _O	celková ohybová práce	[J]
A _{odl}	práce pružin u odlepováků	[J]
A _S	střižná práce	[J]
A _{sr}	střižná práce pro rovné střižníky	[J]
A _{st}	práce stíracích pružin	[J]
A _{sz}	střižná práce pro střižníky se zkosenou hranou	[J]
A _{zv}	práce pružin u zvedáků	[J]
b	šířka pruhu plechu	[mm]
b _o	šířka ohýbaného pásu	[mm]
b _t	šířka tabule	[mm]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
C _{en}	cena energie	[kW]
C _{kl}	cena kataforézního lakování jedné součásti	[Kč]
C _o	koeficient vyjadřující vliv tření součásti o pevnou čelist	[-]
C _{obs}	hodinová mzda obsluhy lisu	[Kč]
C _{od}	výkupní cena jednoho kilogramu odpadu	[Kč]
C _p	součinitel dle technologických podkladů	[-]
C _{sv}	cena jednoho kilogramu materiálu	[Kč]
C _{zav}	cena závěsu s uvažovaným ziskem	[ks]
d	vnější průměr zakružované části	[mm]
d _s	průměr střižníku	[mm]
d _{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
D _{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
e	šířka můstku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
f	šířka okraje	[mm]
F _c	celková tvářecí síla	[N]
F _{co}	celková ohybová síla	[N]
F _k	kalibrační síla	[N]
F _o	ohybová síla	[N]
F _O	výsledná ohybová síla	[N]
F _{odl}	síla ke stlačení pružin odlepováků	[N]
F _{oh}	síla ke stlačení pružin ohybníku	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]

Označení	Legenda	Jednotka
F_{pr}	síla ke stlačení pružiny	[N]
F_s	střížná síla	[N]
F_S	celková střížná síla	[N]
F_{sr}	střížná síla pro rovné střížníky	[N]
F_{st}	stírací síla	[N]
F_{sts}	skutečná stírací síla	[N]
F_{sz}	střížná síla pro střížníky se zkosenou hranou	[N]
F_z	zakružovací síla	[N]
F_{zv}	síla ke stlačení pružin zvedáků	[N]
h	dráha ohybníku	[mm]
h_z	stlačení pružiny	[mm]
I	kvadratický moment	[mm ⁴]
JR	jmenovitý rozměr otvoru	[mm]
k	délka kroku	[mm]
k_o	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
k_{ot}	koeficient otupení nástroje	[-]
k_{pr}	tuhost pružiny	[N·mm ⁻¹]
k_{st}	koeficient pro výpočet stírací síly	[-]
l	šířka součásti	[mm]
L_c	celková rozvinutá délka polotovaru	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l_o	délka ohnutého úseku v neutrální vrstvě	[mm]
L_{oj}	délka zaoblených částí	[mm]
l_s	délka křivky stříhu	[mm]
L_{sv}	délka svitku	[mm]
l_t	délka tabule	[mm]
l_v	rameno ohybu	[mm]
m_{CO}	celková hmotnost odpadu	[kg]
m_{cs}	hmotnost všech součástí	[kg]
m_{csv}	celková hmotnost svitků	[kg]
m_s	hmotnost jedné součásti	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient bezpečnosti	[-]
N	roční výrobní série	[ks]
N_{cm}	celkové náklady na materiál	[Kč]
N_{cmr}	celkové náklady na mzdy včetně režii	[Kč]
N_{csv}	cena všech svitků	[Kč]
N_{en}	náklady na energie	[Kč]
N_{fix}	fixní náklady	[Kč]
N_{ms}	náklady na materiál jedné součásti	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
N_n	cena nástroje	[Kč]
N_{od}	cena odpadu	[Kč]
n_p	počet pásů z tabule	[ks]
n_{ph}	celkový počet hodin na výrobu celé série	[hod]
N_{pmo}	přímé náklady na mzdu obsluhy lisu	[Kč]
n_{pr}	počet pružin	[ks]
n_{ps}	počet směn na celou sérii	[-]
N_s	náklady na výrobu jednoho závěsu	[Kč]
n_{sv}	počet svitků	[ks]
n_t	počet tabulí ke zhotovení série	[ks]
N_{var}	variabilní náklady	[Kč]
n_{vh}	počet součástí vyrobených za hodinu	[ks]
n_{vp}	počet výstřížků z pásu	[ks]
n_{vs}	počet součástí vyrobených za směnu	[ks]
n_{vsv}	počet výstřížků ze svitku	[ks]
n_{vt}	počet výstřížků z tabule	[ks]
n_z	počet zdvihů	[min ⁻¹]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
P_{lis}	příkon lisu	[%]
P_{rpl}	příkon rovnací a podávací linky	[%]
RAD	rozměr střížníku při děrování	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
RED	rozměr střížnice při děrování	[mm]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
R_p	poloměr zaoblení horní čelisti	[mm]
s	tloušťka stříhaného plechu	[mm]
S	střížná plocha	[mm ²]
s_{max}	maximální tloušťka materiálu s tolerancí	[mm]
S_s	obsah dosedací plochy střížníku	[mm ²]
$S_{souč}$	obsah součástí	[mm ²]
S_{sr}	správné režie	[Kč]
S_{sv}	plocha svitku	[mm ²]
S_t	plocha tabule plechu	[mm ²]
S_v	plocha výstřížku	[mm ²]
$\checkmark$	rozvinutá délka polotovaru	[mm]
TA	výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střížnice	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
t_{sm}	pracovní doba jedné směny	[hod]
t_{vs}	čas na výměnu a seřízení všech svitků	[hod]
t_{vss}	čas na výměnu a seřízení jednoho svitku	[hod]
t_{zu}	doba zahájení a ukončení výroby	[hod]
v	střižná vůle	[mm]
v_o	vůle při ohýbání	[mm]
V_{vr}	výrobní režie	[Kč]
x	součinitel posunutí neutrální plochy	[-]
x_i	poloha působíště síly nástroje v ose x	[mm]
x_T	poloha těžiště celkové tvářecí síly v ose x	[mm]
y_i	poloha působíště síly nástroje v ose y	[mm]
y_T	poloha těžiště celkové tvářecí síly v ose y	[mm]
Z	bod zvratu	[Kč]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_c	mezní prodloužení	[-]
η_{csv}	využití všech svitků	[%]
η_{ct}	využití všech tabulí plechu	[%]
η_{sv}	využití svitku	[%]
η_t	využití tabule plechu	[%]
λ	součinitel plnosti dle diagramu	[-]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
ρ_{ocel}	hustota oceli	[kg·mm ⁻³]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_s	napětí na dosedací ploše střižníku	[MPa]
τ_s	pevnost materiálu ve střihu	[MPa]
ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]
κ	úhel sklonu střižné hrany	[°]

Zkratka	Legenda
ČSN	Česká národní norma
DIN	Německá národní norma
W.Nr.	Číslo materiálu

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Příklady plošně tvářených součástí [34]	9
Obr. 2 Závěs	10
Obr. 3 Aretace závěsu [19].....	10
Obr. 4 Řezání plazmou [38]	11
Obr. 5 Řezání laserem [16]	11
Obr. 6 Řezání vodním paprskem [45]	11
Obr. 7 Vysekávací hlava [7].....	12
Obr. 8 Vystřihování s tlačnou hranou [25].....	12
Obr. 9 Postupový nástroj [35]	12
Obr. 10 Jednoduchý nástroj pro ohyb do tvaru „V“ [24].....	13
Obr. 11 Proces ohraňování [6]	13
Obr. 12 Sdružený postupový nástroj [3]	13
Obr. 13 První fáze stříhu [13]	14
Obr. 14 Druhá fáze stříhu [13]	14
Obr. 15 Třetí fáze stříhu [13]	14
Obr. 16 Tvar střížné plochy pro různé střížné vůle [4]	15
Obr. 17 Tvar střížné plochy a jednotlivá pásma stříhání [13].....	16
Obr. 18 Průběh střížné síly [13]	16
Obr. 19 Úpravy střížných hran [4]	17
Obr. 20 Graf ke stanovení součinitele plnosti [11]	17
Obr. 21 Nástřihové plány [2]	18
Obr. 22 Varianty seskupení výstřižků [9]	18
Obr. 23 Vzdálenost otvorů od kraje výstřižku a mezi otvory [4].....	19
Obr. 24 Schéma jednooperačního střížného nástroje [30]	19
Obr. 25 Příklady dorazů [30]	20
Obr. 26 Geometrie otvorů ve střížnici [30].....	20
Obr. 27 Skládaná střížnice [30].....	21
Obr. 28 Zajištění vložek [30]	21
Obr. 29 Způsoby upnutí střížníků v kotevní desce [29].....	21
Obr. 30 Schéma ohybu osamělou silou a momentem [13]	22
Obr. 31 Schéma ohýbání [11]	23
Obr. 32 Průběh ohýbání v nástroji [25].....	23
Obr. 33 Schéma odpružení po ohybu [14]	24
Obr. 34 Způsoby odstranění výrazného odpružení po ohybu [13].....	24
Obr. 35 Průběh ohybové síly [25]	25
Obr. 36 Schéma pro ohyb do tvaru „V“ [11]	25
Obr. 37 Schéma zakružování	26
Obr. 38 Ohýbací nástroj [18]	27
Obr. 39 Technologičnost ohnuté součásti [25]	28
Obr. 40 Tolerance a rozměry závěsu.....	29
Obr. 41 Schéma pro oblouk Lo_1	30
Obr. 42 Schéma pro oblouk Lo_3	30

Obr. 43 Schéma pro oblouk Lo_5	30
Obr. 44 Rozvinutá délka součásti.....	30
Obr. 45 Umístění výstřížku	31
Obr. 46 Dělení tabule	31
Obr. 47 Obsah výstřížku	32
Obr. 48 Svitek [8].....	32
Obr. 49 Postup výroby součásti	34
Obr. 50 Střížník se zkosenou hranou	35
Obr. 51 Jmenovité rozměry střížníků.....	38
Obr. 52 Ohyb v kroku 2	39
Obr. 53 Ohyby v jednotlivých krocích.....	39
Obr. 54 Dráha ohybníku při zakružování.....	41
Obr. 55 Určení polohy stopky	43
Obr. 56 Spodní část nástroje	44
Obr. 57 Jednotlivé komponenty umístěné ve střížné desce	45
Obr. 58 Horní část nástroje	46
Obr. 59 Jednotlivé komponenty horní části nástroje.....	47
Obr. 60 Horní a spodní část nástroje	48
Obr. 61 Sdružený postupový nástroj v sevřeném stavu	48
Obr. 62 Lis LKDR 200 [27].....	49
Obr. 63 Schéma celé linky [1].....	49

Tab. 1 Chemické složení materiálu St37-2 v hm. % [41]	10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu St37-2 [41]	10
Tab. 3 Hodnoty součinitele x [12].....	24
Tab. 4 Určení součinitele k_0 [30]	25
Tab. 5 Hodnota koeficientu c_0 [30]	25
Tab. 6 Využití dostupných formátů tabulí plechu.....	32
Tab. 7 Využití svitku plechu v závislosti na jeho rozměru	33
Tab. 8 Nepředepsané mezní úchyly [36].....	37
Tab. 9 Funkční rozměry střížníků a střížnic.....	38
Tab. 10 Parametry lisu LKDR 200 [27].....	49

SEZNAM VÝKRESŮ

2016-152023-BP-A3-01.00	Závěs
2016-152023-BP-A1-02.00	Sdružený postupový nástroj
2016-152023-BP-A0-02.01	Horní část nástroje
2016-152023-BP-A1-02.02	Prostřední část nástroje
2016-152023-BP-A0-02.03	Spodní část nástroje
2016-152023-BP-A4-03.00	Seznam položek

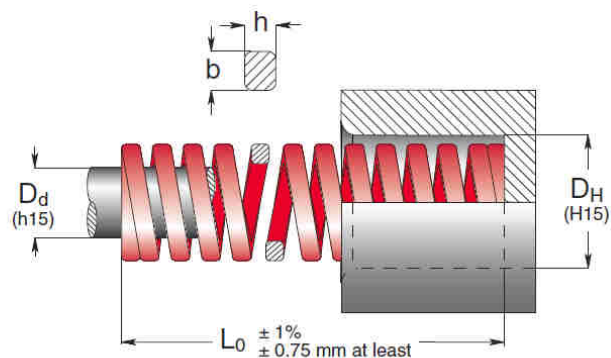
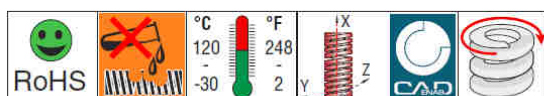
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Pružiny pro stírání
Příloha 2	Vzorce pro výpočet základních rozměrů střižníku a střižnice při děrování
Příloha 3	Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel
Příloha 4	Pružiny pro zvedáky a odlepováky
Příloha 5	Přenášecí šroub
Příloha 6	Upínka vodícího pouzdra
Příloha 7	Vodící pouzdra
Příloha 8	Vodící sloupky
Příloha 9	Ramenní šrouby
Příloha 10	Podložka a šroub pro vodící sloupek
Příloha 11	Rovnací a podávací linka ARPL

R SERIES

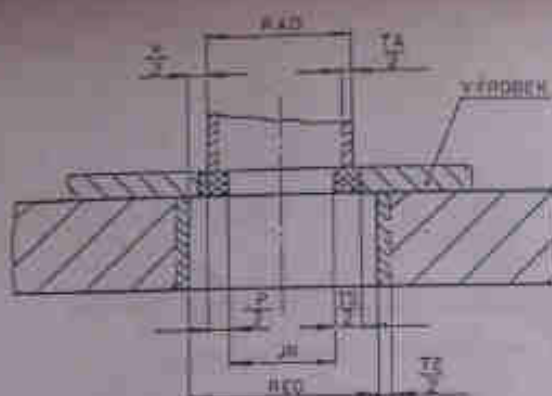
ISO 10243 : 2010

- IT** Molle carico forte
EN Strong load springs
DE Federn für hohe Spannung
FR Ressorts charge forte
ES Muelles carga fuerte
PT Molas carga forte



Code	D _H Hole Diameter	D _d Rod Diameter	L ₀ Free Length	R Spring Constant	 A 20% L ₀	 B 25% L ₀	 C 27.5% L ₀	 D 30% L ₀	 E approx. do not use					
	b x h			± 10%	+ 3.000.000	~ 1.500.000	300 - 500.000	100 - 200.000						
	mm	mm	mm	N/mm	mm	N	mm	N	mm	Pcs				
R 40 - 051	40	20	51	350	10.2	3570	12.8	4480	14.0	4909	15.3	5355	17.0	20
R 40 - 064			64	269	12.8	3443	16.0	4304	17.6	4734	19.2	5165	21.9	10
R 40 - 076			76	219	15.2	3329	19.0	4161	20.9	4577	22.8	4993	26.7	10
R 40 - 089			89	190	17.8	3382	22.3	4237	24.5	4650	26.7	5073	31.3	10
R 40 - 102			102	163	20.4	3325	25.5	4157	28.1	4572	30.6	4988	37.1	10
R 40 - 115			115	142	23.0	3266	28.8	4090	31.6	4491	34.5	4899	41.0	10
R 40 - 127			127	128	25.4	3251	31.8	4070	34.9	4470	38.1	4877	46.5	5
R 40 - 139			139	115	28.0	3220	35.0	4025	38.2	4396	42.0	4830	53.1	5
R 40 - 152			152	105	30.4	3192	38.0	3990	41.8	4389	45.6	4788	56.1	5
R 40 - 178			178	89	35.6	3168	44.5	3961	49.0	4357	53.4	4753	67.4	5
R 40 - 203	8.4 x 6.2		203	77	40.6	3126	50.8	3912	55.8	4299	60.9	4689	76.2	5
R 40 - 254			254	61	50.8	3099	63.5	3874	69.9	4261	76.2	4648	96.2	2
R 40 - 305			305	51	61.0	3111	76.3	3891	83.9	4278	91.5	4667	115	2

Příloha 2 – Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice při děrování [10]



Obor 7. Děrování

Tab. 2. Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice při dřevění

Specifikační parametry	Orientace odchýlek TG	Technologický základní část			
		Sifinisk	*)	Sifinice	**)
Kvůli saje např.: E ₁ obr. 4)	+	$RAD = \{ R + TA \}$	$RAD = \frac{R+V+TE}{2}$	$RED = \{ R - V + TE \} - TE$	$RAD = \frac{R+V+TA}{2}$
	-	$RAD = \{ R - P + TA \}$		$RED = \{ R - P - V + TE \} - TE$	
	±	$RAD = \{ R - \frac{P}{2} + TA \}$		$RED = \{ R - \frac{P}{2} - V + TE \} - TE$	
Základní např.: A ₁ , E ₁ G ₁ , F ₁ K obr. 4 (5)	+	$RAD = \{ R + P \} - TA$	$RAD = \frac{R+V+TE}{2}$	$RED = \{ R + P + V \} + TE$	$RAD = \frac{R+V+TA}{2}$
	-	$RAD = \{ R \} - TA$		$RED = \{ R + V \} + TE$	
	±	$RAD = \{ R + \frac{P}{2} \} - TA$		$RED = \{ R + \frac{P}{2} + V \} + TE$	
Korrekční např.: G ₁ , H ₁ obr. 4 (5)	+	$RAD = \{ R + \frac{P}{2} \} \pm TA$	$RAD = \frac{R+V+TE}{2}$	$RED = \{ R + \frac{P}{2} \} \pm TE$	$RAD = \frac{R+V+TA}{2}$
	-	$RAD = \{ R - \frac{P}{2} \} \pm TA$		$RED = \{ R - \frac{P}{2} \} \pm TE$	
	±	$RAD = \{ R \} \pm TA$		$RED = \{ R \} \pm TE$	

*) Odvozené vzorce pro sifinisk
**) Odvozené vzorce pro sifinice

Tlustě označené vzorce se používají nejčastěji

20210528

820 — norme sifinice pe măsură

 ΔQ — rozměr síťlinky při číselování

* — imenoviti rodbni zvezi

Y — sítičná vůle (tah. 5 až 12 uvedené v příloze této normy)

$$\overline{TV} = \text{tolerance (measured from } \overline{TV} = 0 \text{)}$$

2

Р — приращение метра оптического
пути.

TE — výrobní tolerance střednice
TA — výrobní tolerance středníku

(Feb. 3 uvedena v platnost)
BOHUMIL

Příloha 3 – Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [10]

Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 18. Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

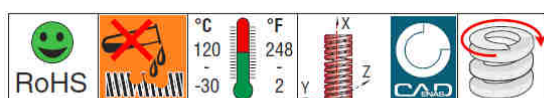
Rozměry v mm

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížníku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,043	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,058
0,280	0,300	0,230	0,089	0,059
0,300	0,320	0,250	0,100	0,060
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,360	0,150	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250

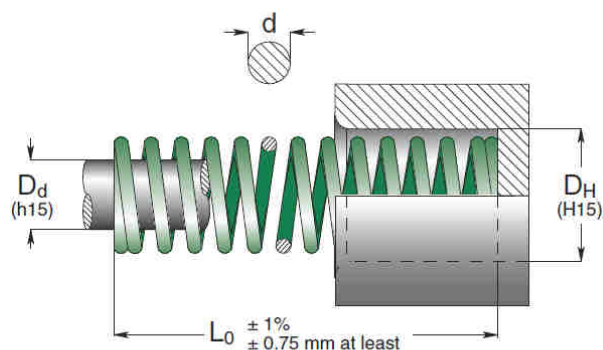
Příloha 4 – Pružiny pro zvedáky a odlepováky [39]

TV SERIES

IT Molle carico leggero
EN Light load springs
DE Federn für normale Spannung
FR Ressorts charge légère
ES Muelles carga ligera
PT Molas carga leve

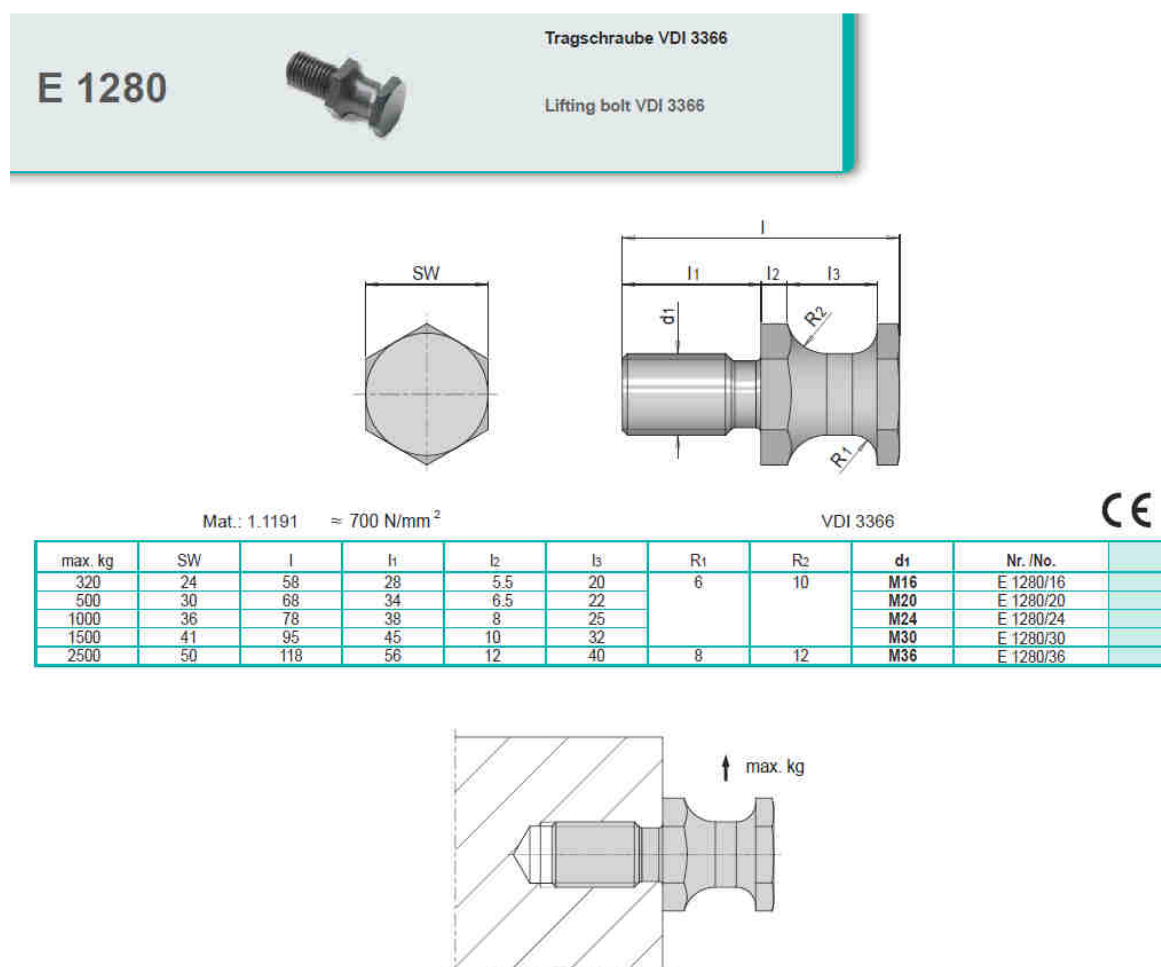


Round Wire

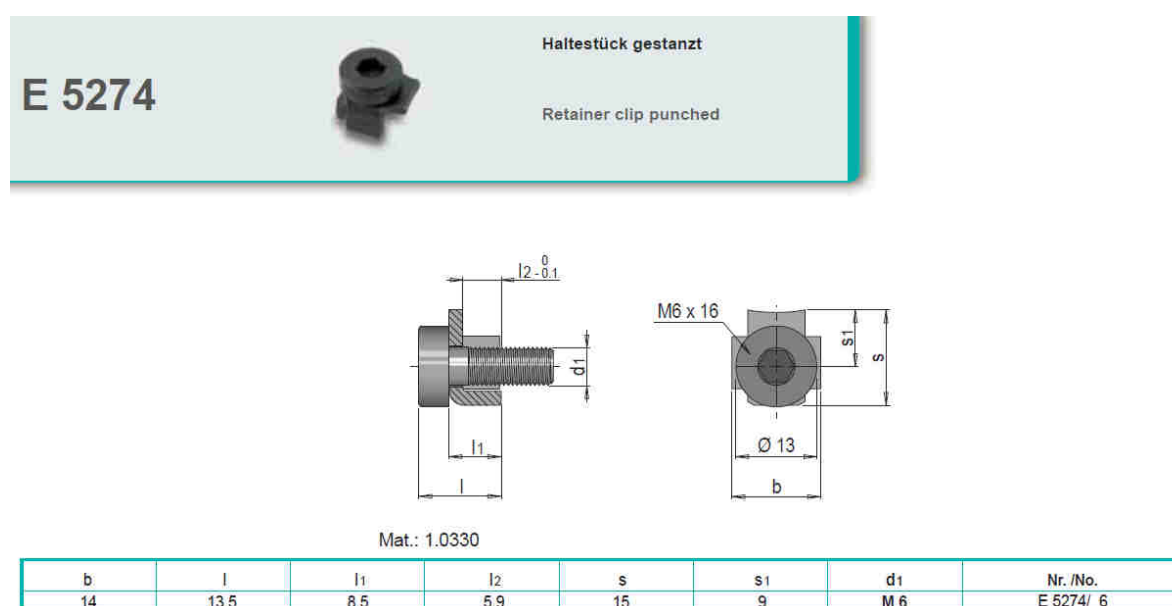


Code	D _H Hole Diameter	D _d Rod Diameter	L ₀ Free Length	R Spring Constant	 25% L ₀	 30% L ₀	 35% L ₀	 40% L ₀	 approx. 					
	d			± 10%	+ 3.000.000	~ 1.500.000	300 - 500.000	100 - 200.000	do not use	Pcs				
	mm	mm	mm	N/mm	mm	N	mm	N	mm					
TV 10 - 025	10	5	25	4.4	6.3	28	7.5	33	8.8	39	10.0	44	13.2	50
TV 10 - 032			32	3.4	8.0	27	9.6	33	11.2	38	12.8	44	16.5	50
TV 10 - 038			38	2.8	9.5	26	11.4	32	13.3	37	15.2	42	19.8	50
TV 10 - 044			44	2.4	11.0	26	13.2	31	15.4	37	17.6	42	23.1	50
TV 10 - 051			51	2.1	12.8	27	15.3	32	17.9	37	20.4	43	26.9	25
TV 10 - 064	1.1		64	1.6	16.0	26	19.2	31	22.4	36	25.6	42	33.3	25
TV 10 - 076			76	1.3	19.0	25	22.8	30	26.6	35	30.4	40	39.6	25
TV 10 - 305			305	0.3	76.3	24	91.5	29	107	32	122	38	157	10
TV 13 - 025	12.5	6.3	25	8.5	6.3	53	7.5	64	8.8	74	10.0	85	13.5	50
TV 13 - 032			32	6.5	8.0	52	9.6	62	11.2	73	12.8	83	16.8	50
TV 13 - 038			38	5.3	9.5	51	11.4	61	13.3	70	15.2	81	20.3	50
TV 13 - 044			44	4.4	11.0	49	13.2	59	15.4	68	17.6	78	23.9	25
TV 13 - 051			51	3.8	12.8	48	15.3	58	17.9	68	20.4	78	26.9	25
TV 13 - 064	1.5		64	2.9	16.0	47	19.2	56	22.4	65	25.6	75	33.3	25
TV 13 - 076			76	2.5	19.0	48	22.8	57	26.6	67	30.4	76	41.1	25
TV 13 - 089			89	2.1	22.3	48	26.7	57	31.2	65	35.6	76	48.3	20
TV 13 - 305			305	0.6	76.3	45	91.5	54	107	64	122	73	163	10

Příloha 5 – Přenášečí šroub [40]



Příloha 6 – Upínka vodícího pouzdra [40]



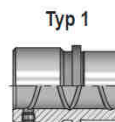
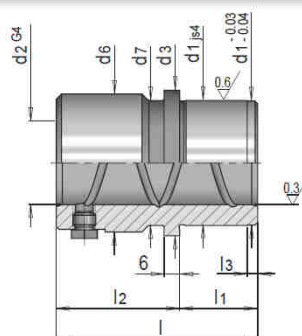
Příloha 7 – Vodicí pouzdra [40]

E 5124



**Gleitführungsbuchse Stahl
mit Bund**

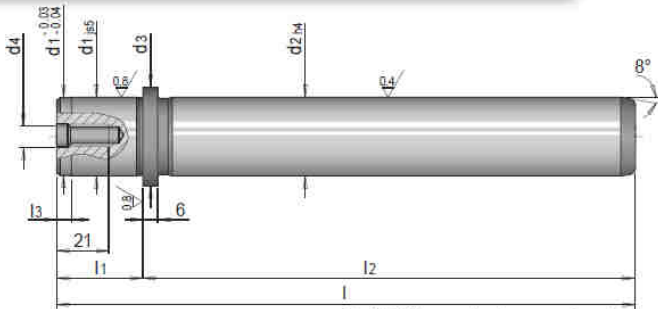
Sliding guide bush, steel,
with collar



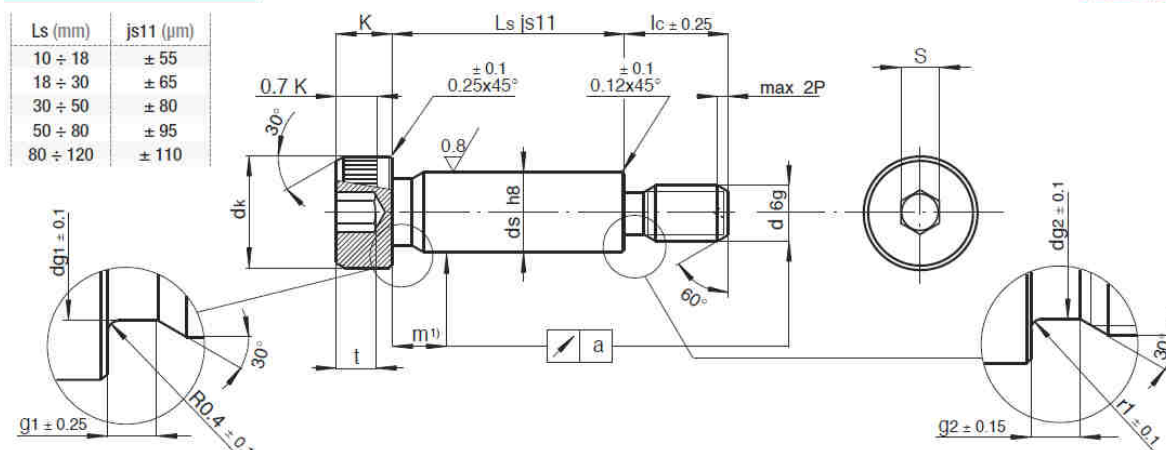
Mat.: 1.7131 ≈ 60 HRC ≈ ISO 9448 (DIN 9831)

Typ	d1	d3	d6	d7	Tk	E 5270/.	l	l3	d2	l1	l2	Nr. /No.
2	32	40	-	32	52	E 5270/6/6	32	3	20	20	12	E 5124/20 x 20/12
1			39				40				20	E 5124/20 x 20/20
2			-				56				36	E 5124/20 x 20/36
1	40	48	-	40	60	E 5270/6/6	35	3	25	23	12	E 5124/25 x 23/12
			46				59				36	E 5124/25 x 23/36
							55			30	25	E 5124/25 x 30/25
2			-				80				50	E 5124/25 x 30/50
1	48	56	-	48	67	E 5270/6/6	42	4	32		12	E 5124/32 x 30/12
2			53				75				45	E 5124/32 x 30/45
1			-				57			35	22	E 5124/32 x 35/22
2			-				67				32	E 5124/32 x 35/32
1			53				91				56	E 5124/32 x 35/56
2			-				50				15	E 5124/40 x 35/15
1	58	66	-	58	77	E 5270/6/6	80	5	40		45	E 5124/40 x 35/45
2			63				69			45	24	E 5124/40 x 45/24
1			-				77				32	E 5124/40 x 45/32
			63				108				63	E 5124/40 x 45/63
							125				80	E 5124/40 x 45/80
2			-				63				18	E 5124/50 x 45/18
1	70	80	-	71	91	E 5270/6/6	95	6	50		50	E 5124/50 x 45/50
			77	70			91			55	36	E 5124/50 x 55/36
							126				71	E 5124/50 x 55/71
							145				90	E 5124/50 x 55/90
2			-				75				20	E 5124/63 x 55/20
1	85	95	-	86	110	E 5270/8/6	111		63		56	E 5124/63 x 55/56
			92	85			145				90	E 5124/63 x 55/90

Příloha 8 – Vodící sloupky [40]

E 5010  Führungssäule h4 mit Bund Guide pillar h4 with collar											
											
Mat.: 1.1213 ≈ 62 HRC inductive											
nur für Gleitführungsbuchsen geeignet only suitable for sliding guide bushes											
d1	d3	d4	Tk	E 5270/	l	l1	l3	d2	l2	Nr./No.	
20	25	M8	38	E 5270/6/6	103	23	3	20	80	E 5010/20 x 80	
					123				100	E 5010/20 x 100	
					135				112	E 5010/20 x 112	
					148				125	E 5010/20 x 125	
					163				140	E 5010/20 x 140	
					183				160	E 5010/20 x 160	
					203				180	E 5010/20 x 180	
					223				200	E 5010/20 x 200	
					110	30	3	25	80	E 5010/25 x 80	
					130				100	E 5010/25 x 100	
					142				112	E 5010/25 x 112	
					155				125	E 5010/25 x 125	
					170				140	E 5010/25 x 140	
					190				160	E 5010/25 x 160	
					210				180	E 5010/25 x 180	
					230				200	E 5010/25 x 200	
					254				224	E 5010/25 x 224	
					280				250	E 5010/25 x 250	
32	40	M8	51	E 5270/6/6	147	35	4	32	112	E 5010/32 x 112	
					160				125	E 5010/32 x 125	
					175				140	E 5010/32 x 140	
					195				160	E 5010/32 x 160	
					215				180	E 5010/32 x 180	
					235				200	E 5010/32 x 200	
					259				224	E 5010/32 x 224	
					285				250	E 5010/32 x 250	
					315				280	E 5010/32 x 280	
					350				315	E 5010/32 x 315	
40	50	M8	61	E 5270/6/6	160	35	4	40	125	E 5010/40 x 125	
					175				140	E 5010/40 x 140	
					195				160	E 5010/40 x 160	
					215				180	E 5010/40 x 180	
					235				200	E 5010/40 x 200	
					259				224	E 5010/40 x 224	
					285				250	E 5010/40 x 250	
					315				280	E 5010/40 x 280	
					350				315	E 5010/40 x 315	
					390				355	E 5010/40 x 355	
50	63	M8	74	E 5270/6/6	185	45	5	50	140	E 5010/50 x 140	
					205				160	E 5010/50 x 160	
					225				180	E 5010/50 x 180	
					245				200	E 5010/50 x 200	
					269				224	E 5010/50 x 224	
					295				250	E 5010/50 x 250	
					325				280	E 5010/50 x 280	
					360				315	E 5010/50 x 315	
					400				355	E 5010/50 x 355	
					445				400	E 5010/50 x 400	
63	80	M12	94	E 5270/8/6	205	45	5	63	160	E 5010/63 x 160	
					225				180	E 5010/63 x 180	
					245				200	E 5010/63 x 200	
					269				224	E 5010/63 x 224	
					295				250	E 5010/63 x 250	
					325				280	E 5010/63 x 280	
					360				315	E 5010/63 x 315	
					400				355	E 5010/63 x 355	
					445				400	E 5010/63 x 400	

Příloha 9 – Ramenní šrouby [39]



I
Materiale: acciaio legato alto resistenziale per bulloneria ISO 12.9
Durezza: 37÷43 HRC
Carico unitario di rottura a trazione: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Carico unit. di scostam. dalla proporz.: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Carico unitario di resistenza al taglio: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Allungamento: $A = 8\% \text{ min.}$ - **Resilienza:** KCU 15J min.

GB
Material: high grade alloy steel ISO 12.9
Hardness: 37÷43 HRC
Tensile strength: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Yield strength: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Shear strength: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Elongation: $A = 8\% \text{ min.}$ - **Impact test:** KCU 15J min.

D
Werkstoff: Vergütungsstahl, vergütet auf 12.9 DIN/ISO 898
Härte: 37÷43 HRC
Zugfestigkeit: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Dehngrenze: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Scherfestigkeit: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Verlängerung: $A = 8\% \text{ min.}$ - **Kerbschlagzähigkeit:** KCU 15J min.

F
Matériel: acier à haute résistance pour vis ISO 12.9
Durété: 37÷43 HRC
Résistance à la traction: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Limite apparente d'élasticité: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Résistance au cisaillement: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Allongement: $A = 8\% \text{ min.}$ - **Résilience:** KCU 15J min.

E
Material: acero alta resistencia ISO 12.9
Dureza: 37 - 43 HRC
Resistencia a la tracción: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Limite aparente de elasticidad: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Resistencia al corte: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Elongación: $A = 8\%$ - **Resiliencia:** KCU = 15J min.

P
Material: liga de aço ISO 12.9
Dureza: 37÷43 HRC
Carga de tensão: $R_m = 1200 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Carga de rotura: $R_p 0,2 = 1080 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Carga de desgaste: $T_m = 720 \text{ N/mm}^2 \text{ min.}$
Elasticidade: $A = 8\% \text{ min.}$ - **Teste ao impacto:** KCU = 15J min.

Dimensions (mm)

ds			d	P	dk	t	K	dg1	g1	dg2	g2	r1	lc	S		
nom.	min.	max.												nom.	min.	max.
6	5,982	6,00	M5	0,8	10,15	2,4	4,5	5,52	1,85	3,78	1,8	0,6	9,5	3	3,01	3,058
8	7,978	8,00	M6	1	13,2	3,3	5,5	7,52	1,85	4,51	2,3	0,6	11	4	4,01	4,068
10	9,978	10,00	M8	1,25	16,2	4,2	7	9,52	1,85	6,18	2,6	0,7	13	5	5,02	5,095
12	11,973	12,00	M10	1,5	18,2	4,9	9	11,52	1,85	7,84	2,8	0,85	16	6	6,02	6,095
16	15,973	16,00	M12	1,75	24,3	6,6	11	15,52	1,85	9,5	3,8	0,95	18	8	8,025	8,115
20	19,967	20,00	M16	2	30,35	8,8	14	19,52	2,65	13,17	4,6	1,2	22	10	10,025	10,115
24	23,967	24,00	M20	2,5	36,4	10	16	23,52	2,65	16,5	5,4	1,4	27	12	12,032	12,142

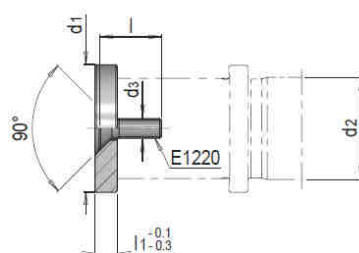
Concentricity "a" (mm)

ds	d	Ls																50 pcs
		10	12	15	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	
6	M5	,100	,100	,100	,100	,150	,200	,250	,305	,360	,415	,470	,525	,580				
8	M6		,112	,112	,112	,112	,150	,188	,226	,263	,300	,338	,376	,413	,451	,488	,563	713
10	M8			,105	,105	,108	,144	,180	,216	,252	,288	,324	,360	,396	,432	,468	,540	684
12	M10				,120	,120	,120	,150	,180	,210	,240	,270	,300	,330	,360	,390	,450	570
16	M12							,138	,165	,193	,221	,248	,276	,303	,331	,358	,413	523
20	M16									,156	,178	,199	,221	,242	,264	,285	,328	414
24	M20											,195	,216	,238	,260	,282	,330	412

ESEMPIO D' ORDINE - ORDERING EXAMPLE - BESTELLBEISPIEL - EXEMPLE DE COMMANDE - EJEMPLO DE PEDIDO - EJEMPLO DE ENCOMENDA : (50) SSB 10 - M8 x 50

CONSEGNA DA MAGAZZINO - DELIVERY FROM STOCK - LIEFERUNG AB LAGER - DISPONIBLE SUR STOCK - DISPONIBLE EN STOCK - ENTREGA DO STOCK

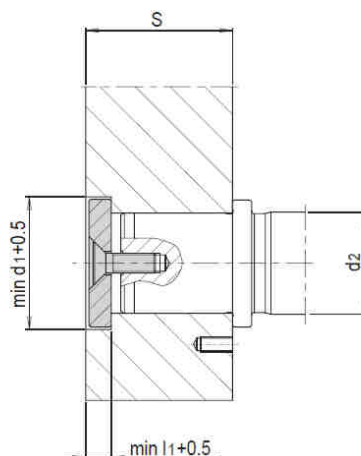
Příloha 10 – Podložka a šroub pro vodící sloupek [40]



Mat.: 1.1730

32/

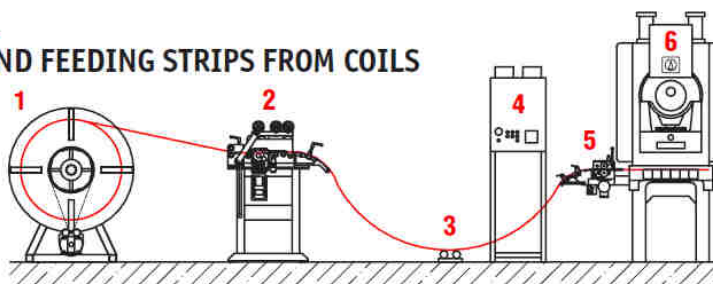
S	d2	l1	d3	d1	l	Nr. /No.
36	20	6	M8	25	25	E 5290/25/25
46					35	E 5290/25/35
-	25			32	25	E 5290/32/25
46					30	E 5290/32/30
56					40	E 5290/32/40
46	32	7		40	25	E 5290/40/25
56					35	E 5290/40/35
66					45	E 5290/40/45
46	40			50	25	E 5290/50/25
56					35	E 5290/50/35
66					45	E 5290/50/45
56	50	8		60	25	E 5290/60/25
66					35	E 5290/60/35
76					45	E 5290/60/45
56	63		M12	70	30	E 5290/70/30
66					40	E 5290/70/40
76					50	E 5290/70/50



Příloha 11 – Rovnačí a podávací linka ARPL [1]

ROVNAČÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

Řada odvíjáků AOZ / Uncoilers AOZ

Typ/Type	Nosnost Capacity (kN)	Vnitřní ø svítku Coil inner ø (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
AOZ 03	3 ÷ 8	480 ÷ 620	120	0,15 ÷ 1,2	80	ne / no	—
AOZ 08	8 ÷ 15	480 ÷ 620	250	0,3 ÷ 2,0	180	ano-ne / yes-no	1,5 ÷ 3,0
AOZ 15	15 ÷ 25	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 3,0	160	ano-ne / yes-no	2,2 ÷ 7,5
AOZ 25	15 ÷ 40	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 4,0	160	ano-ne / yes-no	7,5 ÷ 15,0
AOZ 40	40 ÷ 100	480 ÷ 620	580	0,5 ÷ 4,5	160	ano-ne / yes-no	11,0 ÷ 22,0

Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

Typ/Type	Počet válců Number of rollers	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
ROA 160	5	40	160	0,3 - 1,8	280	ne / no	7,5
ROA 250	5	60	250	0,3 - 2,5	320	ano-ne / yes-no	7,5
ROA 350	5	80	350	0,3 - 4,0	260	ano-ne / yes-no	11,0
ROA 580	5	100	580	1,0 - 4,5	260	ano-ne / yes-no	18,5

Řada podavačů PAL / Feeders PAL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na / per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
PAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	150	0,5 ÷ 3	100	3,0	3 000
PAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	250	0,5 ÷ 3,5	80	3,0	3 000
PAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3	80	3,0	6 000

Řada podávacích a rovnacích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na / per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
RAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	100	0,5 ÷ 3,0	40	7,5	3 000
RAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	200	0,5 ÷ 3,5	35	10,2	3 000
RAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3,0	35	10,2	6 000

Attla spol. s r.o.
Továrna na stroje

Ke Slatinám 117, 109 00 Praha 10, Czech Republic
tel +420 272 705 511, fax +420 271 960 414
e-mail: attla@attla.cz, http://www.attla.cz
IČO: 48110566, DIČ: CZ 48110566